

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลผลการทดลอง

ผลการทดลองการอบแห้งแผ่นจีนไม้อัดด้วยไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตร ร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง ในกรณีต่างๆ

ผลการทดลองค่าน้ำหนัก (g) และอัตราการอบแห้ง (Drying rate) (กรณี 1 ใช้แมกนีตรอน จำนวน 6 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 4800 W)

ลำดับ	สูตร	น้ำหนัก ก่อนอบแห้ง (g)	น้ำหนัก หลังอบแห้ง (g)	อัตราการอบแห้ง (Drying rate)
1	1:1:1	361	325	0.24
2	1:1:1.5	371	322	0.27
3	2:1:1.5	366	316	0.27
4	2:1:2	353	318	0.23

ผลการทดลองค่าน้ำหนัก (g) และอัตราการอบแห้ง (Drying rate) (กรณี 2 ใช้แมกนีตรอน จำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิลมร้อนที่ 40°C)

ลำดับ	สูตร	น้ำหนัก ก่อนอบแห้ง (g)	น้ำหนัก หลังอบแห้ง (g)	อัตราการอบแห้ง (Drying rate)
1	1:1:1	366	322	0.63
2	1:1:1.5	361	311	0.71
3	2:1:1.5	371	315	0.80
4	2:1:2	369	313	0.80

ผลการทดลองค่าน้ำหนัก (g) และอัตราการอบแห้ง (Drying rate) (กรณี 3 ใช้แมกนีตรอน จำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิลมร้อนที่ 50°C)

ลำดับ	สูตร	น้ำหนัก ก่อนอบแห้ง (g)	น้ำหนัก หลังอบแห้ง (g)	อัตราการอบแห้ง (Drying rate)
1	1:1:1	375	312	0.90
2	1:1:1.5	375	311	0.91
3	2:1:1.5	354	308	0.66
4	2:1:2	357	307	0.71

ผลการทดลองค่าน้ำหนัก (g) และอัตราการอบแห้ง (Drying rate) (กรณี 4 ใช้แมกนีตรอน
จำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิลมร้อนที่ 60°C)

ลำดับ	สูตร	น้ำหนัก ก่อนอบแห้ง (g)	น้ำหนัก หลังอบแห้ง (g)	อัตราการอบแห้ง (Drying rate)
1	1:1:1	387	325	0.89
2	1:1:1.5	357	304	0.76
3	2:1:1.5	383	315	0.97
4	2:1:2	358	302	0.8

ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric Properties)

ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (กรณี 1 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 6 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 4800 W)

ลำดับ	สูตรผสม	Dielectric Properties					
		ก่อนอบ			หลังอบ		
		ϵ'	ϵ''	$\tan \delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan \delta$
1	1:1:1	2.00	0.321	0.16	1.56	0.156	0.100
2	1:1:1.5	2.25	0.436	0.19	1.50	0.153	0.101
3	2:1:1.5	2.31	0.436	0.19	1.59	0.157	0.098
4	2:1:2	1.92	0.273	0.14	1.56	0.158	0.101

ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (กรณี 2 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W
อุณหภูมิลมร้อนที่ 40°C)

ลำดับ	สูตรผสม	Dielectric Properties					
		ก่อนอบ			หลังอบ		
		ϵ'	ϵ''	$\tan \delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan \delta$
1	1:1:1	2.189	0.346	0.158	1.904	0.177	0.092
2	1:1:1.5	2.146	0.380	0.177	1.397	0.149	0.107
3	2:1:1.5	2.255	0.446	0.198	1.509	0.154	0.102
4	2:1:2	2.317	0.444	0.191	1.569	0.158	0.101

ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (กรณี 3 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว(กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิความร้อนที่ 50°C)

ลำดับ	สูตรผสม	Dielectric Properties					
		ก่อนอบ			หลังอบ		
		ε'	ε''	tan δ	ε'	ε''	tan δ
1	1:1:1	2.375	0.525	0.221	1.478	0.150	0.101
2	1:1:1.5	2.396	0.539	0.225	1.461	0.144	0.099
3	2:1:1.5	2.238	0.456	0.203	1.453	0.149	0.102
4	2:1:2	1.885	0.306	0.162	1.452	0.146	0.101

ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (กรณี 4 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว(กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิความร้อนที่ 60°C)

ลำดับ	สูตรผสม	Dielectric Properties					
		ก่อนอบ			หลังอบ		
		ε'	ε''	tan δ	ε'	ε''	tan δ
1	1:1:1	2.598	0.610	0.235	1.468	0.145	0.099
2	1:1:1.5	2.190	0.420	0.192	1.413	0.141	0.100
3	2:1:1.5	2.728	0.677	0.255	1.629	0.155	0.095
4	2:1:2	2.236	0.423	0.189	1.462	0.144	0.099

4.4 สมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อน

สมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อน (กรณี 1 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 6 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 4800 W)

ลำดับ	สูตร	ความหนาแน่น (Density g/cm ³)	ความชื้น (Moisture Content, %MC)	การบวมพองเมื่อแช่น้ำ (Thickness Swelling, TS)	ค่าแรงต้านทานภายใน (Internal Bond, IB)
1	1:1:1	0.8006	6	30.48	0.06878
2	1:1:1.5	0.7575	6	24.56	0.06920
3	2:1:1.5	0.8213	6	54.01	0.04583
4	2:1:2	0.7905	7	51.33	0.03112

สมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อน (กรณี 2 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิความร้อนที่ 40°C)

ลำดับ	สูตร	ความหนาแน่น (Density g/cm ³)	ความชื้น (Moisture Content, %MC)	การบวมพองเมื่อแช่น้ำ (Thickness Swelling, TS)	ค่าแรงต้านทานภายใน (Internal Bond, IB)
1	1:1:1	0.93720	6	39.89	0.06531
2	1:1:1.5	0.78031	6	27.60	0.08626
3	2:1:1.5	0.74519	7	44.44	0.06104
4	2:1:2	0.74617	7	40.63	0.01330

สมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อน (กรณี 3 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิความร้อนที่ 50°C)

ลำดับ	สูตร	ความหนาแน่น (Density g/cm ³)	ความชื้น (Moisture Content, %MC)	การบวมพองเมื่อแช่น้ำ (Thickness Swelling, TS)	ค่าแรงต้านทานภายใน (Internal Bond, IB)
1	1:1:1	0.70887	7	31.82	0.01347
2	1:1:1.5	0.70016	6	27.02	0.02160
3	2:1:1.5	0.72469	6	43.73	0.02765
4	2:1:2	0.68114	6	37.03	0.01980

สมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อน (กรณี 4 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิความร้อนที่ 60°C)

ลำดับ	สูตร	ความหนาแน่น (Density g/cm ³)	ความชื้น (Moisture Content, %MC)	การบวมพองเมื่อแช่น้ำ (Thickness Swelling, TS)	ค่าแรงต้านทานภายใน (Internal Bond, IB)
1	1:1:1	0.70655	6	37.16	0.06080
2	1:1:1.5	0.71266	6	29.33	0.03128
3	2:1:1.5	0.71540	6	51.65	0.04739
4	2:1:2	0.73662	6	35.55	0.02877

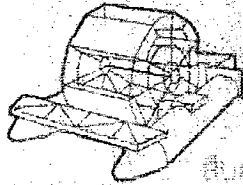
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง

การทดลอง	แผ่นขึ้นไม้อัด	ความหนาแน่น (Density, g/cm ³)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K, W/m·K)
Single Microwave	1:1:1	0.8006	0.083
	1:1:1.5	0.7575	0.081
	2:1:1.5	0.8213	0.089
	2:1:2	0.7905	0.100
Microwave + Hot air (T=40°C)	1:1:1	0.9372	0.095
	1:1:1.5	0.7803	0.094
	2:1:1.5	0.7451	0.089
	2:1:2	0.7461	0.095
Microwave + Hot air (T=50°C)	1:1:1	0.7088	0.087
	1:1:1.5	0.7001	0.098
	2:1:1.5	0.7246	0.093
	2:1:2	0.6811	0.092
Microwave + Hot air (T=60°C)	1:1:1	0.7065	0.094
	1:1:1.5	0.7126	0.094
	2:1:1.5	0.7154	0.091
	2:1:2	0.73662	0.092

ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้ง (Specific Energy Consumption in Drying Process)

กรณี	กำลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง	ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้ง (SEC) (MJ/kg)
1	ไมโครเวฟ (4800 W)	0.1220
2	ไมโครเวฟ (2400 W) ลมร้อน 40°C	0.1129
3	ไมโครเวฟ (2400 W) ลมร้อน 50°C	0.0968
4	ไมโครเวฟ (2400 W) ลมร้อน 60°C	0.0930

ภาคผนวก ข ,
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



สมาคมวิศวกรรมปฏิกิริยา
กับวิศวกรรมเครื่องกล



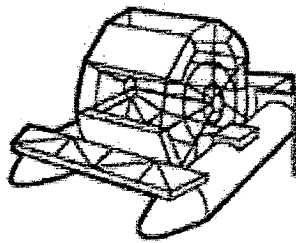
ME-NET 26

The 26 th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 26

หนังสือรวมบทความ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 26 ประจำปี 2558
ณ โรงแรมรอยัลริมน้ำ กรุงเทพมหานคร
ระหว่างวันที่ 14-15 ธันวาคม 2558

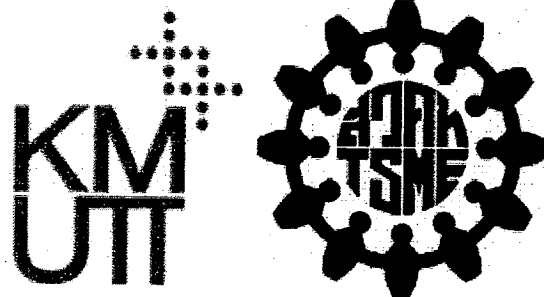


สืบสานพระราชปณิธาน ภาควิชาเพื่อสังคมที่ยั่งยืน IME-NETT26

ปี 26 of Continuation of the Mechanical Engineering Network of Thailand
การประชุมวิชาการทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
24-27 ตุลาคม 2555 ดุสิต ไฮแลนด์ รีสอร์ทฯ จังหวัดเชียงราย

โดย :



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
และสมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย

ISBN 978-974-456-734-5

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รายชื่อคณะกรรมการจัดการประชุม
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26

คณะกรรมการที่ปรึกษา

รศ.ดร.ไพฑูรย์ หังสพฤกษ์	ที่ปรึกษา
ศ.ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์	ที่ปรึกษา
อ.ดร.กฤษณพงศ์ กีรติกร	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ศักรินทร์ ภูมิรัตน	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สุวิทย์ เตีย	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.บัณฑิต พึ่งธรรมสาร	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.บุญเจริญ ศรีเนาวกุล	ที่ปรึกษา
รศ.บันเทิง สุวรรณตระกูล	ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.เสนีย์ ศรีไชย	ที่ปรึกษา
รศ.ดร.วนิดา พวงกุล	ที่ปรึกษา
อ.สุชาติ เพริศพรัง	ที่ปรึกษา

คณะกรรมการอำนวยการ

รศ.ดร.พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์	ประธานกรรมการ
อ.ดร.ยศพงษ์ ลออนวล	รองประธานกรรมการ
ผศ.ดร.สนธิ์พีร์ เอम्मณี	รองประธานกรรมการ
ศ.ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	กรรมการ
ผศ.ดร.สุรัชย์ สนิทใจ	กรรมการ
ผศ.ดร.ชวิน จันทระเสนาวงศ์	กรรมการ
ศ.ดร.สำเริง จักรใจ	กรรมการ
รศ.ดร.สมชาย จันทร์ขำวนา	กรรมการ

อ.ดร.อาภิรัช หกพันนา	กรรมการ
ผศ.ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์	กรรมการและเลขานุการ
คุณเบญจวรรณ ทองขาว	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณวันเพ็ญ ไพศาลสุทธิเดช	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณนุกุล บุญเสน	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณรัตดาวรรณ อัมมานะ	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณศิริรัตน์ คำพรมพะเนา	ผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายจัดเตรียมสถานที่

อ.ดร.ยศพงษ์ ลออนวล	ประธานอนุกรรมการ
ผศ.ดร.สาทิสม์ ทรงชน	อนุกรรมการ
ผศ.ดร.ชวิน จันทระเสนาวงศ์	อนุกรรมการ
อ.ดร.อิทธิกร วงศชนวิริศ	อนุกรรมการ
รศ.สุชัย ศศิวิมลพันธุ์	อนุกรรมการ
รศ.ดร.สุรเชษฐ์ ชูติมา	อนุกรรมการ
คุณเบญจวรรณ ทองขาว	เลขานุการ
คุณสิทธิเดช มโนรัตน์	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณสมชาย อินทร์ใหญ่	ผู้ช่วยเลขานุการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์และสารสนเทศ

ผศ.ดร.ชวิน จันทระเสนาวงศ์	ประธานอนุกรรมการ
ผศ.ดร.ทศนพ กำเนิดทอง	อนุกรรมการ
ผศ.ดร.อรรณพ เรืองวิเศษ	อนุกรรมการ
อ.ดร.อาภิรัช หกพันนา	อนุกรรมการ
คุณศิริรัตน์ คำพรมพะเนา	เลขานุการ

คุณนพพร พูลแพ	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณนุกูล บุญแสน	ผู้ช่วยเลขานุการ
คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ	
ศ.ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	ประธานอนุกรรมการ
ศ.ดร.สำเริง จักรใจ	อนุกรรมการ
รศ.ดร.สมชาย จันทร์ชานนา	อนุกรรมการ AEC
ผศ.ดร.วิฑูร อุทัยแสงสุข	อนุกรรมการ AMM
ผศ.ดร.ธีรนุช จันทโสภิพันธุ์	อนุกรรมการ BME
อ.ดร.อาทิตย์ หกพันนา	อนุกรรมการ CST
ผศ.ดร.สโรช ไทรเมฆ	อนุกรรมการ DRC
รศ.ดร.วันชัย อัสวภูษิตกุล	อนุกรรมการ ETM
อ.ดร.ยศพงษ์ ลออนวล	อนุกรรมการ TSF
ผศ.ดร.อรรณพ เรืองวิเศษ	อนุกรรมการ AME และ เลขานุการ
คุณศิริรัตน์ คำรงพรหมพะเนา	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณสราวุฒิ หมั่นนพคำ	ผู้ช่วยเลขานุการ
คณะกรรมการฝ่ายพิธีการ	
ผศ.ดร.สนธิ์พีร์ เอมมณี	ประธานอนุกรรมการ
ผศ.สมยศ จันเกษม	อนุกรรมการ
ผศ.ดร.ธีรนุช จันทโสภิพันธุ์	อนุกรรมการ
ผศ.ดร.วิฑูร อุทัยแสงสุข	อนุกรรมการ
ผศ.ดร.อนรรฆ ขันธะขวนะ	อนุกรรมการ
คุณเบญจวรรณ ทองขาว	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณวันเพ็ญ ไพศาลสุทธิเดช	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณนุกูล บุญแสน	ผู้ช่วยเลขานุการ

คุณสมบุรณ์ มาลัยเปีย

ผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายหาทุนจากผู้สนับสนุน

ผศ.ดร.สุรัชย์ สนิทใจ	ประธานอนุกรรมการ
รศ.ดร.สุรเชษฐ์ ชุติมา	อนุกรรมการ
รศ.สุชัย ศศิวิมลพันธุ์	อนุกรรมการ
รศ.วีระชัย แก่นทรัพย์	อนุกรรมการ
อ.พัฒนา เนตรสุวรรณ	อนุกรรมการ
รศ.สุรัชย์ บวรเศรษฐนันท์	อนุกรรมการ
ผศ.ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์	อนุกรรมการ
คุณรัตดาวรรณ อัมมานะ	เลขานุการ
คุณนฤต บุญเสน	ผู้ช่วยเลขานุการ
คุณนิสันต์ ดามาพงษ์	ผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายลงทะเบียน และจัดทำเอกสารประกอบการประชุม

ผศ.ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์	ประธานอนุกรรมการ
ผศ.สุเทพ แก้วนัย	อนุกรรมการ
อ.ธรรมรัตน์ กิตติพงษ์พัฒนา	อนุกรรมการ
ผศ.ดร.วิศนุรักษ์ เวชสถล	อนุกรรมการ
อ.ดร.อิทธิกร วงศชนวิศ	อนุกรรมการ
ผศ.ดร.วิฑูร อุทัยแสงสุข	อนุกรรมการ
อ.ดร.อาบทิพย์ ชีรวงศ์กิจ	อนุกรรมการ
อ.ดร.อมรรัตน์ แก้วประดับ	อนุกรรมการ
คุณเบญจวรรณ ทองขาว	เลขานุการ
คุณรัตดาวรรณ อัมมานะ	ผู้ช่วยเลขานุการ

คุณสมคิด พิลาวงศ์

ผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายจัดเลี้ยง

ศ.ดร.สำเริง จักรใจ

ประธานอนุกรรมการ

รศ.ดร.สุรเชษฐ์ ชุติมา

อนุกรรมการ

อ.ดร.อาภิรักษ์ หกพันนา

อนุกรรมการ

ผศ.ดร.อนรรฆ ชันชะชนะ

อนุกรรมการ

ผศ.ดร.ธีรนุช จันทโสภิพันธุ์

อนุกรรมการ

คุณวันเพ็ญ ไพศาลสุทธิเดช

เลขานุการ

คุณรัตดาวรรณ อัมมานะ

ผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายจัดกิจกรรมพิเศษ

อ.ดร.อาภิรักษ์ หกพันนา

ประธานอนุกรรมการ

ผศ.ดร.ชวิน จันทระเสนาวงศ์

อนุกรรมการ

รศ.สุชัย ศศิวิมลพันธุ์

อนุกรรมการ

คุณนฤต บุญเสน

เลขานุการ

คุณสุภาพ หงส์สุตตา

ผู้ช่วยเลขานุการ

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

AEC Alternative Energy and Combustion

ศ.ดร.สำเริง จักรใจ

ผศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง

รศ.ดร.คณิต วัฒนวิเชียร

ผศ.ดร.แคลิยา ปัทมพรหม

รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

รศ.ดร.ฐานิตย์ เมธิยานนท์	ผศ.ดร.ธเนศ อรุณศรีโสภณ
รศ.ดร.บัณฑิต พึ่งธรรมสาร	ผศ.ดร.วิชัย ศิวะ โกศิษฐ
รศ.ดร.บัณฑิต ถิมมีโชคชัย	ผศ.พิชัย ถิละพัฒนะ
รศ.ดร.ศรัทธา อภรณ์รัตน์	ดร.เจตวิทย์ ภัคธัชพันธุ์
รศ.ดร.สมชาย จันทร์ชาวนา	ดร.ณัฐ มากุล
รศ.ดร.สืบศักดิ์ นันทวานิช	ดร.ยศพงษ์ ลออนวล
ผศ.ดร.วสันต์ จอมภักดี	ดร.อิสเรศ รุชกัลยา

AME Aerospace and Marine Engineering

รศ.น.อ.สมชาย หาญกล้า	ผศ.ดร.บุญชัย วัจจะตรากุล
รศ.ดร.สัมพันธ์ ไชยเทพ	ผศ.ดร.อรรณพ เรืองวิเศษ
ผศ.ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ	ผศ.ดร.ชวิน จันทรเสนาวงศ์

AMM Applied Mechanics, Materials and Manufacturing

ศ.กิตติคุณ ดร.วรวิทย์ อึ้งภากรณ์	ผศ.ดร.วิฑูร อุทัยแสงสุข
ศ.ดร.ธนัญชัย ถีกักดีปรีดา	ผศ.ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์
รศ.ดร.ชัยพล ชังชู	ผศ.ดร.อภิวัฒน์ มุตตามระ
รศ.ดร.ชาวสวน กาญจน์มัย	ผศ.ดร.อภิวัฒน์ พลชัย
รศ.ดร.ดุสิต ไซติ ชลสิทธิ์	ผศ.ดร.อริสรา ชัยกิตติรัตน
รศ.ดร.ธงชัย ฟองสมุทร	ผศ.สุจินต์ บุรีรัตน์
รศ.ดร.ธัญญะ เกียรติวัฒน์	ดร.กรรมมณฑ์ ชูประเสริฐ
รศ.ดร.พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์	ดร.กิตติพงษ์ บุญโล่ง
รศ.ดร.ไพโรจน์ สิงหนัดกิจ	ดร.เก่งกมล วิรัตน์เกษม
รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์	ดร.คุณยุต เอี่ยมสอาด
รศ.ดร.วราวุธ วิสุทธิ์เมธางกูร	ดร.จิระชัย มิ่งบรรเจิดสุข

รศ.ดร.วารุณี เปรมมานนท์	ดร.ชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์
รศ.ดร.ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์	ดร.ชัยณรงค์ ศรีกุลวงศ์
รศ.ดร.สมหมาย ปรีเปรม	ดร.ชัยยากร จันทร์สุวรรณ
รศ.ดร.สุรพล ราษฎร์นุ้ย	ดร.ณัฐ มากุล
รศ.ดร.อิทธิชัย ปรีชาวุฒิพงศ์	ดร.ธัญญารัตน์ สิงหนาท
รศ.ไพโรจน์ ศิริรัตน์	ดร.บำรุง พ่วงเกิด
ผศ.ดร.จิรพงศ์ กสิวิทย์อำนาจ	ดร.ประพจน์ ขุนทอง
ผศ.ดร.ชาญยุทธ โกธิตะวงษ์	ดร.เพชร เจียรนัยศิลาวงศ์
ผศ.ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี	ดร.ไพบุลย์ ศรีอรุโณทัย
ผศ.ดร.เดช ดำรงค์ศักดิ์	ดร.มนต์ชัย พฤกษ์วิไลเลิศ
ผศ.ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ	ดร.รุ่ง กิตติพิชัย
ผศ.ดร.ภัทรภาพร กมลเพชร	ดร.วิบูลย์ เลิศวิมลนันท์
ผศ.ดร.วิริยะ ทองเรือง	ดร.เวชยันต์ รางศรี
ผศ.ดร.สุกสิทธิ์ รอดขวัญ	ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์
ผศ.ดร.เศรษฐ์ สัมภักตะกุล	ดร.ศิริวิชญ์ เตชะเจษฎารังษี
ผศ.ดร.สนธิ์พีร์ เอมมณี	ดร.สุวณิช จิตศิริพาณิชย์
ผศ.ดร.สุรัชย์ สนิทใจ	ดร.อลงกรณ์ พิมพ์พัฒน์
ผศ.ดร.อนรรฆ ชันชะชวณะ	ดร.อัญชนา วงษ์โต

BME Biomechanics

ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเคโซ	ผศ.ดร.ธีรนุช จันทโสภิพันธ์
รศ.ดร.วรวิฐ วิสุทธิเมธางกูร	ดร.เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์
รศ.ดร.ศิริกุล วิสุทธิเมธางกูร	ดร.ธีรพจน์ เวศพันธุ์

CST Computation and Simulation Techniques

ศ.ดร.จงจิตร หิรัญลาภ	ผศ.ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล
ศ.ดร.ปราโมทย์ เคชะอำไพ	ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เติไปวา
ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	ผศ.ดร.ธำรงค์ พุทธาพิทักษ์ผล
ศ.ดร.สมชาติ ฉันทศิริวรรณ	ผศ.ดร.นภคณัช อาชวาคม
ศ.ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์	ผศ.ดร.นิพนธ์ วรรณโสภากย์
รศ.ดร.กฤษณี มณีรัตน์	ผศ.ดร.บุญชัย เลิศนุวัฒน์
รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข	ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร
รศ.ดร.ฐิติมา จินตนาวัน	ผศ.ดร.วิรัตน์ จอมขวา
รศ.ดร.ณัฐ กาศยพนันท์	ผศ.ดร.ศุภวุฒิ จันทรานูวัฒน์
รศ.ดร.ธวัชชัย อ่อนจันทร์	ผศ.ดร.สนธิ์พีร์ เอมมณี
รศ.ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์	ผศ.ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์
รศ.ดร.ปรณัฐ วิสุวรรณ	ผศ.ดร.เสนีย์ ศิริไชย
รศ.ดร.พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์	ผศ.ดร.อนุสาล เพิ่มสุวรรณ
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	ผศ.ดร.ทศนพ กำเนิดทอง
รศ.ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล	ผศ.ดร.อริสรา ชัยกิตติรัตน
รศ.ดร.วรวิธ วิสุทธิเมธางกูร	ผศ.ดร.อังคิร (ไพบูลย์) ศรีภักการ
รศ.ดร.วรารักษ์รัตน์ จันทสาโร	ดร.พงศ์แสน พิทักษ์วัชร
รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ	ดร.เพชร เข็มนัยสีลาวงศ์
รศ.ดร.วิโรจน์ ถิ่นตระกูล	ดร.ภาสกร เวสตะโกศล
รศ.ดร.สุรเชษฐ์ ชูติมา	ดร.สุจินต์ สุวรรณะ
รศ.ดร.เอกชัย จันทสาโร	ดร.สุวณิชา จิตศิริพานิช
รศ.น.อ.สมชาย หาญกล้า	ดร.อรรถพร วิเศษสินธุ์
รศ.ร.อ.ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์	ดร.อลงกรณ์ พิมพ์พิณ
ผศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	ดร.อาทิตย์ หกพันนา

ผศ.ดร.จิตติน แดงเที่ยง

DRC Dynamic System, Robotics and Control

ศ.ดร.ธนัญชัย ลีภักดิ์ปรีดา	ผศ.ดร.ธีระพงษ์ ว่องรัตนไพศาล
รศ.ดร.ชิต เหล่าวัฒนา	ผศ.ดร.นภคณัย อาชวาคม
รศ.ดร.ธนุ นุชฉาย	ผศ.ดร.พงศ์แสน พิทักษ์วัชร
รศ.ดร.ภูติส ถักขณะเจริญ	ผศ.ดร.พฤทธิกร สมิตไมตรี
รศ.ดร.มนูกิจ พานิชกุล	ผศ.ดร.วิทยา วัฒนสุโกประสิทธิ์
รศ.ดร.ระคม พงษ์วุฒิชรรม	ผศ.ดร.วิฑิต ฉัตรรัตนกุลชัย
รศ.ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ	ผศ.ดร.ศุภวุฒิ จันทรานูวัฒน์
รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ	ผศ.ดร.สาทิศส์ ทรงชน
รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ	ผศ.ดร.สโรช ไตรเมฆ
รศ.ดร.สุวัฒน์ กุลธนปรีดา	ดร.นภสิทธิ์ นุ่มวงษ์
รศ.ปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล	ดร.นัยสันต์ อภิวัฒนลังการ
รศ.ร.อ.ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์	ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ
ผศ.ดร.จักร จันทลักษณ์	ดร.ภิญโญ พวงมะลิ
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา	ดร.มานะ แซ่ด่าน
ผศ.ดร.ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์	ดร.สวัสด์ เหลืองเรืองฤทธิ์
ผศ.ดร.ธีระ เกียรติพงษ์กุล	ดร.สัปปินันท์ เอกอำพน

ETM Energy Technology and Management

ศ.ดร.ทนต์เกียรติ เกียรติศิริโรจน์	รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ
ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดกุล	รศ.ดร.อสี บุญยจิตราคุลย์
ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	ผศ.ดร.เกรียงไกร อัสวมาศบันลือ
ศ.ดร.สมชาติ นันทศิริวรรณ	ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

รศ.ดร.ชูเกียรติ อุปตานนท์	ผศ.ดร.รัชวาลย์ ชัยชนะ
รศ.ดร.ชนาคม ฐานทรชัยนาคแสง	ผศ.ดร.ชาณณรงค์ อัสวเทศานุภาพ
รศ.ดร.ธวัชชัย อ่อนจันทร์	ผศ.ดร.ศุภย์ มณีวัฒนา
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	ผศ.ดร.นุภาพ เข้มไทรพัฒน์
รศ.ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล	ผศ.ดร.มาลี สันติคุณากรณ์
รศ.ดร.วิทยา ขงเจริญ	ผศ.ดร.วาทิต ภัคดี
รศ.ดร.วันชัย อัสวภูษิตกุล	ผศ.ดร.วิศนุรักษ์ เวชสถล
รศ.ดร.ศรัทธา อารณรัตน์	ผศ.ดร.สมชาย มณีวรรณ
รศ.ดร.ศุภชาติ จงไพบูลย์พัฒนะ	ผศ.ดร.อุดมเกียรติ นนทแก้ว
รศ.ดร.สมโรจน์ โกมลวนิช	ดร.เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์
รศ.ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด	ดร.ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์
รศ.ดร.ศักดิ์มน เทพหัสดิน ณ อยุธยา	ดร.อมรรัตน์ แก้วประดับ
รศ.ดร.สืบศักดิ์ นันทวานิช	

TSF Thermal Systems and Fluid Mechanics

ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	รศ.ดร.ศรัทธา อารณรัตน์
ศ.ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	รศ.ดร.สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ
ศ.ดร.สมศักดิ์ ไชยะภินันท์	รศ.ดร.สมนึก ชีระกุลพิสุทธิ์
รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว	รศ.ดร.สมบัติ ทิมทรัพย์
รศ.ดร.จำลอง ถิ่นตระกูล	รศ.ดร.สมรัฐ เกิดสุวรรณ
รศ.ดร.ชวลิต กิตติชัยการ	รศ.ดร.ศักดิ์มน เทพหัสดิน ณ อยุธยา
รศ.ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ	รศ.ดร.สันติ ลักขิตานนท์
รศ.ดร.ชัยศิลป์ ชินพรเจริญพงศ์	รศ.ดร.สินชัย ชินวรรณ
รศ.ดร.ชินรักษ์ เขียวพงษ์	รศ.ดร.สืบศักดิ์ นันทวานิช
รศ.ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์	รศ.ดร.สุรัชย์ รดาการ

รศ.ดร.บัณฑิต ถิมมีโชคชัย

รศ.ดร.ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

รศ.ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล

รศ.ดร.ไพศาล นาผล

รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

รศ.ดร.มนตรี ชำรงพิรุณ

รศ.ดร.มานิจ ทองประเสริฐ

รศ.ดร.วันชัย อัสวภูษิตกุล

รศ.ดร.อนุสรณ์ ชินสุวรรณ

รศ.ดร.อติ บุญยจิตราดุลย์

รศ.ดร.อิสสระีย์ หารราชบุญโรจน์

รศ.ฤชากร จิรกาลวสาน

รศ.วีระ จันทร์วัฒนะ

รศ.สำรวจ อินแบน

ดร.ยศพงษ์ ลออนวล

ดร.อิทธิกร วงศธนวิศ

ETM2017	การทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองเอมพิริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	176
ETM2018	ระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์และความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องปรับอากาศสำหรับโรงพยาบาล	177
ETM2019	การศึกษาการประหยัดพลังงานในการนึ่งก๋วยเตี๋ยวระดับอุตสาหกรรม	178
ETM2026	การวิเคราะห์พลังงานในกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง	179
ETM2027	การศึกษาเปรียบเทียบระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้ระบบโซลาร์เซลล์และระบบโซลาร์คอลเลคเตอร์	180
ETM2028	การศึกษาการอบแห้งซีลเยื่อผ่านโซโคไลนโดยใช้ไอเสียจากหม้อไอน้ำ	181
ETM2031	การเพิ่มสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องผลิตน้ำแข็งหลอดโดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	182
ETM2034	การศึกษาอิทธิพลการระบายความร้อน อุณหภูมิ ความดันของอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศ ในกระบวนการเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับความชื้น	183
ETM2036	ผลกระทบของการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับหน้าต่างกระจกต่อความสบายเชิงความร้อน	184
ETM2038	การคำนวณค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล : กรณีศึกษาสำหรับประเทศไทย	185
ETM2039	ต้นแบบโรงเรือนอบแห้งเส้นยาสูบพลังงานแสงอาทิตย์	186
ETM2051	การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ระบบปรับอากาศแบบดูดซึมในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี	187
ETM2052	การศึกษาเชิงทดลอง การอบแห้งเมล็ดกาแฟในเครื่องอบแห้งแบบหมุน	188
ETM2053	การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งปุ๋ยแบบหมุนโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งความร้อนในฟาร์มสุกร	189
ETM2054	การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานของคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศในช่วงเริ่มต้นการทำงานที่ใช้เวลาต่างกัน	190
ETM2056	การศึกษาการออกแบบส่วนอุ่นแห้งเล็กด้วยไอเสียก่อนนำเข้าสู่เตาเผาเหล็ก	191
ETM2058	การประมาณค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2548 - 2553	193
ETM2060	การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟ ลมร้อน และเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	194
ETM2063	การออกแบบและสร้างเตาอบรมควันย่างพาราประหยัดพลังงาน	195
ETM2066	ผลของความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ต่ออุณหภูมิจากหับลมในประเทศไทย	196
ETM2069	ผลของความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ต่ออุณหภูมิจากหับลมในประเทศไทย	197
ETM2071	อุปกรณ์กำเนิดกระแสไฟฟ้าจากการไหลของกระแสน้ำทะเล	198
ETM2072	อุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นผิวน้ำ	199
ETM2073	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในวัฏจักรชีวิตของการปลูกทุเรียนเชิงการค้าในอำเภอพบพระ จังหวัดตาก	200
ETM2075	การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนสำหรับอบแห้งกากมันสำปะหลัง	202
ETM2076	สมดุลพลังงานในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัสสำหรับเครื่องกำเนิดไอน้ำ	203
ETM2077	การลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเหล็กกล้าโดยการปิดฝาเบ้ารับน้ำเหล็กในระหว่างรอการเทน้ำเหล็ก	204

TSF: Thermal Systems and Fluid Mechanics

TSF2001	การศึกษาลักษณะของสแตกที่มีผลต่อการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอะคูสติก	205
TSF2002	การคำนวณและการวิเคราะห์การระบายความร้อนแบบผสมสำหรับการใช้งานในประเทศไทย	206
TSF2003	คุณลักษณะทางสมรรถนะของแผ่นทำความเย็นแบบระเหยต้นแบบใยมะพร้าว	207



การวิเคราะห์พลังงานในกระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วย
ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง
Analysis of Energy Consumption in Microwave and Hot-Air Drying Process of
Particleboards from Montong durian peel Using a Continuous Belt System

วันชนะ อึ้งย้ง¹, สโรชา เจริญวัย^{1*}, สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย² และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

*ติดต่อ (Corresponding Author): E-mail sarochakulk@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-2549-3430-9 เบอร์โทรสาร 0-2549-3432

² หน่วยงานเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: E-mail ratphadu@engr.tu.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-2564-3001-9 เบอร์โทรสาร 0-2564-3001-9

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยทำการทดลองในกระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง โดยโครงสร้างระบบประกอบด้วยแมกนีตรอนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 (GHz) ขนาด 800 วัตต์ จำนวน 12 ตัว ติดตั้งในตำแหน่งสมดุลภายในอุโมงค์ของระบบไมโครเวฟซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัด 90 ซม. X 45 ซม. X 270 ซม. และเครื่องกำเนิดลมร้อน ที่มีอุณหภูมิการทำงานสูงสุด 240 องศาเซลเซียส วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือ แผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ขนาด 20 X 20 เซนติเมตร จากการทดลองพบว่า การให้ความร้อนในช่วงแรกควรใช้ลมร้อนก่อน เพราะวิธีดังกล่าวของกระบวนการอบแห้งจะให้ความร้อนได้ดีที่สุด หลังจากนั้นเมื่อความชื้นที่บริเวณผิวลดลงจึงให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากที่ผิวสามารถทำให้การดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีและการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดความร้อนจากภายในแผ่นขึ้นไม้อัดจึงสามารถขับเคลื่อนความชื้นมาสู่ผิวหน้าได้รวดเร็ว จากการสังเกตภาพถ่ายความร้อนของแผ่นขึ้นไม้อัด ดังนั้นการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกระบวนการอบแห้งทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับใช้พลังงานไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว

คำหลัก: พลังงาน, การอบแห้ง, ไมโครเวฟ, แผ่นขึ้นไม้อัด

Abstract

The paper presents the energy analysis in drying process of particleboards from Montong durian peel using microwave energy and hot-air in a continuous belt system, consists of twelve 800 watts 2.45 GHz coupled into the cavity wall inside the system. A rectangular microwave cavity of dimensions 45 cm X 90 cm X 270 cm combined with hot-air generator having the maximum operating temperature at 240 °C was chosen. Particleboards from Montong peel with dimension of 20 cm x 20 cm were manufactured. The test results and thermal photograph show that using hot-air drying in the first stage, the surface of samples should be greatly dried out. As the result of hot-air drying, this was dedicated to moisture removal of the surface of samples. Afterward, the samples were heated by microwave drying that caused the heat was generated inside the samples, thus transporting rapidly of moisture to the surface of samples. Therefore it would seem that the combination of microwave and hot-air drying process provides more efficiency compared with a single microwave drying.

Keywords: Energy, Drying, Microwave, Particleboards



1. บทนำ

การใช้วัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติ เป็นแนวทางหนึ่งเพื่อช่วยลดปัญหาที่ทรัพยากรป่าไม้มีจำนวนลดลง ในขณะที่ความต้องการใช้ไม้ยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตร เช่น ผลไม้ มีแนวโน้มสูงขึ้นในแต่ละปี ส่งผลทำให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีจำนวนมากขึ้นเป็นเงาตามตัว จึงเกิดแนวความคิดการนำวัสดุเหลือใช้จำพวกเปลือกผลไม้ เช่น เปลือกทุเรียนหมอนทอง เนื่องจากเปลือกทุเรียนหมอนทองมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำเท่ากับ 0.0921 W/m.K เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุฉนวนในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดเพื่อเป็นวัสดุภายในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ลดความร้อนภายในอาคารเนื่องจากพลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญดังนั้นการอนุรักษ์และประหยัดพลังงานจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมนี้มีหลายกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง ซึ่งวิธีการที่ใช้อยู่กันทั่วไปส่วนใหญ่เป็นการให้ความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งมีการป้อนความร้อนที่ผิวหน้าชิ้นงาน บางครั้งอาจเกิดปัญหากับชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมาก เนื่องจากชิ้นงานจะได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงหรือสม่ำเสมอ นอกจากนี้กระบวนการผลิตใช้เวลานาน อีกทั้งยังทำให้สมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติเชิงคุณภาพเปลี่ยนไป จึงเป็นที่มาของการแสวงหาวิธีใหม่ในการขจัดปัญหาที่เกิดขึ้น การประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟมาเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงและยังเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของแผ่นขึ้นไม้อัด เนื่องจากพลังงานไมโครเวฟมีข้อได้เปรียบหลายประการ กล่าวคือ มีประสิทธิภาพทางความร้อนและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สูง เพราะเป็นการให้ความร้อนเชิงปริมาตร ใช้ระยะเวลาสั้น พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานสะอาดไม่มีเขม่าไอเสีย เป็นต้น

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่คลื่นไมโครเวฟระหว่าง 0.3 ถึง 300 GHz หรือในช่วงความยาวคลื่น 1 mm. ถึง 1 m. มาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนเพื่อแปรรูปวัสดุต่างๆ ในอุตสาหกรรม งานวิจัยในระดับนานาชาติที่ผ่านมา[1-6] เกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนและอบแห้งวัสดุในประเภทต่างๆ ที่ใช้พลังงานไมโครเวฟ ได้แก่ Rattanadecho et al. [1] ได้ทำการศึกษาทางกลศาสตร์กระบวนการอบแห้งวัสดุไดอิเล็กตริกโดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง วัสดุไดอิเล็กตริกที่ใช้

ในการศึกษา คือ ยางพารา และเซรามิกส์ J. Varith et al. [2] ได้ทำการอบแห้งลำไยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นและการเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) ที่ระดับอุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C กำลังไมโครเวฟ 100, 180, 300 และ 450 W Jindarat et al. [6] ได้ศึกษาการอบแห้งวัสดุพืชนหลายชนิดโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (Specific Energy Consumption)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ กำลังงานไมโครเวฟที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (2400 W) อุณหภูมิลมร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (40 50 และ 60 °C) เพื่อหาสภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสม เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการอบแห้งต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมการความรู้พื้นฐานของการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเมื่อทะลุผ่านวัสดุไดอิเล็กตริกจะถูกดูดซับและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เรียกว่าค่ากำลังการดูดซับคลื่นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Density of Microwave Power Absorbed, Q) ซึ่งสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายในวัสดุไดอิเล็กตริก อย่างไรก็ตามวัสดุไดอิเล็กตริกไม่มีผลต่อสภาพเชิงขั้วแม่เหล็กเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงไม่มีสนามแม่เหล็กสูญเสียในระหว่างการแผ่รังสีไมโครเวฟ แต่วัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสของสนามไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นค่าเฉลี่ยรากที่สองของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกใช้ในการประมาณค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับโดยวัสดุไดอิเล็กตริก เมื่อสมมติให้มีการสูญเสียสนามแม่เหล็ก ค่าของการกำเนิดปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

เมื่อ E คือ สนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ ϵ_r คือ relative



dielectric constant ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัตถุใดๆที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับ ส่งผ่านและสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ โดย ϵ_0 คือ Dielectric Constant ของอากาศ และ $\tan \delta$ คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient ซึ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับพลังงานความร้อน ค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับค่าความถี่ของสนามไฟฟ้า $\tan \delta$ และค่ากำลังสองของสนามไฟฟ้า แต่ถ้าค่า $\tan \delta$ ของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่ามากจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นมีมากไปด้วย แต่ถ้าค่า $\tan \delta$ มีค่าน้อยคลื่นไมโครเวฟจะทะลุผ่านแผ่นขึ้นไม้อัดโดยไม่เกิดความร้อนขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจจะขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น เช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ค่าความชื้น (Moisture content) ลักษณะของแผ่นขึ้นไม้อัดและขนาดของแผ่นขึ้นไม้อัด ค่าความลึกในการทะลุทะลวงหรือระยะทางที่สนามไฟฟ้าเข้าไปได้สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$D_p = \frac{1}{\frac{2\pi}{v} \left[\epsilon_r' \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \right)^2} - 1 \right) \right]} = \frac{1}{\frac{2\pi}{v} \left[\epsilon_r' \left(\sqrt{1 + (\tan \delta)^2} - 1 \right) \right]} \quad (2)$$

เมื่อ v = ความเร็วแสง (3×10^8 m/s) f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ϵ_r' คือ relative dielectric constant $\tan \delta$ คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient

จะเห็นว่าค่า Dielectric Constant และ Loss Tangent Coefficient เปลี่ยนค่าในการทะลุทะลวงและสนามไฟฟ้าภายในวัสดุไดอิเล็กตริกก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย

2.2 การสมดุล มวล พลังงานในระบบการอบแห้ง

จากกฎการอนุรักษ์มวลของปริมาณควบคุมตามรูปที่ 1 ทำการสมดุลมวลเมื่อ $\dot{m}_{g1}$ ที่จุด 1 และ $\dot{m}_{g2}$ ที่จุด 2 เป็นอัตราการไหลเข้าและออก $\dot{m}_u$ เป็นมวลของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัด X_1 และ X_2 เป็นอัตราส่วนความชื้นของอากาศเข้าและออกจะได้สมการสมดุลมวลของกระบวนการอบแห้งดังนี้

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \dot{m}_{g1} - \dot{m}_{g2} \quad (3)$$

$$W_d \frac{dM_p}{dt} = \dot{m}_a (X_1 - X_2) \quad (4)$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (X_2 - X_1) \quad (5)$$

เมื่อ $\dot{m}_u$ เป็นมวลของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัด (kg) $\dot{m}_a$ เป็นอัตราการไหลของอากาศแห้ง (kg/s) X_1 อัตราส่วนความชื้นในอากาศ (kg water/kg dry air) $\dot{m}_w$ อัตราการไหลของน้ำออกจากวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัด (kg water/s)

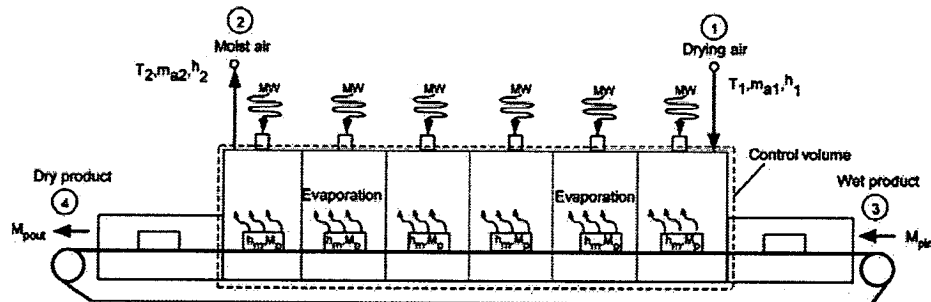
สำหรับการวิเคราะห์การสมดุลพลังงานตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ หรือกฎการอนุรักษ์พลังงานของระบบควบคุม เกิดการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากมีการพาความร้อนและความร้อนที่เกิดขึ้นในโมเลกุลของน้ำภายในวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัด ทำให้เกิดการระเหยของน้ำหรือความชื้นภายในวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดและความร้อนส่วนหนึ่งสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม สมการสมดุลพลังงานเขียนได้ดังนี้

$$\sum \dot{E}_{in} - \sum \dot{E}_{out} + E_{st} = \Delta E_{system} \quad (6)$$

ในวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดเมื่อมีการพาความร้อนและพลังงานไมโครเวฟจะเกิดความร้อนสะสมขึ้นในวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัด อัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการระเหยของน้ำและอัตราการถ่ายเทความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม โดยความสัมพันธ์สามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$\frac{W_d(h_{m2} - h_{m1})}{\Delta t} = \dot{Q}_{evap} + \dot{m}_a(h_1 - h_2) + \dot{Q}_{mw} - \dot{Q}_{loss} \quad (7)$$

เมื่อ $\dot{m}_u$ เป็นมวลของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัด (kg) เป็นเอนทาลปีของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัด (kJ/kg) เป็นเวลา (s) $\dot{Q}_{evap}$ เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากการระเหยของน้ำ (kJ/s) $\dot{m}_a$ เป็นอัตราการไหลของอากาศแห้ง (kg/s) h เป็นเอนทาลปีของอากาศแห้ง (kJ/kg) $\dot{Q}_{mw}$ เป็นพลังงานไมโครเวฟ (kW) $\dot{Q}_{loss}$ เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม (kJ/s)



รูปที่ 1 กระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง [1]

2.3 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้ง (Specific Energy Consumption in Drying Process)

การวิเคราะห์การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเป็นการประเมินจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง พิจารณาจากการป้อนพลังงาน ในการอบแห้งที่อุณหภูมิลมป้อน 40 °C, 50 °C และ 60 °C ความเร็วลม 0.5 m/s กำลังไมโครเวฟ (เปิดแมกนีตรอน 3 ตัว) 2400 W การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) หาได้จากสมการที่ 3

$$SEC = \frac{\text{Total electrical power supplied in drying}}{\text{Amount of water removed during drying}} \left[\frac{kW-hr}{kg} \right] \quad (8)$$

$$SEC = \frac{P_{total}}{\text{Amount of water removed during drying}} \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (9)$$

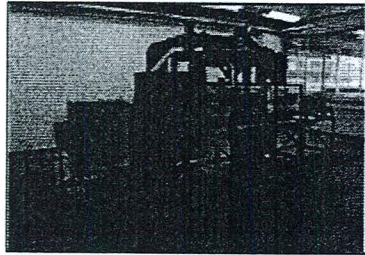
เมื่อ P_{total} คือพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง สามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$P_{total} = P_{mg} + P_{heater} + P_{exfan} + P_{cofan} + P_{con} \quad [kW \times 3600s] \quad (10)$$

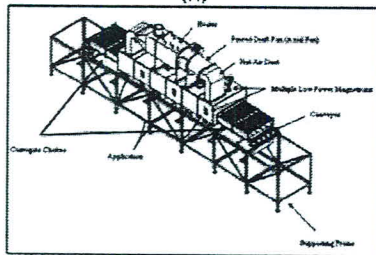
เมื่อ P_{mg} เป็นพลังงานไฟฟ้าจำหน่ายใน magnetron, P_{heater} เป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องทำความร้อน, P_{exfan} เป็นพลังงานไฟฟ้าพัดลมดูดอากาศ, P_{cofan} เป็นพลังงานไฟฟ้าพัดลมเป่าลม, P_{con} เป็นพลังงานไฟฟ้าพัดลมระบายความร้อน และ P_{con} เป็นพลังงานไฟฟ้าระบบสายพานลำเลียง

3.ระเบียบวิธีการทดลอง

แผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ใช้ในการทดลอง มีส่วนประกอบคือ เส้นใย, ผง และน้ำ แบ่งส่วนผลออกเป็น 4 สูตร คือ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ ขนาด 20x20 เซนติเมตร และอบแห้งโดยใช้ระบบไมโครเวฟซึ่งเป็นระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่องที่ทางหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรมพัฒนาขึ้น โดยอาศัยหลักการเบื้องต้นคือ วัสดุที่นำผ่านกระบวนการจะถูกลำเลียงโดยสายพานผ่านเข้าไปในอุโมงค์ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม (rectangular cavity) ซึ่งภายในระบบจะติดตั้งแมกนีตรอน คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ให้อำนาจ 12 ตัว (กำลัง 800 วัตต์/ตัว) และเครื่องกำเนิดลมร้อน อุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้โดยประมาณ 240 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับสมบัติวัสดุ) วัสดุอุณหภูมิร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล โดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง คลื่นไมโครเวฟถูกยิงจากแมกนีตรอน ซึ่งติดตั้งอยู่รอบๆ บริเวณทำความร้อนสามารถทำได้โดยลำเลียงวัสดุใส่สายพานที่บริเวณปากทางเข้าระบบ จากนั้นสายพานจะลำเลียงวัสดุเข้าไปยังบริเวณทำความร้อน การปรับแต่งกำลังสามารถทำได้โดยการเปิดและปิดแมกนีตรอนตามตำแหน่งต้องการ บริเวณปากทางเข้าและออกระบบไมโครเวฟมีระบบการดักคลื่นไมโครเวฟที่อาจรั่วไหลออกมาเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานซึ่งค่าการรั่วไหลมีมาตรฐานอยู่ไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร สำหรับการวัดอุณหภูมิวัสดุทดสอบสามารถวัดได้ที่ตำแหน่งปากทางเข้าและออกเตาไมโครเวฟโดยใช้อินฟราเรดเทอร์มิเตอร์ (ความแม่นยำในช่วง ± 0.5 องศาเซลเซียส)



(ก)



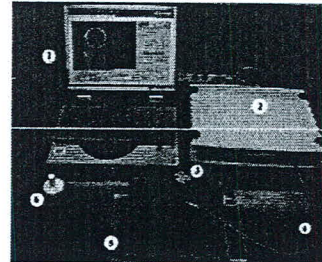
(ข)

รูปที่ 2 (ก) เครื่องไมโครเวฟแบบระบบสายพานลำเลียง
ต่อเนื่อง (ข) ไดอะแกรมรายละเอียดเครื่องมือทดลอง [1]

การวิเคราะห์การทำความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริกโดยการวัดค่าไดอิเล็กตริกด้วยเครื่องเน็ตเวิร์คแอนาไลเซอร์ (Network Analyzer) ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเปรียบเทียบในการวิเคราะห์เชิงลึกเป็นข้อมูลป้อนเข้าสำหรับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีด้วยสมบัติไดอิเล็กตริกในวัสดุเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการไมโครเวฟเพราะสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นสมบัติที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานไมโครเวฟ ตัวเครื่องมือมีองค์ประกอบที่จำเป็นต่อการวัดอย่างสมบูรณ์แบบ เช่น การรักษาสัญญาณไมโครเวฟ การคำนวณสัญญาณ การเก็บข้อมูลจากการคำนวณ และการนำผลดังกล่าวมาแสดงเป็นกราฟ ควบคุมการทำงานด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นภายในวัสดุที่ถูกทดสอบ จากนั้นจะตรวจจับความถี่การสั่นพ้องของคลื่นภายในโพรง (cavity) รวมไปถึงปัจจัยคุณภาพ (quality factor) และนำข้อมูลที่ได้นำกลับเป็นค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ถูกทดสอบ

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

การวัดค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก นำวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ทำการวัด 5 จุดต่อหนึ่งชิ้นงาน ใช้เครื่องเน็ตเวิร์คแอนาไลเซอร์ (Network Analyzer) บันทึกค่าที่ได้แล้วนำมาหาค่า $\tan \delta$



1. Software
2. Microwave Reflect meter
3. Coaxial Cavity
4. Coaxial Cable
5. Sample
6. Female Calibration Standards

รูปที่ 3 เครื่องเน็ตเวิร์คแอนาไลเซอร์ [1]

การอบแห้งนำแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองทำการวัดความชื้นเริ่มต้นก่อนการทดลอง ทำการทดลองแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้

กรณี 1 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 วัตต์/ตัว) 2400 W อุณหภูมิร้อนที่ 40 °C แผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ใช้ในการทดลอง มีส่วนประกอบคือ เส้นใย, ผง และน้ำ แบ่งส่วนผสมออกเป็น 4 สูตร คือ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ ขนาด 20x20 cm.

กรณี 2 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 วัตต์/ตัว) 2400 W อุณหภูมิร้อนที่ 50 °C แผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ใช้ในการทดลอง มีส่วนประกอบคือ เส้นใย, ผง และน้ำ แบ่งส่วนผสมออกเป็น 4 สูตร คือ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ ขนาด 20x20 cm.

กรณี 3 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 วัตต์/ตัว) 2400 W อุณหภูมิร้อนที่ 60 °C แผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ใช้ในการทดลอง มีส่วนประกอบคือ เส้นใย, ผง และน้ำ แบ่งส่วนผสมออกเป็น 4 สูตร คือ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ ขนาด 20x20 cm.

4.ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ที่วัดโดยใช้เครื่องเน็ตเวิร์คแอนาไลเซอร์ (Network Analyzer) แสดงดังในตารางที่ 1

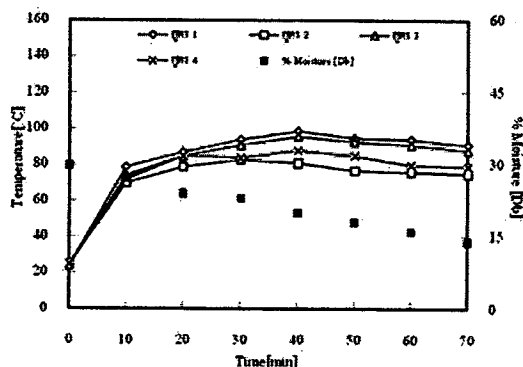
จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา โดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิร้อน 40 °C พบว่าช่วงแรกอุณหภูมิแผ่นขึ้นไม้อัดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นและค่า Loss Tangent Coefficient ($\tan \delta$) สูง ทำให้แผ่นขึ้นไม้อัด



อัตราดูดซับพลังงานได้มาก ทำให้ความร้อนภายในแผ่นขึ้นไม้อัด (O) สูงตามไปด้วย (ดังในสมการที่ 1) ในช่วงเวลาต่อมา อุณหภูมิของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่าค่อยๆ ลดต่ำลง เพราะความร้อนภายในวัสดุได้เคลื่อนตัวออกไป เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งภายในแผ่นขึ้นไม้อัดจะมีเฟสของของเหลวอยู่อย่างต่อเนื่อง ทำให้อิทธิพลของความดันพิวลารี (Capillary Pressure) ที่ขับเคลื่อนของเหลวไปยังผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่าสูงแต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความชื้นลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของ

ตารางที่ 1 ค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง

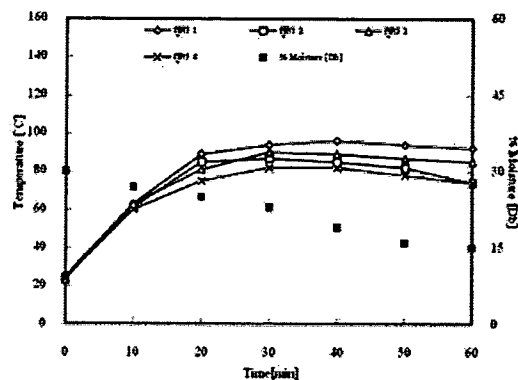
ชุดที่	แผ่นขึ้นไม้อัด	ค่า Dielectric constant (ϵ_r')	ค่า Dielectric loss factor (ϵ_r'')	ค่า Loss tangent coefficient ($\tan\delta$)
1	1:1:1	2.18862	0.345547	0.157533942
	1:1:1.5	2.14632	0.379913	0.176934528
	2:1:1.5	2.25451	0.446069	0.197688973
	2:1:2	2.31650	0.443787	0.191471577
2	1:1:1	2.37493	0.525012	0.220931119
	1:1:1.5	2.39608	0.539043	0.224797550
	2:1:1.5	2.23818	0.455578	0.203464611
	2:1:2	1.88531	0.306049	0.162227395
3	1:1:1	2.59829	0.610489	0.234860799
	1:1:1.5	2.18999	0.419730	0.191616784
	2:1:1.5	2.72758	0.677368	0.255083833
	2:1:2	2.23574	0.422795	0.189115917



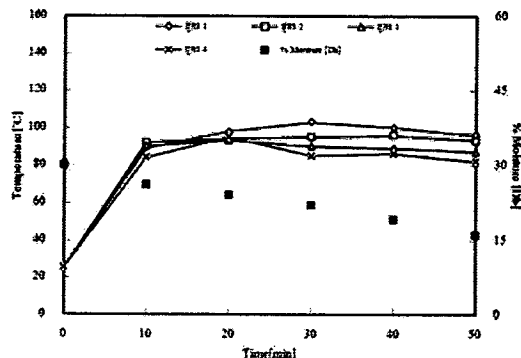
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา โดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 40 °C

ความชื้น (ซึ่งเป็นไอส่วนใหญ่) ออกสู่ผิวหน้านั้นเป็นอิทธิพลของการแพร่ของไอ (Vapor Diffusion) และ

ความดันก๊าซ (Gas Pressure) เป็นหลัก ประกอบกับอิทธิพลของการพาความร้อนบริเวณผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดจึงทำให้การเคลื่อนย้ายความชื้นที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดสูง และเมื่อพิจารณาภาพถ่ายความร้อนของแผ่นขึ้นไม้อัด พบว่าภายในบริเวณกึ่งกลางจะมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านนอกอันเนื่องมาจากอิทธิพลการกระจายของความชื้นภายในแผ่นขึ้นไม้อัด



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา โดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 50 °C



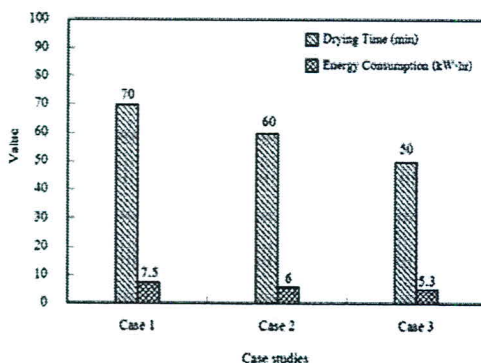
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา โดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 60 °C

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา โดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 50 °C พบว่าช่วงแรก แผ่นขึ้นไม้อัดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดมีการดูดซับพลังงานไมโครเวฟอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้น และเมื่อมีการดูดซับพลังงานลดลง ค่าอุณหภูมิจึงมีค่าลดลงตามไปด้วย เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 40 °C พบว่าเมื่อใช้



อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น จะช่วยให้ความชื้นสามารถเคลื่อนตัวออกจากผิวแผ่นชิ้นไม้อัดได้เร็วขึ้น

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา โดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 60 °C พบว่าช่วงแรก แผ่นชิ้นไม้อัดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากแผ่นชิ้นไม้อัดมีการดูดซับพลังงานไมโครเวฟอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้น เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น แผ่นชิ้นไม้อัดมีการดูดซับกำลังไมโครเวฟลดลง แต่ความร้อนสะสมในชิ้นไม้ยังมีความสูง ทำให้อุณหภูมิแผ่นชิ้นไม้อัดมีค่าสูงอยู่ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 40 °C และ 50 °C พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น จะช่วยให้ความชื้นสามารถเคลื่อนตัวออกจากผิวแผ่นชิ้นไม้อัดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด และให้อัตราการอบแห้งสูงที่สุดด้วย

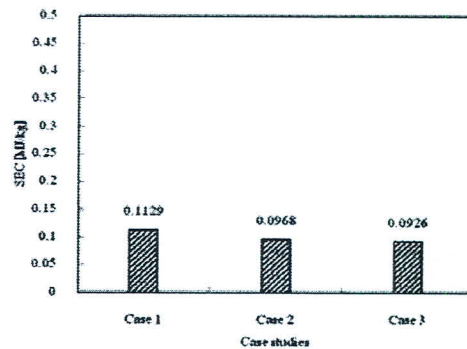


รูปที่ 7 การใช้กำลังพลังงานไฟฟ้าและเวลาในการอบแห้ง

จากรูปที่ 7 การใช้พลังงานกำลังไฟฟ้าในกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง กรณี 1 ใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 40 °C ใช้พลังงานไฟฟ้า 7.5 kW-hr กรณี 2 ใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 50 °C ใช้พลังงานไฟฟ้า 6 kW-hr กรณี 3 ใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 60 °C ใช้พลังงานไฟฟ้า 5.3 kW-hr โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 60 °C การใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 40 °C และ 50 °C ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนช่วยเพิ่มความสามารถในการระเหยของน้ำในแผ่นชิ้นไม้อัดให้มากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงด้วย

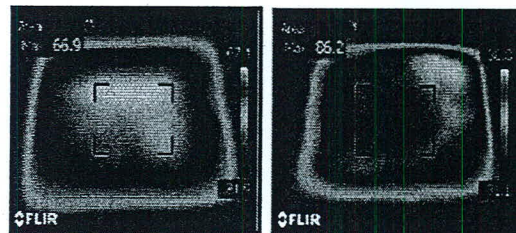
จากรูปที่ 8 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการทดลองอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดด้วยไมโครเวฟ

ร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง ใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W ที่อุณหภูมิ 40 °C, 50 °C และ



รูปที่ 8 แสดงการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้ง (Specific Energy Consumption in Drying Process)

60 °C พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.1129, 0.0968 และ 0.0926 MJ/kg ตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 °C ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีต่ำสุดเท่ากับ 0.0926 MJ/kg ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งมีผลโดยตรงต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน เมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง ความสิ้นเปลืองพลังงานก็จะลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 9 ภาพถ่ายความร้อนแผ่นชิ้นไม้อัด

จากรูปที่ 9 ภาพถ่ายความร้อนแผ่นชิ้นไม้อัด เมื่อพิจารณาภาพถ่ายความร้อนแผ่นชิ้นไม้อัด บริเวณภายในแผ่นชิ้นไม้อัดมีอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิบริเวณภายนอก เนื่องจากบริเวณภายในแผ่นชิ้นไม้อัดมีความชื้นและค่า Loss Tangent Coefficient ($\tan \delta$) สูง ทำให้แผ่นชิ้นไม้อัดดูดซับพลังงานได้มาก ทำให้ความร้อนภายในแผ่นชิ้นไม้อัดสูงตามไปด้วย การให้การความร้อนในช่วงแรกด้วยลมร้อนวิธีดังกล่าวจะให้ความร้อนได้ดีที่ผิว หลังจากนั้นเมื่อความชื้นที่บริเวณผิวลดลง มวลของความชื้นเคลื่อนที่เข้าไปรวมที่จุดกึ่งกลางวัสดุ จึงทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟในช่วงนี้จะทำให้เกิดความร้อนและแรงดันไอน้ำภายในช่วยไล่ความชื้นให้เคลื่อนตัวได้สะดวกขึ้น



จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองโดยใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกรณีต่างๆ จะเห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนจะช่วยให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงการควบคุมอุณหภูมิภายในแผ่นขึ้นไม้อัดอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันแผ่นขึ้นไม้อัดเสียหาย

ตารางที่ 2 ผลการทดลองโดยใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกรณีต่างๆ

กำลังไมโครเวฟ (W)	อุณหภูมิลมร้อน	สูตร	น้ำหนักก่อนอบแห้ง (g)	น้ำหนักหลังอบแห้ง (g)	อัตราการอบแห้ง (Drying rate)
2400	40	1:1:1	366	322	0.63
		1:1:1.5	361	311	0.71
		2:1:1.5	371	315	0.80
		2:1:2	369	313	0.80
	50	1:1:1	375	312	0.90
		1:1:1.5	375	311	0.91
		2:1:1.5	354	308	0.66
		2:1:2	357	307	0.71
	60	1:1:1	387	325	0.89
		1:1:1.5	357	304	0.76
		2:1:1.5	383	315	0.97
		2:1:2	358	302	0.80

5.สรุปผลการทดลอง

การอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง พบว่าการให้ความร้อนในช่วงแรกควรใช้ลมร้อนก่อนเพราะวิธีดังกล่าวของกระบวนการอบแห้งจะให้ความร้อนได้ดีที่สุด หลังจากนั้นเมื่อความชื้นที่บริเวณผิวลดลงจึงให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากที่ผิวสามารถทำให้การดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีและการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดความร้อนจากภายในแผ่นขึ้นไม้อัดจึงสามารถขับเคลื่อนความชื้นมาสู่ผิวหน้าได้รวดเร็ว จากการสังเกตภาพถ่ายความร้อนของแผ่นขึ้นไม้อัด ดังนั้นการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกระบวนการอบแห้งทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับใช้พลังงานไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว

6.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณงบประมาณแผ่นดินจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสำนักงานคณะกรรมการสภานโยบายแห่งชาติที่สนับสนุนเงินในการ

ดำเนินการวิจัย และสมาชิกในหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] Rattanadecho, P., Suwannapum, N., Watanasungsut, A. and Duangduen, A., 2007, "Drying of Dielectric Materials Using Microwave-Continuous Belt Furnace.", ASME J. Manufacturing Sciences and Engineering, Vol. 129 (1), pp. 157-163.
- [2] Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A. and Achariyaviriya, S., 2007, Combined Microwave-Hot air Drying of Peeled Longon, Journal of Food Engineering., Vol.31, pp. 459-468.
- [3] Rattanadecho, P., Aoki, K. and Akahori, M., 2002, "Influence of Irradiation Time, Particle Sizes and Initial Moisture Content During Microwave Drying of Multi-Layered Capillary Porous Materials." ASME J. Heat Transfer, Vol. 124 (1), 2002, pp. 151-161.
- [4] Jindarat, W., Rattanadecho, P., Vongpradubchai, S. and Pianroj, Y., 2011, Analysis of Energy Consumption in Drying Process of Non-Hygroscopic Porous Packed Bed Using a Combined Multi-Feed Microwave - Convective Air and Continuous Belt System (CMCB), Drying Technology An International J., Vol.29(08), pp. 926 - 938.
- [5] Rattanadecho, P., Duangduen, A., Vongpradubchai, S., 2006, "Drying of a Slip Casting for Tableware Product Using Microwave-Continuous Belt Furnace.", Drying Technology An International J., Vol. 26, pp. 589-594.
- [6] Jindarat, W., Rattanadecho, P. and Vongpradubchai, S., 2011, "Analysis of Energy Consumption in Microwave and Convective Drying Process of Multi-Layer Porous Material Inside a Rectangular Wave Guide", Experimental Thermal and Fluid Science. 35, pp.728-737



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ร่วมกับ
สมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย
ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้เพื่อแสดงว่า

วันชนะ ยิ่งยืน, สโรชา เจริญวัย,
สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย และ พดุงศักดิ์ รัตนเดโช

ได้ส่งบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการเครื่องข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26

ระหว่างวันที่ 24-26 ตุลาคม 2555

ณ โรงแรมดุสิต ไอส์แลนด์ รีสอร์ท จังหวัดเชียงราย

รศ. ดร. พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ. ดร. วicha ยงเจริญ
นายกสมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย

TSF: Thermal Systems and Fluid Mechanics

TSF2001 การศึกษาลักษณะของสแตกที่มีผลต่อการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอะคูสติก

TSF2002 การคำนวณและการวิเคราะห์หอร์บายความร้อนแบบผสมสำหรับการใช้งานในประเทศไทย

TSF2003 คุณลักษณะทางสมรรถนะของแผ่นทำความเย็นแบบระเหยต้นแบบไขมะพร้าว

TSF2005 การศึกษาเชิงทดลองการทำความเย็นของวัสดุพูนแบบอิมตัวโดยใช้เม็ดเหล็กเป็นวัสดุพูน

TSF2006 การเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำผ่านท่อโดยการเติมสารละลายยาพอลิเมอร์

TSF2007 การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนขนาดเล็กที่ใช้สารทำความเย็น R134a เป็นสารทำงาน

TSF2008 สมการความร้อนที่เหมาะสมในการทำนายความร้อนจากการใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดทองแดง

TSF2009 การศึกษาเชิงทดลองกระบวนการทำความเย็นของวัสดุพูนแบบอิมตัว 2 เลเยอร์

TSF2010 การคำนวณสัมประสิทธิ์ของอัตราการใช้ไฟในช่องเปิดที่ซับซ้อน(การใช้ไฟแบบราบเรียบ)

TSF2011 การหาค่าตัวประกอบความเสียหายและสัมประสิทธิ์การสูญเสียของของไหลนอนนิวโทเนียนเมื่อไหลผ่านท่อและอุปกรณ์ประกอบท่อ

TSF2012 ลมหมุนวนตั้งฉากโดยสนามไฟฟ้าเพื่อเพิ่มการถ่ายเทมวลและความร้อนในวัสดุพูนที่อยู่ภายใต้การไหลของลมร้อน

TSF2017 การศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มสำหรับผสมของเหลวต่างชนิด

TSF2019 การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง

TSF2020 การศึกษาผลกระทบการถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นระบบปิด

TSF2021 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่ลาเจ็ทพุ่งชน:กรณีติดตั้งตัวสร้างกระแสหมุนวนที่ปากทางออกเจ็ท

TSF2022 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวของเจ็ทพุ่งชนจากท่อขยายหน้าตัด

TSF2023 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศด้วยแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นกั้นบาง

TSF 2019

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

**การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัด
จากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง**
Analysis of Drying Process Particleboards
from durian peel Using Microwave Energy with continuous Belt system

อนุชิต จิวหนี¹, สมศักดิ์ วงษ์ประทับไชย², ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช^{2*} และ สโรชา เจริญวัย^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

* ติดต่อ (Corresponding Author) E-mail: sarochakuk@hotmail.com, โทร 0-2549-3430-9, โทรสาร 0-2549-3432

² หน่วยงานวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 99 ม.18 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะทางจลนพลศาสตร์ ของกระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองขนาด 20 × 20 โดยใช้ไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง โดยระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย แมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ขนาด 800 W จำนวน 6 ตัว ติดตั้งกระจายภายในอุโมงค์ของระบบไมโครเวฟซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัด 0.45 เมตร × 0.90 เมตร และ ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษากำหนดการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นกับเวลา และอัตราการอบแห้ง รวมทั้งวัดสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองก่อนอบและหลังอบ

คำหลัก: การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ, ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง, แผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียน

Abstract

This research studies on the kinetics of drying process of particleboards from durian peel of size 20 x 20 centimeter using microwave energy with continuous Belt system. Its internal structure included 6 magnetrons, microwave generating sources at the frequency level of 2.45 Gigahertz (GHz) and power of 800 watts, built at the cavity wall inside the system. The microwave cavity was rectangular shape with dimension of 0.45 m. x 0.90 m. The tested properties are the relations between temperature and moisture profile with respect to elapsed time and drying rat, the measurement of dielectric properties of particleboards from durian peel before drying and after drying.

Keywords: Drying process using microwave energy, Continuous Belt system, Particleboards from durian peel.

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณภาพอยู่ในระดับต้น ๆ ของโลก เช่น พืช ผัก ผลไม้จึงทำให้เกิดวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรจำนวนมากจึงได้มีแนวคิดในการนำวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรจำพวก

เปลือกผลไม้มาผลิตเป็นแผ่นขึ้นไม้อัด เช่น เปลือกทุเรียนเนื่องจากไทยเป็นผู้ผลิตทุเรียนรายใหญ่ของโลก (ปี 2547-2552) เฉลี่ยปีละ 683,4109 ตัน ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกทุเรียนกว่า 700,000 ไร่ มีจำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่ปลูกทุเรียนประมาณ 170,000 ครัวเรือน



ตารางที่ 1 ปริมาณผลผลิตทุเรียนในประเทศไทยใน 5 ปี
ย้อนหลัง (หน่วย: ตัน)

ปี	ปริมาณ (ตัน)
2549	569,057
2550	752,965
2551	637,790
2552	661,665
2553*	632,459

และนอกจากนี้เปลือกทุเรียนยังมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำอยู่ที่ 0.0921 W/m.K เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุฉนวนในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดเพื่อเป็นวัสดุภายในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งในกระบวนการผลิตจะเกี่ยวข้องกับการอบแห้งไม่ว่าด้วยวิธีธรรมชาติหรือนำพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ซึ่งในบางครั้งยังผลิตไม่ทันตามความต้องการหรือหากทันตามความต้องการจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและได้ประสิทธิภาพไม่คุ้มเท่าที่ควร ส่งผลให้ต้องหากรรมวิธีการผลิตที่ช่วยในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดี สะอาด ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นที่สุดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากในเวลาที่รวดเร็ว เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการผลิตจึงได้นำการใช้คลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์

ในหลายทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำพลังงานไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งทางความร้อนเพื่อใช้ในการแปรรูปวัสดุต่าง ๆ ในทางอุตสาหกรรม ซึ่งการให้ความร้อนแก่วัสดุด้วยพลังงานไมโครเวฟความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นในวัสดุที่อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟเอง โดยรังสีจากคลื่นไมโครเวฟที่มีความยาวคลื่นในการทะลุทะลวง 2 CM จะผ่านเข้าไปในน้ำของวัสดุ พลังงานของคลื่นไมโครเวฟจะลดลงโดยจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในน้ำ โดยความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการผลิตความร้อนให้กับวัสดุ การกระจายความร้อนภายในวัสดุจากพลังงานไมโครเวฟขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น โครงสร้างและรูปร่างของวัสดุ กำลังและการกระจายตัวของสนามคลื่นไมโครเวฟ รวมถึงค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ จากการผลิตวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้ใช้เวลาในการผลิตวัสดุสั้นกว่ากระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อนวิธีอื่นจึงทำให้ประหยัดเวลา พลังงานและช่วย

ลดต้นทุน ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพการผลิตจึงได้นำการใช้คลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการอบแห้ง

งานวิจัยในระดับนานาชาติที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำความร้อนและอบแห้งวัสดุในประเภทต่างๆ ที่ใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟ เช่น [1] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิของชิ้นไม้ภายในพลังงานไมโครเวฟ (TE10 Mode) [2] ได้ทำการศึกษากลไกการอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่องโดยทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบธรรมดา [3] ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานในการอบวัสดุในภาชนะที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุนโดยการพาความร้อนด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง [4] ได้ทำการวิเคราะห์พลังงานโดยสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษากระบวนการอบแห้งวัสดุพรุนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (TE10 Mode) โดยให้ เม็ดแก้ว น้ำ และโพรงอากาศ เป็นวัสดุพรุนและตัวอย่างวัสดุเป็นแพคเกจขึ้นเดียวสองชนิด [5] ได้ทำการศึกษากลไกการอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนกำลังคลื่นที่ กำลังไมโครเวฟ 50, 100W ระดับอุณหภูมิของลมร้อน 40, 60°C และความหนาของชิ้นไม้ 50, 80mm ภายใน โดยชิ้นไม้มีความชื้นเริ่มต้น 89 - 95 %dry bulb [6] ได้ทำการนำพลังงานไมโครเวฟมาให้ความร้อนในทางธรรมชาติคอมพิวเตอร์ที่มีปริมาณของค่าเมตริกต่างกันทั้งหมด 4 สูตร โดยใช้หอนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (TE10 Mode) เพื่อศึกษากำลังวัตต์ที่ป้อนเข้า ขนาดความหนาชิ้นงาน ระยะเวลาที่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน และองค์ประกอบของส่วนผสมในชิ้นงาน [7] ได้ทำการศึกษากลไกการอบแห้งวัสดุไดอิเล็กตริก โดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง โดยศึกษาความเร็วของสายพาน เวลา ขนาดของวัสดุ กำลังและทิศทางของแม่เหล็กตอนการ วัสดุไดอิเล็กตริกที่ใช้ในการศึกษา คือ ยางพารา และเซรามิกส์

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาลักษณะจลนพลศาสตร์และวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง ที่พัฒนาขึ้น โดยมีอุโมงค์เป็นหน้าต่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัด 0.45 เมตร×0.90 เมตร มีความยาวอุโมงค์ 3 เมตร ภายในติดตั้งแม่เหล็กตอนกำลังต่ำ ความถี่ที่ใช้คือ 2.45 GHz กำลังสูงสุดที่ทำคือ 6×800 วัตต์ โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 100°C



2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

การอบแห้งคือ การกระบวนการลดความชื้นหรือน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ในอัตราเร็วที่ใกล้เคียงกับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งแบบธรรมดาจะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวภายในและภายนอกของผลิตภัณฑ์ แต่การอบแห้งโดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และค่าสมบัติทางไดอิเล็กตริกของผลิตภัณฑ์นั้นๆ วัสดุที่เป็นฉนวนที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านได้ดี เช่น แก้ว อากาศ อลูมิเนียม เซรามิกส์ เป็นต้น ส่วนวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง เช่น งานโลหะ จะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งคลื่นไม่สามารถทะลุผ่านไปได้ สำหรับวัสดุไดอิเล็กตริกหรือวัสดุกึ่งฉนวนที่มีขั้วทางไฟฟ้า(Dipole) เช่น น้ำ กระจก เเรซินและไม้จะสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ลักษณะการเกิดความร้อนจะเกิดจากแรงเสียดสีระหว่างการจัดเรียงตัวใหม่ ของโมเลกุลน้ำ เมื่อดูดกลืนคลื่นส่งผลให้เกิดเป็นความร้อนภายในทั่วทั้งเนื้อวัสดุ(Volumetric Heating) ความร้อนและความชื้นจะถูกถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวภายนอกของวัสดุ การให้ความร้อนคลื่นไมโครเวฟจะทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่ต่างไปจากเดิมมากนัก เนื่องจากการระเหยของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในวัสดุอย่างสม่ำเสมอสามารถลดการแตกร้าวและรอยไหม้ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งสำหรับวัสดุในงานอุตสาหกรรมต่อไป

2.2 สมการความรู้พื้นฐานของการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเมื่อทะลุผ่านวัสดุไดอิเล็กตริกจะถูกดูดซับและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เรียกว่าค่ากำลังการดูดซับคลื่นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Density of Microwave Power Absorbed, Q) ซึ่งสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายในวัสดุไดอิเล็กตริก อย่างไรก็ตามวัสดุไดอิเล็กตริกไม่มีผลต่อสภาพเชิงขั้วแม่เหล็กเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงไม่มีสนามแม่เหล็กสูญเสียในระหว่างการแผ่รังสีไมโครเวฟ แต่วัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสของสนามไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นค่าเฉลี่ยรากที่สองของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกใช้ในการประมาณค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับโดยวัสดุ

ไดอิเล็กตริก เมื่อสมมติให้ไม่มีการสูญเสียสนามแม่เหล็ก ค่าของการกำเนิดปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r' (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

เมื่อ E คือ สนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ ϵ_r' คือ relative dielectric constant ซึ่งบอกถึงสมบัติของวัสดุใดๆที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับ ส่งผ่านและสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ โดย ϵ_0 คือ Dielectric Constant ของอากาศ และ $\tan \delta$ คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient ซึ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับพลังงานความร้อน ค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับค่าความถี่ของสนามไฟฟ้า $\tan \delta$ และค่ากำลังสองของสนามไฟฟ้า แต่ถ้าค่า $\tan \delta$ ของแผ่นชิ้นไม้อัดมีค่ามาก จะส่งผลให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นมีมากไปด้วย แต่ถ้าค่า $\tan \delta$ มีค่าน้อย คลื่นไมโครเวฟจะทะลุผ่านแผ่นชิ้นไม้อัดโดยไม่เกิดความร้อนขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจจะขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น เช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะ(Specific Heat) ค่าความชื้น(Moisture content) ลักษณะของแผ่นชิ้นไม้อัดและขนาดของแผ่นชิ้นไม้อัดด้วย

ค่าความลึกในการทะลุทะลวงหรือระยะทางที่สนามไฟฟ้าเข้าไปได้ สามารถหาได้จากสมการที่ (2)

$$D_r = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\epsilon_r' \sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'}\right)^2} - 1}} = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\epsilon_r' \sqrt{1 + (\tan \delta)^2} - 1}} \quad (2)$$

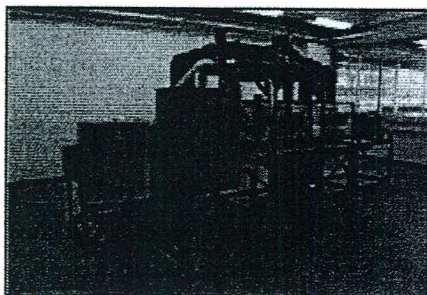
เมื่อ v คือ ค่าความเร็วแสง (3×10^8 m/s), f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ (ϵ_r') คือ Relative dielectric constant ($\tan \delta$) คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient

จะเห็นว่าค่า Dielectric Constant และ Loss Tangent Coefficient เปลี่ยนค่าความลึกในการทะลุทะลวงและสนามไฟฟ้าภายในวัสดุไดอิเล็กตริกก็จะเปลี่ยนแปลงตามด้วย

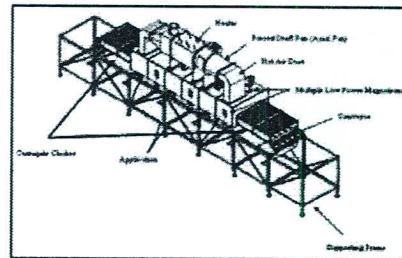
3. เปรียบวิธีวิจัย

3.1 เครื่องอบไมโครเวฟชนิดสายพายล่ำเลียง แบบต่อเนื่อง

ระบบไมโครเวฟที่ใช้สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เป็นระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ชนิดสายพายล่ำเลียงแบบต่อเนื่อง ที่ทางหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.) พัฒนาขึ้น โดยอาศัยหลักการเบื้องต้นคือ วัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการจะถูกล่ำเลียงโดยสายพายผ่านเข้าไปในอุโมงค์ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular cavity) ซึ่งภายในระบบจะติดตั้งแมกนีตรอน คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ให้อำนาจ 12 ตัว (กำลัง 800 วัตต์/ตัว) และเครื่องกำเนิดลมร้อน อุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้โดยประมาณ 240 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับสมบัติวัสดุ) วัสดุอุณหภูมิร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล โดยใช้ชนิดสายพายล่ำเลียงแบบต่อเนื่อง คลื่นไมโครเวฟถูกยิงจากแมกนีตรอน ซึ่งติดตั้งอยู่รอบๆ บริเวณทำความร้อนสามารถทำได้โดยล่ำเลียงวัสดุใส่สายพายที่บริเวณปากทางเข้าระบบ (สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วสายพายได้ตามต้องการ) จากนั้นสายพายจะล่ำเลียงวัสดุเข้าไปยังบริเวณทำความร้อนการปรับแต่งกำลังสามารถทำได้โดยการเปิดและปิดแมกนีตรอนตามตำแหน่งต้องการ บริเวณปากทางเข้าและออกระบบไมโครเวฟมีระบบการดักคลื่นไมโครเวฟที่อาจรั่วไหลออกมาเพื่อไม่ให้ป้อนอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานซึ่งค่าการรั่วไหลมีมาตรฐานอยู่ไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร สำหรับการวัดอุณหภูมิวัสดุทดสอบสามารถ วัดได้ที่ตำแหน่งปากทางเข้าและออกเตาไมโครเวฟโดยใช้อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ (ความแม่นยำในช่วง ± 0.5 องศาเซลเซียส)



(ก)



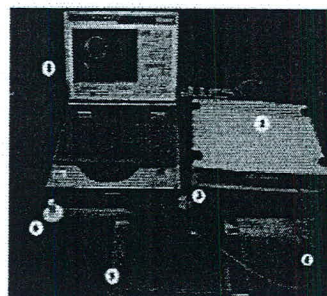
(ข)

รูปที่ 1 (ก) เครื่องไมโครเวฟแบบระบบสายพายล่ำเลียงต่อเนื่อง

(ข) ไดอะแกรมรายละเอียดเครื่องทดลอง [1]

3.2. ขั้นตอนการทดลอง

นำแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ขนาด 20x20 เซนติเมตร ทั้ง 12 แผ่น มาทำการวัดความชื้นและค่าสมบัติไดอิเล็กตริก (Relative dielectric constant, Relative dielectric loss and Loss tangent) เริ่มต้นก่อนการทดลอง



1. Software
2. Microwave Reflect meter
3. Coaxial Cavity
4. Coaxial Cable
5. Sample
6. Female Calibration Standards

รูปที่ 2 เครื่องเน็ตเวิร์กนาไลเซอร์ [1]

จากนั้นทำการทดลองโดยการอบด้วยเครื่องอบไมโครเวฟชนิดสายพายล่ำเลียงแบบต่อเนื่องตามตามเงื่อนไข โดยทำการเปิดแมกนีตรอน 6 ตัว อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยทุกลูกจะมีการวัดอุณหภูมิภายในของชิ้นไม้ ความชื้นคงเหลือ เพื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นกับเวลา ซึ่งแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ออบมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30-20 % dry basic และมีอุณหภูมิเริ่มต้น 25°C และทำการถ่ายภาพทางความร้อนและวัดค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ผ่านการอบด้วยพลังงานคลื่นไมโครเวฟ



4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

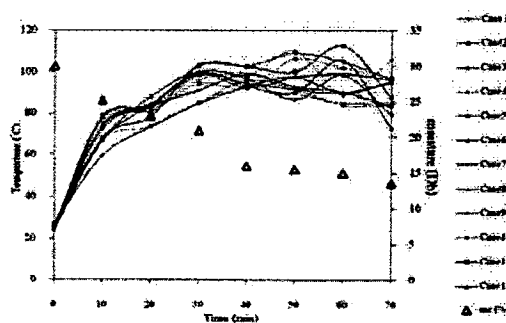
4.1 ค่าคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง

ตารางที่ 2 สมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองก่อนการอบและหลังอบ ความชื้น และอัตราการอบแห้ง

แผ่น ขึ้นไม้ อัด	สูตรอัตราส่วน และเงื่อนไข การผลิตแผ่นขึ้น ไม้อัด	Dielectric Properties						น้ำหนัก ก่อนอบ (g)	น้ำหนัก หลังอบ (g)	Drying rate (g/min)
		ก่อนอบ			หลังอบ					
		ϵ'	ϵ''	$\tan \delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan \delta$			
1	1:1:1 (80)	2.00	0.32	0.16	1.56	0.15	0.100	361	318	0.24
2	1:1:1.5 (80)	2.25	0.43	0.19	1.50	0.15	0.101	365	320	0.27
3	2:1:1.5 (80)	2.31	0.43	0.19	1.59	0.15	0.098	364	319	0.27
4	2:1:2 (80)	1.92	0.27	0.14	1.56	0.15	0.101	357	318	0.23
5	1:1:1 (90)	2.15	0.35	0.16	1.48	0.15	0.103	358	314	0.25
6	1:1:1.5 (90)	2.23	0.43	0.19	1.50	0.15	0.102	363	319	0.25
7	2:1:1.5 (90)	2.45	0.46	0.19	1.61	0.15	0.099	354	311	0.25
8	2:1:2 (90)	2.20	0.35	0.16	1.63	0.16	0.098	355	312	0.27
9	1:1:1 (100)	2.38	0.66	0.15	1.73	0.16	0.096	357	315	0.19
10	1:1:1.5 (100)	2.19	0.38	0.17	1.62	0.16	0.100	362	319	0.25
11	2:1:1.5 (100)	2.08	0.37	0.18	1.51	0.15	0.103	353	310	0.26
12	2:1:2 (100)	2.38	0.48	0.20	1.53	0.15	0.101	365	319	0.19

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองจากการใช้กำลังไมโครเวฟ 6×800 วัตต์ อุณหภูมิ 100 °C ทำการอบแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองโดยแผ่นขึ้นไม้อัดจะมีอัตราสูตรในการผลิต อัตราส่วนคือ (เส้นใยเปลือกทุเรียน : ผงเปลือกทุเรียน : น้ำ) จะเห็นได้ว่าค่า Loss Tangent Coefficient ($\tan \delta$) มีของแผ่นขึ้นไม้อัดก่อนอบแต่ละแผ่นมีค่าสูง เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดแต่ละแผ่นนั้นมีน้ำหนักมากและมีความชื้นมาก และเมื่อทำการอบด้วยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟพบว่าค่า Loss Tangent Coefficient ($\tan \delta$) ของแผ่นขึ้นไม้อัดแต่ละแผ่นมีค่าลดลง น้ำหนักลดลงและความชื้นก็ลดลงตามไปด้วย เนื่องจากสูตรอัตราส่วนและเงื่อนไขในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดมีผลต่อการดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ โดยแผ่นที่ 9 1:1:1 100 °C มีอัตราการส่วนในการผลิตที่น้อยและในกระบวนการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดอบที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้มีน้ำหนักน้อยความชื้นต่ำทำให้มีค่า Loss Tangent Coefficient ($\tan \delta$) ต่ำ การสะท้อนของพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีค่าต่ำ ทำให้คลื่นไมโครเวฟสามารถส่งกำลังทะลุทะลวงผ่านผิวของแผ่นขึ้นไม้อัดได้มาก ส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งรวดเร็วขึ้น จึงเห็นว่าอัตราส่วนและเงื่อนไข

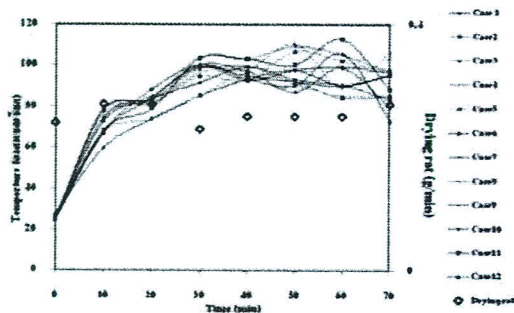
การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่เหมาะสมคืออัตราส่วน 1:1:1 อบที่อุณหภูมิ 100 °C



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา

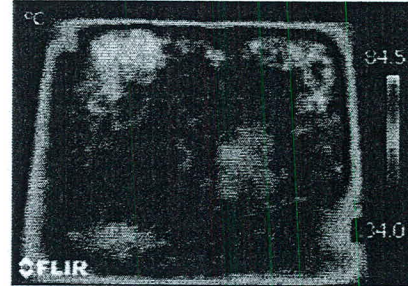
จากรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อในช่วงแรก (0-50) แผ่นขึ้นไม้อัดจะดูดซับพลังงานไมโครเวฟไว้ได้มาก เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นสูงต่อการดูดซับพลังงานไมโครเวฟของแผ่นขึ้นไม้อัดจะเริ่มมีค่าลดลงเนื่องจากความชื้นภายในแผ่นขึ้นไม้อัดได้

เคลื่อนตัวออกไป ในช่วงแรกของการอบแห้ง ภายในแผ่นขึ้นไม้อัดมีเฟสของของเหลวอยู่อย่างต่อเนื่องทำให้อิทธิพลของความดันคาพิลลารี (Capillary Pressure) ที่ขับเคลื่อนของเหลวไปยังผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่า แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความชื้นลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้น (ซึ่งเป็นไอส่วนใหญ่) ออกสู่ผิวหน้าซึ่งเป็นอิทธิพลของการแพร่ของไอ (vapor diffusion) และความดันก๊าซ (Gas Pressure) เป็นหลัก ส่วนกำลังไมโครเวฟสะท้อนที่ผิวแผ่นขึ้นไม้อัดจะมีค่ามากในช่วงแรกและจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่ง กำลังคลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยในช่วงท้าย การทดลองพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ผ่านจะมีค่าสูง เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นลดลง การดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีค่าลดลงตามไปด้วย และเมื่อวิเคราะห์ถึงกับค่า Dielectric Properties ใน (ตารางที่ 2) พบว่าเวลาที่ในการอบมากขึ้นทำให้ค่าความชื้นมีค่าเข้าใกล้จุดสมดุล

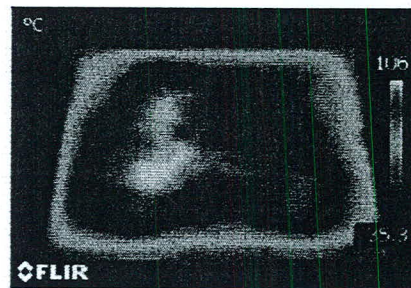


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอัตราการอบแห้งกับเวลา

จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอัตราการอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเวลา พบว่าในช่วงแรก (0-20) อัตราการอบแห้งมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นสูงจึงมีการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปทำให้อัตราในการอบแห้งลดลงแผ่นขึ้นไม้อัดมีการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟลดลงอุณหภูมิสูงขึ้นแต่พลังงานความร้อนสะสมภายในแผ่นขึ้นไม้อัดยังมีอยู่จึงทำให้อุณหภูมิยังคงสูงจึงทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าเข้าใกล้ค่าสมดุล



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 (ก) ภาพถ่ายทางความร้อนเมื่อทำการอบ 10 นาที
(ข) ภาพถ่ายทางความร้อนเมื่อทำการอบ 70 นาที

จากรูปที่ 5 แสดงภาพถ่ายทางความร้อนจากการใช้กำลังไมโครเวฟ 6x800 วัตต์ อุณหภูมิ 100°C ทำการอบแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองพบว่าในกระบวนการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟสามารถบ่งบอกถึงการทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี โดยสังเกตจากสีของภาพถ่ายทางความร้อนของแผ่นขึ้นไม้อัดจะเห็นว่าเมื่อเริ่มทำการอบ (10 นาที) แผ่นขึ้นไม้อัดจะมีความร้อน (สีแดง) กระจายสม่ำเสมอทั้งแผ่น เพราะแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นสูง มีการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมากที่บริเวณตรงกลางของแผ่นขึ้นไม้อัดส่งผลให้เกิดความร้อนภายในทั่วแผ่นขึ้นไม้อัดทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไป (70 นาที) ความชื้นและความร้อนของแผ่นขึ้นไม้อัดจะถูกถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวภายนอกของแผ่นขึ้นไม้อัดทำให้การดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟลดลงส่งผลให้บริเวณตรงกลางของแผ่นขึ้นไม้อัดยังมีความชื้นสะสมอยู่ ทำให้ร้อน (สีแดง) กระจายอยู่บริเวณตรงกลางของแผ่นขึ้นไม้อัด จากการให้ความร้อนคลื่นไมโครเวฟจะทำให้ผิวของแผ่นขึ้นไม้อัดไม่ต่างไปจากเดิม



มากนักเพราะการระเหยของความชื้นภายในแผ่นขึ้นไม้อัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว

5. สรุปผลการทดลอง

จากการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองพบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้สามารถดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟได้ดีเนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดยังมีความชื้นสูง ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในแผ่นขึ้นไม้อัดสูงตามไปด้วย และเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น การดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟจะมี ค่าลดลง เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นลดลง จึงทำให้อุณหภูมิภายในของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่าลดลงและลักษณะการเคลื่อนตัวของความชื้นช่วงแรกของการอบแห้งภายในแผ่นขึ้นไม้อัด จะมีเฟสของของเหลวอยู่อย่างต่อเนื่องทำให้ อิทธิพลของความดันคาพิลลารี (Capillary Pressure) ที่ขับเคลื่อนของเหลวไปยังผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่าสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณความชื้นลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้น (ซึ่งเป็นไอส่วนใหญ่) ออกสู่ผิวหน้านั้นเป็นอิทธิพลของการแพร่ของไอ (vapor diffusion) และความดันก๊าซ (Gas Pressure) เป็นหลัก จากงานวิจัยนี้สามารถนำพลังงานคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์แผ่นขึ้นไม้อัด เนื่องจากพลังงานคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านเข้าไปในแผ่นขึ้นไม้อัดที่นำมาทำการอบแห้งได้ เพราะความร้อนที่เกิดจาก คลื่นไมโครเวฟภายในแผ่นขึ้นไม้อัดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้ความแห้งที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างสม่ำเสมอไปทุกตำแหน่งของตัวแผ่นจึงเป็นเหตุให้การควบคุมคุณภาพในการผลิตทำได้ง่าย ระยะเวลาในการอบก็สั้นว่าการอบแบบปกติ และยังเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เหมาะกับการนำไปใช้เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ภาคการเกษตรที่เน้นการควบคุมคุณภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณงบประมาณแผ่นดิน จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยและหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.) ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Rattanadecho, P., 2006, "The simulation of microwave heating of wood using a rectangular

wave guide: Influence of frequency and sample size" Chemical Engineering Science, pp.4798-4811

[2] Vongpradubchai, S., and, Rattanadecho, P., 2009, "The microwave processing of wood using a continuous microwave belt drier" Chemical Engineering and Processing, pp. 997 - 1003, 2011

[3] Jindarat, W., Rattanadecho, P., Vongpradubchai, S. and Pianroj, Y., 2011, Analysis of Energy Consumption in Drying Process of Non-Hygroscopic Porous Packed Bed Using a Combined Multi-Feed Microwave - Convective Air and Continuous Belt System (CMCB), Drying Technology An International J., Vol.29(08), pp. 926 - 938.

[4] วิโรจน์ จินดารัตน์, เกียรติขจร สุเวทเวทิน และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551). การวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งวัสดุพูนหลายชั้นโดยใช้ไมโครเวฟ ร่วมกับการพาความร้อนภายในท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม ,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

[5] สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย, วิโรจน์ จินดารัตน์ และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2550). การอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม , การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, โรงเรียนนายเรืออากาศ

[6] นพวรรณ ดุงาม, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และ วารุณี กลิ่นไกล (2549). การอุ่นยางธรรมชาติด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (MODE: TE10), การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[7] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, ณัฐภูมิ สุวรรณภูมิ, สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย, สุชนม์ ปิยโชติ, และ ดวงเดือน อาจองค์ (2547). การวิเคราะห์กระบวนการให้ความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริกโดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง, การประชุมสัมมนาวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, มหาวิทยาลัยขอนแก่น



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ร่วมกับ
สมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย
ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้เพื่อแสดงว่า

นายอนุปิต จิวหัย

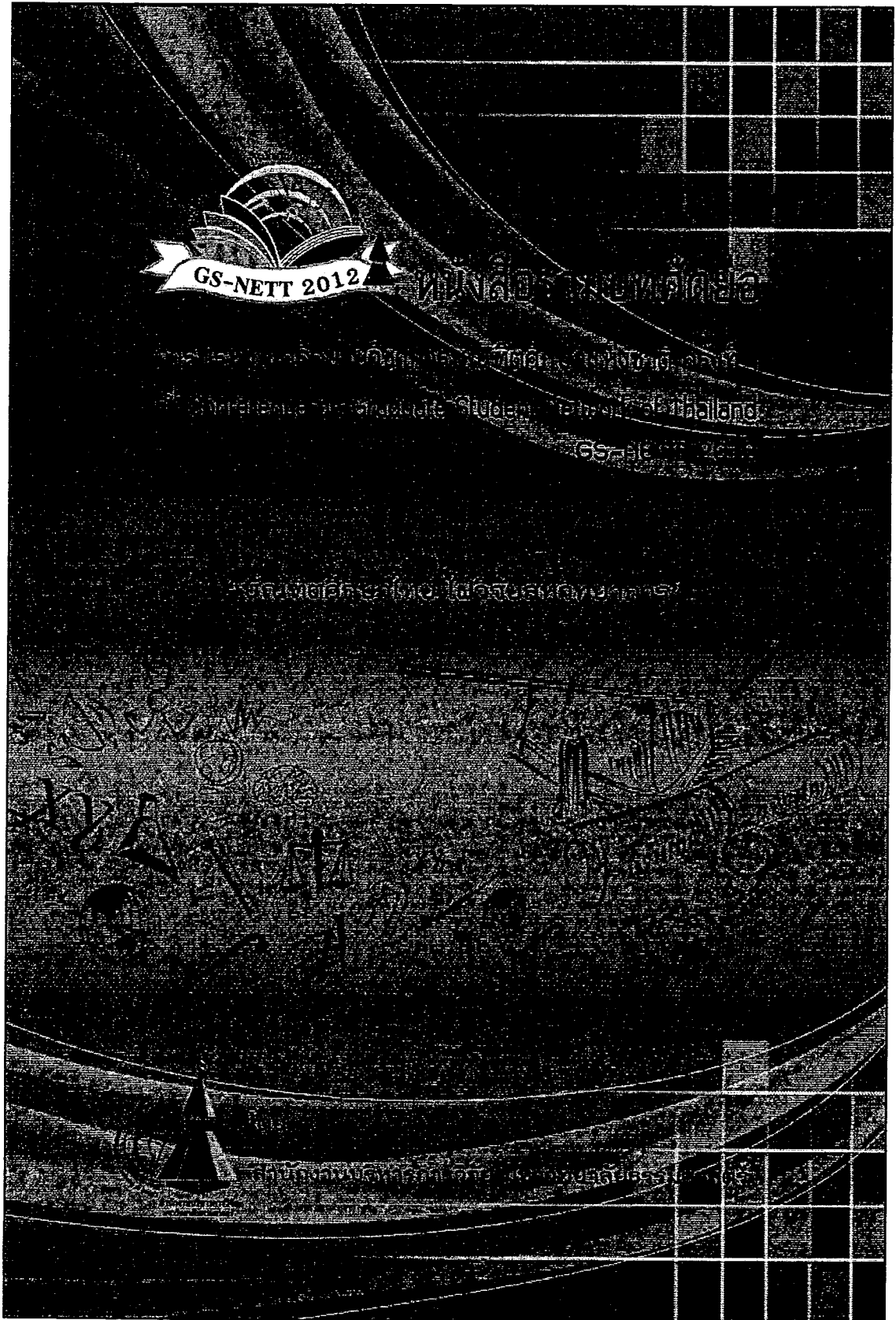
ได้ส่งบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26

ระหว่างวันที่ 24-26 ตุลาคม 2555

ณ โรงแรมดุสิต ไอส์แลนด์ รีสอร์ท จังหวัดเชียงราย

รศ.ดร. พงศ์พันธ์ แก้วตาพิพย์
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.ดร. วิทิตา ขงเจริญ
นายกสมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย





การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1
1st Conference on Graduate Student Network of Thailand
(GS-NETT 2012)

“บัณฑิตศึกษาไทย ใฝ่วิจัยสหวิทยาการ”

18 ธันวาคม 2555

ณ ศูนย์ประชุมธรรมศาสตร์ รังสิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต



สำนักงานบริหารการวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รายชื่อคณะกรรมการจัดการประชุม
การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร ศูนย์ลำปาง
รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร ศูนย์รังสิต
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร ศูนย์ลำปาง		ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการและวิจัย		รองประธานกรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร.อัญญา ชันธวิทย์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร.เพณทิพย์ ทวยเจริญ	ข้าราชการบำนาญ	กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก พงษ์มพัฒน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ อาภรณ์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ โรจนกิจอำนาจ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา วัฒนชัยสวัสดิ์	ที่ปรึกษาสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร.ลำไย จักรใจ	ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร	กรรมการ
ศาสตราจารย์ นพ.สุรศักดิ์ ฐานิพานิชกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
ศาสตราจารย์ ทพ. ดร. สิทธิชัย ขุนทองแก้ว	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
ศาสตราจารย์ พิเศษ ดร.กาญจนา เจริญชัย	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร. เกศรา ณ บางช้าง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. ทศพล เกียรติเจริญผล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย น้าประเสริฐชัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. ศาgun บุญอิต	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพวรรณ ปิ่นวนิชย์กุล	ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรารณา ปุณณกิตเกษม	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชชานา สันธวาลัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
อาจารย์ ดร. จักรวาล คุณะดิลก	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
อาจารย์ ดร. ธันยวัฑ สมใจทวีพร	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์	กรรมการ
ผู้อำนวยการสำนักงานบริหารการวิจัย	กรรมการและเลขานุการ	
นางบุญถม วชิราธาดา	ผู้ช่วยเลขานุการ	
นางสาวเฟื่องกาญจน์ สารัมภานนท์	ผู้ช่วยเลขานุการ	

คณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุม

รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร ศูนย์ลำปาง	ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการและวิจัย	ประธานคณะกรรมการ
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะรัฐศาสตร์	คณะกรรมการ
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะสาธารณสุขศาสตร์	คณะกรรมการ
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	คณะกรรมการ
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา คณะทันตแพทยศาสตร์	คณะกรรมการ
รองคณบดีฝ่ายวางแผนและวิจัย วิทยาลัยนวัตกรรมการ	คณะกรรมการ
ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษาและวิจัย คณะศิลปศาสตร์	คณะกรรมการ
ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	คณะกรรมการ
ผู้อำนวยการโครงการปริญญาโท คณะวารสารศาสตร์และ	คณะกรรมการ
สื่อสารมวลชนผู้อำนวยการโครงการบัณฑิตศึกษา	
สาขาเทคนิคการแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ผู้ช่วยผู้อำนวยการ	คณะกรรมการ
โครงการบัณฑิตศึกษา สาขาชีวเวชศาสตร์ คณะสหเวชศาสตร์	
ผู้อำนวยการกองกิจการนักศึกษา	คณะกรรมการ
หัวหน้างานประชาสัมพันธ์	คณะกรรมการ
ผู้อำนวยการสำนักงานบริหารการวิจัย	เลขานุการ
หัวหน้างานส่งเสริมและเผยแพร่งานวิจัย	ผู้ช่วยเลขานุการ
นายทศพร สมใจ	ผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการอำนวยการจัดประชุมวิชาการ

นางสาวอัจฉรา จินดารัตน์	ประธานกรรมการ
นางสาวทัศนีย์ ดาวเรือง	กรรมการ
นางสาวเบญจวรรณ ประจวบลาภ	กรรมการ
นางวิลาวัลย์ กางการ	กรรมการ
นายอุทัย ชันธมาลย์	กรรมการ
นางสาวจินตนา เทียงตรง	กรรมการ
นางสาวเพ็ญภาณุจน์ สารัมภานนท์	กรรมการ
นางสาวศิตกมล วงษ์สมบูรณ์	กรรมการ
นางสาวสุปราณี ปราชญ์รัตนะกวี	กรรมการ
นางสาวปิยนดา พุทธิรัตน์	กรรมการ
นางสาวศิริรัตน์ จำปาสด	กรรมการ
นายรติ สมันตรัฐ	กรรมการ
นายวัฒนา แก้วทงค์	กรรมการ
นายวิระศักดิ์ คงแก้ว	กรรมการและที่ปรึกษาด้านไอที
นางบุญถม วชิราธาดา	กรรมการและเลขานุการ
นายเอกศักดิ์ ไชยา	ผู้ช่วยเลขานุการ
นายทศพร สมใจ	ผู้ช่วยเลขานุการ

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ศ.ดร.สมชาติ ฉันทศิริวรรณ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศ.ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
ศ.ทพ. ดร. สิทธิชัย ขุนทองแก้ว	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศ.กิตติคุณ ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.พิเศษ ดร.กาญจนา เจริญชัย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ศ.ดร. ธัญชัย สัมภักดิ์ปรีดา	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
รศ. ดร. ไชยณรงค์ จักรธรานนท์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ. ดร. ดุลยโชติ ชลศึกษ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.ลักกมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ. ดร. บุษบา พงกษาพันธุ์รัตน์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร. ธวัชชัย อ่อนจันทร์	สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
รศ.ดร.แคลเลียา ปัทมพรหม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร. มรยาท รุจิวิชัย	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ทพญ.ดร.ศิริวรรณ สืบบุญการณ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ไพศาล นามผล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.ชินะพงษ์ บำรุงทรัพย์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.อรุณพร อัฐรัตน์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ภก.ดร.บุญชู ศรีตุลารักษ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.พัชรวิทย์ ปิ่นแห่งเพชร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ตรีศ เหล่าศรีหงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร. ศากุน บุญอด	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.พญ. อรพรรณ โพชนุกูล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ. ดร. บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร.ทวีศักดิ์ กิจกาญจน์รัตน์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร. อภิวัฒน์ มุตตามระ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร. วาทีดี ภักดี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร. จิระพล กลิ่นบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผศ.ดร.บัณฑิต กฤตาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผศ.สารดา จารุพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย
ผศ.ดร.นพพร สิริขานนท์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร. วาณี กลิ่นไกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ. พิศิษฐ์ แสงชูโต	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ. ประสิทธิ์ สันติกาญจน์	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ผศ.ดร.ประภาส ปันตบแต่ง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ยุบลวรรณ ต้นเขียวรัตน์	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ผศ.มณฑล ใจกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผศ.ญาณวุฒิ สุพิษญากร
 ผศ.ดร.พระพิพัฒน์ ภาสบุตร
 ผศ.ดร. พรพรรณ วีระปรียากร
 ผศ. กนกพันธ์ โลกุลวงศ์
 ดร.นฤมล ทับชุมพล
 ดร.วราภรณ์ กลิ่นบุญ
 ดร.ณัฐ มากุล
 ดร.รัฐศักดิ์ พรหมมาศ
 ทพญ.ดร.กมลพรรณ ภัคดี
 ดร.ธัญวัตน์ สมใจทวีพร
 ดร.ธีรพงษ์ เวศพันธุ์
 ดร.ธีรเวทย์ ประมวลรัฐการ
 ดร.ภาสกร อินทุमार
 ดร.ธาดรี ไต้ฟ้าพูล
 ดร.สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย
 ดร.วีรชัย โรยรินรินทร์
 ดร. กริช เจียมจิโรจน์
 ดร. สัมปโนนธ์ เอกอำพน
 ดร.นพรัตน์ พฤษทวิศักดิ์
 ดร.สโรชา เจริญวัย
 ดร. อรรถพร วิเศษสินธุ์
 ดร.วรรณิ์ เอกศิลป์
 ดร.ณรรธน์ แก้วประดับ
 ดร. สมชาย ศรียาบ
 อาจารย์เสกสรรค์ สุทธิสงค์
 อาจารย์วัชรระ ลอยสมุทร
 อาจารย์จตุพร สดากุลเจริญ

มหาวิทยาลัยรังสิต
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
 มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
 ผู้ประเมินภายนอก
 มหาวิทยาลัยศิลปากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยรังสิต
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
 มหาวิทยาลัยรังสิต
 มหาวิทยาลัยรังสิต

Sci-Tech 023	การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของจักรยานยนต์ไฟฟ้าและจักรยานยนต์ กรณีศึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โชคชัย แสนสิทธิ์, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	23
Sci-Tech 024	การประยุกต์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของ โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากฟาร์มโคนม ใจสิภา มิ่งไทยสงค์, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	24
Sci-Tech 025	การใช้พืชช็อกกับเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์โดยอยู่บนพื้นฐานของการ ประหยัดพลังงานและความพึงพอใจของมนุษย์ สำหรับพื้นที่ในเขตร้อนชื้น ชุติมา พลอดโปร่ง, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	25
Sci-Tech 026	ศึกษาการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งมวลชนใน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต วิศรุต เปี้ยนกลั่น, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	26
Sci-Tech 027	การจำลองสถานีชาร์จจักรยานยนต์ไฟฟ้าและศึกษาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าใน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต นพรัตน์ ไสภารุณ, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	27
Sci-Tech 028	การวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจาก เปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดบ้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับ ระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง วันชนะ ยิ่งยืน สโรชา เจริญวัย สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	28
Sci-Tech 029	การศึกษาเชิงทดลองในกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียน หมอนทอง) โดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดบ้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบ ลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง อนุชิต จิวหัย สโรชา เจริญวัย สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	29
Sci-Tech 030	การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและทดลองสำหรับปัญหาการซึมผ่านของน้ำในวัสดุพูนที่ไม่อิ่มตัว ใน 1 มิติ ฐิติพันธ์ สมถวิล สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	30
Sci-Tech 031	การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มโดยเอทานอล นัชญา พัฒน์ชนะ และ ผศ. ดร.มาลี สันติคุณาภรณ์	31
Sci-Tech 032	ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใส่ในเศษอาหารต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ นางสาววราภรณ์ ริมปิกุล และ ผศ.ดร.มาลี สันติคุณาภรณ์	32



Sci-Tech 028

การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 1
18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง
Energy and Efficiency Analyses in Drying Process of Particleboards from Montong durian peel Using a NCombined Multi-Feed Microwave-Convective Air and Continuous Belt System (CMCB)

วันชนะ ยิ่งยืน¹ สโรชา เจริญวัย^{1*} สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย² และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: sarochakuk@hotmail.com, ratphadu@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพโดยทำการทดลองในกระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองโดยใช้ไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงต่อเนื่อง โดยโครงสร้างของระบบประกอบด้วยแมกนีตรอนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ขนาด 800 W จำนวน 12 ตัว ติดตั้งภายในตำแหน่งสมมาตรภายในอิมพัลส์ของระบบไมโครเวฟซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัด 90 cm. x 45cm. x 270 cm. และเครื่องกำเนิดลมร้อน ที่มีอุณหภูมิการทำงานสูงสุด 240 °C วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือ แผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ขนาด 20 x 20 เซนติเมตร พารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ กำลังไมโครเวฟ (2400 W) อุณหภูมิลมร้อน (40, 50, และ 60 °C) จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลมร้อน มีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน ผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

คำหลัก: พลังงาน, ประสิทธิภาพ, การอบแห้ง, ไมโครเวฟ, แผ่นขึ้นไม้อัด

Abstract

The paper presents the energy and efficiency analysis in drying process of particleboards from Montong durian peel using microwave energy and hot-air in a continuous belt system, consists of twelve 800 watts 2.45 GHz coupled into the cavity wall inside the system. A rectangular microwave cavity of dimensions 45 cm x 90 cm x 270 cm combined with hot-air generator having the maximum operating temperature at 240 °C was chosen. Particleboards from Montong peel with dimension of 20cm x 20 cm were manufactured. The parameter are microwave power (2400 W), temperature of hot-air (40, 50, and 60 °C). The results show that variation of hot-air temperature affects the drying time and Specific Energy Consumption. Furthermore the result of energy analysis can develop the higher efficiency of drying process.

Keywords: Energy, Efficiency, Drying, Microwave, Particleboards

บทนำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์วัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่ง ที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวิถีการดำเนินชีวิตของประชาชนชาวไทยโดยเฉพาะในด้านที่อยู่อาศัย การใช้วัสดุ ทดแทนไม้ธรรมชาติ เป็นแนวทางหนึ่งเพื่อช่วยลดปัญหาจากสภาพปัญหาปัจจุบันที่ทรัพยากรป่าไม้มีจำนวน ลดลง ในขณะที่ยังมีความต้องการใช้ไม้ยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตร เช่น ผลไม้ มีแนวโน้มสูงขึ้นในแต่ละปี ส่งผลทำให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีจำนวน มากขึ้นเป็นเงาตามตัว ดังนั้นถ้าไม่สามารถกำจัดขยะเหล่านี้ก็จะส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม จึงเกิดแนวความคิดการ นำวัสดุเหลือใช้จำพวกเปลือกผลไม้ที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เช่น เปลือกทุเรียน เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีค่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำเท่ากับ $0.0921 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (Khedari et al., 2002) เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุฉนวน ในการผลิตแผ่นฉนวนไม้อัดเพื่อเป็นวัสดุภายในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ลดความร้อนภายในอาคาร เนื่องจากพลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากทั้งภาครัฐ ภาคอุตสาหกรรม และภาคธุรกิจ ดังนั้นการอนุรักษ์ และประหยัดพลังงานจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงาน โดยการใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เช่น ความสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าเนื่องจาก เครื่องปรับอากาศ และประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น การถ่ายเทความร้อนภายนอกอาคารเข้าสู่อาคารได้ โดยง่าย แผ่นฉนวนไม้อัดที่ผลิตได้นี้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นอกจากนี้แผ่นฉนวนไม้อัด ยังสามารถกำหนดขนาดได้ (Charoenwai., 2555)

สำหรับกระบวนการผลิตแผ่นฉนวนไม้อัดมีการใช้กระบวนการอบแห้งในการอบแผ่นเพื่อลดความชื้น โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมนั้นมีหลายกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง กรรมวิธีในการอบแห้งนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การอบแห้งโดยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง การอบแห้งโดยใช้ ควันร้อน และการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำ โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนธรรมดา (conventional hot-air drying) ได้มี การพัฒนาเทคนิคการอบแห้งหลากหลายรูปแบบ เพื่อเป็นทางเลือกในการอบแห้ง ที่สำคัญได้แก่ การอบแห้งด้วย ลมร้อนในสูญญากาศ การอบแห้งด้วยลมร้อนฟลูอิดไรซ์เบด (fluidized bed) การอบแห้งด้วยอินฟราเรด และการ อบแห้งด้วยไมโครเวฟ เทคนิคการอบแห้งที่กล่าวมานี้มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน (Ratanadecho et al., 2010) ซึ่งวิธีการที่ใช้ร่วมกันทั่วไปส่วนใหญ่เป็นการอบแห้งด้วยลมร้อนธรรมดา ซึ่งมีการป้อนความร้อนที่ผิวหน้าชิ้นงาน บางครั้งอาจเกิดปัญหากับชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูง เนื่องจากชิ้นงานจะได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงหรือสม่ำเสมอ นอกจากนี้กระบวนการผลิตใช้เวลานาน อีกทั้งยังทำให้สมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติเชิงคุณภาพเปลี่ยนไป จึง เป็นที่มาของการออกแบบวิธีใหม่ในการขจัดปัญหาที่เกิดขึ้น การประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟก็เป็นวิธีหนึ่งที่มี ประสิทธิภาพสูงและยังเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากพลังงาน ไมโครเวฟสามารถกำเนิดความร้อนภายในวัสดุได้อย่างรวดเร็ว การใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานนั้นจะ สามารถช่วยประหยัดพลังงาน และลดระยะเวลาในการอบแห้ง วัสดุฉนวนจะได้รับความร้อนทั่วถึงพร้อมกันตลอด ทั้งชิ้น เป็นผลทำให้การกระจายของความชื้นในโครงสร้างเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เมื่อรวมเอาเทคนิคไมโครเวฟเข้า ร่วมกับลมร้อน จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยลมร้อนจะให้ ความร้อนได้ดีที่ผิว หลังจากนั้นเมื่อความชื้นที่บริเวณผิวลดลงจึงให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากที่ผิว สามารถทำให้การดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีและการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดความร้อนจากภายใน

ผลิตภัณฑ์จึงสามารถขับเคลื่อนความชื้นมาสู่ผิวหน้าได้รวดเร็ว ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่คลื่นไมโครเวฟระหว่าง 0.3 ถึง 300 GHz หรือในช่วงความยาวคลื่น 30 cm ถึง 0.3 mm. มาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนเพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอุตสาหกรรม (มดุงศักดิ์, 2551) งานวิจัยในระดับนานาชาติที่ผ่านมา [1-8] ที่เกี่ยวข้องกับการบวนการทำความร้อนและอบแห้งวัสดุในประเภทต่างๆ ที่ใช้พลังงานไมโครเวฟ ได้แก่ Jindarat et al. [1] ได้ศึกษาการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง เพื่อเปรียบเทียบค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) Prommas et al. [2] ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานและอีกเซอร์จีในระบบการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ทางเข้าก่อนการอบแห้งและทางออก หลังการอบแห้งที่มีผลต่ออุณหภูมิการอบแห้ง วิเคราะห์อีกเซอร์จีที่ไหลเข้า อีกเซอร์จีที่ไหลออก อีกเซอร์จีที่สูญเสียและประสิทธิภาพอีกเซอร์จี Rattanadecho et al. [3] ได้ทำการศึกษาของสสารกระบวนการอบแห้งวัสดุไดอิเล็กตริก โดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง วัสดุไดอิเล็กตริกที่ใช้ในการศึกษาคือยางพารา และชรามิกซ์ Varith et al. [4] ได้ทำการอบแห้งธำไยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) ที่ระดับอุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C กำลังไมโครเวฟ 100, 180, 300 และ 450 W

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษากการวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพโดยทำการทดลองในระบบการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง โดยใช้ไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง เพื่อเปรียบเทียบค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและประสิทธิภาพพลังงาน โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (40 50 และ 60 °C) กำลังไมโครเวฟ (2400 W) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สมการความรู้พื้นฐานของการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเมื่อทะลุผ่านวัสดุไดอิเล็กตริกจะถูกดูดซับและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เรียกว่าค่ากำลังการดูดซับคลื่นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Density of Microwave Power Absorbed, Q) ซึ่งสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายในวัสดุไดอิเล็กตริก อย่างไรก็ตามวัสดุไดอิเล็กตริกไม่มีผลต่อสภาพเชิงจลน์แม่เหล็กเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงไม่มีสนามแม่เหล็กสูญเสียในระหว่างการแผ่รังสีไมโครเวฟ แต่วัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสของสนามไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นค่าเฉลี่ยรากที่สองของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกใช้ในการประมาณค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับโดยวัสดุไดอิเล็กตริก เมื่อสมมติให้ไม่มีการสูญเสียสนามแม่เหล็ก ค่าของการกำเนิดปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรสามารถแสดงได้ดังนี้ [3]

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

เมื่อ E คือ สนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ ϵ_r' คือ relative dielectric constant ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุใดๆที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับ ส่งผ่านและสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ โดย ϵ_0 คือ Dielectric Constant ของอากาศ และ $\tan\delta$ คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient ซึ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับพลังงานความร้อน ค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับค่าความถี่ของสนามไฟฟ้า $\tan\delta$ และค่ากำลังของของสนามไฟฟ้า แต่ถ้าค่า $\tan\delta$ ของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่ามาก จะส่งผลให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นมีมากไปด้วย แต่ถ้าค่า $\tan\delta$ มีค่าน้อย คลื่นไมโครเวฟจะทะลุผ่านแผ่นขึ้นไม้อัดโดยไม่เกิดความร้อนขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจจะขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น เช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ค่าความชื้น (Moisture content) ลักษณะของแผ่นขึ้นไม้อัดและขนาดของแผ่นขึ้นไม้อัด ค่าความถี่ในการทะลุทะลวงหรือระยะทางที่สนามไฟฟ้าเข้าไปได้ สามารถหาได้จากสมการที่ 2 [3]

$$Dp = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\frac{\epsilon_r' \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \right)^2} - 1 \right)}{2}}} = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\frac{\epsilon_r' \left(\sqrt{1 + (\tan \delta)^2} - 1 \right)}{2}}} \quad (2)$$

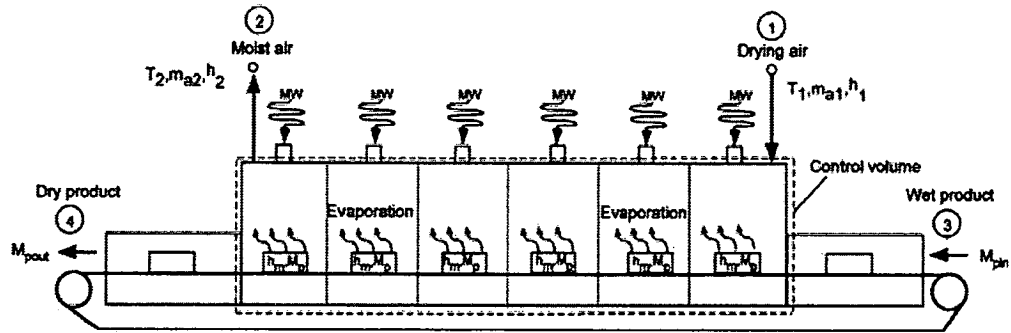
เมื่อ v = ความเร็วแสง (3×10^8 m/s) f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ϵ_r' คือ relative dielectric constant $\tan\delta$ คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient

จะเห็นว่าค่า Dielectric Constant และ Loss Tangent Coefficient เปลี่ยนค่าในการทะลุทะลวงและสนามไฟฟ้าภายในวัสดุใดอิเล็กทรอนิกส์ก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย

การสมดุล มวล พลังงานในกระบวนการอบแห้ง

จากกฎการอนุรักษ์มวลของปริมาณควบคุมตามรูปที่ 1 ทำการสมดุลมวลเมื่อ $\dot{m}_{g1}$ ที่จุด 1 และ $\dot{m}_{g2}$ ที่จุด 2 เป็นอัตราการไหลเข้าและออก W_d เป็นมวลของวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัด X_1 และ X_2 เป็นอัตราส่วนความชื้นของอากาศเข้าและออกจะได้สมการสมดุลมวลของกระบวนการอบแห้งดังนี้ [1]

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \dot{m}_{g1} - \dot{m}_{g2} \quad (3)$$



รูปที่ 1 กระบวนการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟชนิดป้อนกลั่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อน และสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง [1]

$$W_d \frac{dM_p}{dt} = m_a (X_1 - X_2) \quad (4)$$

$$m_w = m_a (X_1 - X_2) \quad (5)$$

เมื่อ W_d เป็นมวลของวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัด (kg) m_a เป็นอัตราการไหลของอากาศแห้ง (kg/s) $X_{1,2}$ อัตราส่วนความชื้นในอากาศ (kg water/kg dry air) m_w อัตราการไหลของน้ำออกจากวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัด (kg water/s)

สำหรับการวิเคราะห์การสมดุลพลังงานตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ หรือกฎการอนุรักษ์พลังงานของระบบควบคุม เกิดการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากการพาความร้อนและความร้อนที่เกิดขึ้นในโมเลกุลของน้ำภายในวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัด ทำให้เกิดการระเหยของน้ำหรือความชื้นภายในวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัดและความร้อนส่วนหนึ่งสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม สมการสมดุลพลังงานเขียนได้ดังนี้ [1]

$$\sum \dot{E}_{in} - \sum \dot{E}_{out} + E_{st} = \Delta E_{system} \quad (6)$$

ในวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัดเมื่อมีการพาความร้อนและพลังงานไมโครเวฟจะเกิดความร้อนสะสมขึ้นในวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัด อัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการระเหยของน้ำและอัตราการถ่ายเทความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม โดยความสัมพันธ์สามารถเขียนในรูปสมการดังนี้ [2]

$$\frac{W_d (h_{m2} - h_{m1})}{\Delta t} = \dot{Q}_{evap} + \dot{m}_a (h_1 - h_2) + \dot{Q}_{MW} - \dot{Q}_{loss} \quad (7)$$

เมื่อ W_d เป็นมวลของวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัด (kg) h_m เป็นเอนทาลปีของวัสดุแผ่นชิ้นไม้อัด (kJ/kg) t เป็นเวลา $\dot{Q}_{evap}$ เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากการระเหยของน้ำ (kJ/s) $\dot{m}_a$ เป็นอัตราการไหลของ

อากาศแห้ง (kg/s) h เป็นเอนทาลปีของอากาศแห้ง (kg/kg) $\dot{Q}_{MW}$ เป็นพลังงานไมโครเวฟ (kW) $\dot{Q}_{oss}$ เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม (kJ/s)

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้ง (Specific Energy Consumption in Drying Process)

การวิเคราะห์การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเป็นการประเมินจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟชนิดป้อนคั่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง พิจารณาจากการป้อนพลังงาน ในการอบแห้งที่อุณหภูมิป้อน 40 °C, 50 °C และ 60 °C ความเร็วลม 0.5 m/s กำลังไมโครเวฟ (เปิดแมกนีตรอน 3 ตัว) 2400 W การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) หาได้จากสมการดังนี้ [1]

$$SEC = \frac{\text{Total electrical power supplied in drying}}{\text{Amount of water removed during drying}}, \left[\frac{kW-hr}{kg} \right] \quad (8)$$

$$SEC = \frac{P_{total}}{\text{Amount of water removed during drying}}, \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (9)$$

เมื่อ P_{total} คือพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง สามารถหาได้จากสมการที่ 10

$$P_{total} = P_{mg} + P_{heater} + P_{exfan} + P_{cofan} + P_{con}, [kW \times 3600s] \quad (10)$$

เมื่อ P_{mg} เป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายหน่วยใน magnetron, P_{heater} เป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องทำความร้อน, P_{exfan} เป็นพลังงานไฟฟ้าพัดลมดูดอากาศ, P_{blfan} เป็นพลังงานไฟฟ้าพัดลมเป่าลม, P_{cofan} เป็นพลังงานไฟฟ้าพัดลมระบายความร้อน และ P_{con} เป็นพลังงานไฟฟ้าระบบสายพานลำเลียง

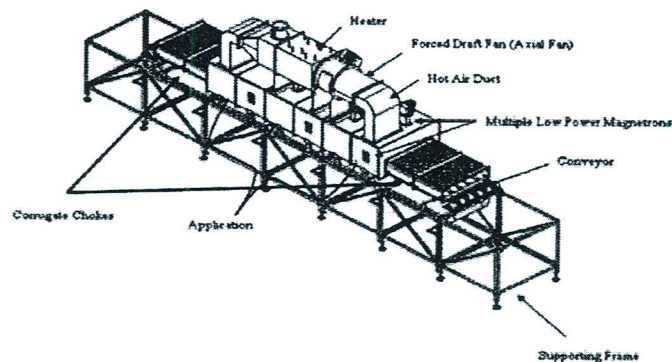
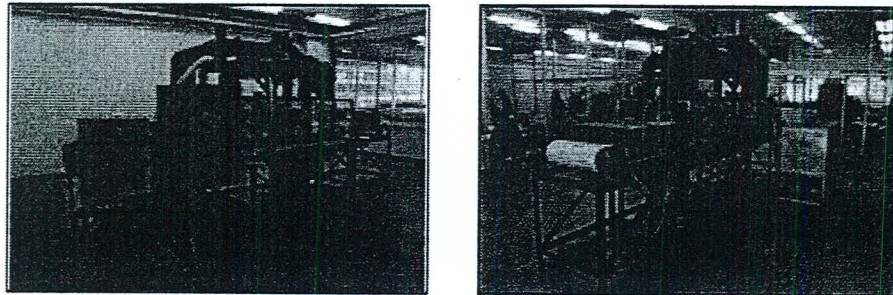
การหาประสิทธิภาพพลังงาน ของกระบวนการอบแห้งสามารถหาได้จากสมการ [1]

$$\eta_e = \frac{W_d [h_{fg} (M_{p1} - M_{p2}) + c_m (T_{m2} - T_{m1})]}{m_{da} (h_1 - h_0) \Delta t + \Delta t \dot{Q}_{MW}} \quad (11)$$

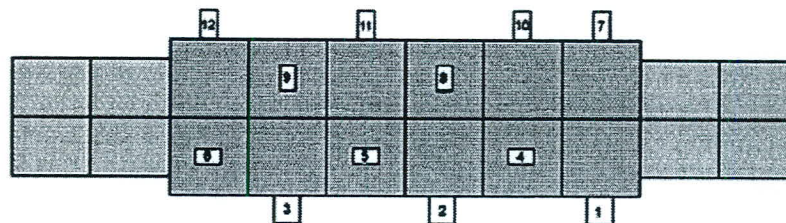
เมื่อ c_m เป็นค่าความร้อนจำเพาะของแผ่นชิ้นไม้อัด (kJ/kg K) M_p เป็นปริมาณความชื้นของแผ่นชิ้นไม้อัด (kg water/kg solid)

วิธีการทดลอง

ระบบไมโครเวฟที่ใช้สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เป็นระบบไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สามารถรวมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่องที่ทางหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (RCME.) พัฒนาขึ้น โดยอาศัยหลักการเบื้องต้นคือ วัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการจะถูกลำเลียงโดยสายพานผ่านเข้าไปในอุโมงค์ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม (rectangular cavity) ซึ่งภายในระบบจะ



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก) ระบบไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สามารถรวมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง (ข) ตำแหน่งแมกนีตรอน 12 ตัว (800 วัตต์/ตัว)

ติดตั้งแมกนีตรอน คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ไว้จำนวน 12 ตัว (กำลัง 800 วัตต์/ตัว) และเครื่องกำเนิดลมร้อน อุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้โดยประมาณ 240 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับสมบัติวัสดุ) วัสดุอุณหภูมิร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล คลื่นไมโครเวฟถูกยิงจากแมกนีตรอน ซึ่งติดตั้งอยู่รอบๆ บริเวณทำความร้อนสามารถทำได้โดยลำเลียงวัสดุใส่สายพานที่บริเวณปากทางเข้าระบบ จากนั้นสายพานจะลำเลียงวัสดุเข้าไปยังบริเวณทำความ

ร้อน การปรับแต่งกำลังสามารถทำได้โดยการเปิดและปิดแมกนีตรอนตามตำแหน่งต้องการ บริเวณปากทางเข้าและออกระบบไมโครเวฟมีระบบการคัดคลื่นไมโครเวฟที่อาจรั่วไหลออกมาเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานซึ่งค่าการรั่วไหลมีมาตรฐานอยู่ไม่เกิน 5 mW/cm^2 สำหรับการวัดอุณหภูมิวัสดุทดสอบสามารถ วัดได้ที่ตำแหน่งปากทางเข้าและออกเตาไมโครเวฟโดยใช้อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ (ความแม่นยำในช่วง $\pm 0.5^\circ\text{C}$) วัสดุทดสอบเป็นแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง มีส่วนประกอบคือ เส้นใย, ฝง และน้ำ แบ่งส่วนผสมออกเป็น 4 สูตร คือ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ ขนาด $20 \times 20 \text{ cm}$.

การอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ทำการวัด ความชื้นเริ่มต้นและทำการวัดค่าไดอิเล็กตริกก่อนการทดลอง จากนั้นทำการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ โดยมีการวัดอุณหภูมิที่ผิวภายนอก ซึ่งน้ำหนัก และวัดความชื้นสุดท้ายของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง จากนั้นนำแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ทดลองเสร็จแล้วไปทำการตรวจสอบคุณภาพ ด้วยการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกล ซึ่งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ใช้นั้นมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30-40 % (Dry Basis) และมีอุณหภูมิ 25°C

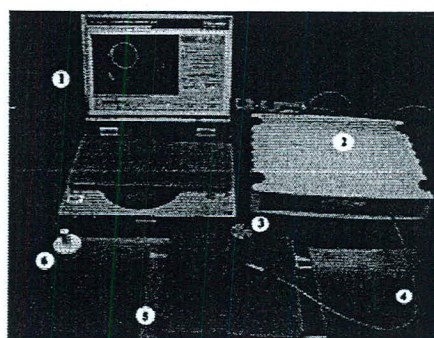
การทดลองแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้

กรณี 1 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว(กำลัง 800 วัตต์/ตัว) 2400 W อุณหภูมิความร้อนที่ 40°C แผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ใช้ในการทดลอง มีส่วนประกอบคือ เส้นใย, ฝง และน้ำ แบ่งส่วนผสมออกเป็น 4 สูตร คือ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ ขนาด $20 \times 20 \text{ cm}$.

กรณี 2 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว(กำลัง 800 วัตต์/ตัว) 2400 W อุณหภูมิความร้อนที่ 50°C แผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ใช้ในการทดลอง มีส่วนประกอบคือ เส้นใย, ฝง และน้ำ แบ่งส่วนผสมออกเป็น 4 สูตร คือ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ ขนาด $20 \times 20 \text{ cm}$.

กรณี 3 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว(กำลัง 800 วัตต์/ตัว) 2400 W อุณหภูมิความร้อนที่ 60°C แผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ใช้ในการทดลอง มีส่วนประกอบคือ เส้นใย, ฝง และน้ำ แบ่งส่วนผสมออกเป็น 4 สูตร คือ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ ขนาด $20 \times 20 \text{ cm}$.

การวิเคราะห์การทำความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริก โดยการวัดค่าไดอิเล็กตริกด้วยเครื่องเน็ตเวิร์คแอนาไลเซอร์ (Network Analyzer) ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเปรียบเทียบในการวิเคราะห์เชิงลึกเป็นข้อมูลป้อนเข้าสำหรับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีด้วยสมบัติไดอิเล็กตริกในวัสดุเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการ



1. Software
2. Microwave Reflect meter
3. Coaxial Cavity
4. Coaxial Cable
5. Sample
6. Female Calibration Standards

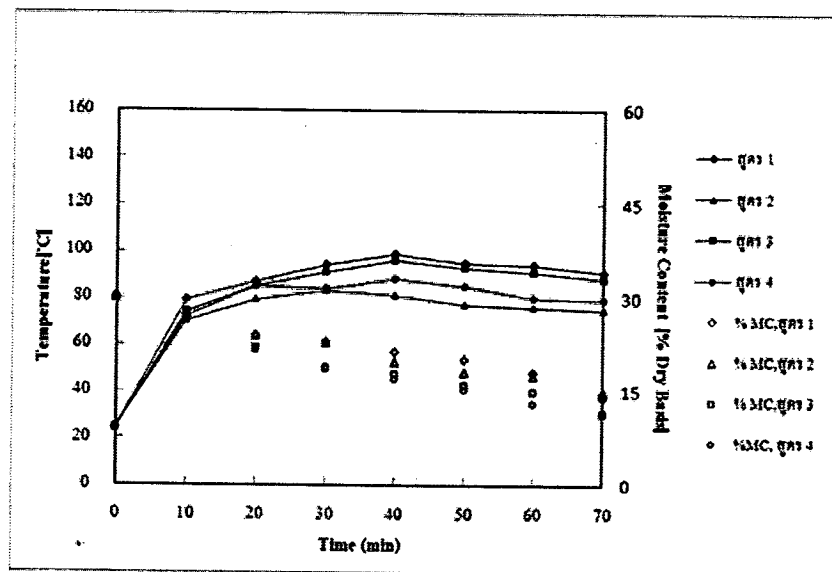
รูปที่ 3 เครื่องเน็ตเวิร์คแอนาไลเซอร์ [1]

ไมโครเวฟพราะสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นสมบัติที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานไมโครเวฟ ตัวเครื่องมือองค์ประกอบที่จำเป็นต่อการวัดอย่างสมบูรณ์แบบเช่น การรักษาสัญญาณไมโครเวฟ การคำนวณสัญญาณ การเก็บข้อมูลจากการคำนวณ และการนำผลดังกล่าวมาแสดงเป็นกราฟ ควบคุมการทำงานด้วยซอฟต์แวร์ คอมพิวเตอร์เพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นภายในวัสดุที่ถูกทดสอบ จากนั้นจะตรวจจับความถี่การสั่นพ้องของคลื่นภายในหัววัด (cavity) รวมไปถึงปัจจัยคุณภาพ (quality factor) และนำข้อมูลที่ได้แปรกลับเป็นค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ถูกทดสอบ

ขั้นตอนการวัดค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก นำวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ทำการวัด 5 จุดต่อหนึ่งชิ้นงาน ใช้เครื่องเน็ตเวิร์กอนาไลเซอร์ (Network Analyzer) บันทึกค่าที่ได้แล้วนำมาหาค่า $\tan \delta$

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความชื้นที่เวลาอบแห้งต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขที่อุณหภูมิต่างกันมีลักษณะคล้ายถึงกัน โดยความชื้นจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น การอบแห้งแต่ละครั้งใช้แผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง 4 ชุด ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30 - 40 % Dry Basis จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 10 - 15 % Dry Basis ในช่วงแรกประมาณ 0 - 15 นาทีแรก นั้นความชื้นในวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากความชื้นภายในมีมาก เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4 การอบแห้งโดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิความร้อน 40 °C พบว่าความชื้นของแผ่นขึ้นไม้อัดจะลดลงอย่างรวดเร็วและจะลดลงตามความร้อนของ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิความร้อน 40 °C

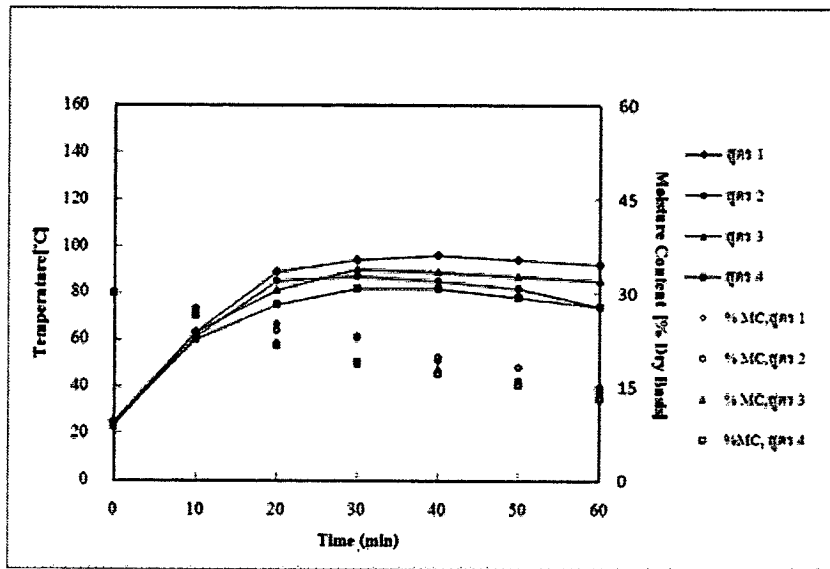
อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากในตอนเริ่มต้นวัสดุแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองมีความชื้นสูง จึงทำให้ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานสูงความร้อนจึงสูงตามไปด้วย ประกอบกับวัสดุนั้นมีลักษณะเป็นฉนวนไฟฟ้า ซึ่งอันตรกิริยาระหว่างฉนวนไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผลทำให้เกิดความร้อนภายในวัสดุโดยจะเริ่มร้อนขึ้นทั้งก้อน (Volumetric Heating) ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุได้เร็ว และเมื่อเวลาผ่านไปวัสดุมีความชื้นลดลงทำให้ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานมีค่าลดลง ความร้อนจึงลดลงตามด้วย

ตารางที่ 1 ค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง

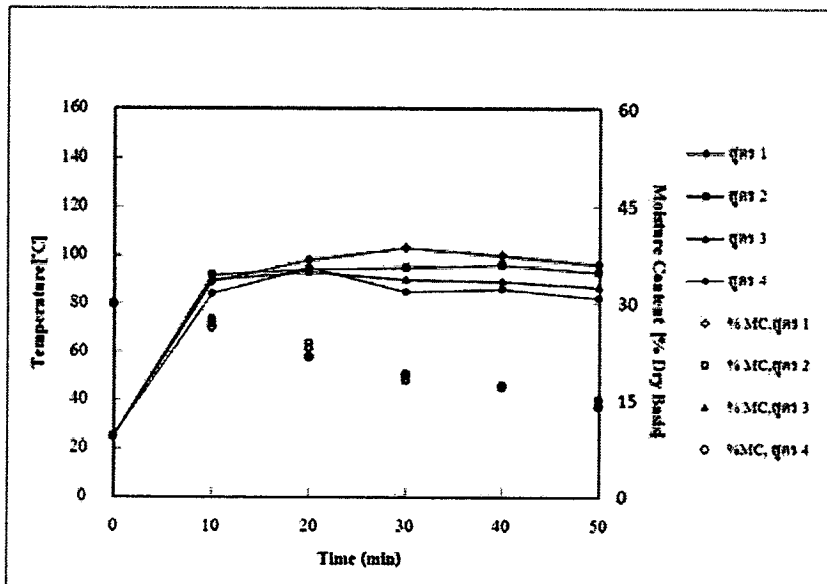
ชุด ที่	แผ่นขึ้น ไม้อัด	ก่อนอบแห้ง			หลังอบแห้ง		
		ค่า Dielectric constant (ϵ_r')	ค่า Dielectric loss factor (ϵ_r'')	ค่า Loss tangent coefficient ($\tan\delta$)	ค่า Dielectric constant (ϵ_r')	ค่า Dielectric loss factor (ϵ_r'')	ค่า Loss tangent coefficient ($\tan\delta$)
1	1:1:1	2.18862	0.345547	0.157533942	1.90439	0.177017	0.091730295
	1:1:1.5	2.14632	0.379913	0.176934528	1.39721	0.149143	0.106762260
	2:1:1.5	2.25451	0.446069	0.197688973	1.50868	0.153686	0.101922313
	2:1:2	2.31650	0.443787	0.191471577	1.56934	0.158107	0.100776590
2	1:1:1	2.37493	0.525012	0.220931119	1.47808	0.149881	0.101408071
	1:1:1.5	2.39608	0.539043	0.224797550	1.46129	0.144333	0.098767882
	2:1:1.5	2.23818	0.455578	0.203464611	1.45320	0.148527	0.102228164
	2:1:2	1.88531	0.306049	0.162227395	1.45208	0.146113	0.100649968
3	1:1:1	2.59829	0.610489	0.234860799	1.46776	0.145119	0.098867097
	1:1:1.5	2.18999	0.419730	0.191616784	1.41330	0.140657	0.099526315
	2:1:1.5	2.72758	0.677368	0.255083833	1.62878	0.154793	0.095073949
	2:1:2	2.23574	0.422795	0.189115917	1.46175	0.144434	0.098820191

จากรูปที่ 5 การอบแห้งโดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิความร้อน 50 °C แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและอุณหภูมิกับเวลา พบว่าในช่วงเริ่มต้น แผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองมีการดูดซับกำลังไมโครเวฟที่ดีหลังจากนั้นการดูดซับลดลงอันเนื่องมาจากในช่วงแรกแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นมาก จึงทำให้ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานสูงความร้อนจึงสูงตามไปด้วย และเมื่อเวลาผ่านไปความชื้นของแผ่นขึ้นไม้อัดลดลงทำให้การดูดซับพลังงานลดลง ค่าอุณหภูมิจึงมีค่าลดลงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิความร้อน 40 °C พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความร้อนสูงขึ้น จะช่วยให้ความชื้นสามารถเคลื่อนตัวออกจากแผ่นขึ้นไม้อัดได้เร็วขึ้น

จากรูปที่ 6 การอบแห้งโดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิร้อน 50 °C แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและอุณหภูมิกับเวลา พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิร้อนอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิของแผ่นชิ้นไม้ไผ่ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น แผ่นชิ้นไม้ไผ่มีการดูดซับกำลังไมโครเวฟลดลง แต่ความร้อนสะสมในแผ่นชิ้นไม้ไผ่ยังมีค่าสูง ทำให้อุณหภูมิแผ่นชิ้นไม้ไผ่มีค่าสูงอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิร้อน 40 °C และ 50 °C พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะช่วยให้ความชื้นสามารถเคลื่อนตัวออกจากแผ่นชิ้นไม้ไผ่ได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด และให้อัตราการอบแห้งสูงที่สุดด้วย

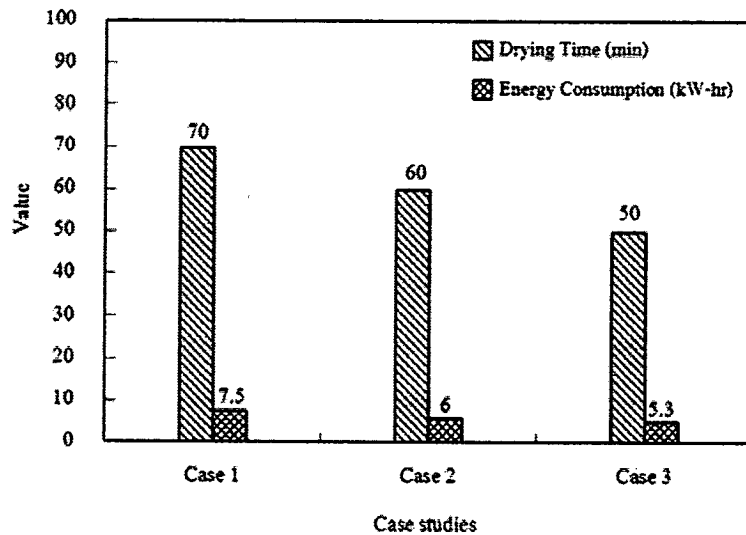


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิร้อน 50 °C



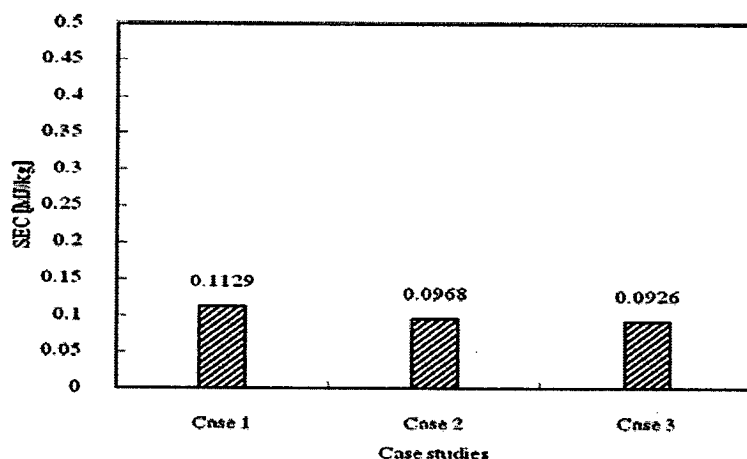
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิร้อน 60 °C

จากรูปที่ 7 การใช้พลังงานกำลังไฟฟ้าในกระบวนการอบแห้งแผ่นจีนไม้ไผ่จากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง กรณี 1 ใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 7.5 kW/h กรณี 2 ใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 6 kW/h กรณี 3 ใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 5.3 kW/h โดยในกรณี 3 การอบแห้งโดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 60 °C การใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่ากรณี 1 และกรณี 2 การอบแห้งโดยมีกำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 40 °C และ 50 °C ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนช่วยเพิ่มความสามารถในการระเหยของน้ำในแผ่นจีนไม้ไผ่ให้มากขึ้น ส่งผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้การใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลงตามด้วย



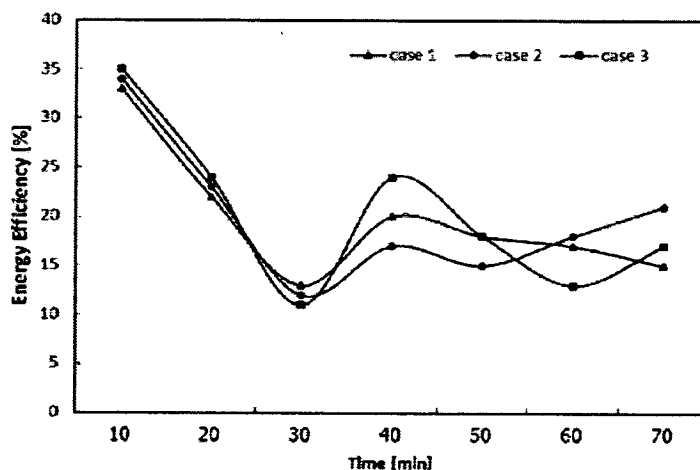
รูปที่ 7 การใช้พลังงานกำลังไฟฟ้าในกระบวนการอบแห้ง

จากรูปที่ 8 ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการทดลองการอบแห้งแผ่นจีนไม้ไผ่จากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง กรณี 1 ใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 40 °C กรณี 2 ใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 50 °C กรณี 3 ใช้กำลังไมโครเวฟ 2400 W อุณหภูมิลมร้อน 60 °C ค่าการสิ้นเปลือง



รูปที่ 8 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะใน กระบวนการอบแห้ง (Specific Energy Consumption in Drying Process)

พลังงานจำเพาะเท่ากับ 0.1129, 0.0968 และ 0.0926 MJ/kg ตามลำดับ โดยในกรณี 3 ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 0.0926 MJ/kg เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งมีผลโดยตรงต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเมื่อใช้อุณหภูมิร้อนที่สูงขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะก็ลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้ง

จากรูปที่ 9 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัด จากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง กรณี 1, 2, และ 3 พบว่าในช่วงแรก 0 – 15 นาที ประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีค่าใกล้เคียงกันเพราะในช่วงแรกปริมาณความชื้นในแผ่นชิ้นไม้อัดมีอยู่มากการดูดซับคลื่นได้ในปริมาณที่สูง ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงตามไปด้วย หลังจากนั้นการจับคลื่นไปสู่ผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัดเป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้ความชื้นลดลง การดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ในปริมาณที่น้อย ทำให้พลังงานที่นำมาใช้จึงลดลง มีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลงตามไปด้วย ดังนั้นประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ

สรุปผลการทดลอง

การอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัด จากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง ที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง พบว่าในตอนเริ่มต้น วัสดุมีความชื้นสูง จึงให้ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานสูงประกอบกับวัสดุนั้นมีลักษณะเป็นजूทางไฟฟ้า ซึ่งอันตรกิริยาระหว่างजूทางไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในวัสดุ (Rattanadecho et al., 2010) โดยวัสดุจะร้อนขึ้นทั้งก้อน (Volumetric Heating) ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุได้เร็ว และเมื่อเวลาผ่านไปวัสดุมีความชื้นลดลงทำให้ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานมีค่าลดลง นั่นแสดงให้เห็นว่าวัสดุมีค่า Dielectric Properties ต่ำ จึงทำให้ค่า Dielectric loss tangent coefficient น้อย นอกจากนี้การใส่พลังงานลมร้อนในกระบวนการอบแห้ง จะช่วยให้ความชื้นสามารถเคลื่อนตัวออกจากผิววัสดุได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง พลังงานที่ใช้ก็จะลดลงตามไปด้วย ดังนั้นการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบลมร้อนทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น สามารถนำไปพัฒนาในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณงบประมาณแผ่นดิน จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสำนักงานคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนเงินในการดำเนินการวิจัย และสมาชิกในหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (RCME.) คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jindarat, W., Rattanadecho, P., Vongpradubchai, S. and Pianroj, Y., 2011, Analysis of Energy Consumption in Drying Process of Non-Hygroscopic Porous Packed Bed Using a Combined Multi-Feed Microwave - Convective Air and Continuous Belt System (CMCB), Drying Technology An International J., Vol.29(08), pp. 926 – 938.
- [2] Prommas, R., Rattanadecho, P. and Jindarat, W., 2012, "Energy and exergy analyses in drying process of non-hygroscopic porous packed bed using a combined multi-feed microwave-convective air and continuous belt system (CMCB)" International Communications in Heat and Mass Transfer, 39, pp.242-250.
- [3] Rattanadecho, P., Suwannapum, N., Watanasungsuit, A. and Duangduen, A., 2007, "Drying of Dielectric Materials Using Microwave-Continuous Belt Furnace.", ASME J. Manufacturing Sciences and Engineering, Vol. 129 (1), pp. 157-163.
- [4] Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A. and Achariyaviriya, S., 2007, Combined Microwave-Hot air Drying of Peeled Longon, Journal of Food Engineering, Vol.31, pp. 459-468.
- [5] Rattanadecho, P., Aoki, K. and Akahori, M., 2002, "Influence of Irradiation Time, Particle Sizes and Initial Moisture Content During Microwave Drying of Multi-Layered Capillary Porous Materials." ASME J. Heat Transfer, Vol. 124 (1), 2002, pp. 151-161.
- [6] Rattanadecho, P., Duangduen, A., Vongpradubchai, S., 2006, "Drying of a Slip Casting for Tableware Product Using Microwave-Continuous Belt Furnace.", Drying Technology An International J., Vol. 26, pp. 589-594.
- [7] Jindarat, W., Rattanadecho, P. and Vongpradubchai, S., 2011, "Analysis of Energy Consumption in Microwave and Convective Drying Process of Multi-Layer Porous Material Inside a Rectangular Wave Guide", Experimental Thermal and Fluid Science. 35, pp. 728-737.
- [8] Prommas, R., Keangin P. and Rattanadecho, P., 2010, "Energy and Exergy Analyses in Convective Drying Process of Multi-layered Porous packed bed" International Communications in Heat and Mass Transfer, 37, pp.1106-1114.
- [9] Prommas, R., Rattanadecho, P. and Cholaseuk, D., 2010, "Energy and Exergy Analyses in Drying Process of Porous Media Using Hot Air" International Communications in Heat and Mass Transfer, 37, pp.372-378.
- [10] Vongpradubchai, S., Rattanadecho, P., 2011, " Microwave and Hot Air Drying of Wood Using a Rectangular Waveguide" Drying Technology An International J., Vol. 29, pp. 451-460.
- [11] Vongpradubchai, S., Rattanadecho, P., 2009, "The Microwave Processing of wood using a continuous microwave belt drier" Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, Vol 48(5), pp 997-1003.

Sci-Tech 023	การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของจักรยานยนต์ไฟฟ้าและจักรยานยนต์ กรณีศึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โชคชัย แสนลิละ, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	23
Sci-Tech 024	การประยุกต์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของ โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากฟาร์มโคนม ไฉลิกา มิ่งไทยสงค์, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	24
Sci-Tech 025	การใช้ฟuzzyลอจิกกับเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์โดยอยู่บนพื้นฐานของการ ประหยัดพลังงานและความพึงพอใจของมนุษย์ สำหรับพื้นที่ในเขตร้อนชื้น ชุตินา พลอดโปร่ง, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	25
Sci-Tech 026	ศึกษาการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งมวลชนใน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต วิศรุต เป็ลยงกลีน, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	26
Sci-Tech 027	การจำลองสถานีชาร์จจักรยานยนต์ไฟฟ้าและศึกษาผลกระทบต่อระบบ ไฟฟ้าใน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต นพรัตน์ ไสการณ, วรรัตน์ ปัตตประกร, พระพิพัฒน์ ภาสบุตร	27
Sci-Tech 028	การวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัดจาก เปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดบ้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับ ระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง วันชนะ ยิ่งยืน สโรชา เจริญวัย สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	28
Sci-Tech 029	การศึกษาเชิงทดลองในกระบวนการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียน หมอนทอง) โดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดบ้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบ ลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง อนุชิต จิวหัย สโรชา เจริญวัย สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	29
Sci-Tech 030	การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและทดลองสำหรับปัญหาการซึมผ่านของน้ำในวัสดุพูนที่ไม่อิ่มตัว ใน 1 มิติ ฐิติพันธ์ สมถวิล สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	30
Sci-Tech 031	การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มโดยเอทานอล นัชญา พัฒนชนะ และผศ. ดร.มาลี สันติคุณาภรณ์	31
Sci-Tech 032	ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใส่ในเศษอาหารต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ นางสาววราภรณ์ ริมพิบูล และ ผศ.ดร.มาลี สันติคุณาภรณ์	32



การศึกษาเชิงทดลองในกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียน) โดยใช้ระบบไมโครเวฟ
ชนิดบิออสันหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

The Experimental Studies of Drying Process Particleboards (form durian peels) By Using a
Combined Unsymmetrical Multi-Feed Microwave and
Hot Air-Continuous Belt System.

อนุชิต จิวหทัย¹ สโรชา เจริญวัย^{1*} สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย² และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: saroachakuk@hotmail.com , ratphadu@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง เพื่อทำการศึกษาลักษณะทางจลนพลศาสตร์ ของกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง) ขนาดกว้าง 0.2 เมตร ยาว 0.2 เมตรหนา 0.01 เมตร โดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดบิออสันหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง โดยระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยแมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ขนาด 800 วัตต์ จำนวน 12 ตัว ติดตั้งกระจายภายในอุโมงค์ของระบบไมโครเวฟซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัดสูง 0.45 เมตรกว้าง 0.90 เมตร ยาว 3.0 เมตร และเครื่องกำเนิดลมร้อนที่มีอุณหภูมิการทำงานสูงสุด 240 องศาเซลเซียส ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาทำการศึกษความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นกับเวลา และอัตราการอบแห้ง รวมทั้งคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และค่าการบวมพองหลังการแช่น้ำ ของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองก่อนอบและหลังอบ

Abstract

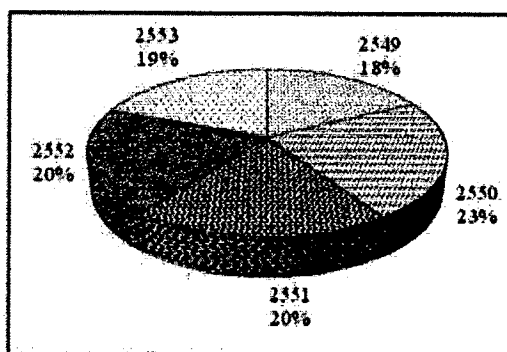
The objectives of this research were to experimental studies on the kinetics of drying process of particleboards (transform durian peels) of size width 0.2 m. length 0.2 m. thickness 0.01 m. by sing a combined unsymmetrical multi-feed microwave and hot air-continuous belt system. It is internal structure included 12 magnetrons, microwave generating sources at the frequency level of 2.45 Gigahertz (GHz) and power of 800 watts, built at the cavity wall inside the system. The microwave cavity was rectangular shape with dimension of high 0.45 m. wide 0.90 m. long 3.0 m. and Hot air was generated using electric heaters with the maximum working temperature of 240 °C. The tested properties are the relations between temperature and moisture profile with respect to elapsed time and drying rat, the test of dielectric properties, Internal bonding strength and Thickness swelling of particleboards from durian peel before drying and after drying.

Keywords: Drying kinetics, Continuous Belt system, Particleboards, Microwave



1. บทนำ

การใช้วัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อช่วยลดปัญหาที่ทรัพยากรป่าไม้มีจำนวนลดลง ในขณะที่ความต้องการใช้ไม้ยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นและในปัจจุบันนี้ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณภาพอยู่ในระดับต้น ๆ ของโลก เช่น ข้าว ข้าวโพด ผัก ผลไม้ สมุนไพร และเครื่องเทศ ฯลฯ เมื่อถึงฤดูกาลจะมีผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมากจึงทำให้เกิดวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรจำนวนมากจึงได้มีแนวคิดในการนำวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรจำพวกเปลือกผลไม้มาผลิตเป็นแผ่นขึ้นไม้อัด เช่น เปลือกทุเรียน เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตทุเรียนรายใหญ่ของโลก (ปี 2549-2553) เฉลี่ยปีละ 6,834,109 ตัน [1] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. ปริมาณผลผลิตทุเรียนในประเทศไทยใน 5 ปีย้อนหลัง (หน่วย: %) [1]

จากข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้มีวัสดุเหลือใช้จำพวกเปลือกทุเรียนมีแนวโน้มสูงขึ้นจำนวนมากขึ้นเป็นเงาตามตัว ถ้าไม่สามารถกำจัดขยะเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในอดีตได้มีนักวิจัยได้ทำการวิจัยโดยนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียน มาผลิตเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีค่าการนำความร้อนต่ำเพื่อใช้เป็นวัสดุในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน เนื่องจากเส้นใยทุเรียนมีค่าการนำความร้อนต่ำ เท่ากับ 0.0921 W/m.K เมื่อเทียบกับเปลือกผลไม้ชนิดอื่นๆ [2] เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดเพื่อเป็นวัสดุภายในอาคารเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ซึ่งในกระบวนการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดนั้นจะเกี่ยวข้องกับการอบแห้งไม่ว่าจะด้วยวิธีธรรมชาติหรือนำพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ ในบางครั้งผลิตไม่ทันตามความต้องการหรือหากทันตามความต้องการจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและได้ประสิทธิภาพไม่คุ้มค่าเท่าที่ควร ส่งผลให้ต้องหากรรมวิธีการผลิตที่ช่วยในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดี สะอาด ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นที่สุดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากในเวลาที่รวดเร็ว เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการผลิตจึงได้นำการใช้คลื่นไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่คลื่นไมโครเวฟระหว่าง 0.3 ถึง 300 GHz หรือในช่วงความยาวคลื่น 1 mm. ถึง 1 m. มาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนเพื่อแปรรูปวัสดุต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมงานวิจัยในระดับชาติและระดับนานาชาติที่ผ่านมาเกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนและอบแห้งวัสดุในประเภทต่างๆ ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟ ได้แก่ ผงสักรีด และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการอบแห้งวัสดุไดโอดอิเล็กทริกโดยใช้คลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง โดยศึกษาความเร็วของสายพาน เวลา ขนาดของวัสดุ กำลัง และทิศทางของแม่กึ่งตัวนำ วัสดุไดโอดอิเล็กทริกที่ใช้ในการศึกษาคือ ยางพารา และเซรามิกส์ พบว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟนั้นช่วยประหยัดพลังงาน ลดระยะเวลาในการอบแห้งและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการให้



ความร้อนแบบธรรมดา Vongpradubchai และ Rattanadecho [4] ได้ทำการศึกษาการอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม พารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ คลื่นที่ไมโครเวฟ 50, 100W ระดับอุณหภูมิของลมร้อน 40, 60 °C และความหนาของชิ้นไม้ 50, 80 mm โดยชิ้นไม้มีความชื้นเริ่มต้น 89 - 95 % dry basic พบว่าการเปลี่ยนแปลงกำลังคลื่นไมโครเวฟและอุณหภูมิของลมร้อนและความหนาของชิ้นไม้มีผลต่อจนวนผลผลิตของการอบแห้งชิ้นไม้ นริศ และคณะ [5] ได้วิจัยในห้องปฏิบัติการทำการศึกษาอิทธิพลของกำลังอินฟราเรด อุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมที่มีผลต่อการอบแห้งเนื้อลำไยที่มีความชื้นเริ่มต้น 450-580 % dry basic จนเหลือความชื้น 18 % dry basic พบว่าอัตราการผลิตและอุณหภูมิของเนื้อลำไยเพิ่มขึ้นตามกำลังอินฟราเรดหรืออุณหภูมิลมร้อนทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง Vongpradubchai และ Rattanadecho [6] ได้ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่องโดยทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบธรรมดา โดยทำการวิเคราะห์ปรากฏการณ์การอบแห้งภายใต้คลื่นไมโครเวฟการกระจายของคลื่นและพลังงานไมโครเวฟที่มีผลต่อจนวนผลผลิตการอบแห้งและคุณสมบัติทางกล ผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อย ทำให้ประหยัดพลังงานและชิ้นไม้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแบบธรรมดา นพวรรณ และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาพลังงานไมโครเวฟมาให้ความร้อนในยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่มีปริมาณของกำมะถันต่างกันทั้งหมด 4 สูตร โดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (TE₁₀ Mode) เพื่อศึกษากำลังวัตต์ที่ป้อนเข้า ขนาดความหนาชิ้นงาน ระยะเวลาที่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน และองค์ประกอบของส่วนผสมในชิ้นงาน ผลที่ได้พบว่าพลังงานไมโครเวฟสามารถนำไปใช้ประยุกต์สำหรับกระบวนการคงรูปของยางธรรมชาติได้ดี

สำหรับงานวิจัยนี้จะเน้นทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาลักษณะจนวนผลผลิตของการอบแห้ง รวมถึงลักษณะของภาพถ่ายทางความร้อน ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bonding strength) และค่าการบวมพองหลังการแช่น้ำ (Thickness Swelling) ของแผ่นชิ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง) โดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง โดยมีอุโมงค์เป็นหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัด 0.45 เมตร 0.90 เมตร มีอุโมงค์ยาว 3 เมตร ภายในติดตั้งแมกนีตรอนกำลังต่ำ ความถี่ที่ใช้คือ 2.45 GHz กำลังสูงสุดที่ทำคือ 6×800 วัตต์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

การอบแห้งคือ กระบวนการลดความชื้นหรือน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ในอัตราเร็วที่ใกล้เคียงกับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งแบบธรรมดาคือใช้หลักการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวภายในและภายนอกของผลิตภัณฑ์แต่การอบแห้งโดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และค่าสมบัติทางไดอิเล็กตริกของผลิตภัณฑ์นั้นๆ วัสดุที่เป็นฉนวนที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านได้ดี เช่น แก้ว อากาศ อลูมิเนียม เซรามิกส์ เป็นต้น ส่วนวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง เช่น งานโลหะ จะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งคลื่นไม่สามารถทะลุผ่านไปได้ สำหรับวัสดุไดอิเล็กตริกหรือวัสดุกึ่งฉนวนที่มีขั้วทางไฟฟ้า (Dipole) เช่น น้ำ กระดาษเรซินและไม้จะสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ลักษณะการเกิดความร้อนจะเกิดจากแรงเสียดสีระหว่างการจัดเรียงตัวใหม่ ของโมเลกุลน้ำ เมื่อดูดกลืนคลื่นส่งผลให้เกิดเป็นความร้อนภายในทั่วทั้งเนื้อวัสดุ (Volumetric Heating) ความร้อนและความชื้นจะถูกถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวภายนอกของวัสดุ การให้ความร้อนคลื่นไมโครเวฟจะทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่ต่างไปจากเดิมมากนัก เนื่องจากการระเหยของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในวัสดุอย่างสม่ำเสมอสามารถลดการแตกร้าวและรอยไหม้ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งสำหรับวัสดุในงานอุตสาหกรรมต่อไป



2.2 สมการความรู้พื้นฐานของการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเมื่อทะลุผ่านวัสดุไดอิเล็กตริกจะถูกดูดซับและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เรียกว่าค่ากำลังการดูดซับคลื่นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Density of Microwave Power Absorbed, Q) ซึ่งสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายในวัสดุไดอิเล็กตริก อย่างไรก็ตามวัสดุไดอิเล็กตริกไม่มีผลต่อสภาพเชิงขั้วแม่เหล็กเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงไม่มีสนามแม่เหล็กสูญเสียในระหว่างการแผ่รังสีไมโครเวฟ แต่วัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสของสนามไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นค่าเฉลี่ยรากที่สองของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกใช้ในการประมาณค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับโดยวัสดุไดอิเล็กตริก เมื่อสมมติให้มีการสูญเสียสนามแม่เหล็ก ค่าของการกำเนิดปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรสามารถแสดงได้ดังสมการ (1)

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon' (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

เมื่อ E คือ สนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ ϵ' คือ relative dielectric constant ซึ่งบอกถึงสมบัติของวัตถุใด ๆ ที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับ ส่งผ่านและสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ โดย ϵ_0 คือ Dielectric Constant ของอากาศ และ $\tan \delta$ คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient ซึ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับพลังงานความร้อน ค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับค่าความถี่ของสนามไฟฟ้า $\tan \delta$ และค่ากำลังสองของสนามไฟฟ้า แต่ถ้าค่า $\tan \delta$ ของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่ามาก จะส่งผลให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นมีมากไปด้วย แต่ถ้าค่า $\tan \delta$ มีค่าน้อย คลื่นไมโครเวฟจะทะลุผ่านแผ่นขึ้นไม้อัดโดยไม่เกิดความร้อนขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจจะขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น เช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ค่าความชื้น (Moisture content) ลักษณะของแผ่นขึ้นไม้อัดและขนาดของแผ่นขึ้นไม้อัดด้วย

ค่าความลึกในการทะลุทะลวงหรือระยะทางที่สนามไฟฟ้าเข้าไปได้ สามารถหาได้จากสมการ (2)

$$D_p = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\epsilon' \sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)^2} - 1}} = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\epsilon' \sqrt{1 + (\tan \delta)^2} - 1}} \quad (2)$$

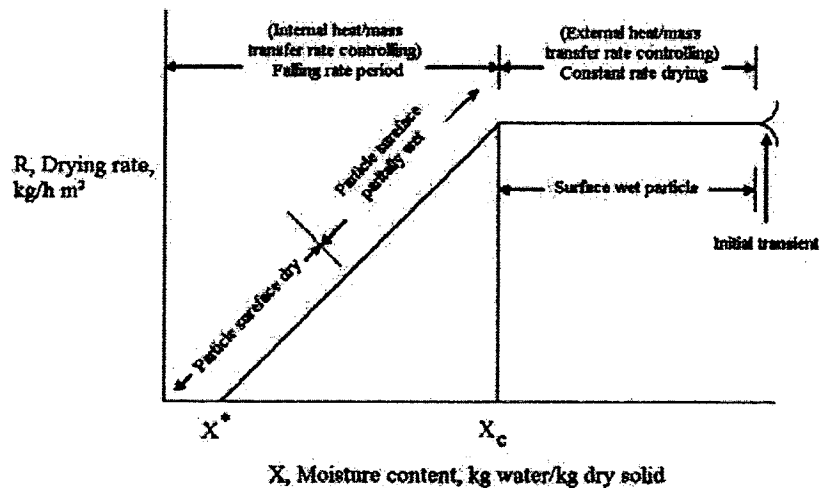
เมื่อ v คือ ค่าความเร็วแสง (3×10^8 m/s), f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ (ϵ') คือ Relative dielectric constant ($\tan \delta$) คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient จะเห็นว่าค่า Dielectric Constant และ Loss Tangent Coefficient เปลี่ยนค่าความลึกในการทะลุทะลวงและสนามไฟฟ้าภายในวัสดุไดอิเล็กตริกก็จะเปลี่ยนแปลงตามด้วยเห็นว่าค่า Dielectric Constant และ Loss Tangent Coefficient เปลี่ยนค่าความลึกในการทะลุทะลวงและสนามไฟฟ้าภายในวัสดุไดอิเล็กตริกก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

2.3 การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งในวัสดุ

กระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็นสองคาบเวลาใหญ่ๆ คือ คาบเวลาที่ อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) อัตราการระเหยของไอน้ำที่ ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำ (ของเหลว) ภายในวัสดุที่ เติบโตเต็มที่ ผิวหน้า ช่วงปลายของคาบเวลานี้ความชื้นภายในวัสดุเข้าใกล้ค่าความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content, x_c) โดยค่าความชื้นวิกฤติขึ้นอยู่กับชนิดของโครงสร้างและการเกาะตัวของความชื้นในวัสดุเมื่อความชื้นในวัสดุมีค่าน้อยกว่าค่าความชื้นวิกฤติ กระบวนการอบแห้งจะเข้าสู่คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) โดยปกติคาบเวลานี้ใช้ระยะเวลามากกว่าคาบเวลาที่ อัตราการอบแห้งคงที่เมื่ออัตราการอบแห้งมีค่าลดลงเข้า



ใกล้ศูนย์มีความชื้นคงเหลืออยู่ค่าหนึ่ง (มีค่าน้อยมาก) ภายใต้สภาวะการอบแห้งค่าความชื้นนี้เราเรียกว่าค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. คาบเวลาของกระบวนการอบแห้ง

คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) เมื่อวัสดุมีความชื้นสูงมากๆ อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอิทธิพลภายนอกซึ่งมีผลต่อวัสดุที่นำมาอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของก๊าซ ความดันรวม และความดันย่อยของไอน้ำ หากอิทธิพลภายนอกถูกควบคุมให้คงที่อัตราการระเหยของไอน้ำที่ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในวัสดุ ตัวแปรที่ควบคุมกระบวนการอบแห้งในคาบเวลานี้ คือพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับตัววัสดุในช่วงนี้เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายตัวของความชื้นสู่ผิววัสดุ (Surface diffusion) เป็นหลัก การคำนวณอัตราการอบแห้งในคาบเวลานี้สามารถทำได้ง่ายโดยปกติการถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Forced convection) จะใช้คาบเวลาดังกล่าวในการวิเคราะห์ ส่วนคาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) เมื่อกระบวนการการอบแห้งดำเนินต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนความชื้นเข้าสู่ความชื้นวิกฤตความชื้นในวัสดุที่เคลื่อนตัวไปยังผิวหน้าภายใต้อิทธิพลการแพร่กระจายตัวของความชื้นสู่ผิววัสดุเริ่มมีไม่เพียงพอต่อปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไปทำให้บริเวณผิวหน้าวัสดุเกิดการแยกตัวและเกิดขึ้นความแห้ง

2.4 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชิ้นหรือแห้ง ความชื้นในเนื้อวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 3 แบบ คือ

1) ความชื้น (Moisture content, MC)

$$MC = \left(\frac{w_t - w_d}{w_d} \right) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้น (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)

w_t คือ น้ำหนักที่เวลาใด ๆ (กรัม)

w_d คือ น้ำหนักแห้ง (กรัม)



2) อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR)

$$MR = \frac{M_c - M_{eq}}{M_w - M_{eq}} \quad (4)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M_w คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก)

M_c คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุที่เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก)

3) อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR)

$$DR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง, (กรัม/ชั่วโมง)

W_1 คือ น้ำหนักของวัสดุที่ตำแหน่งที่ 1, (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของวัสดุที่ตำแหน่งที่ 2, (กรัม)

t_1 คือ เวลาที่ตำแหน่งที่ 1, (นาท)

t_2 คือ เวลาที่ตำแหน่งที่ 2, (นาท)

3. ระเบียบวิธีวิจัย

แผ่นชิ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง) ที่ใช้ในการทดลอง มีส่วนประกอบคือ (เส้นใยเปลือกทุเรียน : ผงเปลือกทุเรียน : น้ำ) แบ่งสูตรผสมออกเป็น 4 สูตร คือ 1:1:1, 1:1:1.5, 2:1:1.5, 2:1:2 ตามลำดับ ขนาดกว้าง 0.2 เมตร ยาว 0.2 เมตร หนา 0.01 เมตร

3.1 เครื่องอบไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

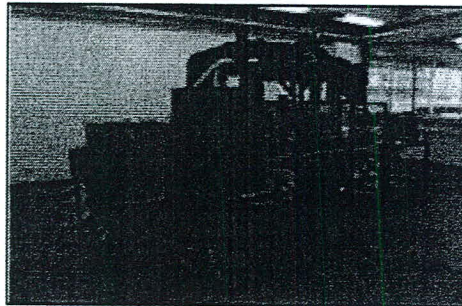
ระบบไมโครเวฟที่ใช้สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เป็นระบบไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง ที่ทางหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (RCME.) พัฒนาขึ้น โดยอาศัยหลักการเบื้องต้นคือ วัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการจะถูกลำเลียงโดยสายพานผ่านเข้าไปในอุโมงค์ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular cavity) ซึ่งภายในระบบจะติดตั้งแมกนีตรอน คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ไว้จำนวน 12 ตัว (กำลัง 800 วัตต์/ตัว) และเครื่องกำเนิดลมร้อน อุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้โดยประมาณ 240 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติวัสดุ) และวัดอุณหภูมิลมร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล โดยใช้ชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง การที่เครื่องตัวนี้เป็นแบบสายพานต่อเนื่อง เพราะตัวเครื่องเน้นรูปแบบการทำงานที่ต้องการความต่อเนื่องของกระบวนการ ใช้ในการผลิตชิ้นงานในปริมาณมาก ทำให้มีข้อได้เปรียบในเรื่องของการไม่ต้องเสียเวลาในการปิดและเปิดเครื่อง คลื่นไมโครเวฟจากแมกนีตรอน ซึ่งติดตั้งอยู่รอบๆบริเวณอุโมงค์ การทำความร้อนสามารถทำได้โดยลำเลียงวัสดุใส่สายพานที่บริเวณทางเข้าระบบ (สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วสายพานได้ตามต้องการ) จากนั้นสายพานจะลำเลียงวัสดุเข้าไปยังบริเวณทำความร้อน การปรับแต่งกำลังสามารถทำได้โดยการเปิดและปิดแมกนีตรอนตามตำแหน่งต้องการ บริเวณทางเข้าและออกกระบบไมโครเวฟมีระบบการดักคลื่นไมโครเวฟที่อาจรั่วไหลออกมาเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานซึ่งค่าการรั่วไหลมีมาตรฐานอยู่ไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร



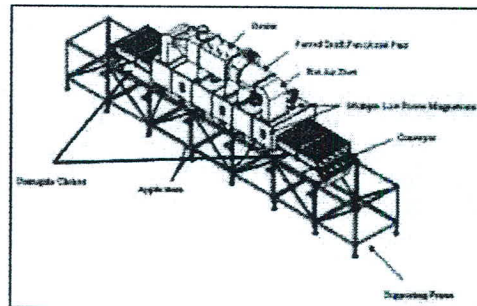
Sci-Tech 029

การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 1
18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สำหรับการวัดอุณหภูมิวัสดุทดสอบสามารถ วัดได้ที่ตำแหน่งทางเข้าและออกของเตาไมโครเวฟโดยใช้อินฟราเรด เทอร์โมมิเตอร์ (ความแม่นยำในช่วง $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)



(ก)

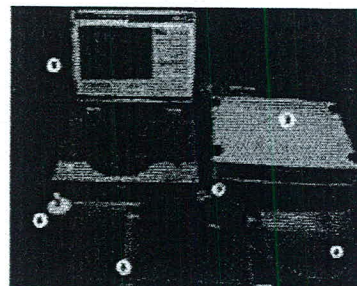


(ข)

รูปที่ 3. (ก) เครื่องไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง (ข) ไดอะแกรมรายละเอียดเครื่องทดลอง [4]

3.2. ขั้นตอนการทดลอง

นำแผ่นขึ้นไม้อัด(แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง) ที่มีส่วนประกอบคือ (เส้นใยเปลือกทุเรียน : ผงเปลือกทุเรียน : น้ำ) ขนาดกว้าง 0.2 เมตร ยาว 0.2 เมตรหนา 0.01 เมตร ทั้ง 12 แผ่น (12 สูตร) มาทำการวัดความชื้น วัสดุอุณหภูมิ ซึ่งน้ำหนักและวัดค่าสมบัติไดอิเล็กตริก (Relative dielectric constant, Relative dielectric loss and Loss tangent) เริ่มต้นก่อนการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.



1. Software
2. Microwave Reflect meter
3. Coaxial Cavity
4. Coaxial Cable
5. Sample
6. Female Calibration

รูปที่ 4. เครื่องเน็ตเวิร์คแอนาไลเซอร์ (Network Analyzer) [6]

จากนั้นทำการทดลองโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง ตามเงื่อนไขโดยทำการเปิดแมกนีตรอนจำนวน 6 ตัว (กำลัง 800 วัตต์/ตัว) 4800 W ซึ่งแผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้อบมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30-20 % dry basic อบจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 10-15 % dry basic โดยทุก ๆ เงื่อนไขจะมีการชั่งน้ำหนัก วัสดุอุณหภูมิอบแห้งของขึ้นไม้อัดและความชื้นคงเหลือ ทุก ๆ 10 นาที เพื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นกับเวลาและทำการถ่ายภาพทางความร้อนและวัดค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผ่านการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ และนำไปทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bonding strength) และค่าการบวมพองหลังการแช่น้ำ (Thickness Swelling)



3.3 การวิเคราะห์ผล

$$\text{ความดันแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เมกะพาสคัล} = \frac{F}{W \times L} \quad (6)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงสูงสุด เป็น นิวตัน

W คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็น มิลลิเมตร

L คือ ความยาวของชิ้นทดสอบ เป็น มิลลิเมตร

$$\text{การบวมพองหลังการแช่น้ำ ร้อยละ} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (7)$$

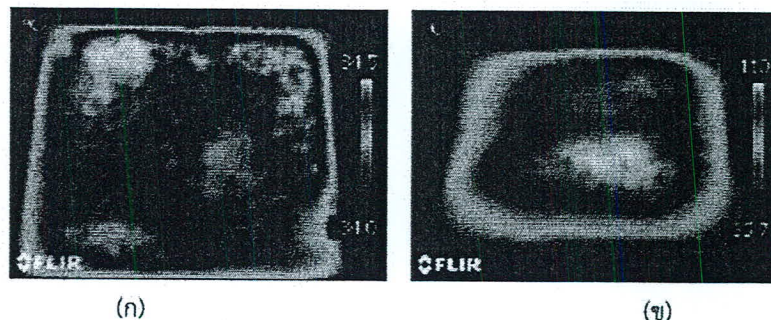
เมื่อ t_1 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร t_2 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ตารางที่ 1. คุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง) ก่อนการอบและหลังอบ

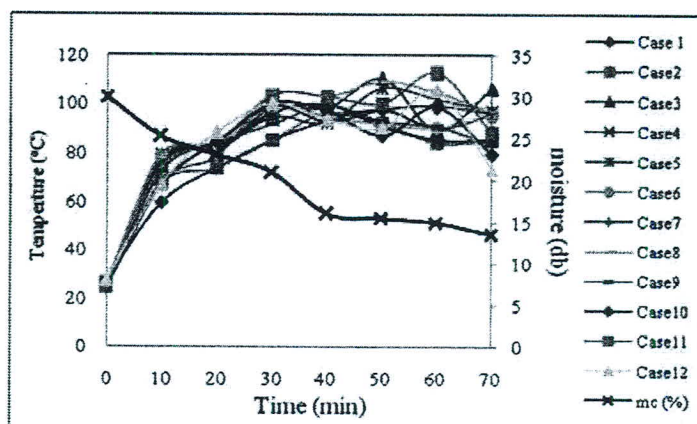
แผ่นขึ้นไม้อัด	สูตรอัตราส่วนและเงื่อนไขการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด	Dielectric Properties							น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	Drying rate (g/min)
		ก่อนอบ			หลังอบ						
		ϵ'	ϵ''	$\tan \delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan \delta$				
1	1:1:1 (80)	2.00	0.32	0.16	1.56	0.15	0.100	361	318	0.24	
2	1:1:1.5 (80)	2.25	0.43	0.19	1.50	0.15	0.101	365	320	0.27	
3	2:1:1.5 (80)	2.31	0.43	0.19	1.59	0.15	0.098	364	319	0.27	
4	2:1:2 (80)	1.92	0.27	0.14	1.56	0.15	0.101	357	318	0.23	
5	1:1:1 (90)	2.15	0.35	0.16	1.48	0.15	0.103	358	314	0.25	
6	1:1:1.5 (90)	2.23	0.43	0.19	1.50	0.15	0.102	363	319	0.25	
7	2:1:1.5 (90)	2.45	0.46	0.19	1.61	0.15	0.099	354	311	0.25	
8	2:1:2 (90)	2.20	0.35	0.16	1.63	0.16	0.098	355	312	0.27	
9	1:1:1 (100)	2.38	0.66	0.15	1.73	0.16	0.096	357	315	0.19	
10	1:1:1.5 (100)	2.19	0.38	0.17	1.62	0.16	0.100	362	319	0.25	
11	2:1:1.5 (100)	2.08	0.37	0.18	1.51	0.15	0.103	353	310	0.26	
12	2:1:2 (100)	2.38	0.48	0.20	1.53	0.15	0.101	365	319	0.19	

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองจากการใช้กำลังไมโครเวฟ 4800 วัตต์ ทำการอบแผ่นขึ้นไม้อัด (แปรรูปจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง) โดยแผ่นขึ้นไม้อัดจะมีอัตราสูตรในการผลิต อัตราส่วนคือ (เส้นใยเปลือกทุเรียน : ผงเปลือกทุเรียน : น้ำ) จะเห็นได้ว่าค่า Loss Tangent Coefficient $\tan \delta$ ของแผ่นขึ้นไม้อัดก่อนอบในแต่ละแผ่นมีค่าสูง เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดแผ่นนั้นมีน้ำหนักมากและมีความชื้นมาก และเมื่อทำการอบด้วยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ พบว่าค่า Loss Tangent Coefficient ($\tan \delta$) ของแผ่นขึ้นไม้อัดแต่ละแผ่นมีค่าลดลง น้ำหนักลดลงและความชื้นก็ลดลงตามไปด้วย เนื่องจากสูตรอัตราส่วนและเงื่อนไขในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดมีผลต่อการดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ โดยแผ่นที่ 9 1:1:1 100 °C มีอัตราการส่วนในการผลิตที่น้อยและในกระบวนการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดอบที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้น้ำหนักน้อยความชื้นต่ำทำให้มีค่า Loss Tangent Coefficient ($\tan \delta$) ต่ำ การสะท้อนของพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีค่าต่ำ ทำให้คลื่นไมโครเวฟสามารถส่งกำลังทะลุทะลวงผ่านผิวของแผ่นขึ้นไม้อัดได้มาก ส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งรวดเร็วขึ้นจึงเห็นได้ว่า อัตราส่วนและเงื่อนไขในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่เหมาะสมคืออัตราส่วน 1:1:1 อบที่อุณหภูมิ 100 °C



รูปที่ 5. (ก) ภาพถ่ายทางความร้อนเมื่อทำการอบ 10 นาที (ข) ภาพถ่ายทางความร้อนเมื่อทำการอบ 70 นาที

รูปที่ 5 แสดงภาพถ่ายทางความร้อนจากการใช้กำลังไมโครเวฟ 6×800 วัตต์ อุณหภูมิ 100 °C ทำการอบแผ่นขึ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง) พบว่าในกระบวนการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟสามารถบ่งบอกถึงการทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี โดยสังเกตจากสีของภาพถ่ายทางความร้อนของแผ่นขึ้นไม้อัดจะเห็นว่าเมื่อเริ่มทำการอบ (10 นาที) แผ่นขึ้นไม้อัดจะมีความร้อน (สีแดง) กระจายสม่ำเสมอทั้งแผ่น เพราะแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นสูง มีการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมากที่บริเวณตรงกลางของแผ่นขึ้นไม้อัดส่งผลให้เกิดความร้อนภายในทั่วแผ่นขึ้นไม้อัดทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไป (70 นาที) ความชื้นและความร้อนของแผ่นขึ้นไม้อัดจะถูกถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวภายนอกของแผ่นขึ้นไม้อัดทำให้การดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟลดลงส่งผลให้บริเวณตรงกลางของแผ่นขึ้นไม้อัดยังมีความชื้นสะสมอยู่ ทำให้ความร้อน (สีแดง) กระจายอยู่บริเวณตรงกลางของแผ่นขึ้นไม้อัดจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจะทำให้ผิวของแผ่นขึ้นไม้อัดไม่ต่างไปจากเดิมมากนักเพราะเคลื่อนที่ของอุณหภูมิและความชื้นภายในแผ่นขึ้นไม้อัดเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอซึ่งสามารถลดการแตกร้าวและรอยไหม้ของแผ่นขึ้นไม้อัดได้

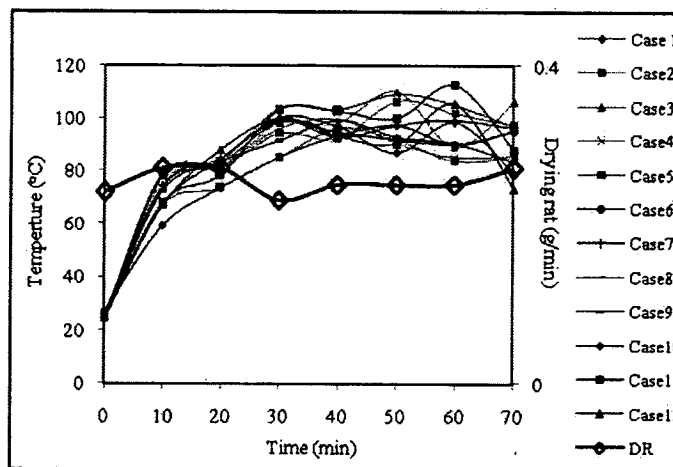


รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้น ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อในช่วงแรก (0-50 min) แผ่นขึ้นไม้อัดจะดูดซับพลังงานไมโครเวฟไว้มาก เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นสูง ต่อมาการดูดซับพลังงานไมโครเวฟของแผ่นขึ้นไม้อัดจะเริ่มมีค่าลดลงเนื่องจากความชื้นภายในแผ่นขึ้นไม้อัดได้เคลื่อนตัวออก

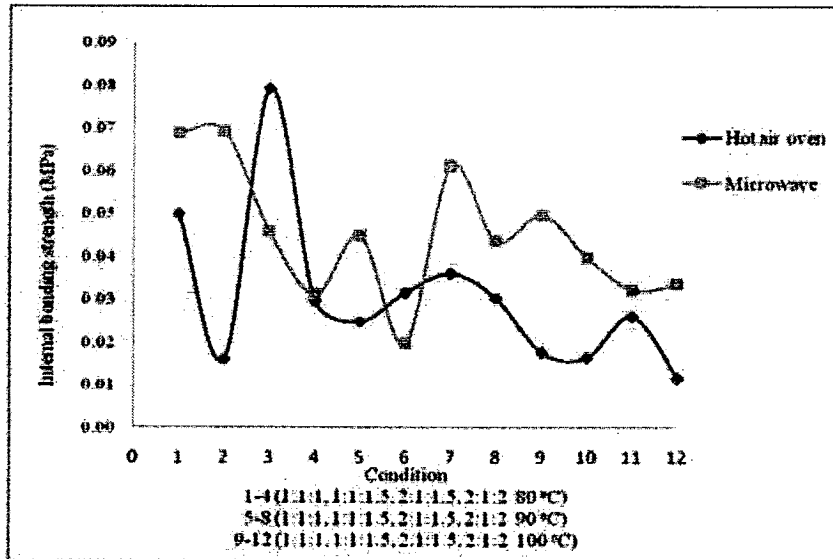


สู่ผิวภายนอก ในช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งภายในแผ่นขึ้นไม้อัดมีเฟสของของเหลวอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดอิทธิพลของความดันคาพิลลารี (Capillary Pressure) ที่ขับเคลื่อนของเหลวไปยังผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัด แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความชื้นลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้น (ซึ่งเป็นไอส่วนใหญ่) ออกสู่ผิวหน้าซึ่งเป็นอิทธิพลของการแพร่ของไอ (vapor diffusion) และความดันก๊าซ (Gas Pressure) เป็นหลัก และกำลังไมโครเวฟสะท้อนที่ผิวแผ่นขึ้นไม้อัดจะมีค่ามากในช่วงแรกและจะค่อย ๆ ลดลงจนคงที่ โดยกำลังคลื่นไมโครเวฟที่ทะลุผ่านแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นโดยในช่วงท้ายการทดลองพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ผ่านจะมีค่าสูง เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นลดลง การดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีค่าลดลงตามไปด้วย และเมื่อวิเคราะห์ถึงกับค่า Dielectric Properties ใน (ตารางที่ 1) พบว่าเวลาในการอบมากขึ้นทำให้ค่าความชื้นมีค่าเข้าใกล้จุดสมดุลมากขึ้นตามไปด้วย



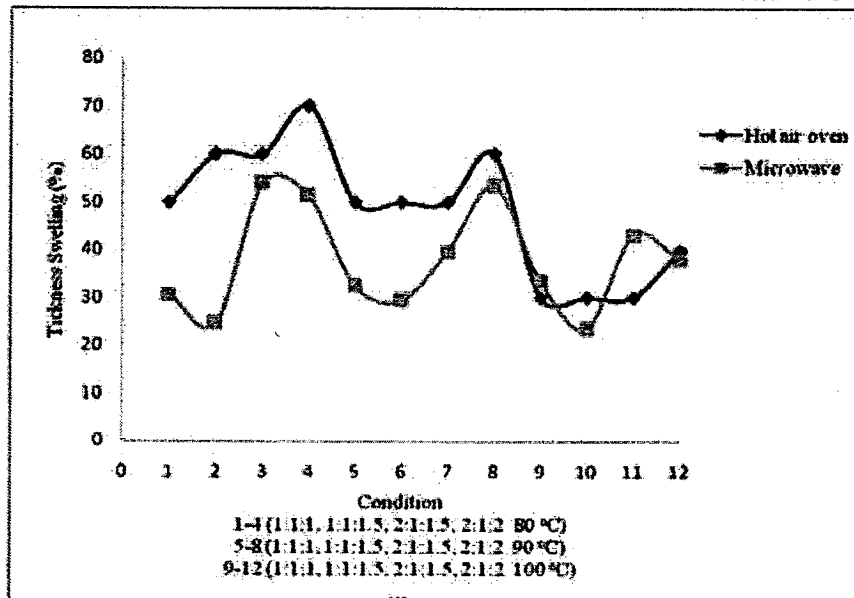
รูปที่ 7. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอัตราการอบแห้งกับเวลา

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอัตราการอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเวลา พบว่าในช่วงแรก (0-20 min) อัตราการอบแห้งมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดยังมีความชื้นสูงจึงทำให้มีการมีการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปทำให้อัตราในการอบแห้งลดลงแผ่นขึ้นไม้อัดมีการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟลดลงอุณหภูมิสูงขึ้นแต่พลังงานความร้อนสะสมภายในแผ่นขึ้นไม้อัดยังมีอยู่จึงทำให้อุณหภูมิยังคงสูงจึงทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าเข้าใกล้ค่าสมดุล



รูปที่ 8. ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง)

รูปที่ 8 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง) พบว่าหลังจากได้รับการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ โครงสร้างภายในของแผ่นขึ้นไม้อัดมีความแข็งแรงมากกว่าการอบด้วยเตาอบ Hot air oven เมื่อนำไปทดสอบจะได้ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าการอบด้วยเตาอบ Hot air oven จากผลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ว่าความสม่ำเสมอของอุณหภูมิและความชื้นในแผ่นขึ้นไม้อัดที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟมีการจัดเรียงตัวทางโครงสร้างที่ดีกว่าการอบด้วยเตาอบ Hot air oven



รูปที่ 9. การบวมพองหลังการแช่น้ำของแผ่นขึ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง)



รูปที่ 9 แสดงค่าการบวมพองหลังการแช่น้ำของแผ่นขึ้นไม้อัด (แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง) หลังจากผ่านการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบว่าการอบด้วยไมโครเวฟจะทำให้แผ่นขึ้นไม้อัดมีโครงสร้างเรียงตัวเป็นระเบียบดี เนื่องจากการดูดซับพลังงาน การกระจายความร้อน และการกระจายความชื้นสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในโครงสร้างอยู่ในระดับน้อยกว่าการอบด้วยเตาอบ Hot air oven ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยการบวมพองหลังการแช่น้ำต่ำกว่าการอบด้วยเตาอบ Hot air oven (ค่าการบวมพองหลังการแช่น้ำจากไมโครเวฟได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 37.77 % ส่วนจากเตาอบ Hot air oven ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 48.33 %)

5. สรุปผลการทดลอง

จากการอบแห้งแผ่นขึ้นไม้อัด(แปรรูปมาจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง)พบว่า ในช่วงแรกของกระบวนการอบแห้ง แผ่นขึ้นไม้อัดสามารถดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟได้ดีเนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดยังมีความชื้นสูง ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในแผ่นขึ้นไม้อัดสูงตามไปด้วยรวมถึงการให้กำลังคลื่นไมโครเวฟต่อเนื่องจะส่งผลให้ความสามารถในการสร้างความร้อนในแผ่นขึ้นไม้อัดสูง ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลต่อการกลายเป็นไอ ซึ่งไอที่สะสมภายในทำให้เกิดความดันไอกภายในผิวแผ่นขึ้นไม้อัดและดันความชื้นออกมาสู่ผิวและระเหยออกสู่บรรยากาศภายนอกได้อย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น การดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟจะมี ค่าลดลง เนื่องจากแผ่นขึ้นไม้อัดมีความชื้นลดลง จึงทำให้อุณหภูมิภายในของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่า ลดลงและลักษณะการเคลื่อนตัวของความชื้นช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งภายในแผ่นขึ้นไม้อัด จะมีเฟสของของเหลวอยู่อย่างต่อเนื่องทำให้ อิทธิพลของความดันคาพิลลารี (Capillary Pressure) ที่ขับเคลื่อนของเหลวไปยังผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดมีค่าสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความชื้นลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้น (ซึ่งเป็นไอส่วนใหญ่)ออกสู่ผิวหน้านั้นเป็นอิทธิพลของการแพร่ของไอ (vapor diffusion) และความดันก๊าซ(Gas Pressure) เป็นหลัก จากงานวิจัยนี้สามารถนำพลังงานคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์แผ่นขึ้นไม้อัด เนื่องมาจากพลังงานคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านเข้าไปในแผ่นขึ้นไม้อัดที่นำมาทำการอบแห้งได้ เพราะความร้อนที่เกิดจาก คลื่นไมโครเวฟภายในแผ่นขึ้นไม้อัดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้ความแห้งที่เกิดขึ้นไปอย่างสม่ำเสมอไปทุกตำแหน่งของตัวแผ่นจึงเป็นเหตุให้การควบคุมคุณภาพในการผลิตทำได้ง่าย ระยะเวลาในการอบแห้งก็สั้นกว่าการอบแบบปกติ และยังเป็นเทคโนโลยีที่สะอาดสมัยใหม่ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ภาคการเกษตรภายในประเทศที่เน้นการควบคุมคุณภาพเพื่อการส่งออก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณเงินงบประมาณแผ่นดิน จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (RCME.) และกลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ กรมป่าไม้ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, "ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร 2553 [ออนไลน์]", 2553, ได้จาก: [http:// www.dft.moc.go.th](http://www.dft.moc.go.th).
- [2] Khedari, J., Charoenvai, S., and Hirunlabh, J., "New Insulating Particleboards from Durian Peel and Coconut Coir", Building and Environment (38), 2003, pp. 435-441.
- [3] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ, สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย, สุชนม์ ปิยโชติ และ ดวงเดือน อาจงค์, "การวิเคราะห์กระบวนการให้ความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริกโดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง



แบบต่อเนื่อง”, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 18, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547.

- [4] Vongpradubchai, S., and., Rattanadecho, P., “Microwave and Hot Air Drying of wood using a Rectangular Waveguide” Drying Technology (29), pp. 451 - 460, 2011.
- [5] นริศ พัวพันวัฒน์, ภราดร หนูทอง, กอดขวัญ นามสงวน, ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และ อารีย์ อัจฉริยวิริยะ, “จรรยาบรรณการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน”. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 22, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, 2549.
- [6] Vongpradubchai, S.,and., Rattanadecho, P.,“The microwave processing of wood using a continuous Microwave belt drier” Chemical Engineering and Processing (48), pp. 997 - 1003, 2009
- [7] นพวรรณ ตูงาม, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และ วารุณี กลิ่นไกล, “การอนุรักษ์ธรรมชาติด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (MODE: TE10)”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549.
- [8] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, “การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท”, พิมพ์ครั้งที่ 20, กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540

Abstract Book

10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium

Energy Technology, Environmental
and Social Impact, Nanotechnology
and Material Technology, Energy
Economic and Management, Nuclear
Technology, New Technology and
Other topics related to energy field.

On December 5-8, 2012
Sunee grand hotel,
Ubon-ratchathani

Organized by



Co-organized by





PREFACE

Message from the President of Rajamangala University of Technology Thanyaburi



Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), in conjunction with Kyoto University, is please to host the 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (10th EMSES). This international conference is not only giving an opportunity for Thai and foreign researchers to present and discussion their research works and update their expertise but also to initially stimulate the development of research works on eco-energy and materials science and engineering. Our program consists of six research tasks: (1) *Energy Technology*, (2) *Environmental and Social Impact*, (3) *Nanotechnology and Materials Science*, (4) *Energy Economics and Management*, (5) *New Energy technology* and (6) *Nuclear Technology*.

I would like to take this opportunity to express our sincere gratitude to our two distinguished Plenary Speakers for kindly accepting our invitation. I deeply appreciative of the very strong support given by Kyoto University. Thanks to the tireless works of the Organizing Committee, the Technical Program Committee, the invited speakers and paper and poster contributors, and excellent program been assembled to cover a broad spectrum of interesting topic.

We warmly welcome you to the 10th EMSES on December 5-8, 2012, Ubon Ratchathani, Thailand.

Namyoot SONGTHANAPITAK, Ph.D.
President of Rajamangala University of Technology Thanyaburi
and Conference Chairman of 10th EMSES 2012



PREFACE
Message from the Director of
Institute of Advanced Energy, Kyoto University

It is my great pleasure to have the 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES) with Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) under the long-term collaboration between RMUTT and Kyoto University. The 1st EMSES was held in 2001 in Thailand and the symposium has been expanded in its scientific contents as well as the academic network. I believe that the 10th EMSES gives a good opportunity to all participants to exchange their knowledge and idea to realize eco-friendly energy system in society. I would like to express my welcome to all participants and sincere thanks to the 10th EMSES organizing committee and all supporting organizations to make us having this symposium.

I hope that the symposium will be successful and lead to further progress in energy science and technology and also in friendships of participants.

Professor Yukio Ogata, Ph.D.
Director of Institute of Advanced Energy, Kyoto
University



PREFACE

Message from the Former Dean of
Graduate School of Energy Science, Kyoto University
Program Leader,
Global COE "Energy Science in the Age of Global Warming"



I want to express my hearty welcome to all participants of Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (10th EMSES). This symposium is aiming the realization of importance of energy and materials technology through the academic, science and technology network among the world communities. The symposium gives an opportunity for researchers to discuss their research works and also to initially stimulate the development of research works on eco-energy and materials science and engineering. Once the cooperation among researchers has been created, the further cooperation work will be developed.

I would like also extend my sincere thanks to all who made the meeting possible, including the 10th EMSES organizers, the SEE forum committee members, and the Japanese Government, JSPS, for their kind support. I am looking forward to seeing you in Ubon Ratchathani, Thailand.

Professor Takeshi YAO, Ph.D.
Former Dean of Graduate School of Energy Science, Kyoto
University
and Program Leader, Global COE "Energy Science in the Age of
Global Warming"



Message from the Chairperson of
10th EMSES Organizing Committee

Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), in conjunction with Kyoto University, is pleased to host the 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (10th EMSES).

RMUTT has a major mission on encouraging and supporting all areas of research. One of the key reasons is to assist in developing capability in science and technology in order to cope with recent rapid change in this field. We have jointly set up an academic symposium on the 10th EMSES with the perception on the significance of exchanging knowledge and research experiences between researcher in the field of energy, materials technology and environmental science. This symposium is not only giving an opportunity for Thai and foreign researcher to present and discussion their research works and update their expertise but also to initially stimulate the development of research works on eco-energy and materials science and engineering. Once the cooperation among researchers has been created, the closer future cooperation incorporate with joint-research works will be developed. Thus, to support the aforesaid role, the symposium working committee would like to invite you to participate in this academic symposium.

I would like to express our sincere thanks to the organizing committee, participants and contributors for your kind corporation to this symposium. I wish this symposium proceeding will be a useful reference for future scientific research development.

Sommai PIVSA-ART

Sommai PIVSA-ART, Ph.D.
Dean of Faculty of Engineering, RMUTT
Director of CoE on Sustainable Energy System (Thai-Japan)
Organizing Chairman of 10th EMSES 2012

International Scientific Advisory Committee:

General Chair:

Assoc.Prof.Dr. Namyoot SONGTHANAPITAK RMUTT, Thailand

General Co-Chair:

Prof. Dr. Kiyoshi YOSHIKAWA Kyoto Uni., Japan
Asst. Prof. Dr. Panpetch CHININTORN RMUTT, Thailand

Organizing Chair:

Asst. Prof. Dr. Sommai PIVSA-ART RMUTT, Thailand
Prof. Dr. Takeshi YAO Kyoto Uni., Japan

Organizing Co-Chair:

Prof. Dr. Hideaki OHGAKI Kyoto Uni., Japan

International Scientific Committees:

Prof. Dr. Susumu YOSHIKAWA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Phadungsak RATTANADECHO	TU, Thailand
Prof. Dr. Shiro SAKA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Hitomi OHARA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr.-Ing. Habil Ingo STADLER	FH Koeln, Germany
Prof. Dr. Young S. CHAI	Korea
Prof. Dr. Nipon TANGTHAM	KU, Thailand
Prof. Dr. Masayoshi OKUBO	Osaka Uni, Japan
Prof. Dr. Somchai WONGWISES	KMITL, Thailand
Prof. Dr. Nadarajah MITHULANANTHAN	UQ, Australia
Prof. Dr. Yukio OGATA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Yuichi ANADA	Hokkaido Info. Uni., Japan
Prof. Dr. Narongrit SOMBATSOMPOP	KMUTT, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Bandit FUNGTAMMASAN	KMUTT, Thailand
Assoc. Prof. Dr. K. Srinivas REDDY	IIT-Madras, India-
Assoc. Prof. Dr. David Jan COWAN	IUPUI, USA
Assoc. Prof. Dr. Per B ZETTERLUND	Australia
Assoc. Prof. Dr. Vijit KINNARES	KMITL, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Yoshikazu SUZUKI	Japan
Assoc. Prof. Dr. Thawatch KERDCHEUN	RMUTI, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Wakin PIYARAT	SWU, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Seiichi KAWAHARA	Nakaoga Uni., Japan
Assoc.Prof.Dr. Kawee SRIKULKIT	CU, Thailand
Asst. Prof. Dr. Somchai HIRANVAROMDOM	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Wanchai SUBSINGHA	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Thanapong SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
Asst. Prof. Dr. Napaporn PHUANGPORNPIITAK	KU, Thailand
Asst. Prof. Dr. Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Supakit SUTTIRUENGWONG	SU, Thailand
Asst. Prof. Dr. Vallop PHUPA	RMUTP, Thailand
Asst. Prof. Dr. Pramook UNAHAEKHAKA	RMUTSB, Thailand

10th EMSES 2012

Dr. Arthit Sode-Yome	EGAT, Thailand
Dr. Sei-ichi AIBA	Japan
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Dr. Yuttana KAMSUWAN	RMUTT, Thailand
Dr. Jakkree SRINONCHAT	RMUTT, Thailand
Dr. Chatchai SOPPAPITAKSAKUL	RMUTT, Thailand
Dr. Pinit SRITHORN	RMUTI, Thailand
Dr. Uthen KAMNAN	RMUTL, Thailand
Dr. Cattariya SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
ASEAN Committee:	
Prof. Dr. Yoyok Wahyu Subroto	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Wega TRISUNAYANTI	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Tumiran	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Jun LI	NYU, Singapore
Prof. Dr. INTHAN	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Khamphone NANTHAVONG	NOL, Laos
Prof. Dr. Kampui SOUTHISOMBHAT	NOL, Laos
Prof. Dr. Yew Wei LEONG	NYU, Singapore
Prof. Dr. Nguyen Minh TAN	HU, Vietnam
General Secretary:	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Technical Program Chair:	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Area: Energy Technology (ET)	
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Dr. Sathapron THONGWIK	RMUTT, Thailand
Dr. Nathabhat PHANKONG	RMUTT, Thailand
Area: Environmental and Social Impact (ES)	
Dr. Nithiwat CHOOSAKUL	RMUTT, Thailand
Area: Nanotechnology and Materials Science (NM)	
Dr. Sorapong PAVASUPREE	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Kitipong KIMAPONG	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sirichai TORSAKUL	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Warunee ARIYAWIRIYANANT	RMUTT, Thailand
Area: Energy Economic and Management (EM)	
Assoc. Prof. Dr. Natha KUPTHASTHIEN	RMUTT, Thailand
Dr. Surin NGAEMNGAM	RMUTT, Thailand
Dr. Pimnapat IEMSOMBOON	RMUTT, Thailand
Area: New Energy Technology (NT)	
Dr. Boonyang PLANGKLANG	RMUTT, Thailand
Area: Nuclear Technology (NU)	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand

10th EMSES 2012

Exhibition Chair:

Dr. Amnoi REUNGWAREE

RMUTT, Thailand

Dr. Winai CHANPENG

RMUTT, Thailand

Local Arrangement Chair

Dr. Sorapong PAVASUPREE

RMUTT, Thailand

Dr. Natee SRISAWAT

RMUTT, Thailand

Registration and Finance Chair

Dr. Sumonman NIAMLANG

RMUTT, Thailand

Dr. Supaporn THOMSORN

RMUTT, Thailand

Weeraporn PIVSA-ART

RMUTT, Thailand

Publicity Chair

Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH

RMUTT, Thailand

Dr. Sumonman NIAMLANG

RMUTT, Thailand

Dr. Montip LASURIYONTA

RMUTT, Thailand

Somchai BLANSOONGNERN

RMUTT, Thailand

Publication Chair:

Prof. Dr. Preecha P.YUPAPIN

KMITL, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Takashi SAGAWA

Kyoto Uni., Japan

Dr. Boonyang PLANGKLANG

RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Sonobe TARO

Kyoto Uni., Japan

Website and Information System Chair:

Dr. Nathabhat PHANKONG

RMUTT, Thailand

Phongsuk AMPHA

RMUTT, Thailand

Deachrat JAITHAWIN

RMUTT, Thailand

10th EMSES 2012

Conference Program of 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering

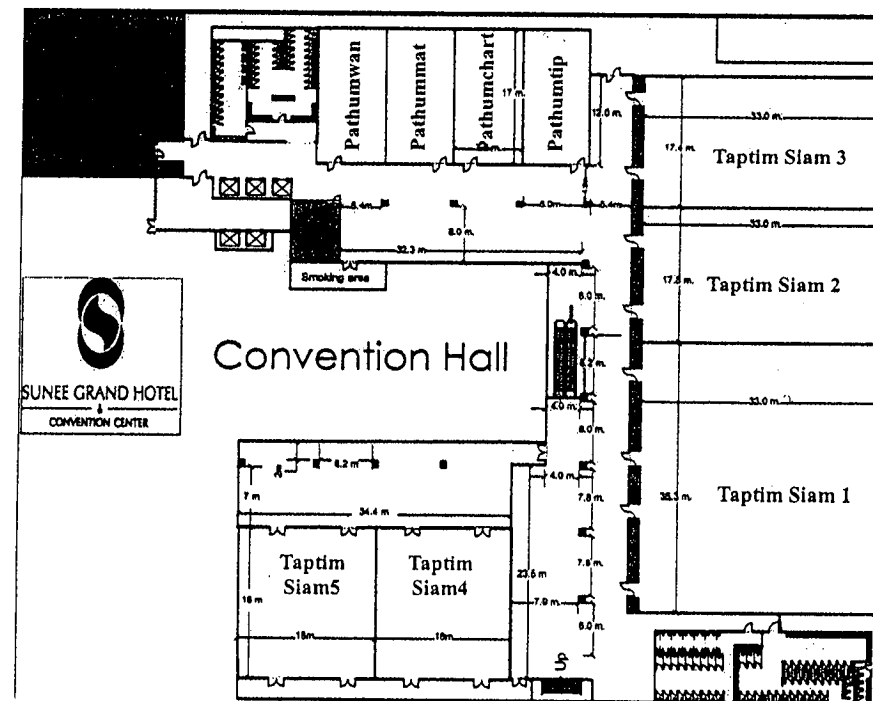
01:00-05:00 pm	Registration			
05:00-06:00 pm	EMSES committee meeting			
07:00-09:00 am	Registration			
09:00-09:40 am	Opening Ceremony at Taptim Siam 4 Hall			
	Assoc. Prof. Dr. Namyoot Songthanapitak, President of RMUTT, Thailand and Chairperson of 10 th EMSES conference			
	Prof. Dr. Kiyoshi Yoshikawa, Vice President of Kyoto University, Japan Co-Chairperson of 10 th EMSES conference			
09:45-10:45 am	Keynote Speaker I: Japan Power Generation Mix and Energy Security after Fukushima Nuclear Accident, presented by Professor Dr. Keiichi N. Ishihara, Graduate School of Energy Science, Kyoto University, Japan			
10:45-11:00 am				
11:00-12:00 am	Keynote Speaker II: Vertical Motions in Greater Bangkok Area after the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake from GPS Observations and Its Prediction based on the Geophysical Modelling, presented by Professor Dr. Chalermchon Satirapod, Chulalongkorn University, Thailand			
12:00-01:30 am				
ROOM	Pathumwan	Pathummat	Pathumchart	Pathumtip
01:30-03:00 pm	Energy Technology 1	Nano&Materials Technology 1	New Technology 1	Energy Technology 6
Paper ID	IN03,ET04,ET10,ET12,ET13,ET17	IN10,NM35,NM54,NM61,NM72	IN15,NT01,NT02,NT03,NT05,NT06,NT10,NT12	IN05,ET60,ET62,ET64,ET69,ET71
Chair	Prof. Dr. Padungsak Ratthanacho	Assoc. Prof. Dr. Wisanu Pecharapa	Assoc. Prof. Dr. Seichi Kawahara	Prof. Dr. Dae Hee Park
Co-Chair	Dr. Wirachai Roynarin	Dr. Sorapong Pavasupree	Asst. Prof. Dr. Warunee Ariyawiriyanan	Asst. Prof. Dr. Jakkree Srinonchart
03:00-03:15 pm				
03:15-04:45 pm	Energy Technology 2	Nano&Materials Technology 2	New Technology 2	Energy Technology 7
Paper ID	IN11,ET18,ET21,ET26,ET30,ET45,ET46	IN17,NM31,NM32,NM34,NM60	IN14,NT13,NT14,NT15,NT16,NT18,NT19	IN13,ET09,ET11,ET15,ET28,ET29
Chair	Assoc. Prof. Dr. Vijit Kinnarees	Prof. Dr. Narongrit Sombatsompop	Prof. Dr. Hideaki Ohgaki	Prof. Dr. Susumu Yoshikawa
Co-Chair	Dr. Boonyang Plangklang	Dr. Supakij Suttirueangwong	Dr. Nithiwatthn Choosakul	Dr. Surawut Chuangchote
05:00-06:30 pm				
Chair	Asst. Prof. Dr. Krischonme Bhummakittipich			
Co-Chair	Dr. Sorapong Pavasupree and Dr. Sumonman Niamlang			

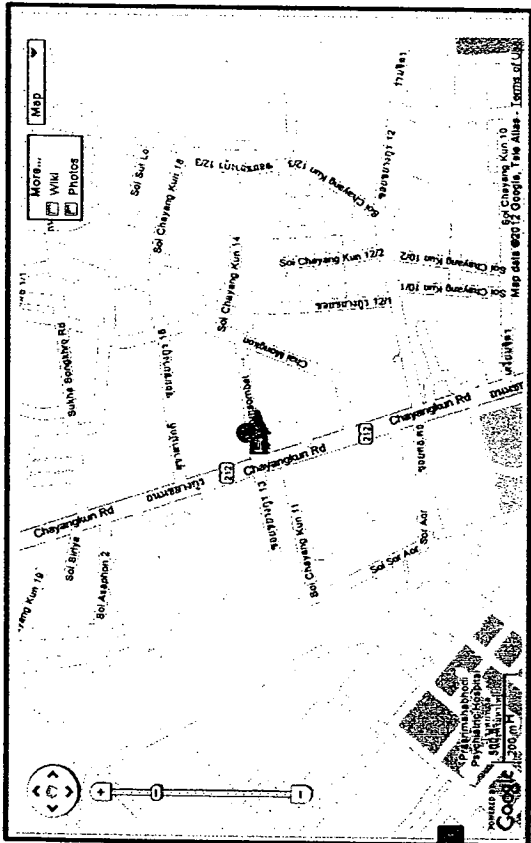
10th EMSES 2012

Conference Program of 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering

ROOM	Pathumwan	Pathummat	Pathumchart	Pathumtip
09:00-10:30 am	Energy Technology 3	Nano&Materials Technology 3	Nano&Materials Technology 6	Energy Technology 8
Paper ID	IN02,ET31,ET32, ET34,ET35,ET38,NT20	IN07,IN19,NM11,NM22, NM42,NM47,NM73	IN01,NM36,NM43, NM45,NM46,NM99	ET48,ET50,ET52, ET54,ET61,ET65
Chair	Assoc. Prof. Dr. Thawatch Kerdchuen	Dr. Seichi Aiba	Prof. Dr. Takeshi Yao	Asst. Prof. Dr. Somchai Hiranvarodom
Co-Chair	Asst. Prof. Dr. Wanchai Subsingha	Dr. Leong Yew Wei	Dr. Supaporn Tomsorn	Dr. Nathabhat Phankong
10:30-10:45 am				
10:45-12:15 am	Energy Technology 4	Nano&Materials Technology 4	Nano&Materials Technology 7	Energy Technology 9
Paper ID	IN06,ET22,ET25, ET39,ET41,ET43	IN16,IN18,NM56, NM80,NM83,NM89	IN12,NM06,NM09,NM10, NM64,NM92,NM94	IN08,ET70,ET73, ET78,ET79,ET81
Chair	Dr. Arthit Sode-Yome	Assoc. Prof. Dr. Kawee Srikulkit	Prof. Dr. Jun Li	Prof. Dr. Hiroyuki Hamada
Co-Chair	Asst. Prof. Dr. Boonrit Prasartkeaw	Assoc. Prof. Dr. Yuji Aso	Dr. Sarocha Charoenvai	Dr. Narongchai O-Charoen
12:15-01:30 pm				
ROOM	Pathumwan	Pathummat	Pathumchart	Pathumtip
01:30-03:00 pm	Energy Technology 5	Nano&Materials Technology 5	Environmental&Social Impact 1	Energy Economic & Management 1
Paper ID	IN04,ET51,ET55,ET56, ET57,ET58,ET59	IN09,IN10,NM57, NM62,NM63,NM79	ES09,ES10,ES11, ES13,ES14, ES15	EM02,EM03,EM04, EM07,EM08
Chair	Prof. Dr. Chul-Su Kim	Prof. Dr. Yuichi Anada	Prof. Dr. Keiichi N. Ishihara	Assoc. Prof. Dr. Natha Kuptasthien
Co-Chair	Dr. Winai Chanpeng	Assist. Prof. Dr. Kazushi Yamada	Asst. Prof. Dr. Sommai Pivsa-art	Dr. Boonyang Plangklang
03:00-03:15 pm				
03:15-04:00 pm	Closing Ceremony at Taptim Siam 4 Hall			
	Prof. Dr. Takeshi Yao, Leader of GCOE Program/ Professor, Graduate School of Energy Science, Kyoto University			
08:00am-05:00 pm	Excursion			

Conference Map





CONTENT

KEYNOTE SPEAKER

KS01	Japan Power Generation Mix and Energy Security after Fukushima Nuclear Accident <i>Keiichi N. Ishihara</i>	1
KS02	Vertical Motions in Greater Bangkok Area after the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake from GPS Observations and Its Prediction based on the Geophysical Modelling <i>Chalermchon Satirapod</i>	2

INVITED SPEAKER

IN01	Relaxation Analysis of Electrode Crystal Materials for Secondary Lithium Ion Batteries <i>Takeshi Yao</i>	3
IN02	Renewable Energy in Thailand: Opportunity and Technology Allocation <i>Thawatch Kerdchuen</i>	4
IN03	Numerical Simulation of Microwave Ablation Process using Single Slot Antenna in Two-Layered Porous Liver Tissue <i>Phadungsak Rattanadecho</i>	5
IN04	Study on the Performance of Multi Evaporator and Pump Down Operation <i>ChulSu Kim, Hanshik Chung</i>	6
IN05	A Study on Improving the Reliability of a Heat Sink for COB LED Light Source <i>Bum Sik Seo, Young Seek Cho and Dae Hee Park</i>	7
IN06	Distribution System Voltage Stability with DG Units Considering Load Models <i>Lin Qiyun, N.Mithulananthanl and A. Sode-Yome</i>	8
IN07	Recent Progress in Biobased Polymer Production Technology <i>Sei-ichi Aiba</i>	9
IN08	Hydrothermal Effects on Mechanical Properties and Weight Change Mechanism of Jute Fiber Reinforced Composites <i>Ying Yu, Mengyuan Liao, Yuqiu Yang, and Hiroyuki Hamada</i>	10

CONTENT

IN09	Effect of Motion of Impurity Ions on Electrical Properties of Polymer materials <i>Yuichi Anada</i>	11
IN10	Effect of Talc Filler and Polymer Blends Contents on Properties of Recycled PET Injection Moldings <i>K. Yamada, S. Tamada, N. Kunimune, and H. Hamada</i>	12
IN11	Characteristic Requirements of a Small Scale Squirrel Cage Induction Generator for Effective Electricity Generation from Wind Energy <i>V. Kinnares and B. Sawetsakulanond</i>	13
IN12	Supramolecular Self-Assembled Polymeric Systems for Biomaterials Applications <i>Jun Li</i>	14
IN13	New Energy Initiative <i>Susumu Yoshikawa</i>	15
IN14	Nuclear Security Technologies in Japan <i>Hideaki Ohgaki</i>	16
IN15	Hierarchal Structure and Properties of Natural Rubber <i>Seiichi Kawahara</i>	17
IN16	Fiber, Resin, Interphase Hybrid on Continuous Natural Fiber Reinforced Composites <i>Asami Nakai</i>	18
IN17	-Topic- <i>Shigeru Niki</i>	19
IN18	Production of Biobased Chemicals by Bactrrial Process <i>Yuji Aso</i>	20
IN19	Influence of Pdl _a Molecular Weight and Pdl _a -B-Poss Molecular Architecture on Crystallization Kinetics and Thermal Stability during Stereocomplexation with Pll _a <i>Leong Yew Wei</i>	21

CONTENT

ENERGY TECHNOLOGY

ET01	Application of Three-level Diode-clamped Converter on 10 kW Distribution Voltage Restorer <i>W. Chankhamrian, K. Bhumkittipich and N. Mithulananthan</i>	22
ET02	A Design of Single Phase Induction Generator for Waterfall Hydro Turbine <i>Sirichai Dang-eam</i>	23
ET04	Key Cutting Algorithm Application to Measurement Placement for Power System State Estimation <i>Y. Kongjeen, P. Inrawong, K. Buayai and T. Kerdchuen</i>	24
ET05	Hydrolysis of Rice Husk and Sugarcane Bagasse by Reflux Method <i>K. Kumproa and A. Nuntiya</i>	25
ET06	Analysis of Lightning Phenomena for Underground Petroleum Pipeline System <i>B. Topradith, K. Bhumkittipich and T. Suwanasri</i>	26
ET07	<i>N, N</i> -Dimethylpyrrolidinium Fluorohydrogenate Ionic Liquid - Polymer Composite Membranes for a Non-Humidified Fuel Cell <i>P. Kiatkittikul, R. Taniki, K. Matsumoto, T. Nohira and R. Hagiwara</i>	27
ET09	Screening of bulk heterojunction polymer: fullerene based organic solar cells through simple mist spray coating <i>Jae-hyeong Le¹, Takashi Sagawa and Susumu Yoshikawa</i>	28
ET10	Renewable Energy Based Active Cooling System <i>Boonrit Prasartkaew</i>	29
ET11	Improvement of Zinc-Air fuel cell performance by gelled KOH <i>A. Puapattanakul, S. Therdthianwong, A. Therdthianwong and N. Wongyao</i>	30
ET12	Real-time Simulation of a Photovoltaic Cell/Module under the Single Diode Model <i>D. Impreeda and W. Subsingha</i>	31

CONTENT

ET13	Numerical Simulation of a Solar-biomass Hybrid Cooling System: Model Validation <i>Boonrit Prasartkaew</i>	32
ET14	Mathematic Model and Experiment of Temperature Effect on Discharge of Lead-Acid Battery for PV Systems <i>Pornchai Pornharuthai Boonyang Plangklang and Sompol koksri</i>	33
ET15	Recycling CO ₂ in Bio-gas by Green Microalgae for Lipid Production <i>Wassa Tongprawhan and Benjamas Cheirsilp</i>	34
ET16	Double-Sided Linear Induction Motor Control Using Space Vector Pulse Width Modulation Technique <i>Aunnon Bua-sre and Wanchai Subsingha</i>	35
ET17	Performance Evaluation of the Desiccant Bed Solar Dryer <i>Wisut Chramsard, Sirinuch Jindaruksa, Chatchai Sirisumpunwong, Sorawit Sonsaree</i>	36
ET18	Performance Evaluation of 35 kW LiBr – H ₂ O Solar Absorption Cooling System in Thailand <i>Nipon Ketjoy Rawipa yongphayoon and Kongrit Mansiri</i>	37
ET19	Study to the Voltage Stability of 22kv Pea Bus Connected by Lamtakong Wind Turbine <i>J.Chanasith and K. Bhumkittipich</i>	38
ET20	Modeling of PEM Fuel Cell with DC/DC Buck Converter by MATLAB/Simulink <i>P. Prommin and W. Subsingha</i>	39
ET21	Applicability of Pressure Retarded Osmosis Power Generation Technology in Sri Lanka <i>H.D.S.S.Karunaratne and S.Walpolage</i>	40
ET22	Effect of Pilot Fuel Quantity on the Performance and Emission of a Dual Producer Gas – Diesel Engine <i>Pisarn Sombatwong, Prachasanti Thaiyasuit and Kulachate Pianthong</i>	41

CONTENT

ET23	Application of Artificial Neural Network in Materials Estimation of 22 kV Overhead Lines <i>K. Anukulphirom and K. Bhummkittipich</i>	42
ET24	Performance Study and Analysis of Micro Hydro Turbine and PV for Electricity Generator Case Study: Bunnasopit School, Nan Province <i>Trirath Pati, P. Iemsomboon, and K. Bhummkittipich</i>	43
ET25	Performance analysis of a combined ejector-vapour compression refrigeration system for automotive air conditioning application <i>Nutthanun Keerlatiyadatanapat, Thanarath Sriveerakul, Nat Suvarnakuta, Wirapan Seehanam, and Kulachate Pianthong</i>	44
ET26	The Performance Improvement of a Thick Electrode Solid Oxide Fuel Cell <i>P. Chinda</i>	45
ET27	Modeling of Grid-Connected with Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) using Voltage Vector Control <i>M.Sontaya, P.Nathabhat, K.Bhummkittipich and Poolkiat Nakawiwat</i>	46
ET28	Enhancement of Cassava Rhizome Gasification Using Mono - Metallic Cobalt Catalysts <i>Panchaluck Sornkade, Duangduen Atong and Viboon Sricharoenchaiikul</i>	47
ET29	Gasification of Peanut Shell Waste using a Modular Fix-Bed Gasifier <i>Jurarat Nisamaneenate, Duangduen Atong and Viboon Sricharoenchaiikul</i>	48
ET30	A Study of Integrating Renewable Energy in Smart Grid System <i>N. Phuangpornpitak and S. Tia</i>	49
ET31	Performance evaluation of 10 kW _p photovoltaic power generator under hot climatic condition <i>Nipon Ketjoy Chatchai Sirisamphanwong and Nattawut Khaosaad</i>	50

CONTENT

ET32	Monitoring of 120 kWp PV Microgrid System <i>Wasivirod Netisak and Nipon Ketjoy</i>	51
ET33	Design of Real Time Management Unit for Power Battery in PV-Hybrid Power Supplys by Application of Coulomb Counting Method <i>A. Aussawamaykin and B. Plangklang</i>	52
ET34	A Technique of Heat Pipe Filling with R-134a <i>Thanaphol Sukchana, Naris Pratinthong</i>	53
ET35	Effect of Filling Ratios and Adiabatic Length on Thermal Efficiency of Long Heat Pipe Filled with R-134a <i>Thanaphol Sukchana, Chaiyun Jaiboonma</i>	54
ET36	Optimal Distributed Generation Placement and Sizing for Power Loss Reduction Using Particle Swarm Optimization <i>W. Phuangpornpitak and K. Bhummikittipich</i>	55
ET37	A Computer Program for Evaluating the Risk of Lightning and Designing Installation of Lightning Rod for Photovoltaic System <i>S. Ittarat S. Hiranvarodom and B. Plangklang</i>	56
ET38	Speed and Power Control a Slip Energy Recovery Drive Using Voltage-Source PWM Converter with Current Controlled Technique <i>S. Tunyasrirut and V. Kinnares</i>	57
ET39	Study of Energy Saving from Elevator Energy Regenerative Unit (EERU) Case Study: RMUTT, Thailand <i>Thanit Phanprayool and Boonyang Plangklang</i>	58
ET41	Experimental Investigation of the Effect of Adiabatic Length on the Efficiency of Thermosyphon Heat Pipe Filled with R- 134a <i>Thanaphol Sukchana and Naris Pratinthong</i>	59
ET42	Voltage Control by DQ Frame Technique of SVPWM AC-DC Converter <i>N. Moungkhum and W. Subsingha</i>	60

CONTENT

ET43	Control of Parallel-Connected AC to DC Converters with Droop Technique for DC Microgrid Application <i>C. Tarasantisuk V. Chunkag and P. Thounthong</i>	61
ET45	Design of Matlab/Simulink Modeling of Fixed-Pitch Angle Wind Turbine Simulator <i>P. Jansuya and Y. Kumsuwan</i>	62
ET46	Closed Loop Speed Control of Induction Generator with Scalar-Control Inverters <i>A. Upasan and Y. Kumsuwan</i>	63
ET47	Study of Generator Reaction on Permanent Magnet Synchronous Motor for Energy Regenerative Applications <i>S. Kantawong, A. Noppakant and B. Plangklang</i>	64
ET48	Ethanol Production from Rice Straw by Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation <i>N. Suriyachai, V. Champreda, N. Laosiripojana, and P. Unrean</i>	65
ET49	High Voltage Gain Interleaved DC Boost Converter Application for Photovoltaic Generation System <i>W. Khadmun and W. Subsingha</i>	66
ET50	Influence of Bath Temperature on the Properties of In ₂ S ₃ Films Grown by Chemical Bath Deposition <i>G.R. Gopinath, R.W. Miles and K.T. Ramakrishna Reddy</i>	67
ET51	Unsteady Surface Pressures and Airload of a Pitching Airfoil <i>Supakit Worasinchai Grant Ingram and Robert Dominy</i>	68
ET52	Fast Pyrolysis of Jatropha Residue with Alumina Based Catalysts using Pyrolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry <i>Prangtip Kaewpengkrow, Duangduen Atong and Viboon Sricharoenchaikul</i>	69
ET54	Selective Synthesis of Monoglycerides in a Capillary Microreactor <i>Matee Sirisin, Chawalit Ngamcharussrivichai, Sirilux Poompradub</i>	70

CONTENT

ET55	Numerical Analysis of Laminar Heat Transfer in a Square Duct with Incline diagonally angled – Ribs <i>W. Jedsadaratanachai, J.Wongpueng, A. Boonloi and P.Promvonge</i>	71
ET56	Effect of V-orifice on Laminar Flow Structure and Heat Transfer in Square Duct <i>W. Jedsadaratanachai, N.Vittayakul, A. Boonloi and P.Promvonge</i>	72
ET57	Numerical Analysis of Turbulent Heat Transfer in a Square Duct with Diagonal V-Discrete Ribs <i>W. Jedsadaratanachai, P.Promthaisong A. Boonloi and P.Promvonge</i>	73
ET58	Numerical Study of Laminar Heat Transfer in a Circular Tube with Angled Orifices <i>W. Jedsadaratanachai, R.Poomsalood, A. Boonloi and P.Promvonge</i>	74
ET59	Effect of Tube Aspect Ratios on Air Side Performance of the Cross Flow Heat Exchangers with the Flat Tubes Having Different Aspect Ratios <i>S. Toolthaisong and N. Kasayapanand</i>	75
ET60	Effect of Attack Angles on Air Side Thermal and Pressure drop of The Cross Flow Heat Exchangers with Staggered Tube Arrangement <i>S. Toolthaisong and N. Kasayapanand</i>	76
ET61	Sintering of an Aqueous-Based Tape Casted Samarium-Doped Ceria Electrolyte <i>P. Lekkla, D. Wattanasiriwech and S. Wattanasiriwech</i>	77
ET62	Design, Construction and Testing of a Thermoacoustic System <i>R. Pongsopon, S. janjuakeao, K. Eaiprasertsak, T. Chim-oye and M. Fuangfoong</i>	78
ET63	Water Waste Treatment Stand Alone Photovoltaic System <i>O. Sadmai and S. Hiranvarodom</i>	79
ET64	The effect of photon flux density and module temperature on power output of photovoltaic array <i>Chattariya Sirisamphanwong and Chatchai Sirisamphanwong</i>	80

CONTENT

ET65	Electrochemical Performance of $\text{Ni}_{1-x}\text{Co}_x$ -GDC Cermet Anodes for SOFCs <i>J. Ayawanna, Darunee Wattanasiriwech, Suthee Wattanasiriwech and Kazunori Sato</i>	81
ET69	Comparison of Two Scenarios for Maximizing CO_2 Reduction and Supply Energy for Bioethanol Production and Power Generation from Agro-Residues: A Case Study in Ecuador <i>J.C. Garcia M., T. Machimura and T. Matsui</i>	82
ET70	CuO coating effect on photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells based on SnO_2 nanowires <i>Surachet Phadungdhithada, Duangmanee Wongratanaphisan, Atcharawon Gardchareon, and Supab Choopun</i>	83
ET71	Assessing the energy savings potential in public buildings through retrofit measures in tropical climates – A case study in Mauritius <i>Vishwamitra Oree and Oumesh Kumar Mohit</i>	84
ET72	Three-Level Back-to-Back Converter Simulation for Wind Turbine Energy Source <i>N. Yuktanon, N. Phankong and K. Bhumkittipich</i>	85
ET73	Scenario Analysis of Electric Vehicle Technology Penetration in Thailand: Comparisons of Electricity Requirement and Power Development Plan and Projections of Fossil Fuel and Greenhouse Gas Reduction <i>P. Saisirirat¹, N. Chollacoop, M. Tongroon, Y. Laoonual and J. Pongthanasawan</i>	86
ET74	Fabrication of Samarium Doped Ceria Electrolyte on Rough Glass Substrate with High Electrical Conductivity by Electrostatic Spray Deposition for Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell <i>Tanapol Chalermkiti, Manop Panapoy and Bussarin Ksapabutr</i>	87
ET75	Effect on Compressive Strength of Replacing Sand by Dolomite in Concrete <i>Prachoom Khamput and Kittipong Suweero</i>	88

CONTENT

ET77	Renewable Energy Feasibility Study: Case Study for A Main Telephone Fixed-Line Exchange Unit in Thailand <i>N. Kuptasthien, Sarawut Jaturaboon and D. Jaithavil</i>	89
ET78	Laboratory Study of Selected Trace Elements Behavior during Biomass Co-Combustion with Coal <i>A. Ksiadz</i>	90
ET79	Comparative Evaluation on Product Properties and Energy Consumption of Single Microwave Dryer and Combination of Microwave and Hot Air Dryer for Durian Peel Particleboards <i>Sarocho Charoenvai, Wanchana Yingyuen, Anuchit Jewyee, Phadungsak Rattanadecho and Somsak Vongpradubchai</i>	91
ET80	Effect of Activated Carbon Surface Treatment on Methane Adsorption for Natural Gas Storage Development <i>Atsawuth Siangsai, Boonyarach Kitiyanan, Pramoch Rangsavigit, and Santi Kulapraphanjan</i>	92
ET81	Hydrodynamic Behavior of a Fluidized Bed Containing Sun Flower Seed <i>Phairoach Chunkaew, Siva Achariyaviriya and Aree Achariyaviriya</i>	93

ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACT

ES09	Degradation Behaviors of Different Blends of Polylactic Acid Buried in Soil <i>C. Chuensangjun, C Pechyen and S. Sirisansaneeyakul</i>	94
ES10	Fixed bed Adsorption Column Studies for the Removal of Aqueous Phenol from Activated Carbon Prepared from Sugarcane Bagasse <i>H.D.S.S.Karunaratne and B.M.W.P.K Amarasinghe</i>	95
ES11	Analysis of pesticide residues in tomatoes by using Gas Chromatography/Mass Spectroscopy <i>D.M.S.C. Dissanayake¹, K.K.D.S. Ranaweera, Nimal Pathmasiri</i>	96
ES13	Correlation between heat flux over the Indian Ocean and rainfalls in Coastal Thailand by using the MM5 numerical model <i>P. Prakhmuntara, A. Siripong, and D. Sukawat</i>	97

CONTENT

ES14	Effect of Acid Treatment on Adsorption of Single-Walled Carbon Nanotubes for Tetracycline Removal from Aqueous Solution <i>Kenji Shiratai, Kyuya Nakagawa, Tawatchai Charinpanitkul, and Kanokwan Sowichai</i>	98
ES15	The Applied Geographic Information System and the Relation of Mollusk with Water Quality in Ayutthaya Province, Thailand <i>D. Supatimusro, N. Areerachakul, and J. Poomsripanon</i>	99
ES16	Reproduced Solar Radiation Derived from Electric Current of Solar Cell for Daytime Meteorological Study <i>Nithiwatthn Choosakul, Chanoknan Banglieng and Naris Barnthip</i>	100

NANOTECHNOLOGY AND MATERIAL TECHNOLOGY

NM01	Surface Treatment of natural fibers with Flexible Epoxy Resin <i>Napawadee Klomhadyay, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada</i>	101
NM02	Poly (lactic acid) and Poly (butylene succinate) blend Fibers Prepared by Melt Spinning technique <i>L. Jompang, J. Wong On, P. Surin, C. Apawet, T. Chaichalermwong, S. Thumsorn, N. Kaabbuathong, N. O-Charoen, and N. Srisawat</i>	102
NM03	Morphological and Impact Property of Flexible Epoxy Treated Natural Fibers Reinforced Poly (lactic acid) Composites <i>Wiphawee Nuthong, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art, and Hiroyuki Hamada</i>	103
NM04	Collector Thermal Efficiency of Solar Panel Made from Thermoplastics <i>Tawatchai Meekaew, Warunee Ariyawiriyanan, Manop Yamphang, Pongpitch Tuenpusa, Jakrawan Boonwan, Nukul Euaphantasate, Pongphisanu Muangchareon and Supachat Chungpaibulpatana</i>	104
NM05	Effect of Heat Seal Conditions on Heat Seal Characteristic of Poly (Lactic Acid)/Thermoplastic Starch Blend Films <i>S. Thumsorn, K. Yamada, S. Pivsa-Art, K. Miyata and H. Hamada</i>	105

CONTENT

NM06	Microstructural arrangement and densification of GDC10-3YTZ solid solutions <i>S. Wattanasiriwech, T. Jindapetch, and D. Wattanasiriwech</i>	106
NM07	Kinetic Study of Poly(L-lactic acid) Pre-polymers Synthesis in a 2-Steps Direct Polycondensation Process <i>Sumonman Niamlang, Weraporn Pivsa-Art, Nutchapon Santipatee, Supawat Watcharasuwanseree, Tossamon Wongbong and Sommai Pivsa-Art</i>	107
NM09	Effect of Metal Additives on the Hydrogenation of Carbon Dioxide over Nickel Catalyst Prepared by Sol-gel Method <i>Hisanori Ando</i>	108
NM10	Effects of Fuel Contents and Surface Modification on the Sol-Gel Combustion $Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95}$ Nanopowder <i>Darunee Wattanasiriwech and Suthee Wattanasiriwech</i>	109
NM11	Mechanical Properties of Bamboo Charcoal Reinforced PLA Composites <i>Prahyaporn Limparungsee Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada</i>	110
NM12	Preparation of Poly(lactic acid) and Poly(trimethylene terephthalate) Blend Fibers for Textile Application <i>S. Padee, J. Wong On, P. Surin, C. Apawet, T. Chaichalermwong, S. Thumsorn, N. Kaabbuathong, N. O-Charoen and N. Srisawat</i>	111
NM13	Poly (lactic acid)/Polycaprolactone Blends Compatibilized with Block Copolymer <i>K. Chavalitpanya and S. Phattananurudee</i>	112
NM14	Preparation of Polymer Blends Between Poly (lactic acid) and Poly (butylene adipate-co-terephthalate) and Biodegradable Polymers as Compatibilizers <i>Weraporn Pivsa-Art, Amorn Chaiyasat, Sommai Pivsa-Art, Hideki Yamane and Hitomi Ohara</i>	113
NM17	Effect of Molecular weight and Concentration of Chitosan on Poly (vinyl acetate) Encapsulation <i>A. Jullapan, S. Phattananurudee</i>	114

CONTENT

NM18	Hydrothermal Preparation and H ₂ Evolution from Water-Splitting Reaction of Nanotubes Constructed from Low-Cost White Pigment TiO ₂ <i>S. Pavasupree, T. Wirunmongkol, N. Tonanon, S. Chuangchote, T. Sagawa, A. Simpraditpan and W. Pecharapa</i>	115
NM19	Characterization of Flower-like Titanate and Titania Nanowires on Titanium Plate Substrate <i>S. Pavasupree, K. Onoda, S. Yoshikawa, A. Simpraditpan and W. Pecharapa</i>	116
NM20	Effect of Filler Types on Thermal Property of Poly (butylene succinate) Composite Films <i>C. Iem-ongkij and S. Phattananarudee</i>	117
NM21	Synthesis of L-Lactic Acid Oligomers Using Melt Polycondensation Process <i>Sommai Pivsa-Art, Sumonman Niamlang, Weraporn Pivsa-Art, Sorapong Pavasupree, Hideki Yamane and Hitomi Ohara</i>	118
NM22	Effect of Additives on Thermal and Mechanical Properties of Polymer Blends of Poly (lactic acid) and Poly (butylene succinate-co-adipate) <i>Sommai Pivsa-Art, Sorapong Pavasupree, Narongchai O-Charoen, Weraporn Pivsa-Art, Supaphorn Thumsorn, Hideki Yamane and Hitomi Ohara</i>	119
NM25	Scintillation Properties of Ce-doped YAP and Lu _{0.3} Y _{0.7} AP Single Crystals at 320 and 662 keV Gamma Rays <i>A. Phunpueok, W. Chewpraditkul, V. Thongpool, and D. Aphairaj</i>	120
NM26	Transparent Conductive ITiO Films Deposition for Photovoltaic Application Using RF Sputtering Technique <i>Accarat Chaoumead, Tae-Woo Kim, Dong-Joo Kwak and Youl-Moon Sung</i>	121
NM27	Synthesis of Titanium Oxide Nanotubes for Electrochromiluminescence Application Using Anodizing Method <i>B. H. Joo, A. Chaoumead, M. W. Park and Y. M. Sung</i>	122

CONTENT

NM28	Comparison of TiO ₂ Films Characteristics Prepared by Sputtering, Sol Gel and Dip Coating Methods for Photovoltaic Application <i>Byung-Ho Moon, Seon-Hee Park, Chi-Hwan Han and Youl-Moon Sung</i>	123
NM29	TiO ₂ Films Fabrication for electron blocking layer of Photo-Electrochemical Cells using RF Magnetron Sputtering Method <i>Hee-Dae Park, In-Seok Choi, Dong-Joo Kwak and Youl-Moon Sung</i>	124
NM30	Synthesis of Poly(D-lactic acid) Using a 2-Steps Direct Polycondensation Process <i>Rutchanee Korn Wongpajan, Weraporn Pivsa-Art, Thikanda Tong-ngok, Supansa Junngam, Sommai Pivsa-Art, Hideki Yamane and Hitomi Ohara</i>	125
NM31	Nickel-Nickel spinel composite for an external SOFC support <i>A. Srisuwan, D. Wattanasiriwech, S. Wattanasiriwech and P. Aungkavattana</i>	126
NM32	Fine Tuning in Dimensions of ZnO Nanostructures and ZnO/Polymer Interface in Hybrid Solar Cells <i>Pipat Ruankham, Takashi Sagawa and Susumu Yoshikawa</i>	127
NM33	Pulsed Laser Ablation of Graphite Target in Dimethylformamide <i>V. Thongpool, A. Phunpueok, V. Piriya Wong, S. Limsuwan and P. Limsuwan</i>	128
NM34	Characterisation of the Photoelectrochemical Properties of WO ₃ Thin Films Prepared by Electrodeposition <i>W.L. Kwong, H. Qiu, A. Nakaruk, P. Koshy, and C.C. Sorrell</i>	129
NM35	Effect of Annealing Temperature on the Photocatalytic Activity of TiO ₂ Thin Films <i>C.P. Lin, H. Chen, P. Koshy, A. Nakaruk, and C.C. Sorrell</i>	130
NM36	Synthesis and Characterization of Al6061-Fly Ash _p -SiC _p Composites by Stir Casting and Compocasting Methods <i>David Raja Selvam. J, Robinson Smart. D.S. Dinaharan. I</i>	131

CONTENT

NM41	Synthesis of Porous Carbon using Cashew Nut Shell Liquid as a Precursor <i>Penrath Sudyod and Nattaporn Tonanon</i>	132
NM42	Mechanical Properties of Silk Fiber Reinforced Poly (lactic Acid) Composite <i>Kornkanok Manaphak, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada</i>	133
NM43	Effect of Film Thickness on the Properties of SnS ₂ Layers Deposited by Chemical Bath Deposition <i>G. Sreedevi, K.T. Ramakrishna Reddy and R.W. Miles</i>	134
NM45	Electrospun Strontium Titanate Nanofibers from Two Different Types of Strontium Salts <i>L. Macaraig, S. Chuangchote, S. Yoshikawa and T. Sagawa</i>	135
NM46	BiVO ₄ Nanopowder Prepared by the Solvothermal Method <i>Pongthep Jansanthea, Pusit Pookmanee and Sukon Phanichphant</i>	136
NM47	Crystallization Kinetic and Mechanical Proformance of Talc Filled Poly(Lactic Acid)/Poly(butylene succinate) Blend Composites <i>Weraporn Pivsa-Art, Supaphorn Thumsorn, Juraivan Ratanapisit, Hideki Yamane and Hitomi Ohara</i>	137
NM50	Design of Support Insulator for L.T. Fuse Switch from Composite Material <i>N. Panklang, N. Phankong and K. Bhumkittipich</i>	138
NM51	Preparation and Characterization of Magnetic Polymeric Composite Particles by Modified-Suspension Polymerization <i>Amorn Chaiyasat, Preeyaporn Chaiyasat, Bussabong Sirisawad, Rangini Khunlad and Sasithorn Kongtham</i>	139
NM52	Preparation of Nanotubes from Natural Ilmenite Mineral by Hydrothermal Method <i>T. Wirunmongkol, K. Sungsanit, N. O-Charoen, S. Sakulkhaemaruethai and S. Pavasupree</i>	140

CONTENT

NM53	Preparation and Characterization of Natural Rubber/Poly [styrene-co-2-(methacryloyloxy) ethyl trimethylammonium chloride] Nanocomposites by Heterocoagulation <i>Supaporn Promdsorn, Somporn Moommungmee, Preeyaporn Chaiyasat, Amorn Chaiyasat</i>	141
NM54	Preparation and Characterization of Titanate Nanofibers from Low-Cost Natural Ilmenite Sand <i>A. Simpraditpan, T. Wirunmongkol, S. Pavasupree and W. Pecharapa</i>	142
NM55	Preparation of Poly(l-lactic acid) Microencapsulated Vitamin E <i>Preeyaporn Chaiyasat, Amorn Chaiyasat, Paweena Teeka, Sayrung Noppalit and Usaporn Srinorachun</i>	143
NM56	Morphological, Thermal, and Mechanical Properties of Poly (lactic Acid) Blend with Natural rubber and Poly (methyl Methacrylate) <i>Wutthiphong Dechatiwong Na Ayutthaya and Sirilux Poompradub</i>	144
NM57	Preparation of In-Situ Silica with Multi-Functional Groups via Sol-Gel process for Natural Rubber Reinforcement <i>Thawinan Theppradit, Pattarapan Prasassarakich and Sirilux Poompradub</i>	145
NM58	Mechanical Property of Surface Modified Natural Fiber Reinforced Poly (lactic acid) Composites <i>Wassamon Sujaritjun, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada</i>	146
NM59	Electroactive Performances of Conductive Polythiophene/hydrogel Hybrid Artificial Muscle <i>Datchanee Pattavarakorn, Pornpun Youngta, Sutawan Jaesrichai, Siripong Thongbor and Pikulthong Chaimongkol</i>	147
NM60	Structural Properties of Cu-Doped ZnO Nanopowder Synthesized by Co-Precipitation Method <i>N. Thaweesaeng, S. Suphankij, W. Techidheera and W. Pecharapa</i>	148
NM61	Influence of Ti and Zn Dopants on Structural Properties and Electrochromic Performance of Sol-gel Derived WO ₃ Thin Films <i>K. Paipitak, W. Techidheera, S. Porntheeraphat and W. Pecharapa</i>	149

CONTENT

NM62	The Electromechanical Properties of Crosslinked Natural Rubber <i>S. Niamlang, S. Thongchai, N. Pawananant and A. Sirivat</i>	150
NM63	Thermal and Mechanical Properties of Biodegradable polyester/Silica Nanocomposites <i>Rattikarn Khankrua, Sommai Pivsa-Art, Hamada Hiroyuki and Supakij Suttiruengwong</i>	151
NM64	Preparation of NiO-YSZ Substrate for Electrophoretic Deposition of thin YSZ Film <i>M. Meepho, D. Wattanasiriwech, S. Wattanasiriwech and P. Aungkavattana</i>	152
NM65	Characterization and Photoresponses properties of Sn-doped ZnO <i>K. Chongsri, C. Bangbai, W. Techitdheera and W. Pecharapa</i>	153
NM66	The Mechanical Properties of Vulcanized Deprotienized Natural Rubber <i>J. Nuinu, K. Sae-hang, W. Ariyawiriyanan and S. Kawahara</i>	154
NM67	Optical absorptivity enhancement of SiO ₂ thin film by Ti and Ag additive <i>P. Junlabhut, S. Boonruang and W. Pecharapa</i>	155
NM68	Synthesis of CuO Nanoparticles by Precipitation Method using Different Precursors <i>K. Phiwdang, S. Suphankij, W. Mekprasart and W. Pecharapa</i>	156
NM69	A Study of Energy Saving in Building through Thermal Insulation with Plywood Inserted Honeycomb Sandwich Panels <i>A. Reengwaree V. Premanond and S. Torsakul</i>	157
NM70	Hydrothermal Preparation and Photocatalytic Activity of Nanosheets from Natural Ilmenite Mineral <i>W. Charerntanom, T. Wirunmongkol, N. O-Charoen, S. Sakulkhaemaruehai, K. Sungsanit¹ and S. Pavasupree</i>	158
NM71	Effect of Nitrogen doping on optical and photocatalytic properties of TiO ₂ Thin Film Prepared by Spin Coating Process <i>W. Mekprasart, T. Khumtong, J. Rattanarak, W. Techitdheera and W. Pecharapa</i>	159

CONTENT

NM72	Photocatalytic of N-doped TiO ₂ Nanofibers prepared by electrospinning <i>S. Suphankij, W. Mekprasart and W. Pecharapa</i>	160
NM73	Nanostructure Investigation of Particle Emission by using TEM Image Processing Method <i>Preechar Karin, Yutthana Songsaengchan, Songtam Laosuwan, Chinda Charoenphonphanich, Nuwong Chollacoop and Katsunori Hanamura</i>	161
NM74	An Investigation of Weldline Strength in Injection Molded Rubber Parts <i>W. Chookeaw, Jirachai Mingbunjurdsuk, Pairote Jitthom, Nuchanat Na Ranong and Somjate Patcharaphun</i>	162
NM75	Preparation of PVP/MHEC Blended Hydrogels via Gamma Irradiation and Calcium ion Uptaking/Releasing Behavior <i>K. Plungpongpan, K. Koyanukkul, A. Kaewvilai, N. Nootsuwan, P. Kewsuwan and A. Laobuthee</i>	163
NM76	Effect of Thermal Treatment on Intermetallic Phases of Fe/Al Structural Transition Joints <i>S. Pensakul and A. Rodchanarowan</i>	164
NM77	Structural Characteristics and Dielectric Properties of La _{1-x} Co _x FeO ₃ and LaFe _{1-x} Co _x O ₃ Synthesized via Metal Organic Complexes <i>Wankassama Haron, Thammanoon Thaweetchai, Worawat Wattanathana, Apirat Laobuthee, Hathai Karn Manaspiya, Chatchai Veranitisagul and Nattamon Koonsaeng</i>	165
NM78	Simple Hydrothermal Preparation of Zinc Oxide Powders using Thai Autoclave Unit <i>T. Wirunmongkol, N. O-Charoen, and S. Pavasupree</i>	166
NM79	Thermal and mechanical properties of polypropylene/boron nitride composites <i>W. Cheewawuttipong, D. Fuoka, S. Tanoue, H. Uematsu, and Y. Iemoto</i>	167
NM80	Mechanical Properties of Jute Spun Yarn/PLA Tubular Braided Composite by Pultrusion Molding <i>A. Memon and A. Nakai</i>	168

CONTENT

NM81	The fabrication and mechanical Properties of Jute Spun Yarn/PLA Unidirection Composite by Compression Molding <i>A. Memon and A. Nakai</i>	169
NM83	Effect of Twisted Jute Fiber Bundle on Mechanical Property of Glass/jute/polypropylene Hybrid Composites <i>P. Uawongsuwan, Y. Yang and H. Hamada</i>	170
NM88	Impact Property of Flexible Epoxy Treated Natural Fiber Reinforced PLA Composites <i>Wiphawee Nuthong, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada</i>	171
NM89	Mechanical Property of Surface Modified Natural Fiber Reinforced PLA Biocomposites <i>Wassamon Sujaritjun Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada</i>	172
NM90	Mechanical properties of silk fiber reinforced PLA composite <i>Kornkanok Manaphak, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada</i>	173
NM91	Effect of Flexible Epoxy Treated on Surface Morphology of Natural Fibers <i>Napawadee Klomhadyay, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada</i>	174
NM92	Electron-Acceptor Nanomaterials Fabricated by Electrospinning for Polymer Solar Cells <i>Surawut Chuangchote and Takashi Sagawa</i>	175
NM93	Effects of Melt Spinning Conditions on Cross-sectional Features of Poly (lactic acid) Fibers <i>N. Roungpaisan, N. Ocharoen, N. Srisawat, C. Prahsarn, S. Pavasupree</i>	176
NM94	Nonstoichiometric Polymer Particles as Nanoactuators and Catalytic Nanofilters with Unique Properties <i>Md. Shahinul Islam, Won San Choi, Ha-Jin Lee</i>	177
NM95	Investigation of Si-gel-NR interaction in Si-Gel/NR vulcanizate using Dynamic Mechanical Thermal Analysis <i>C.Thongpin and R. Rodsunthia</i>	178

CONTENT

NM96	Physico-Chemical Properties of Surface Modification of Silica Based on Rice Husk Ash Sources <i>Phoorichaya Wiwatkanjana and Supakij Suttiruengwong</i>	179
NM97	CO ₂ Adsorption on MIPA-, NMEA-, Piperazine-, K ₂ CO ₃ - Modified Activated Carbons <i>T. Pichaichanlert, S. Kulprathipanja, and P. Rangsunvigit</i>	180
NM98	Characteristic of the High Performance Biomass Plastic (Effect of Wood Powder Diameter and Compounding Screw Geometry) <i>Y Yu, Y Yang, M Murakami, T Ota, T Umemura¹, K Hara, M Nomura and H Hamada</i>	181
NM99	An Investigation of Optimum Cutting Conditions in Face Milling Aluminum Semi Solid 2024 Using Carbide Tool <i>Surasit Rawangwong, Jaknarin Chatthong, Worapong Boonchouytan and Romadorn Burapa</i>	182
NM100	Effect of Soaking Time on Crystalline Phase in Leadless Iron Oxide Crystalline Glaze <i>S. Silakate, A. Wannagon and A. Nuntiya</i>	183

ENERGY ECONOMIC AND MANAGEMENT

EM02	Miscellaneous Electric Loads in Tropical Buildings – An Opportunity for Energy Conservation Improvement <i>Qi Jie Kwong, Nor Mariah Adam, Sind Hoi Goh and Vijay R. Raghavan</i>	184
EM03	Legal and Institutional Framework Development for Measurable, Reportable and Verifiable System in Thai Energy Sector <i>Titaporn Supasri, Chatchawan Chaichana and Wongkot Wongsapai</i>	185
EM04	Project Based Measurable, Reportable, and Verifiable (MRV) Guideline Development for Greenhouse Gas Mitigation Projects in Thai Energy Sector <i>Piyapong Mahamai, Chatchawan Chaichana, and Wongkot Wongsapai</i>	186

CONTENT

EM05	Non-humidified fuel cells using dimethylpyrrolidinium fluorohydrogenate ionic liquid-polymer composite membranes <i>P. Kiatkittikul, R. Taniki, K. Matsumoto, T. Nohira and R. Hagiwara</i>	207
EM06	A Prediction of Banana Drying Behavior Using Empirical Model and Artificial Neural Network Model <i>Pathiwat Waramit, Bundit Krittacom, Nantawatana Weerayuth, Umphisak Teeboonma and Sophon Sinsang</i>	187
EM07	A Nation-wide Planning of Agro-residue Utility for Bioethanol Production and Power Generation in Ecuador <i>J.C. Garcia M., T. Machimura and T. Matsui</i>	188
EM08	A Survey of Remote Household Energy use In Rural Thailand <i>J. Yaungket and T. Tezuka</i>	189

NEW ENERGY TECHNOLOGY

NT01	Investigation of Electron Beam Parameter in Seeded THz-FEL Amplifier Using Photocathode RF Gun <i>K. Shimahashi, H. Zen, K. Okumura, M. Shibata, H. Imon, T. Konstantin, H. Negm, M. Omer, K. Yoshida, Y.W. Choi, R. Kinjo, K. Masuda, T. Kii, and H. Ohgaki</i>	190
NT02	Hydrodesulfurization of Oil Derived from Waste Tire Pyrolysis <i>Nut Jantaraksa, Pattarapan Prasassarakich, Napida Hinchiranan</i>	191
NT03	Effect of surface treatment on properties of PBS/coir fiber biocomposites <i>Masiri Kosolkijwong, Nattakarn Hongsrirphan and Chanchai Thongpin</i>	192
NT04	Mechanical and Thermal Properties of PLA/PBS Co- continuous Blends Adding Nucleating Agent <i>Rungsima Homklin¹ and Nattakarn Hongsrirphan</i>	193
NT05	Dialkoxybenzoquinone-type Active Materials for Rechargeable Lithium Batteries: the Effect of the Alkoxy Group Length on the Cycle-stability <i>Masaru Yao, Hisanori Ando, and Tetsu Kiyobayashi</i>	194

CONTENT

NT06	The Effect of Rubber on Morphology, Thermal Properties and Mechanical properties of PLA/NR and PLA/ENR blends <i>K. Pongtanayut, C. Thongpin¹ and O. Santawitee</i>	195
NT07	Moisture absorption and fertilizer release of poly (butylene succinate) blended with fertilizer loaded superabsorbent polymer for using in agriculture application <i>Metinee Sriakkarakul and Nattakarn Hongscriphan</i>	196
NT09	Ductility Enhancement of Poly (butylene succinate)/Poly (lactic acid) Blend by the Use of Glycidyl Methacrylate <i>Chonticha Chinda and Nattakarn Hongscriphan</i>	197
NT10	Effects of γ -Al ₂ O ₃ on carbonization of oil palm shell <i>Unyarat Kandok, Prapan Kuchonthara, Sirilux Poompradub</i>	198
NT11	Separation of D, L-Lactic Acid by Filtration Process <i>Anan Boonpan, Sommai Pivsa-art, Sirikhae Pongswat, Atsawadut Areesirisuk and Piyamas Sirisangsawang</i>	199
NT12	Production of Bio Oil from Para rubber seed using Pyrolysis Process <i>Chaiyan Chaiya and Prasert Reubroycharoen</i>	200
NT13	Investigation of Radiation Heat Flux from the Gas Opened-cell Foam Porous Burner <i>B. Krittacom, S. Sinsang, P. Waramit and R. Peamsuwan</i>	201
NT14	Optimization of Longitudinal Electron Beam Properties for Linac-based Infrared Free-electron Laser at Chiang Mai University <i>S. Suphakul, S. Chunjarean, C. Thongbai, and S. Rimjaem</i>	202
NT15	Status and Application of Mid Infrared Free Electron Laser in Kyoto University <i>Kyohei Yoshida</i>	203
NT16	Linac-based THz Radiation Sources at Chiang Mai University <i>S. Rimjaem, P. Boonpornprasert, S. Chunjarean, K. Kusoljariyakul, M. Rhodes, J. Saisut, S. Suphakul, P. Thamboon, and C. Thongbai</i>	204

CONTENT

NT18	Simulations and Measurements of Dipole and Quadrupole Magnets for PBP-CMU Linac System P. Boonpornprasert, S. Rimjaem, J. Saisut, and C. Thongbai	205
NT19	Observation of high harmonic generation from SiC by MIR-FEL irradiation <i>K. Yoshida*, H. Zen, M. Inukai, K. Okumura, K. Mishima, K. Shimahashi, M. Shibata, H. Imon, H. Negm, T. Konstantin, M. Omer, R. Kinjo, Y.W. Choi, T. Kii, K. Masuda, and H. Ohgaki</i>	206
NT20	Effect of Equivalence Ratio on SI Engine Performance Fueled with Lean Air Gas Mixtures <i>G. Przybyla, A. Szlek, L. Ziolkowski</i>	208

Comparative Evaluation on Product Properties and Energy Consumption of Single Microwave Dryer and Combination of Microwave and Hot Air Dryer for Durian Peel Particleboards

Sarocho Charoenwai^{1*}, Wanchana Yingyuen¹, Anuchit Jewyee¹, Phadungsak Rattanadecho² and Somsak Vongpradubchai²

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110
(Corresponding Author) E-mail: sarochochakuk@hotmail.com

²Research Center of Microwave Utilization in Engineering (R.C.M.E.), Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Engineering,
Thammasat University (Rangsit Campus), Pathumthani 12120

Abstract—In this study, the idea is to use alternative “green” based on renewable resources as a raw material so as to be the adhesive into space in order to decrease formaldehyde emission in Thailand’s particleboard manufacturing industries. It was found that dried durian peel could be used to replace formaldehyde-based resin for particleboard manufacture. In addition, drying the durian peel particleboard reduces biochemical and microbiological degradation.

This paper presents the comparative evaluation on product properties and specific energy consumption of single microwave dryer and combination of microwave and hot air dryer for durian peel particleboards. Microwave in a continuous belt system, consists of twelve 800 watts 2.45 GHz coupled into the cavity wall inside the system. A rectangular microwave cavity of dimensions 45cm x 90 cm x 270 cm combined with hot-air generator having the maximum operating temperature at 240 °C was chosen. Particleboards from Monthong peel with dimension of 20 cm × 20 cm were manufactured. The physical (Density, Moisture Content and Thickness Swelling), mechanical property (Internal Bond, dielectric (Relative dielectric constant, Dielectric Constant and Loss Tangent) properties of end products were determined. In addition, Electron Structure using Scanning Electron Microscopy and thermal photograph of end products were also investigated.

Keywords— Dielectric, Internal Bond, Scanning Electron Microscopy, Thermal Photograph

1. INTRODUCTION

Agricultural waste utilization in building materials with energy conservation properties is one promising alternative to meeting the challenges of disposing agricultural waste and to adding economic value to such new building materials. Many research studies [1-9] experimented with various raw materials and processes with the main emphasis on finding the new materials with low thermal conductivity suitable for use in energy-saving buildings. A wide range of technologies have been employed to manufacture building materials from agricultural waste so as to reduce dependence on natural wood and substitute the building materials commercially available in the marketplace. Located in the tropical zone, Thailand can grow many kinds of fruits and therefore produces a huge amount of fruit peels annually. Furthermore, agricultural waste is anticipated to increase in the future, and if we are unable to efficiently dispose of the agriculture waste, it will lead to social and environmental problems. The goal is thus to use agricultural waste to manufacture energy-saving building materials with low thermal conductivity so as to reduce heat transfer into the building [5], thereby decreasing energy consumption of electrical appliances, e.g. air

conditioner, inside the building. By so doing, not only is the operation cost of the business slashed but the environment is protected. Thermal conductivity and bulk density of certain fruit peels are shown in Table 1.

Table 1 Thermal conductivity and bulk density of certain fruits [8]

Types	Bulk density (kg/m ³)	Thermal conductivity (W/m.K)
Pineapple	660	0.1149
Rambutan	636	0.1031
Durian	472	0.0921
Young coconut	330	0.0779
Pummelo	670	0.1240
Mangosteen	580	0.1119

[8] found that coconut coir and durian peel respectively have low thermal conductivity of 0.0779 W/m.K and 0.0921 W/m.K as shown in Table 1. Hence, [8] could be regarded as Thai inventors who innovated the material with low thermal conductivity produced from coconut coir and durian peel fibers. [9] produced durian peel particleboards using synthetic binders, i.e., Urea-Formaldehyde (UF), Phenol-Formaldehyde (PF), and Isocyanate. Formaldehyde-based adhesives, such as UF and PF resins, currently dominate the wood adhesive market. However, formaldehyde, regarded by many as a

toxic air contaminant, is a human carcinogen that causes nasopharyngeal cancer. Besides cancer-causing hazard, exposure to formaldehyde causes non-cancerous health problems, such as eye, nose, and/or throat irritation (Hashim et al, 2011). Furthermore, formaldehyde emission and its non-renewable nature have become a matter of increasing concern. Environmentally-friendly adhesives from renewable resources and free of formaldehyde therefore are now being developed to replace the UF and PF binders. However, the binderless particleboard has the general problem related to microbiological growth. Hence, drying is used to preserve binderless particleboard. Drying the product reduces biochemical and microbiological degradation. It is the complicate process involving heat and mass transfer between the material surface and its environment. Thermal drying in solids might be regarded as a result from two simultaneous action: a heat transfer process by which the moisture content of the solid is reduced and a mass transfer process that implies fluid displacement within the structure of the solid towards its surface. Motion depends on medium structure, moisture content and characteristics of the material. Moreover, the separation of vapor from solid depends also on external pressure and temperature distribution on the total area of solid surface and the moisture content of drying air. Provided that thermal drying occurs in slow rate at ambient conditions, thus drying plants are designed and developed in order to accelerate appropriate drying rates to supply the product is more heat those of ambient conditions [10].

The drying of particleboard is the most energy intensive and costly process in the particleboards industry. Conventional particleboard dryers function under the basis of convective heat transfer from circulating hot air to the surface of particleboard, followed by subsequent conductive heat transfer from the surface to the center of particleboard. These dryers require a considerable amount of energy and long drying times in order to obtain high-quality particleboards. Therefore, innovative particleboard drying methods have been researched and studied. Unlike conventional heating, where heat is applied externally to the surface of particleboard, microwave irradiation penetrates and simultaneously heats the bulk of the particleboard. When properly designed, microwave drying systems offer several advantages over several mechanical methods, including reduction of drying time, high energy efficiency, and improvements in product quality for various applications. Microwave drying of particleboard; however, has not been used to a larger extent in particleboard industries due to insufficient knowledge of the complex interaction between particleboards structure and drying process parameters [11].

Microwave drying is one of the most interesting methods for drying particleboards. The application of volumetric heating could decrease the gradients of temperature and moisture during drying, resulting in an increase in the rate of heat transfer in particleboard.

The objective of this study was to the comparative evaluation on product properties and specific energy consumption of single microwave dryer and combination of microwave and hot air dryer for durian peel particleboards.

2. THE RELATED THEORY

Drying with Microwave Energy [2]

In convective drying, dry air is used to take away surface water saturation from the dried sample; therefore, creating a pressure gradient between the surface and inner part, which causes moisture migration from inside the sample to the surface. In this process, the temperature gradient will enhance the ability of dry air to remove water from the surface and increase the moisture migration rate within the sample. However, there are many disadvantages with this method. Among these are low energy efficiency and lengthy drying time during the falling rate period. This is mainly caused by rapid reduction of surface moisture and consequent shrinkage, which often results in reduced heat transfer. Unlike conventional heating, where heat is applied externally to the surface of the material, microwave irradiation penetrates and simultaneously heats the bulk of the material. During applied microwave energy, the resonance effect can occur inside the material, which results in the field distribution not having an exponential decay from the surface. In some cases the highest field strength and therefore power density, can actually occur in the center of the sample. This is caused by the interfere of waves reflected from the back side of the sample. This mechanism pushes moisture out of the product with great efficiency as the moisture content of the product decreases. When properly designed, microwave drying systems have several advantages over conventional mechanical methods, including reducing the drying times, high energy efficiency, and offer improvements in product quality.

Fundamental Equation of Heat Generation with Microwave [2]

Dielectric materials absorb and alter microwave to heat energy, which is called density of microwave power absorbed (Q) and relates to electric field and magnetic field. In analysis of dielectric intensity E is normally used to evaluate the microwave energy absorbed. Therefore, the microwave energy absorbed or local volumetric heat generation term can be defined as Eq. (1):

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon' (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

Where E is the electric field intensity, dependent upon position; f is the microwave frequency, ω is the angular velocity of microwave, ϵ' is the relative dielectric constant which describe energy absorption, transmission, and reflection at the microwave electric field; ϵ_0 is the permittivity of air; and $\tan \delta$ is the loss tangent coefficient that indicates the ability of the product to absorb microwave energy.

Corresponding to Eq. (1), in the case of the amount of impact of $\tan \delta$, a lack of specimen penetration by the microwave without heat generation lowered the loss tangent coefficient, thus decreasing its impact on the absorbed microwave energy and volumetric heating. However, this could change at higher temperatures depending on relevant variables such as specific heat capacity and the characteristics and size of the material.

When the materials is heated unilaterally, it is found that as the dielectric constant and loss tangent coefficient can vary, the penetration depth will be changed and the electric field within the dielectric material is altered. The

penetration depth is used to denote the depth at which the power density has decreased to 37% of its initial value at the surface.

$$D_p = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\epsilon'_r \sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''_r}{\epsilon'_r}\right)^2} - 1}} = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\frac{\epsilon'_r \sqrt{1 + (\tan \delta)^2} - 1}{2}}} \quad (2)$$

Where D_p is the penetration depth, ϵ''_r is the relative dielectric loss factor, and v is the microwave speed. The penetration depth of the microwave power is calculated according to Eq. (2), which shows how it depended on the dielectric properties of the material. It is denoted that products with huge dimensions and high loss factors may occasionally overheat a considerably thick layer on the outer layer. To prevent such phenomenon, the power density must be chosen; thus, enough time is provided for the essential heat exchange between the boundary and core. If the thickness of the material is less than the penetration depth, only a fraction of the supplied energy will be absorbed. Furthermore, the dielectric properties of particleboard specimens typically showed moderate loss depending on the actual composition of the material. A greater amount of moisture content revealed a grater potential for absorbing microwave. For all particleboard specimens, a decrease in the moisture content typically decreased ϵ''_r , accompanied by a slight increment in D_p .

Specific Energy Consumption (SEC)

Specific energy consumption (SEC) equation is represented by:

$$SEC = \frac{\text{Total electrical power supplied in drying}}{\text{Amount of water removed during drying}} \left[\frac{kW-hr}{kg} \right] \quad (3)$$

Where P_{total} is a total electrical power supplied in the drying process; this term can be calculated from:

$$P_{total} = P_{mg} + P_{heater} + P_{exfan} + P_{cofan} + P_{con} \quad [kW \times 3600s] \quad (4)$$

Where P_{mg} is the electrical power supplied in the magnetron, P_{heater} is the electrical power supplied in the heater, P_{exfan} is the electrical power supplied in the exhaust fan, P_{blfan} is the electrical power supplied in the blower fan, P_{cofan} is the electrical power supplied in the cooling fan, and P_{con} is the electrical power supplied in the conveyor.

3. EXPERIMENTAL SETUP

Particleboard preparation

The specimens were prepared by first weighing durian peel fiber, durian peel powder and water according to the ratios in Table 2 and mixing well. The blended particles were gradually, manually placed layer-by-layer into a 250 mm x 250 mm mould to form the final mats which were then pressed at a platen temperature of 150 °C. Pressure of 1000 - 1500 psi was applied to the boards. After the hot pressing, the boards were dried for 24 h to completely cure before being trimmed and cut into test specimens.

Table 2 Mixing Ratio (Fiber: Powder: Water) and Drying temperature

Board	Mixing Ratio (Fiber:Powder:Water) and Drying Temperature
1	1:1:1
2	1:1:1.5
3	2:1:1.5
4	2:1:2

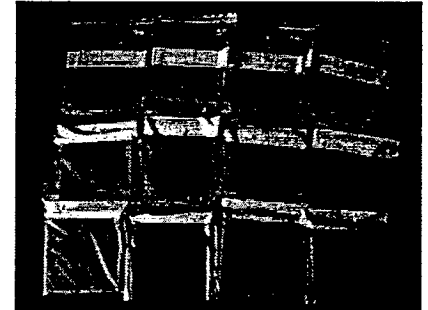


Fig 1. Binderless particleboard from durian peel

Microwave-convective air drying at RCME [12]

Microwave-convective air drying was carried out using a combined multi-feed microwaved-convective air and continuous belt system (CMCB). The Shape of the microwave cavity is rectangular with a cross-sectional area of 90 cm x 45 cm x 270 cm. The drier was operated at a frequency of 2.45 GHz with maximum working temperature of 180 °C. The microwave power was generated by means of 12 compressed air-cooled magnetrons. The maximum microwave capacity was 9.6 kW with a frequency of 2.45 GHz. The power setting could be adjusted individually in 800 W steps. In the continuous processing equipment, two open ends are essential, in with the material is to be heated up on the belt conveyer where it was put in and taken out. In this equipment, leakage of microwaves was prevented by the countermeasure in duplicate with a combination of mechanical blocking filter (corrugate choke) and microwave absorber zone filter was provided at each of the open ends. The microwave leakage was controlled under the DHHS standard of 5 mW/cm². The multiple magnetrons (12 units) were installed in an asymmetrical position on the rectangular cavity. The microwave power was then directly supplied into the drier by using waveguide. An infrared thermometer (located at the opening ends) was used to measure the temperature of the specimens (accurate to ± 0.5 °C). The magnetrons and transforms used in this system were cooled down by a fan. In the continuous heating/drying equipment, two open ends were essential to feed in and feed out the product, through which the material to heated up on the belt conveyer was arranged in certain position. The belt conveyor system consisted of a drive motor, a tension roller, and a belt conveyor. During the drying process, the conveyor speed was adjusted to 0.54 m/min (at the frequency 40 Hz) and the motor speed was controlled by the VSD control unit. Hot air was generated using 24 units of electric heaters with the maximum capacity of 10.8 kW and the maximum working temperature of 240 °C. The hot air was provided by blower fan with 0.4 kW power through the air duct into the cavity. The hot air temperature was measured using a thermocouple. For

combination of microwave and hot air dryer, hot air was varied from 40, 50 and 60 °C for comparing to single microwave process.

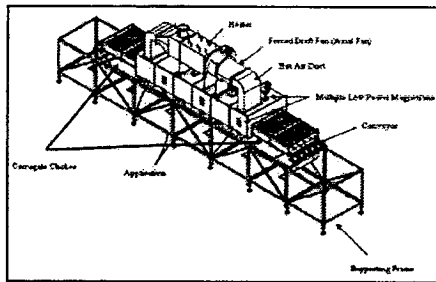


Fig 2 Schematic diagram

Standards, 2003) for physical properties, i.e., density, moisture content, thickness swelling. Internal Bond of the particleboard was measure using Universal Testing (Testometric MICO 500). Thermal conductivity of the particleboards was measured using a thermal conductivity analyzer NETZSCH Model HFM 436 Lamda according to ASTM C 518 (American Society for Testing and Materials). Dielectric properties of particleboard were measured using Network Analyzer (PUSCHNER). The electron structure of particleboard was doned using Scanning Electron Microscopy (JEOL, SM-6510). Results show the comparative evaluation on product properties and specific energy consumption of single microwave dryer and combination of microwave and hot air dryer for durian peel particleboards.

Specimen preparation for testing

After drying, testing of specimens was carried out according to JIS A 5908-2003 (Japanese Industrial

4. RESULTS

Experimental data are analyzed to obtain the physical, mechanical and thermal properties of particleboard under various drying condition. The details of the analysis are as outlined in the following.

Table 3 The results of using the combination of microwave and hot air dryer

Power of magnetrons (W)	Hot air temperature	Mixing Ratio	Drying rate	%MC	SEC	kW-Hr	Drying Time (h)
2400	40	1:1:1	0.63	6	0.1129	7.5	70
		1:1:1.5	0.71	6			
		2:1:1.5	0.80	7			
		2:1:2	0.80	7			
	50	1:1:1	0.90	7	0.0968	6	60
		1:1:1.5	0.91	6			
		2:1:1.5	0.66	6			
		2:1:2	0.71	6			
	60	1:1:1	0.89	6	0.0926	5.3	50
		1:1:1.5	0.76	6			
		2:1:1.5	0.97	6			
		2:1:2	0.80	6			

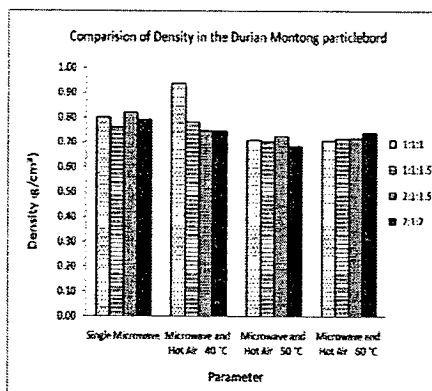


Fig. 3 Density

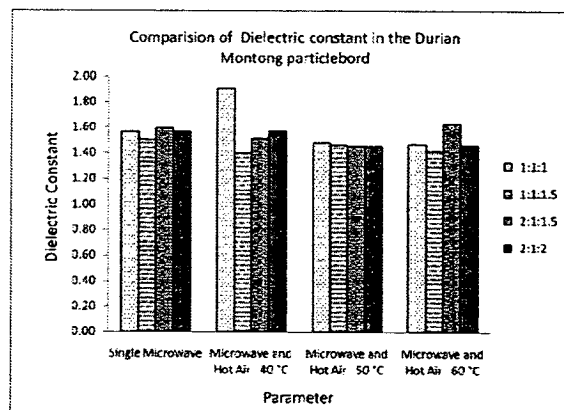


Fig. 7 Dielectric constant

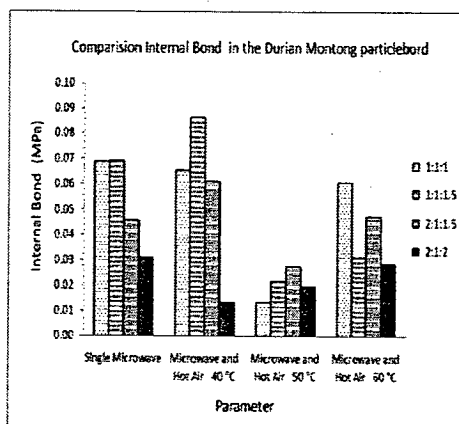


Fig. 4 Internal Bond

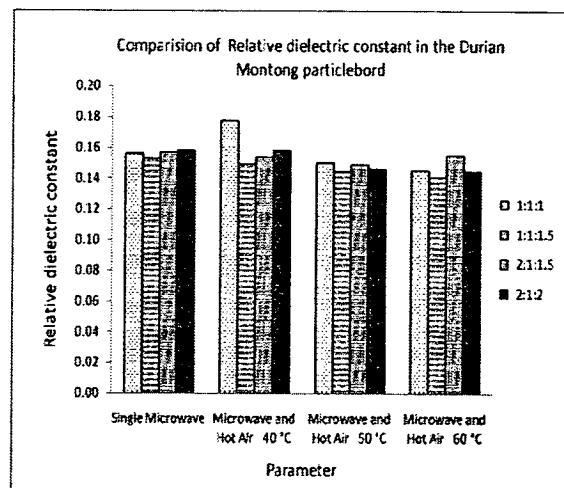


Fig. 8 Relative dielectric constant

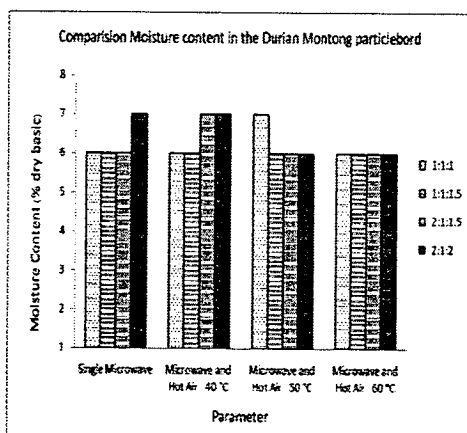


Fig. 5 Moisture Content

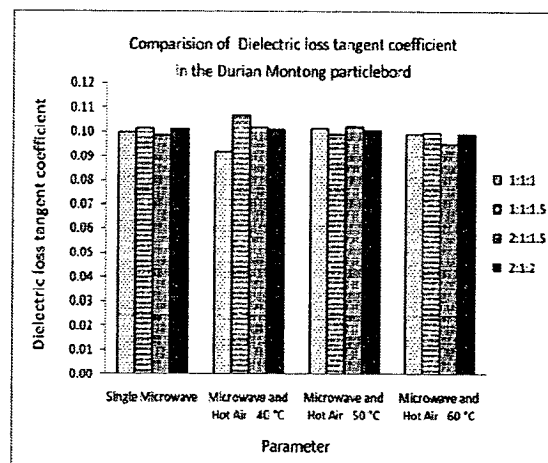


Fig. 9 Dielectric loss tangent coefficient

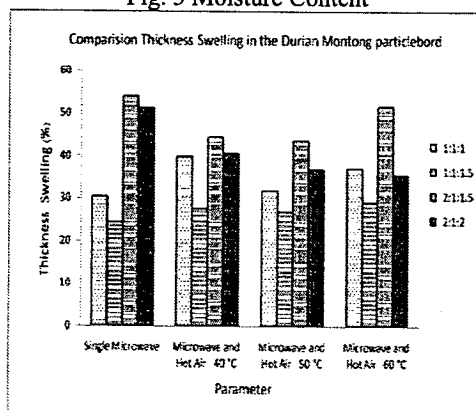


Fig. 6 Thickness Swelling

Table 4.1 The electron Structure (Cross Section) of Particleboard

Candition	Single Microwave	Microwave and Hot Air 40 °C	Microwave and Hot Air 50 °C	Microwave and Hot Air 60 °C
1:1:1				
1:1:1.5				
2:1:1.5				
2:1:2				

Table 4.2 The electron structure (Surface) of particleboard

Candition	Single Microwave	Microwave and Hot Air 40 °C	Microwave and Hot Air 50 °C	Microwave and Hot Air 60 °C
1:1:1				
1:1:1.5				
2:1:1.5				
2:1:2				

Table 5 Thermo photograph of particleboard (Drying time of 70 min)

Candition	Single Microwave	Microwave and Hot Air 40 °C	Microwave and Hot Air 50 °C	Microwave and Hot Air 60 °C
1:1:1				
1:1:1.5				
2:1:1.5				
2:1:2				

5. CONCLUSION

A combined multi-feed microwave-convective air and continuous belt dryer is one of the most interesting heating methods (SEC of because requires lower energy consumption than single microwave system (SEC of 0.16509 MJ/kg) for the same or better product qualities than combined system. It shows the potential to reduce electrical energy consumption. Moreover, combined system permits quicker drying at high hot air temperature. If this technology is implemented to industry, it will decrease the production costs due to the lower electrical energy consumption.

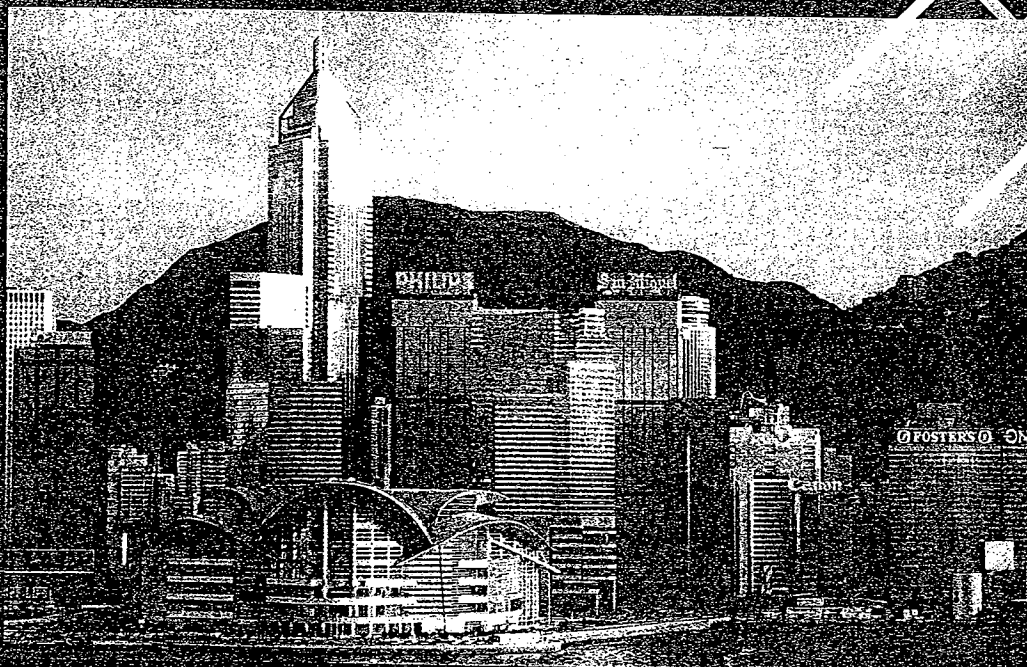
ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to express sincere appreciation to the National Research Council of Thailand (NRCT) and Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) for the financial support of this research; and deep gratitude to Dr. Sorapong Pavasupree for his invaluable and useful suggestions.

REFERENCES

- [1] Charoenvai, S., "New Insulating Material: Binderless Particleboard from Durian Peel", The 2nd International Conference on Civil Engineering and Building Materials (CEBM 2012), November 17-18, 2012, Hong Kong.
- [2] Asasutjarit, C., Charoenvai S., Hirunlabh J., Khedari J., 2009 "Materials and mechanical properties of pretreated coir-based green composites", Composites Part B: Engineering, Vol. 40, Iss. 7, pp. 633-637.
- [3] Asasutjarit, C., Charoenvai S., Hirunlabh J., Khedari J., 2008, "Effect of pretreatment on properties of coir-based green composite", Advanced Materials Research, Vols. 47-50, pp. 678 - 681.
- [4] Asasutjarit, C., Hirunlabh J., Khedari J., Charoenvai S., Zeghmami B., Cheul Shin U., 2007, "Development of coconut coir-based lightweight cement board", Journal of construction and building materials, Volume 21, Issue 2, Pages 277-288.
- [5] Charoenvai, S., J. Khedari, J. Hirunlabh, C. Asasutjarit, B. Zeghmami, D. Quenard and N. Pratintong, 2005, "Heat and moisture transport in durian fiber based lightweight construction materials", Journal of Solar Energy, Volume 78, Issue 4, April 2005, Pages 543-553.
- [6] Khedari, J., Watsanasathaporn, P., Hirunlabh, J., 2005, "Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity," Cement & Concrete Composites, volume 27, Pages 111-116.
- [7] Khedari, J., Nangkongnab, N., Hirunlabh, J. and Sombat Teekasap, 2004, "New Low-Cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir", Building and Environment, Vol. 39, pp. 59-65.
- [8] Khedari J, Suttisonk B, Pratintong N, Hirunlabh J. New Lightweight Composite Construction Materials with Low Thermal Conductivity, Cement and Composites 2002; 23: 65-70.
- [9] Khedari, J., Charoenvai, S. and Hirunlabh, J., 2003, "New insulating particleboards from durian peel and coconut coir" Journal of Building and Environment, Vol. 38, Issue 3, pp. 435-441.
- [10] Prommas, R., Rattanadecho, P., Cholasuek, D., 2120, "Energy and exergy analyses in drying process of porous media using hot air," International Communications in Heat and Mass Transfer, pp. 372-378.
- [11] Vongpradubchai, S., Rattanadecho, P., 2011, "Microwave and Hot Air Drying of Wood Using a Rectangular Waveguide," Drying Technology, pp.451-460.
- [12] Jindarat, W., Rattanadecho, P., Vongpradubchai, S. and Pianroj, Y., 2011, Analysis of Energy Consumption in Drying Process of Non-Hygroscopic Porous Packed Bed Using a Combined Multi-Feed Microwave - Convective Air and Continuous Belt System (CMCB), Drying Technology An International J., Vol.29(08), pp. 926 - 938.

Advances in Civil Engineering and Building Materials



Editors: Shuenn-Yih Chang,
Suad Khalid Al Bahar & Jingying Zhao

 **CRC Press**
Taylor & Francis Group
A BALKEMA BOOK

ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING AND BUILDING MATERIALS

SELECTED, PEER REVIEWED PAPERS FROM 2012 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON
CIVIL ENGINEERING AND BUILDING MATERIALS (CEBM 2012), 17–18 NOVEMBER, HONG KONG

Advances in Civil Engineering and Building Materials

Editors

Shuenn-Yih Chang

Department of Civil Engineering, National Taipei University of Technology, Taiwan

Suad Khalid Al Bahar

Kuwait Institute Scientific Research, Safat, Kuwait

Jingying Zhao

International Science and Engineering Research Center, Wanchai, Hong Kong



CRC Press

Taylor & Francis Group

Boca Raton London New York Leiden

CRC Press is an imprint of the
Taylor & Francis Group, an informa business

A BALKEMA BOOK

CRC Press/Balkema is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business

© 2013 Taylor & Francis Group, London, UK

Typeset by MPS Limited, Chennai, India

Printed and bound in Great Britain by CPI Group (UK) Ltd, Croydon, CR0 4YY.

All rights reserved. No part of this publication or the information contained herein may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, by photocopying, recording or otherwise, without written prior permission from the publishers.

Although all care is taken to ensure integrity and the quality of this publication and the information herein, no responsibility is assumed by the publishers nor the author for any damage to the property or persons as a result of operation or use of this publication and/or the information contained herein.

Published by: CRC Press/Balkema
P.O. Box 447, 2300 AK Leiden, The Netherlands
e-mail: Pub.NL@taylorandfrancis.com
www.crcpress.com – www.taylorandfrancis.com

ISBN: 978-0-415-64342-9 (hbk)

ISBN: 978-0-203-38807-5 (ebook)

Table of contents

Preface	XV
Sponsors and committees	XVII
 <i>Architecture & urban planning</i>	
Challenges and trends of using sewage treatment plants in Islamabad, Pakistan <i>A.A. Ikram</i>	3
The role of green architecture on environment relaxation of hospital users <i>M.A. Mohammadabadi & M. Massoud</i>	7
An attic as rehabilitation solution for low rise prefab concrete housing blocks <i>C. Bocan</i>	11
Concentration of TV news coverage to the specific municipalities – Case study on the 2011 Tohoku Earthquake <i>M. Numada & K. Meguro</i>	15
Research on application of green building technologies in designs of school <i>Y.Q. Cui, Y. Liu & N. Zhao</i>	21
Energy-efficient office building design in cold climate <i>W.D. Ji, T.F. Zhao & X.W. Xu</i>	27
Dynamic mechanical properties of sandstone under coupled static and dynamic loads <i>F.Q. Gong & X.L. Liu</i>	33
The instrument for attribute shift of urban-rural land use of eastern part county in northwest China on the background of urban-rural incorporation – A case study of Hancheng, China <i>A. Bo Jing, B. Minghua Huang & B. Yu Wang</i>	39
Urban complex: New urban phenomenon in China <i>H. Zhu</i>	45
Prediction of environmental-friendly eco-architecture trend by neologism analysis <i>K.-I. Chin, J. WooMoon & K.H. Lee</i>	49
Evaluation on building interior accessible routes design <i>Y. Han & Y. Wang</i>	55
Rain water utilization in urban design: A case study of the street natural drainage program in Seattle America <i>J. Sun & K. Shi</i>	61
Studies of urban construction and development strategy of new villages – Taking the construction planning of new village in Wangji Town, Xinzhou District, Wuhan City for example <i>Q. Hua</i>	65
 <i>Building materials</i>	
Damage velocity of compressively preloaded concrete under frost action <i>S. Chen, X. Song & X. Liu</i>	71
Ultrafine glass fiber vacuum insulation panel for building insulation <i>F.E. Boafu, Z.F. Chen, W.P. Wu, Q. Chen, B.B. Li & J.M. Zhou</i>	77

Carbon nanotube coatings for building EMI shielding <i>P. Li, J. Lin, C.H. Poo, A.S. Low, X.J. Yin & G.C. Ong</i>	83
Experimental study on noise reduction characteristics of polymer modified asphalt mixture <i>L. Wang, Y.M. Xing & L. Pan</i>	87
Influence of mineral admixtures on anti-permeability of mixed aggregate concrete <i>J. Huo, D. Song, H. Yang, W. Li & J. Li</i>	93
Corrosion resistant performance of a chemical quenched rebar <i>J. Wei, J. Dong & W. Ke</i>	99
Experimental study of photocatalytic concrete products for durability of reinforced concrete <i>A. Fiore, G.C. Marano, P. Monaco & A. Morbi</i>	105
Research on the durability of Reactive Powder Concrete in marine corrosive environment <i>Ming-zhe An, Y. Wang, Q. Lu & Run-dong Liu</i>	109
Review and exploration of river sand substitutes for concrete production in Asian countries <i>C.-P. Sing, P.E.D. Love & C.-M. Tam</i>	115
New insulating material: Binderless particleboard from durian peel <i>S. Charoenvai</i>	119
Durability of reactive powder concrete under the action of sulfate dry-wet cycles <i>Y. Wang, M.Z. An & S. Han</i>	125
The new conception of rare earth compounds used as asphalt modifier <i>Haixiao, R. Fu, R. Hu, S. Zhang & M. Zhang</i>	131
The application technology of warm mix of ultra-thin cover face in urban road maintenance <i>Y. Li, X. Song, J. Sun, Y. Zhang & Y. Li</i>	135
Studies of construction quality based on distributed fiber optic monitoring of mass concrete <i>F. Jin</i>	139
Pozzolanic characteristics of palm oil waste ash (POWA) and treated palm oil fuel ash (TPOFA) <i>N.M. Alwair, M.A. Megat Johari, A.M. Zeyad & S.F. Sâiyid Hashim</i>	145
Investigation of accelerating effects of mineral admixtures by hydration heat and thermal analysis <i>H. Yang, S. Tu & F. Gao</i>	151
Estimation of asphalt mixture mechanical property by digital image correlation method <i>Y. Cui, L. Feng & L. Wang</i>	157
The manufacturing of floating decks using grancrete and reservoir sludge <i>W.C. Liao, S.Y. Tsai, C.S. Tsai & J.W. Lin</i>	163
The finite element analysis of behavior for reactive powder concrete-filled circular steel tube stub columns under axial compression <i>H. Luo, W. Ji & Z. Yan</i>	167
Review of water desorption test methods <i>C. Ince, Y. Ozturk, M.A. Carter & M.A. Wilson</i>	173
Lightweight aggregates produced from mixtures of high silica – heating microscope procedure <i>S. Al-Bahar, S. Al-Otaibi, M. Taha, A. Al-Arbeed, A. Abduljaleel, F. Al-Fahad & S. Al-Fadala</i>	179
Nonlinear finite element analysis for reinforced CRC beam <i>H. Guo & H. Zhu</i>	185
Experimental grading of locally grown timber to be used as structural material <i>G. Concu, B. De Nicolo, M. Valdés, M. Fragiaco, A. Menis & N. Trulli</i>	189
Mechanical properties of ultra-high strength concrete with local materials <i>S. Allena, C.M. Newton & M.N. Tahat</i>	195
Experimental study on shear strength of reactive powder concrete <i>G. Minlong, J. Wenyu & A. Mingzhe</i>	199

Coastal engineering

- Wave transformation by a perforated free surface semicircular breakwater in irregular waves
H.M. Teh & V. Venugopal 207
- Spectral analyses of sea-state wave data for the development of a regional-sensitive spectral model
M.S. Liew, M.Z. Abd Wahap, E.S. Lim & N. Abdullah 211
- Wave-induced seabed response around offshore wind turbine foundation: Donghai offshore wind farm, China
K.T. Chang & D.-S. Jeng 215

Computational mechanics

- The force-based quadrilateral plate elements for plate analysis using Large Increment Method
H.X. Jia, D.B. Long & X.L. Liu 221
- Assembling and factorizing the structure stiffness matrix of skeletal structure in segments based on graph theory
L. Haifeng, Y. Jingbo & H. Junke 227
- Fracture simulation of reinforced concrete structures with account of bond degradation and concrete cracking under steel corrosion
A.V. Benin, A. Semenov & S. Semenov 233
- Effect of plane stress and plane strain conditions over fracture parameters of ductile plate in SSY (LEFM) and EPFM regimes: A review
S.N.S.H. Chittajallu, M. Bansal, A.R. Bedare & S. Bhat 239

Computer simulation and CAD/CAE

- Three-dimensional modeling of foundation pit structures and surrounding buildings during the construction of the second scene of the State Academic Mariinsky Theatre in Saint-Petersburg considering stage-by-stage nature of construction process
A.P. Ledyayev, A.V. Benin & A.N. Konkov 245
- The second-responses method for simulation of vehicle-pavement dynamical interaction
S.H. Li & J.Y. Ren 249
- Method for throughput capacity of container terminal based on complex stochastic system
X. Song, Y. Peng, W. Wang & Y. Guo 255
- HOPs: A new tomographic reconstruction algorithm for non destructive acoustic testing of concrete structures
B. Cannas, S. Carcangiu, A. Fanni, R. Forcinetti, A. Montisci & G. Concu 259
- 3D finite element analysis of seismic soil-micropile-structure interaction
A. Ghorbani, H. Hasanzadehshooili & E. Ghamari 265
- Wireless sensor placement based on SHM requirements and net energy consumption
R.N. Soman, T. Onoufriou, R.A. Votsis, C.Z. Chrysostomou, M.A. Kyriakides & B. Han 271

Construction technology

- Use of polythene sheet formwork in place of conventional formwork (plywood/steel)
H.V. Pathak, L. Pasha & M. Kashyap 279
- Research on the mechanic analysis method of prestress construction process of large-span suspendome
Y. Wang, Z. Guo & B. Luo 283
- Concrete shear test: A new tool for determining rheological properties of fresh Portland cement concrete
S. Girish & B.S. Santhosh 289

Study and optimization of construction monitoring method for long-span continuous rigid frame bridge <i>H. Hu, X. Zhang & L. Zhu</i>	295
Concept of partnering in construction projects <i>A. Ghaffari & R.K. Jane</i>	301
Simulation modeling of a concrete transporting system for construction of RCC dams <i>C. Zhao, J. Wang, Y. Zhou & H. Dong</i>	307
Developing a model for profit sharing amongst partners in consulting engineering companies of construction projects <i>A. Ghaffari & R.K. Jain</i>	311
 <i>Engineering management</i>	
According the historical interpretation to research the relationship of construction logistics and the project manager's level <i>H. Zhang & X.H. Wang</i>	321
Structural properties of concrete containing lateritic sand and quarry dust as fine aggregates <i>M.E. Ephraim, I.Z.S. Akobo, J.O. Ukpata & G.A. Akeke</i>	325
Multi-objective repetitive activities projects scheduling using Genetic Algorithms <i>M.S. Eid, M.E. Abdelrazek & E. Elbeltagi</i>	331
Research on social risk evaluation and mechanism of major engineering projects of Zhejiang province <i>Y. Wang</i>	337
Scheduling of repetitive projects with learning development effect <i>M.A. Ammar & A.F. Abdel-Maged</i>	341
Evaluation for subway project quality based on supply chain thoughts <i>Z. Zhang</i>	347
Research trend in partnering in construction journals <i>A. Ghaffari & R.K. Jane</i>	351
 <i>Environmental engineering</i>	
Evaluation on the investment effect of railway vibration reduction measures <i>Z. Gongjuan, Y. Haifeng & Z. Qianbiao</i>	359
Optimization of influent distributing and effluent discharging modes of constructed rapid infiltration system <i>A. Junmin Chen, X. Yao & B. Zhenhua Sheng</i>	363
A least-square solver to estimate vertical groundwater velocity using subsurface temperature profile <i>L. Dong, J. Shimada, M. Kagabu & K. Ichiyanagi</i>	367
Unit-based SO _x emission values for fuels consumed in precast concrete production <i>M. Wimala, K. Kawai & A. Fujiki</i>	373
The effect of NH ₄ NO ₃ concentration on the environment-induced cracking behavior of carbon steel <i>K. Koide, A. Iwase & R. Nishimura</i>	379
Theoretical investigation of operating control strategy of a new solar-water-assisted ground-source heat pump <i>X. Gong, L. Wei & W. Feng</i>	383
Research of the Properties of Calcium Carbide Residue Desulfurization Gypsum <i>M. Ye & T. Zhu</i>	391

Effect of air handler supply air temperature in VAV system on building energy consumption under Korean climatic condition <i>K.H. Lee, K.I. Chin & J.W. Moon</i>	395
<i>Geotechnical engineering</i>	
Slope stability analysis based on method of FEM strength reduction <i>L. Zongwei</i>	401
Experimental research for the wetting characteristics of compacted loess <i>W.-B. Zhang</i>	405
The application of the analytical recursion scheme method on soft ground sites <i>Q. Jingjing, Y. Shaoyan, Y. Zhiqing & L. Dahua</i>	409
Theoretical model for the time prediction of landslides based on the monitoring data <i>X.H. Xu & H.Q. Yang</i>	415
Throws and blasting vibration control of the channel blasting near the tunnel entrance <i>N. Fang</i>	421
Considerations on technical and administrative management for peer review of preliminary design of bracing and retaining structure for foundation pit excavation protection in Guangzhou region <i>J.Y. Zheng</i>	425
Analysis on 3D surface crack transient propagation process <i>L. Guo, R.H.C. Wong, L. Liu & P. Yin</i>	429
Framework of DW I ₂ CAD/E system for deep foundation pit dewatering <i>J.X. Wang & X.Y. Gu</i>	433
Monitoring of ground deformation in southern part of Metro Manila, Philippines <i>K. Kurita, Y. Kinugasa, T. Deguchi & R.E. Rimando</i>	437
Study on wall group effect of rectangular closed diaphragm wall as bridge foundation under vertical loading <i>H. Wen & Q. Cheng</i>	441
The lateral behavior of single piles in liquefiable soils <i>A. Ghorbani & R. Jahanpour</i>	447
The deformation characteristics and calculation prediction method of deep excavations in Shanghai Soft Soil area <i>K. Yang & J. Jia</i>	451
Research on temperature controlling technique of mass concrete bridge bearing platform <i>Z. Qin & X. Zhang</i>	457
Technology strategy of Astor House Hotel protective restoration project <i>Q. Zhang & Y. Zheng</i>	463
Analysis of the attribute of indemnificatory housing <i>K. Sun</i>	469
Experimental study of recycled asphalt mixtures containing high rates of reclaimed asphalt pavement <i>L. Geng, R. Ren, L. Wang & P. Wang</i>	473
Research on strain rate-sensitivities of the tensile strength for concrete and its components <i>Y. Wang, J. Zhou, H. Zhao & D. Shen</i>	477
Model test study of a novel vacuum preloading method <i>S. Xiaowu, G. Bingchuan & S. Xiaoxian</i>	483
Creep property of undisturbed reticulated red clay under constant-load creep test <i>J.Z. Li & Y. Xie</i>	489

Bearing capacity for drilled pile with rock socket and a case study <i>X. Huang</i>	493
Seabed stress response by jet trenching <i>Y. Wang & D.-S. Jeng</i>	497
<i>Hydraulic engineering</i>	
Technique and theory on continuous pouring concrete of tail water branch pipe in water power station <i>C. Yeying, W. Junjie & H. Jianyun</i>	505
Tidal level trend test and extraction in downstream of the Yangtze River <i>G. Li, M. Xiao & X. Xiang</i>	509
Experimental study on hydraulic characteristics of allotypic hybrid-type flip bucket <i>T. Zhang & Z.W. Wang</i>	515
Dynamic gravity dam-reservoir-foundation interaction analysis based on the scaled boundary finite element method <i>J.Y. Liu, G. Lin, Z.Q. Hu, Y. Wang & Y. Zhang</i>	519
Study of material failures in operating gravity fed water supply pipelines <i>V.G. Tzatchkov & V.H. Alcocer-Yamanaka</i>	523
Study on the law of coal-bearing soft rock belts in the steep excavation slopes at ZIPINGPU hydroelectric station in SiChuan Province of China <i>Y. Cao & Y. Huang</i>	527
Element analysis of consolidation of soil under surcharge and vacuum preloading <i>X. Shu, B. Guo & X. Song</i>	531
<i>Road & bridge engineering</i>	
Practical calculation method of composite cable-stayed bridge <i>X.-N. Wu, B. Li, M.-M. Zhou & X.-L. Zhai</i>	539
Comparison between two improved methods of long term permanent deformation calculation in high-speed railway subgrade <i>A. Kang Zhuang, G. Quanmei & B. Wang Yang</i>	543
The influence of additional attack angle on flutter analysis result of 1400 m cable stayed bridge <i>H.J. Zhang & L.D. Zhu</i>	551
Performance evaluation on highway snow-melting agents <i>Y. Wu, N. Liu & X. Fan</i>	557
Prediction of CBR from index properties of cohesive soils <i>M. Zumrawi</i>	561
Static load test arrangement analysis based on combined control of moment and stress <i>X.-J. Che, X.-D. Zhang & C. Yang</i>	567
Test and simulation analysis on early temperature field of the main girder for a concrete cable-stayed bridge <i>Q. Li, Q. Chen, P. Wang & J. Yuan</i>	571
Research on influence factors and evaluation of ride comfort of bridge bump based on road test <i>X. Pan, L. Yu, W. Guo, X. Ma & Z. Fu</i>	577
Nonlinear dynamic stability of a rigid frame bridge with super high-rise piers <i>H. Zhang, X. Zhang & B. Dong</i>	581
Performance of Ultra Thin White Topping with different admixtures to White Topping <i>C.C. Abhijith & S.P. Mahendra</i>	585

Structural glass in metal load-carrying systems of building constructions <i>M. Karmazinová & J. Melcher</i>	591
The surface electrical and microstructure analysis of peat treated with cement <i>H. Moayedi & S. Kazemian</i>	597
Pushoff shear tests of self consolidating concrete <i>K.N. Rahal & A.L. Al-Khaleefi</i>	603
Earthquake response study of slope with anti-slide piles under bilateral seismic actions <i>B. Dong</i>	607
Fuzzy comprehensive evaluation on the reliability of the in-service highway bridges <i>D.-W. Zheng, Z.-B. Hu & L.-X. Qi</i>	611
Seismic performance evaluation of bridge applying mode-based pushover analysis method <i>C. Yang, X. Zhang, X. Che & L. Zhu</i>	615
Research on the reasonable strength of cement-treated macadam base <i>Y. Wang, X. Sun & Z. Li</i>	621
Horizontal shear behavior and vibration isolation efficiency of FRP rubber isolators <i>L. Han, T.-B. Peng & Z.-N. Wang</i>	625
The comparisons of three research methods about horizontal shear stiffness of FRP rubber isolators <i>Z.-N. Wang, T.-B. Peng & L. Han</i>	631
Effect of tower longitudinal stiffness on static performance of self-anchored suspension bridge with multi-tower <i>Y.-J. Chen, C. Zhang & Z.-Z. Fang</i>	635
Characterization of stone matrix asphalt with cellulose and coconut fiber <i>S.S. Awanti, A. Habbal, P.N. Hiremath, S. Tadibidi & S.N. Hallale</i>	639
<i>Structural engineering</i>	
Analysis on the capacities of resisting natural disasters for UHV transmission towers <i>J. Yang & F. Yang</i>	645
Analysis on the unbalanced tension of 1000 kV and 500 kV AC four-circuit transmission lines on the same tower <i>H. Junke, Z. Chunlei, Y. Jingbo & Y. Fengli</i>	649
Research on load-displacement skeleton curve model of L-shaped concrete-filled steel tubular column <i>B. Cao, S. Dai, J. Huang, Z. Peng & X. Shen</i>	655
Mixed aleatory-epistemic uncertainty quantification using evidence theory with differential evolution algorithm <i>Y. Su, H. Tang, S. Xue & C. Hu</i>	661
New jacket-based anchorage for RC beams with external tendons <i>S. Hong, S.-K. Park & J. Choi</i>	667
Experimental study on ultimate behaviors of aluminum alloy single shear four-bolted connections according to plate thickness <i>T. Kim & Y. Cho</i>	673
Application of modular industrialized housing method in villa project in Dubai <i>J. Li, L. Wang, H. Dong, T. Yu & Z. Sun</i>	679
Discussion on technical coordination of reconstruction work for special villa <i>J. Li, L. Wang, H. Dong, T. Yu & R. Dai</i>	687
Three dimensional failure surface of reinforced concrete element subjected to complex loads <i>X. Chen & X.L. Liu</i>	695

Study on small base isolation system using friction bearing – Effects of bearing ball shape on dynamic characteristics <i>M. Kezuka, K. Kurita, S. Aoki, Y. Nakanishi, K. Tominaga & M. Kanazawa</i>	701
Dynamic characteristics of base isolation system using sliding bearing <i>S. Suminokura, K. Kurita, S. Aoki, Y. Nakanishi, K. Tominaga & M. Kanazawa</i>	707
Development of oil dampers for reduction of seismic response of houses (Examination for some types of dampers) <i>T. Yamauchi, S. Aoki & K. Kurita</i>	711
Simplified calculation method for integral of mean square value of various nonstationary random responses <i>S. Aoki & A. Fukano</i>	715
Experimental tests for the evaluation of the structural behavior of steel tapered beam-columns with I cross section and their knee connection <i>I.M. Cristutiu & D.L. Nunes</i>	721
The uniaxial tension constitutive model of reactive powder concrete considering the stochastic damage <i>Z.R. Yu, X. Qin & Y. Yuan</i>	727
Design and test study on high-neck forging flange applied in UHV steel tube transmission tower <i>J. Wu, J.-B. Yang, Q.-H. Li & G.-Q. Wu</i>	733
Improvement of punching shear resistance of RC slabs using GFRC: An experimental study <i>P. Chugh, K.K. Bajpai, S. Bose & A. Gupta</i>	739
Rational determination of cover thickness in reinforced concrete structures for fire loading <i>A. Gupta, S.P. Ramdasi, P. Chugh, S. Bose & S. Misra</i>	745
Seismic retrofit of reinforced concrete soft-storey structures using toggle-brace-damper system <i>R.W.K. Chan, Z. Zhao & W.C. Tang</i>	751
Steel-concrete composite columns composed of high-strength materials – Experimental analysis of buckling resistance <i>M. Karmazínová</i>	755
Influence of organic matter on the stabilization soft soil with cement mixed method <i>L. Shao, J. Liu & Y. Ding</i>	761
Performance of shape memory alloys in the nonlinear response of RC frames <i>Z. Pirsamadi & S. Zargham</i>	765
The strut arrangement and monitoring analysis of deep foundation pits in silty sand <i>Y. Haihong & H. Chengpo</i>	769
Fracture assessment of cold-press-formed square hollow sections at welded joints <i>M. Arita, Y. Kayamori, Y. Suzuki, K. Hanya, T. Suzuki, I. Takeuchi & T. Yamaguchi</i>	773
Research on deformation capacity of Frame-Bent Structure under bi-directional horizontal seismic excitation <i>X. Bai & F. Liu</i>	779
Flexural rehabilitation of RC beams using self-compacting concrete jacketing <i>C.E. Chaliotis, C.N. Pourzitidis, C.P. Papadopoulos & D. Fotis</i>	783
Quantitative robustness analysis of reinforced concrete frames <i>Y. Gao & X.L. Liu</i>	787
Evaluation reinforcement of compound column to bearing capacity with corrosion <i>Y.A. Mansoor & Z.Q. Zhang</i>	795
Ultrasonic testing of masonry structures by features extraction and self-organising maps <i>B. Cannas, S. Carcangiu, A. Fanni, R. Forciniti, A. Montisci, G. Sias, M. Usai, N. Trulli & G. Concu</i>	801

Frequency analysis of ultrasonic signals for non-destructive diagnosis of masonry structures <i>B. Cannas, S. Carcangiu, A. Fanni, R. Forcinetti, A. Montisci, G. Sias, M. Usai & G. Concu</i>	807
Experimental investigation on shear strengths of concrete deep beams reinforced with FRP rebars <i>H. Choi, J. Choi, Y.H. Lee, H. Kim & D.J. Kim</i>	813
Numerical simulation of in plane behavior of fiber reinforced polymer and polypropylene composite retrofitted masonry wallet using 3-D Applied Element Method <i>A.S.M. Umair, B.M. Numada & C.K. Meguro</i>	817
Reliability design of doubler plates for sea tankers <i>I.A. Assakkaf</i>	823
Reliability-based design of tanker unstiffened steel panels <i>I.A. Assakkaf</i>	829
Parametric studies in plates with holes for stress concentration factor <i>V. Pop, R. Hulea & M. Pop</i>	835
Theoretical analysis for the effect of reinforcement diameter on bond strength <i>S. Yang & D. Li</i>	841
RC slabs with openings – issues and provision for design approach strategies <i>S.C. Floruț, V. Stoian & T. Nagy-György</i>	847
Causes and required interventions on the rehabilitation process of large panel buildings in Romania <i>T. Nagy-György, I. Demeter, S.C. Floruț & D. Dan</i>	853
 <i>Transportation engineering</i>	
Analysis of speed difference at tunnel entrance and exit on freeways in China <i>H. Wu & R. Zhou</i>	859
Empirical study on the relationship among lane changing, traffic speed and density – for weaving area of urban expressway on the Level of Service (LOS) four on the upper half in China <i>H. Xie, Y. Jiang, J. Sun & D. Tu</i>	863
Fuzzy C-means clustering based on clustering algorithms for traffic crash data <i>I. Aghayan, N. Noii & M.M. Kunt</i>	869
Potential use of multi-criteria analysis in context sensitive solutions <i>N. Stamatiadis, A. Di Graziano & S.D. Cafiso</i>	875
Increasing Minimum Spanning Tree estimation precision; implemented for Tehran province <i>A.R. Mamdoohi, M. Yousefikia & A.R. Mahpour</i>	879
Simulation of dynamic load for heavy vehicle under bilateral tracks' road excitation <i>D. Liu, R.J.H. Chen & S. Wang</i>	883
Field evaluation of weigh-in-motion system on weight enforcement operation <i>P. Chotickai</i>	887
Optimization of departure time for time dependent vehicle routing problem <i>Z. Duan, D. Yang & M. Zhang</i>	893
Study on percent time-spent-following: A performance measure for two-lane highways <i>P. Saha, M. Pal & A.K. Sarkar</i>	899
CTM-based evacuation under incident-based non-recurrent congestion with information <i>N. Liu & A.M.H. Zhang</i>	903
Speed management pilot project in China <i>C. Li, T. Wen, H. Feng, G. Zhang & A. Yuan</i>	909
Gravity model with the function of cost impedance <i>D.-G. Li, Y. Zhang & Z.-W. Zheng</i>	915

A review of cyclist safety studies in and out of China <i>L. Chen, X. Pan & X. Chen</i>	921
Research on intercity rail terminal area planning and land development <i>D. Li, J. Cao, Y. Zheng & L. Yao</i>	925
Validity analysis on ECG coefficient of variation indicator as driving fatigue measurement <i>X. Xie, Y. Zhao & B. Huang</i>	929
Research on green transportation planning architecture and evaluation index system <i>Z. Lu & D. Wang</i>	933
Taipei Songshan Airport (TSA) EMAS (Engineered Material Arresting System) <i>J. Bosco, H. Zou, H.K. DeLong & T.J. Chen</i>	941
Research on luminance variation rate index of tunnel based on experiment <i>Q. Wu, X. Pan, H. Yang & S. Li</i>	943
Studies on the low carbon building technology and integration on the green highway <i>Y. Jing, F.L. Tao & K. Yuan</i>	947
Author index	953

Preface

Following the great progress made in civil engineering and building materials, the 2012 2nd International Conference on Civil Engineering and Building Materials (CEBM 2012) aimed at providing a forum for presentation and discussion of state-of-the-art development in Structural Engineering, Road & Bridge Engineering, Geotechnical Engineering, Architecture & Urban Planning, Transportation Engineering, Hydraulic Engineering, Engineering Management, Computational Mechanics, Construction Technology, Building Materials, Environmental Engineering, Computer Simulation & CAD/CAE. Emphasis was given to basic methodologies, scientific development and engineering applications.

This conference is co-sponsored by Asia Civil Engineering Association, the International Association for Scientific and High Technology and International Science and Engineering Research Center. The purpose of CEBM 2012 is to bring together researchers and practitioners from academia, industry, and government to exchange their research ideas and results in the areas of the conference. In addition, the participants of the conference will have a chance to hear from renowned keynote speakers Prof. LEUNG, Andrew Y T from City University, Hong Kong and Prof. XIAO-YAN LI from University of Hong Kong.

We would like to thank all the participants and the authors for their contributions. We would also like to gratefully acknowledge the production supervisor Janjaap Blom, Léon Bijnsdorp, Lukas Goosen, who enthusiastically support the conference. In particular, we appreciate the full heart support of all the reviewers and staff members of the conference. We hope that CEBM 2012 will be successful and enjoyable to all participants and look forward to seeing all of you next year at the CEBM 2013.

November, 2012

Prof. Shuenn-Yih Chang
Dr. Suad Khalid Al Bahar
Dr. Jingying Zhao

Sponsors and committees

General Chair

David Packer, International Science and Engineering Research Center, Hong Kong

Scientific Committee Chair

Konstantinos GIANNAKOS, Fellow of ASCE, University of Thessaly, Greece

International Committee & Scientific Committee

Ali Rahman, Jundi-Shapur University Technology, Iran
Anuchit Uchaipichat, Vongchavalitkul University, Thailand
Ata El-kareim Shoeib Soliman, Faculty of Engineering El-Mataria, Egypt
Badreddine Sbartaï, Université de Skikda, Algeria
DAVID S. HURWITZ, Oregon State University, USA
Du Jia-Chong, Tungnan University, Taiwan
Fu-Jen WANG, National Chin-Yi University of Technology, Taiwan
HoseinRahnema, Yasuj University, Iran
Jian YANG, University of Birmingham, UK
Jianping Han, Lanzhou University of Technology, China
Jianqing Bu, Shijiazhuang Tiedao University, China
Jia-Ruey Chang, MingHsin University of Science & Technology, Taiwan
Konstantinos GIANNAKOS, University of Thessaly, Greece
Lan WANG, Inner Mongolia University of Technology, China
Malagavelli Venu, BITS, Pilani, India
MANJEET SINGH HORA, Director, MANIT Bhopal, India
Mehmet Serkan KIRGIZ, Hacettepe University, Turkey
Moghadas Nejad, Amirkabir University of Technology, Iran
Mohammadreza Vafaei, Imenrah Consulting Engineers Co., Iran
Mohammadreza Yadollahi, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia
Mubiao Su, Shijiazhuang Tiedao University, China
Niyazi Ugur Kockal, Akdeniz University, Turkey
Ruey Syan Shih, Tungnan University, Taiwan
Shengcai LI, Huaqiao University, China
Sina Kazemian, SCG Consultant Company, Selangor, Malaysia
TaeSoo KIM, Hanbat National University, Korea
Zakiah Ahmad, Coordinator of Quality Unit, Malaysia
Zhixin Yan, Lanzhou University, China

Technical Committee Chair

Chang, Shuenn-yih, National Taipei University of Technology, Taiwan

Technical Committee

Deng-Hu Jing, Southeast University, China
Dong Yongxiang, Beijing Institute of Technology, China
Jiachun Wang, Xia men University of Technology, China
Jianrong Yang, Kunming University of Science and Technology, China
Jingying Zhao, International Association for Scientific and High Technology
Kuixing LIU, Tianjin University, China
Li Liping, Shandong University, China
Liangbin TAN, Kunming University of Science and Technology, China
LU Qun, Tianjin Institute of Urban Construction, China
Ming Zhang, Henan Institute of Engineering, China
PATRICK TIONG LIQ YEE, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

TIANBO PENG, Tongji University, China
Xujie LU, Jiangnan University

Publication Chairs

Jingying Zhao, International Association for Scientific and High Technology

Co-sponsored by

Asia Civil Engineering Association
International Association for Scientific and High Technology
International Science and Engineering Research Center

New Insulating Material: Binderless Particleboard from Durian Peel

S. Charoenvai

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand, 12110

**Corresponding Author: E-mail: sarochakuk@hotmail.com*

ABSTRACT: This study aims to develop a “green” alternative material for insulating products with good energy conservation characteristics and to investigate the effectiveness of dried durian peel powder as binding adhesive in particleboards in place of formaldehyde so as to reduce dependence on the hazardous in particleboard manufacturing and thereby reducing its emission into the atmosphere. It was found that dried durian peel powder could replace formaldehyde-based resin in particleboard manufacturing. This research studied the electron structures and chemical composition of dried durian fiber and dried durian powder, both of which were used in combination to produce the sample particleboards and the latter of which acted as the natural binder. The performance of the particleboards was assessed in terms of physical properties, i.e., moisture content and thickness swelling; and thermal property, i.e., thermal conductivity. The “green” particleboards, i.e. those made from durian peel fiber and bound together with durian peel powder-based adhesive, have the advantages of being a good energy conservation building material and of being formaldehyde-free, rendering them a suitable alternative for indoor applications.

Keyword; Insulation Material, Thermal Conductivity, Scanning electron microscopy, Chemical composition

1 INTRODUCTION

Agricultural waste utilization in building materials with energy conservation properties is one promising alternative to meeting the challenges of disposing agricultural waste and to adding economic value to such new building materials. Many research studies (Asasutjarit et al, 2007, 2008, 2009) and (Khedari et al, 2002, 2003, 2004, 2005) experimented with various raw materials and processes with the main emphasis on finding the new materials with low thermal conductivity suitable for use in energy-saving buildings. A wide range of technologies have been employed to manufacture building materials from agricultural waste so as to reduce dependence on natural wood and substitute the building materials commercially available in the marketplace. Located in the tropical zone, Thailand can grow many kinds of fruits and therefore produces a huge amount of fruit peels annually. Furthermore, agricultural waste is anticipated to increase in the future, and if we are unable to efficiently dispose of the agriculture waste, it will lead to social and environmental problems. The goal is thus to use agricultural waste to manufacture energy-saving building materials with low thermal conductivity so as to reduce heat transfer into the building (Charoenvai, 2005), thereby decreasing energy consumption of electrical appliances, e.g. air conditioner, inside the building.

By so doing, not only is the operation cost of the business slashed but the environment is protected. Thermal conductivity and bulk density of certain fruit peels are shown in Table 1.

Table 1 Thermal conductivity and bulk density of certain fruits (Khedari et al, 2002)

Types	Bulk density (kg/m ³)	Thermal conductivity (W/m.K)
Pineapple	660	0.1149
Rambutan	636	0.1031
Durian	472	0.0921
Young coconut	330	0.0779
Pummelo	670	0.1240
Mangosteen	580	0.1119

Khedari et al (2002) found that coconut coir and durian peel respectively have low thermal conductivity of 0.0779 W/m.K and 0.0921 W/m.K as shown in Table 1. Hence, Khedari et al (2002) could be regarded as Thai inventors who innovated the material with low thermal conductivity produced from coconut coir and durian peel fibers.

Khedari et al (2003) produced durian peel particleboards using synthetic binders, i.e., Urea-Formaldehyde (UF), Phenol-Formaldehyde (PF),

and Isocyanate. Formaldehyde-based adhesives, such as UF and PF resins, currently dominate the wood adhesive market. However, formaldehyde, regarded by many as a toxic air contaminant, is a human carcinogen that causes nasopharyngeal cancer. Besides cancer-causing hazard, exposure to formaldehyde causes non-cancerous health problems, such as eye, nose, and/or throat irritation (Hashim et al, 2011). Furthermore, formaldehyde emission and its non-renewable nature have become a matter of increasing concern. Environmentally-friendly adhesives from renewable resources and free of formaldehyde therefore are now being developed to replace the UF and PF binders (Widsten and Kandelbauer, 2008). The objectives of this study are to produce and evaluate the new insulation material; “binderless” durian particleboards, using durian peel powder as adhesive.

2 RESEARCH METHODOLOGY

2.1 Chemical composition of durian peel, durian peel fiber and durian peel powder

The results of chemical analysis of durian peel fiber and durian peel powder conducted according to the TAPPI standards are shown in Table 2.

Table 2 Chemical composition of durian fiber and durian powder

Chemical Composition	Durian Peel Fiber (%)	Durian Peel Powder (%)
Ash content	3.87	4.20
Alcohol-benzene solubility	22.0	18.9
Hot-water solubility	38.2	37.6
1% NaOH solubility	56.0	56.7
Lignin (ash corrected)	10.1	9.89
Holocellulose	48.6	47.2
Hemicellulose	10.2	9.63

It can be seen from Table 2 that both durian peel fiber and durian peel powder possess similar chemical composition and contain lignin and hemicellulose. Durian peel fiber and durian peel powder have high 1%NaOH solubility, which is hot alkali solution to extract low-molecular-weight carbohydrates consisting mainly of hemicellulose and degraded cellulose in wood and pulp. Lignin, an aromatic amorphous substance containing phenolic methoxyl, hydroxyl

and other constituent groups, is a member of incrusting materials forming part of the cell wall and middle lamella in wood (TAPPI Standards).

2.2 Durian peel powder and durian peel fiber preparation

Durian peel powder was prepared by first by cutting the fresh durian peel into smaller pieces of approximately chip size. The chip size pieces were oven-dried at 80 °C for 8 h. and the dried durian peel chips were hammermilled. The milled chips were then sieved with an 80-100-mesh screen for durian peel powder which was subsequently used as the natural adhesive. A 60-mesh sieve machine was also employed in removing excess fines to obtain the durian peel fiber.

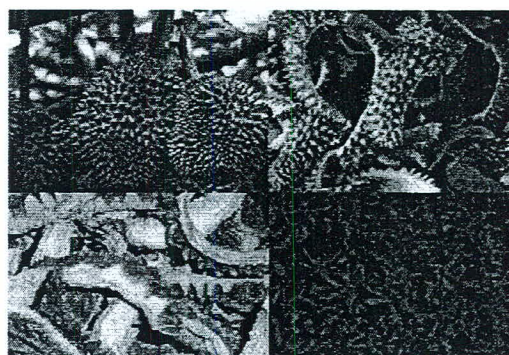


Figure 1 Durian fruit (Top-Left), fresh durian peel (Top-Right), dried durian peel (Bottom-Left) and dried durian fiber (Bottom-Right)

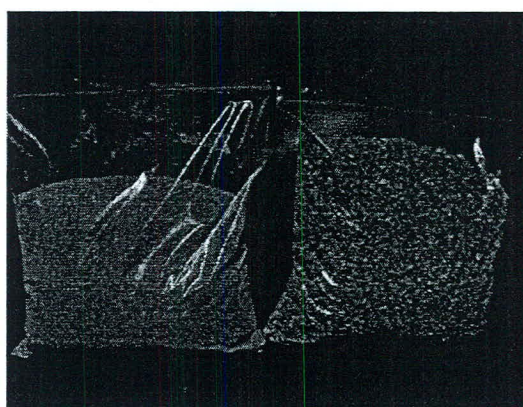


Figure 2 Durian peel powder (Left) and durian peel fiber (Right)

2.3 The electron structure of durian peel fiber and durian peel powder

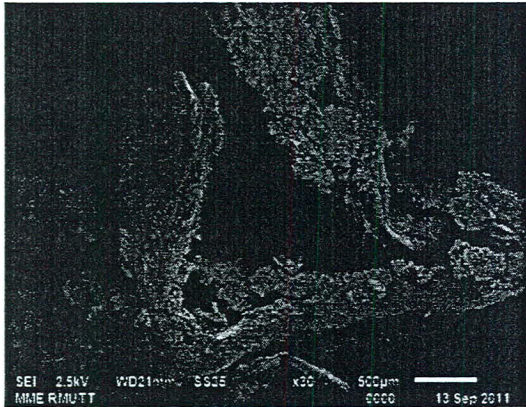


Figure 3 SEM observation of the shredded durian peel fibers (Magnified 30 X)

The structure and shape of the natural fibers are important factors affecting fiber-based composites. The scanning electron microscope (SEM) observation of the durian peel fibers is shown in Figure 3. The length and diameter of dried durian fibers are approximately 2mm and 300 µm, respectively. The fiber cells are linked together by means of middle lamellae, which are made up of hemicelluloses and lignin. Hemicellulose consists of polysaccharides, mainly xylos; and is typically found in the middle lamella and the outer layer of the fiber cell wall, i.e. the primary wall. The lignin is chiefly found in the middle lamella (Gram, 1983).

The electron micrograph of durian peel powder is shown in Figure 4. As seen, the durian peel powder is not spherical but has irregular shapes and large surface areas.

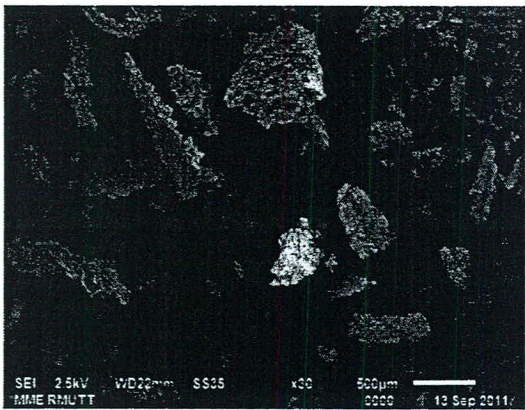


Figure 4 SEM observation of the durian peel powder (Magnified 30 X)

2.4 Particleboard preparation

The specimens were prepared by first weighing durian peel fiber, durian peel powder and water ac-

cording to the ratios in Table 3 and mixing well. The blended particles were gradually, manually placed layer-by-layer into a 250 mm x 250 mm mould to form the final mats which were then pressed at a platen temperature of 150 °C. Pressure of 1000 - 1500 psi was applied to the boards. After the hot pressing, the boards were dried for 24 h to completely cure before being trimmed and cut into test specimens. Testing of the specimens was afterward carried out to determine their physical and thermal properties.

2.5 Specimen preparation for testing

Testing of specimens was carried out according to JIS A 5908-2003 (Japanese Industrial Standards, 2003) for physical properties, i.e., density, moisture content, thickness swelling. Thermal conductivity of the particleboards was measured using a thermal conductivity analyzer NETZSCH Model HFM 436 Lamda according to ASTM C 518 (American Society for Testing and Materials)

Table 3 Mixing Ratio (Fiber: Powder: Water) and Drying temperature

Board	Mixing Ratio	
	(Fiber:Powder:Water) and Drying Temperature	
1	1:1:1	(80 °C)
2	1:1:1.5	(80 °C)
3	2:1:1.5	(80 °C)
4	2:1:2	(80 °C)
5	1:1:1	(90 °C)
6	1:1:1.5	(90 °C)
7	2:1:1.5	(90 °C)
8	2:1:2	(90 °C)
9	1:1:1	(100 °C)
10	1:1:1.5	(100 °C)
11	2:1:1.5	(100 °C)
12	2:1:2	(100 °C)

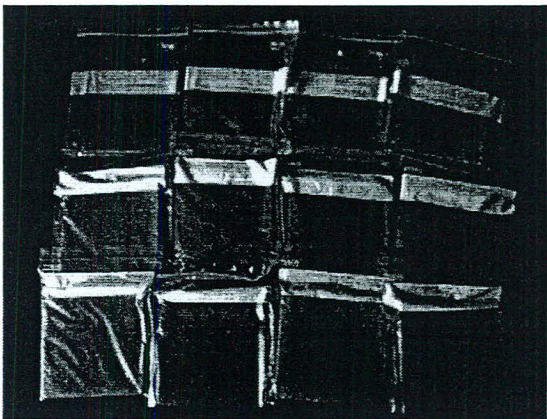


Figure 5 Binderless particleboards from durian peel

3 RESULT AND DISCUSSION

3.1 The Physical and Thermal Properties

The physical and thermal properties of the twelve particleboards are shown in Table 4. It was found that the optimum mixing ratio (durian fiber: durian powder: water) was 2:1:1.5 with drying temperature of 100 °C for 24 hr, of which the particleboards exhibited the best physical properties but lowest thermal conductivity.

Table 4 Physical and Thermal Properties of Particleboards

Board	Density (g/cm ³)	Moisture Content (%)	Thickness Swelling (%)	Thermal Conductivity (W/m.K)
1	0.76	19.96	70	0.110
2	0.80	19.68	60	0.137
3	0.80	14.88	60	0.141
4	0.87	18.87	50	0.137
5	0.77	12.5	60	0.101
6	0.80	17.81	50	0.117
7	0.80	10.03	50	0.119
8	0.75	13.36	50	0.088
9	0.80	8.39	40	0.084
10	0.82	10.75	30	0.100
11	0.82	8.809	30	0.109
12	0.80	10.34	30	0.081

3.2 The electron structure of the binderless durian particleboard at the optimum ratio of 2:1:1.5 and drying temperature 100 °C

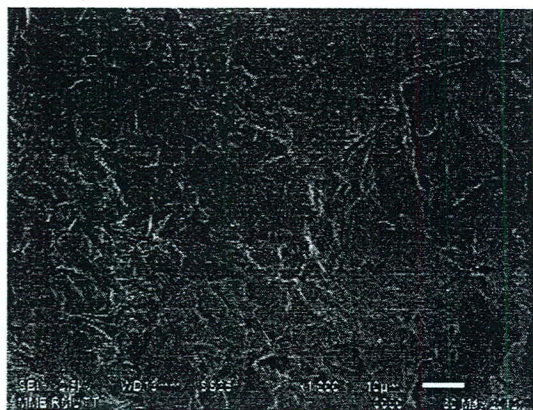


Figure 6 SEM observation of the binderless durian particleboard (Magnified 1000 X) (Surface)

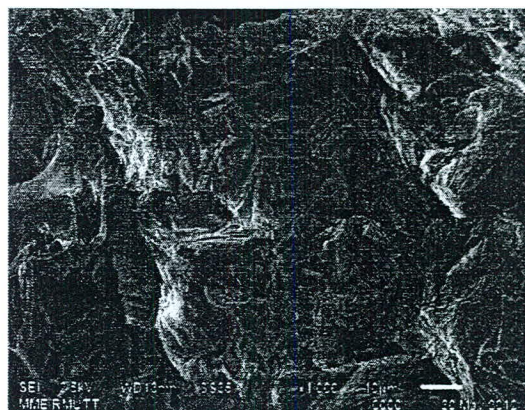


Figure 7 SEM observation of the binderless durian particleboard (Magnified 1000 X) (Cross Section)

3.3 Comparison between UF, PF, and IC-based particleboard and binderless particleboard

A comparison of density and thermal conductivity of the particleboards with UF, PF or IC as adhesive and the binderless particleboards is shown in Table 5. As seen in Table 5, the densities of the synthetic adhesive-based particleboards are not different from that of the binderless particleboards. However, the thermal conductivity value of the binderless particleboards is less than those of the synthetic adhesive-based particleboards because the binderless particleboards contain a greater number of air voids in the supramolecular structures than the synthetic adhesive-based boards. In addition, durian peel fiber and powder have high 1%NaOH content. Self-bonding of binderless board can be achieved by chemical activation reaction and physical consolidation of particles under applied heat and pressure, in which the bonding takes place by cross-linking carbohydrate polymers with lignin, resulting in hydrogen bonding. As covalent bonding in synthetic adhesive-based boards is stronger than hydrogen bonding in binderless board, the former's strength indicates that the atoms are difficult to separate. In addition, the strong bonding is associated with efficient sharing or transfer of electrons between the participating atoms, giving rise to high thermal conductivity. As such, the binderless boards is more ideal for energy-saving buildings due to its low thermal conductivity than the synthetic adhesive boards.

Table 5 Comparison between durian peel particleboards using synthetic adhesives and durian peel powder-based adhesive

Types of Adhesives	Density (g/cm ³)	Thermal Conductivity (W/m.K)
Urea		
Formaldehyde (UF)	0.907	0.1513
Phenol Formaldehyde (PF)	0.822	0.1854
Isocyanate (IC)	0.881	0.1854
Durian Peel Powder-based adhesive (2:1:1.5 drying temp at 100 °C)	0.809	0.1090

4 CONCLUSION

It was found that dried durian peel powder could replace formaldehyde-based resin as adhesive in particleboard manufacturing. Compared with those of the boards with synthetic-based adhesives, i.e., UF (0.1513 W/m.K), PF (0.1854) and IC (0.1854), the thermal conductivity of the board with durian peel powder-based adhesive was significantly lower (0.1090). The optimum mixing ratio (durian fiber: durian powder: water) was 2:1:1.5 dried at 100 °C for 24 hr. The obtained particleboards possessed the best physical properties while yielding the lowest thermal conductivity. Due to their low thermal conductivity and thereby good energy conservation, the greater use of the particleboards as a component in the construction panels in the building industry should be encouraged.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to express sincere appreciation to the National Research Council of Thailand (NRCT) for the financial support of this research; and deep gratitude to Dr. Sorapong Pavasupree for his invaluable and useful suggestions.

6 REFERENCES

Asasutjarit, C., Charoenvai S*, Hirunlabh J., Khedari J., 2009 "Materials and mechanical properties of pretreated coir-based green composites", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 40, Iss. 7, pp. 633-637.

Asasutjarit, C., Charoenvai S*, Hirunlabh J., Khedari J., 2008, "Effect of pretreatment on properties of coir-based green composite", *Advanced Materials Research*, Vols. 47-50, pp. 678 – 681.

Asasutjarit, C., Hirunlabh J., Khedari J., Charoenvai S., Zeghmatti B., Cheul Shin U., 2007, "Development of coconut coir-based lightweight cement board", *Journal of construction and building materials*, Volume 21, Issue 2, Pages 277-288.

Charoenvai, S., J. Khedari, J. Hirunlabh, C. Asasutjarit, B. Zeghmatti, D. Quenard and N. Pratintong, 2005, "Heat and moisture transport in durian fiber based lightweight construction materials", *Journal of Solar Energy*, Volume 78, Issue 4, April 2005, Pages 543-553.

Gram, H. E., 1983, "Durability Fibre reinforce concrete natural fibres sisal coir, improvement durability", *Swedish cement and concrete research institute, Stockholm*. P.255.

Hashim, R., Nadhari, W., N., A., W., Sulaiman, O., Kawamura, F., Hiziroglu, S., Sato, M., Sugimoto, T., Seng, T., G., Tanaka, R., 2011, "Characterization of raw materials and manufactured binderless particleboard from oil palm biomass," *Material and Design*, pp. 246-254.

Khedari, J., Watsanasathaporn, P., Hirunlabh, J., 2005, "Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity," *Cement & Concrete Composites*, volume 27, Pages 111-116.

Khedari, J., Nangkongnab, N., Hirunlabh, J. and Sombat Teekasap, 2004, "New Low-Cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir", *Building and Environment*, Vol. 39, pp. 59-65.

Khedari J, Suttisonk B, Pratintong N, Hirunlabh J. New Lightweight Composite Construction Materials with Low Thermal Conductivity, *Cement and Composites* 2002; 23: 65-70.

Khedari, J., Charoenvai, S. and Hirunlabh, J., 2003, "New insulating particleboards from durian peel and coconut coir" *Journal of Building and Environment*, Vol. 38, Issue 3, pp. 435-441.

Widsten, P., Kandelbauer, A., 2008, "Adhesion improvement of lignocellulosic products by enzymatic pre-treatment," *Biotechnology Advances*. pp. 379-386.

10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering
(EMSES2012)

Comparative Evaluation on Product Properties and Energy Consumption of Single Microwave Dryer and Combination of Microwave and Hot Air Dryer for Durian Peel Particleboards

Sarocho Charoenwai^{1*}, Wanchana Yingyuen¹, Anuchit Jewyee¹, Phadungsak
Rattanadecho² and Somsak Vongpradubchai²

^a*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,*

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110

^b*Research Center of Microwave Utilization in Engineering (R.C.M.E.), Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Engineering, Thammasat University (Rangsit Campus), Pathumthani 12120*

Abstract

In this study, the idea is to use alternative “green” based on renewable resources as a raw material so as to be the adhesive into space in order to decrease formaldehyde emission in Thailand’s particleboard manufacturing industries. It was found that dried durian peel could be used to replace formaldehyde-based resin for particleboard manufacture. In addition, drying the durian peel particleboard reduces biochemical and microbiological degradation.

This paper presents the comparative evaluation on product properties and specific energy consumption of single microwave dryer and combination of microwave and hot air dryer for durian peel particleboards. Microwave in a continuous belt system, consists of twelve 800 watts 2.45 GHz coupled into the cavity wall inside the system. A rectangular microwave cavity of dimensions 45cm x 90 cm x 270 cm combined with hot-air generator having the maximum operating temperature at 240 °C was chosen. Particleboards from Monthong peel with dimension of 20 cm x 20 cm were manufactured. The physical (Density, Moisture Content and Thickness Swelling), mechanical property (Internal Bond, dielectric (Relative dielectric constant, Dielectric Constant and Loss Tangent) properties of end products were determined. In addition, Electron Structure using Scanning Electron Microscopy and thermal photograph of end products were also investigated.

© 2013 The Authors. Published by Elsevier B.V.

Selection and peer-review under responsibility of COE of Sustainable Energy System, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)

Keywords: Dielectric; Internal Bond; Scanning Electron Microscopy; Thermal Photograph

* Corresponding author. Tel.: +6-689-117-0898

E-mail address: sarochakuk@hotmail.com

1. Introduction

Agricultural waste utilization in building materials with energy conservation properties is one promising alternative to meeting the challenges of disposing agricultural waste and to adding economic value to such new building materials. Many research studies [1-9] experimented with various raw materials and processes with the main emphasis on finding the new materials with low thermal conductivity suitable for use in energy-saving buildings. A wide range of technologies have been employed to manufacture building materials from agricultural waste so as to reduce dependence on natural wood and substitute the building materials commercially available in the marketplace. Located in the tropical zone, Thailand can grow many kinds of fruits and therefore produces a huge amount of fruit peels annually. Furthermore, agricultural waste is anticipated to increase in the future, and if we are unable to efficiently dispose of the agriculture waste, it will lead to social and environmental problems. The goal is thus to use agricultural waste to manufacture energy-saving building materials with low thermal conductivity so as to reduce heat transfer into the building [5], thereby decreasing energy consumption of electrical appliances, e.g. air conditioner, inside the building. By so doing, not only is the operation cost of the business slashed but the environment is protected. Thermal conductivity and bulk density of certain fruit peels are shown in Table 1.

Table 1. Thermal conductivity and bulk density of certain fruits [8]

Types	Bulk density (kg/m ³)	Thermal conductivity (W/m.K)
Pineapple	660	0.1149
Rambutan	636	0.1031
Durian	472	0.0921
Young coconut	330	0.0779
Pummelo	670	0.1240
Mangosteen	580	0.1119

Reference [8] found that coconut coir and durian peel respectively have low thermal conductivity of 0.0779 W/m.K and 0.0921 W/m.K as shown in Table 1. Hence, [8] could be regarded as Thai inventors who innovated the material with low thermal conductivity produced from coconut coir and durian peel fibers. [9] produced durian peel particleboards using synthetic binders, i.e., Urea-Formaldehyde (UF), Phenol-Formaldehyde (PF), and Isocyanate. Formaldehyde-based adhesives, such as UF and PF resins, currently dominate the wood adhesive market. However, formaldehyde, regarded by many as a toxic air contaminant, is a human carcinogen that causes nasopharyngeal cancer. Besides cancer-causing hazard, exposure to formaldehyde causes non-cancerous health problems, such as eye, nose, and/or throat irritation (Hashim et al, 2011). Furthermore, formaldehyde emission and its non-renewable nature have become a matter of increasing concern. Environmentally-friendly adhesives from renewable resources and free of formaldehyde therefore are now being developed to replace the UF and PF binders. However, the binderless particleboard has the general problem related to microbiological growth. Hence, drying is used to preserve binderless particleboard. Drying the product reduces biochemical and microbiological degradation. It is the complicate process involving heat and mass transfer between the material surface and its environment. Thermal drying in solids might be regarded as a result from two simultaneous action: a heat transfer process by which the moisture content of the solid is reduced and a mass transfer process that implies fluid displacement within the structure of the solid towards its surface. Motion depends on

medium structure, moisture content and characteristics of the material. Moreover, the separation of vapor from solid depends also on external pressure and temperature distribution on the total area of solid surface and the moisture content of drying air. Provided that thermal drying occurs in slow rate at ambient conditions, thus drying plants are designed and developed in order to accelerate appropriate drying rates to supply the product is more heat those of ambient conditions [10].

The drying of particleboard is the most energy intensive and costly process in the particleboards industry. Conventional particleboard dryers function under the basis of convective heat transfer from circulating hot air to the surface of particleboard, followed by subsequent conductive heat transfer from the surface to the center of particleboard. These dryers require a considerable amount of energy and long drying times in order to obtain high-quality particleboards. Therefore, innovative particleboard drying methods have been researched and studied. Unlike conventional heating, where heat is applied externally to the surface of particleboard, microwave irradiation penetrates and simultaneously heats the bulk of the particleboard. When properly designed, microwave drying systems offer several advantages over several mechanical methods, including reduction of drying time, high energy efficiency, and improvements in product quality for various applications. Microwave drying of particleboard; however, has not been used to a larger extent in particleboard industries due to insufficient knowledge of the complex interaction between particleboards structure and drying process parameters [11].

Microwave drying is one of the most interesting methods for drying particleboards. The application of volumetric heating could decrease the gradients of temperature and moisture during drying, resulting in an increase in the rate of heat transfer in particleboard.

The objective of this study was to the comparative evaluation on product properties and specific energy consumption of single microwave dryer and combination of microwave and hot air dryer for durian peel particleboards.

2. The related theory

2.1 Drying with Microwave Energy [2]

In convective drying, dry air is used to take away surface water saturation from the dried sample; therefore, creating a pressure gradient between the surface and inner part, which causes moisture migration from inside the sample to the surface. In this process, the temperature gradient will enhance the ability of dry air to remove water from the surface and increase the moisture migration rate within the sample. However, there are many disadvantages with this method. Among these are low energy efficiency and lengthy drying time during the falling rate period. This is mainly caused by rapid reduction of surface moisture and consequent shrinkage, which often results in reduced heat transfer. Unlike conventional heating, where heat is applied externally to the surface of the material, microwave irradiation penetrates and simultaneously heats the bulk of the material. During applied microwave energy, the resonance effect can occur inside the material, which results in the field distribution not having an exponential decay from the surface. In some cases the highest field strength and therefore power density, can actually occur in the center of the sample. This is caused by the interfere of waves reflected from the back side of the sample. This mechanism pushes moisture out of the product with great efficiency as the moisture content of the product decreases. When properly designed, microwave drying systems have several advantages over conventional mechanical methods, including reducing the drying times, high energy efficiency, and offer improvements in product quality.

2.2 Fundamental Equation of Heat Generation with Microwave [2]

Dielectric materials absorb and alter microwave to heat energy, which is called density of microwave power absorbed (Q) and relates to electric field and magnetic field. In analysis of dielectric intensity E is

normally used to evaluate the microwave energy absorbed. Therefore, the microwave energy absorbed or local volumetric heat generation term can be defined as Eq. (1):

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r' (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

where E is the electric field intensity, dependent upon position; f is the microwave frequency, ω is the angular velocity of microwave, ϵ_r' is the relative dielectric constant which describe energy absorption, transmission, and reflection at the microwave electric field; ϵ_0 is the permittivity of air; and $\tan \delta$ is the loss tangent coefficient that indicates the ability of the product to absorb microwave energy.

Corresponding to Eq. (1), in the case of the amount of impact of $\tan \delta$, a lack of specimen penetration by the microwave without heat generation lowered the loss tangent coefficient, thus decreasing its impact on the absorbed microwave energy and volumetric heating. However, this could change at higher temperatures depending on relevant variables such as specific heat capacity and the characteristics and size of the material.

When the materials is heated unilaterally, it is found that as the dielectric constant and loss tangent coefficient can vary, the penetration depth will be changed and the electric field within the dielectric material is altered. The penetration depth is used to denote the depth at which the power density has decreased to 37% of its initial value at the surface.

$$D_p = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\epsilon_r' \sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'}\right)^2} - 1}} = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\epsilon_r' \sqrt{1 + (\tan \delta)^2} - 1}} \quad (2)$$

where D_p is the penetration depth, ϵ_r'' is the relative dielectric loss factor, and v is the microwave speed. The penetration depth of the microwave power is calculated according to Eq. (2), which shows how it depended on the dielectric properties of the material. It is denoted that products with huge dimensions and high loss factors may occasionally overheat a considerably thick layer on the outer layer. To prevent such phenomenon, the power density must be chosen; thus, enough time is provided for the essential heat exchange between the boundary and core. If the thickness of the material is less than the penetration depth, only a fraction of the supplied energy will be absorbed. Furthermore, the dielectric properties of particleboard specimens typically showed moderate loss depending on the actual composition of the material. A greater amount of moisture content revealed a grater potential for absorbing microwave. For all particleboard specimens, a decrease in the moisture content typically decreased ϵ_r'' , accompanied by a slight increment in D_p .

2.3 Specific Energy Consumption (SEC)

Specific energy consumption (SEC) equation is represented by:

$$SEC = \frac{\text{Total electrical powersuppliedin drying}}{\text{Amount of water removed duringdrying}} \left[\frac{kW-hr}{kg} \right] \quad (3)$$

where P total is a total electrical power supplied the in drying process; this term can be calculated from:

$$P_{total} = P_{mg} + P_{heater} + P_{exfan} + P_{cofan} + P_{con} \quad , [kW \times 3600s] \quad (4)$$

where P_{mg} is the electrical power supplied in the magnetron, P_{heater} is the electrical power supplied in the heater, P_{exfan} is the electrical power supplied in the exhaust fan, P_{blfan} is the electrical power supplied in the blower fan, P_{cofan} is the electrical power supplied cooling fan, and P_{con} is the electrical power supplied in the conveyor.

3. Experimental setup

3.1. Particleboard preparation

The specimens were prepared by first weighing durian peel fiber, durian peel powder and water according to the ratios in Table 2 and mixing well. The blended particles were gradually, manually placed layer-by-layer into a 250 mm x 250 mm mould to form the final mats which were then pressed at a platen temperature of 150 °C. Pressure of 1000 - 1500 psi was applied to the boards. After the hot pressing, the boards were dried for 24 h to completely cure before being trimmed and cut into test specimens.

Table 2. Mixing Ratio (Fiber: Powder: Water) and Drying temperature

Board	Mixing Ratio (Fiber:Powder:Water) and Drying Temperature
1	1:1:1
2	1:1:1.5
3	2:1:1.5
4	2:1:2

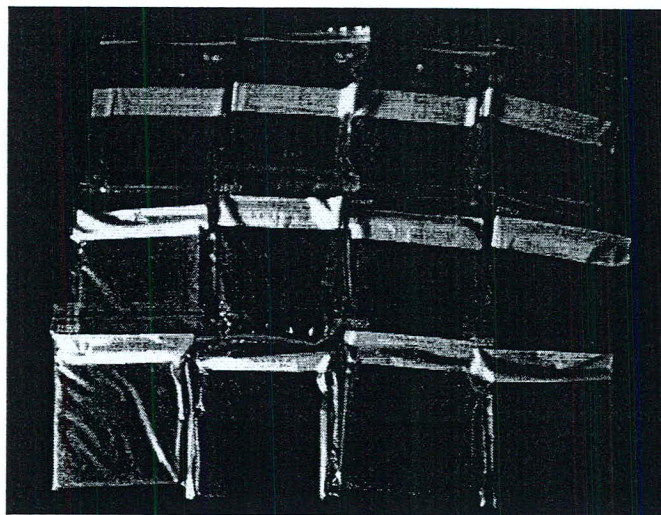


Fig 1. Binderless particleboard from durian peel

3.2. Microwave-convective air drying at RCME [12]

Microwave-convective air drying was carried out using a combined multi-feed microwaved-convective air and continuous belt system (CMCB). The Shape of the microwave cavity is rectangular with a cross-sectional area of 90 cm x 45 cm x 270 cm. The drier was operated at a frequency of 2.45 GHz with maximum working temperature of 180 °C. The microwave power was generated by means of 12 compressed air-cooled magnetrons. The maximum microwave capacity was 9.6 kW with a frequency of 2.45 GHz. The power setting could be adjusted individually in 800 W steps. In the continuous processing equipment, two open ends are essential, in with the material is to be heated up on the belt conveyer where it was put in and taken out. In this equipment, leakage of microwaves was prevented by the countermeasure in duplicate with a combination of mechanical blocking filter (corrugate choke) and microwave absorber zone filter was provided at each of the open ends. The microwave leakage was controlled under the DHHS standard of 5 mW/cm². The multiple magnetrons (12 units) were installed in an asymmetrical position on the rectangular cavity. The microwave power was then directly supplied into the drier by using waveguide. An infrared thermometer (located at the opening ends) was used to measure the temperature of the specimens (accurate to ± 0.5 °C). The magnetrons and transforms used in this system were cooled down by a fan. In the continuous heating/drying equipment, two open ends were essential to feed in and feed out the product, through which the material to be heated up on the belt conveyer was arranged in certain position. The belt conveyor system consisted of a drive motor, a tension roller, and a belt conveyor. During the drying process, the conveyor speed was adjusted to 0.54 m/min (at the frequency 40 Hz) and the motor speed was controlled by the VSD control unit. Hot air was generated using 24 units of electric heaters with the maximum capacity of 10.8 kW and the maximum working temperature of 240 °C. The hot air was provided by blower fan with 0.4 kW power through the air duct into the cavity. The hot air temperature was measured using a thermocouple. For combination of microwave and hot air dryer drier, hot air was varied from 40, 50 and 60 °C for comparing to single microwave process.

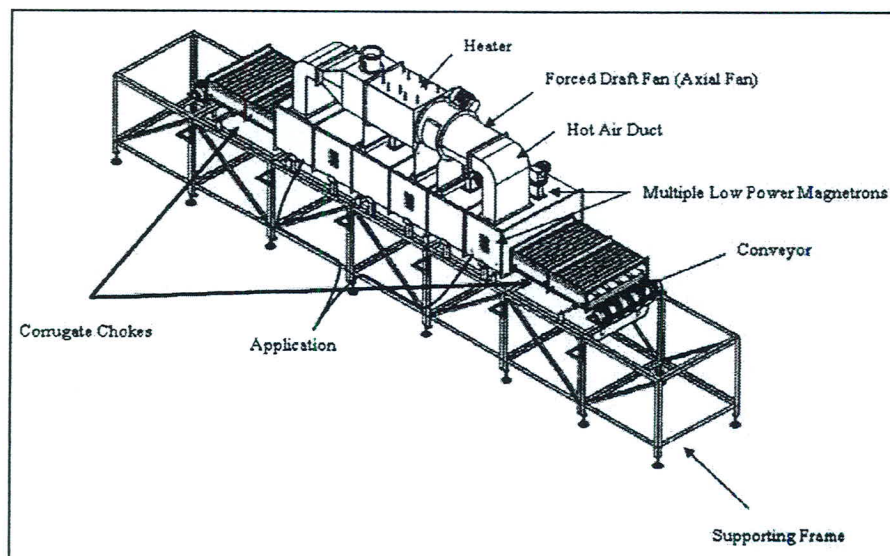


Fig 2. Schematic diagram

3.3. Specimen preparation for testing

After drying, testing of specimens was carried out according to JIS A 5908-2003 (Japanese Industrial Standards, 2003) for physical properties, i.e., density, moisture content, thickness swelling. Internal Bond of the particleboard was measured using Universal Testing (Testometric MICO 500). Thermal conductivity of the particleboards was measured using a thermal conductivity analyzer NETZSCH Model HFM 436 Lambda according to ASTM C 518 (American Society for Testing and Materials). Dielectric properties of particleboard were measured using Network Analyzer (PUSCHNER). The electron structure of particleboard was done using Scanning Electron Microscopy (JEOL, SM-6510). Results show the comparative evaluation on product properties and specific energy consumption of single microwave dryer and combination of microwave and hot air dryer for durian peel particleboards.

4. Results and Discussion

Experimental data are analyzed to obtain the physical, mechanical and thermal properties of particleboard under various drying condition. The details of the analysis are as outlined in the following.

4.1. Specific Energy Consumption

Table 3 and 4 present the specific energy consumption in the single microwave and the combination of microwave and hot air dryer when drying durian peel particleboard. The electrical energy consumption during microwave convective air drying and convective drying of combined multi-feed microwave-convective air and continuous belt system is noted that the lowest specific energy consumption of 0.0926 MJ/kg is observed from the microwave-convective air drying method at air temperature of 60 °C. The reduction of specific energy consumption observed during drying and the reduction of drying time is achieved by increasing the hot air temperature level supplied to cavity. This causes the moisture content to decrease quickly. Therefore, microwave-convective air drying at hot air temperature of 60 °C can be used to efficiently dry the durian peel particleboard.

Table 3. Specific energy consumption in the single microwave

Power of Magnetron	Mixing ratio	SEC (MJ/kg)
4800 W	1:1:1	0.22012
	1:1:1.5	
	2:1:1.5	
	2:1:2	

Table 4. Specific energy consumption in the combination of microwave and hot air dryer

Power of magnetrons (W)	Hot air temperature	Mixing Ratio	SEC (MJ/kg)
2400	40	1:1:1	0.1129
		1:1:1.5	
		2:1:1.5	
		2:1:2	
	50	1:1:1	0.0968
		1:1:1.5	
		2:1:1.5	
		2:1:2	
	60	1:1:1	0.0926
		1:1:1.5	
		2:1:1.5	
		2:1:2	

4.2. Physical Properties

Density, moisture content and thickness swelling of the durian peel particleboard are carried out by two different drying methods; single microwave and combination of microwave and hot air dryer, as shown in Fig 3-5. No mark different is found between the methods with and without hot air supplied in cavity.

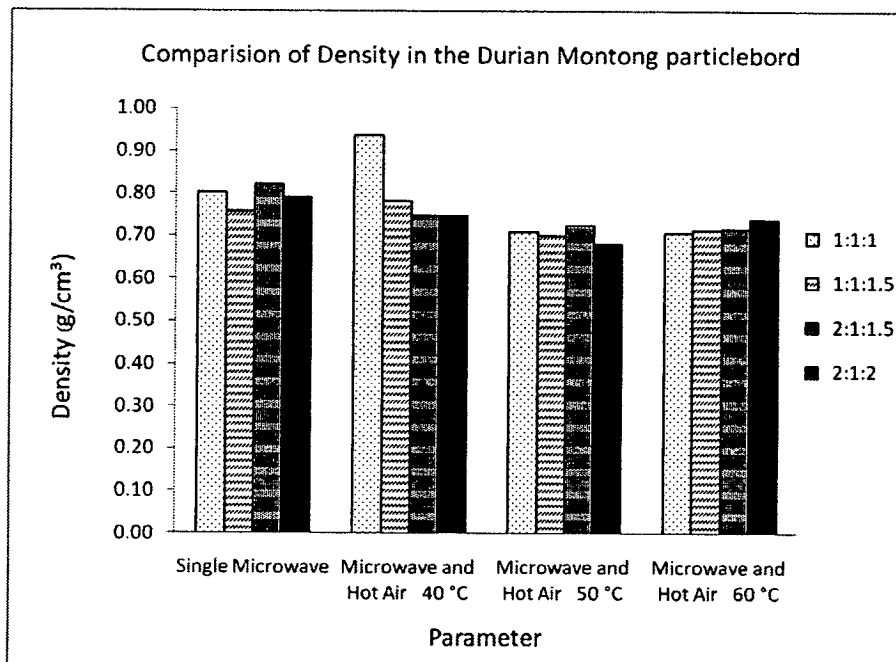


Fig. 3. Density

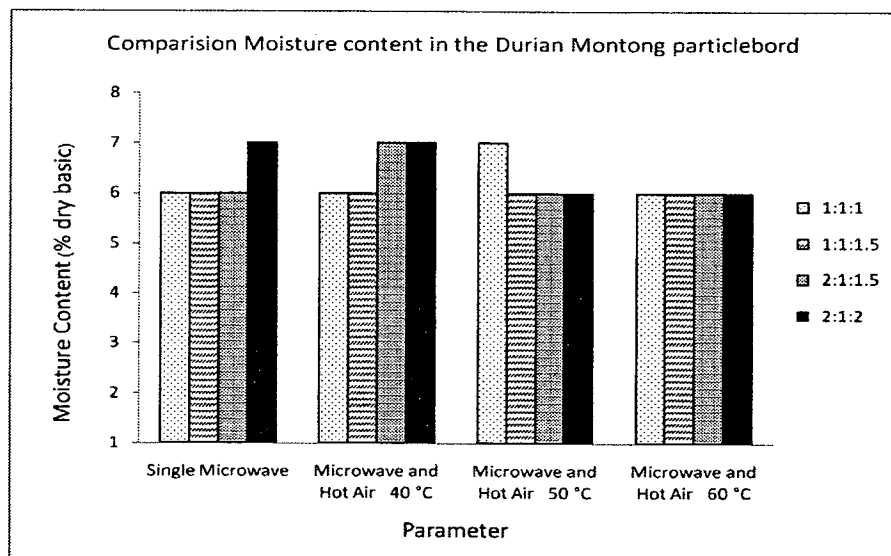


Fig. 4. Moisture Content

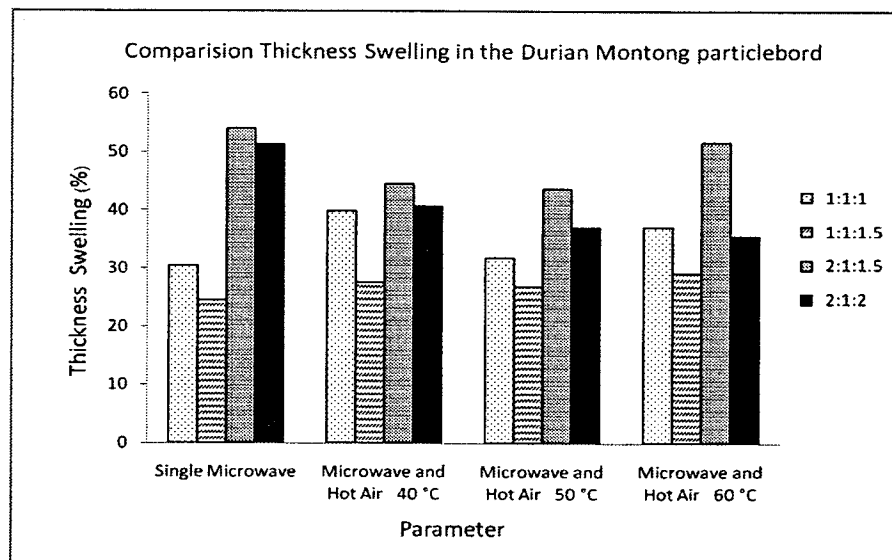


Fig. 5. Thickness Swelling

4.3. Mechanical Property

For mechanical properties, it was found that durian particleboards dried by the single microwave method have the best average internal bond properties as shown in Fig.6 . As a result, the centre of the sample, indicating the temperature at the sample core was higher than that at the surface. This is because microwave uniformly irradiated heat from the inside and there is more absorption of the microwave energy at the centre of the sample, resulting in temperature at the centre being higher than other area. Then, liquid in sample could be evaporated quickly causing vapour pressure high enough to migrate the moisture which was condensed to cover the entire surface. Thus, microwave drying obtain high quality mechanical property.

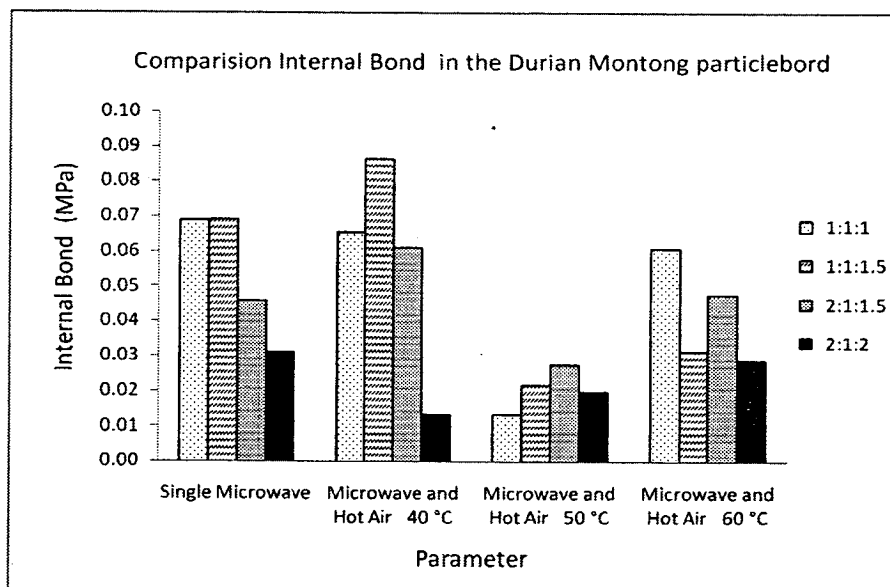


Fig. 6. Internal Bond

4.4. Dielectric Properties

Dielectric constant, relative dielectric constant and Dielectric loss tangent coefficient of the durian peel particleboard are carried out by two different drying methods; single microwave and combination of microwave and hot air dryer, as shown in Fig 7-9. No mark different is found between the methods with and without hot air supplied in cavity.

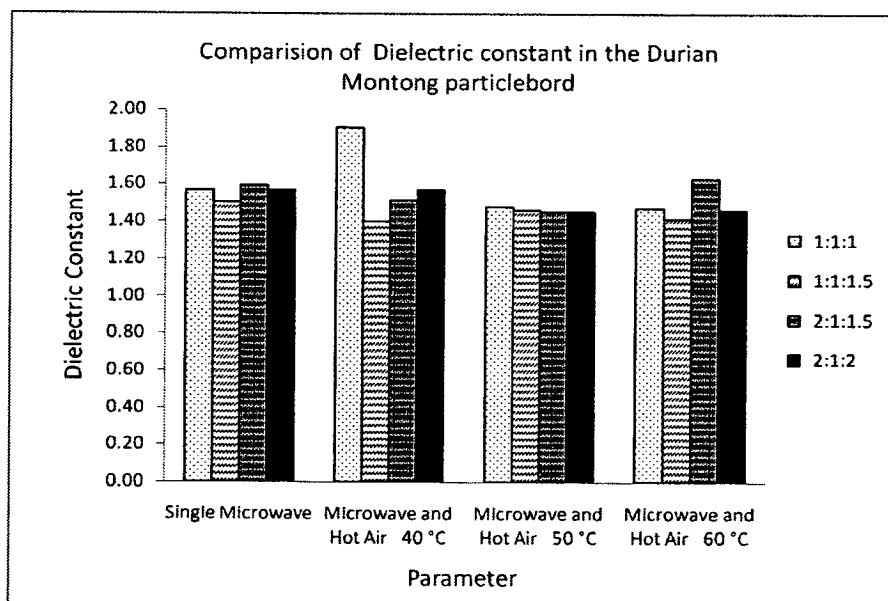


Fig. 7. Dielectric constant

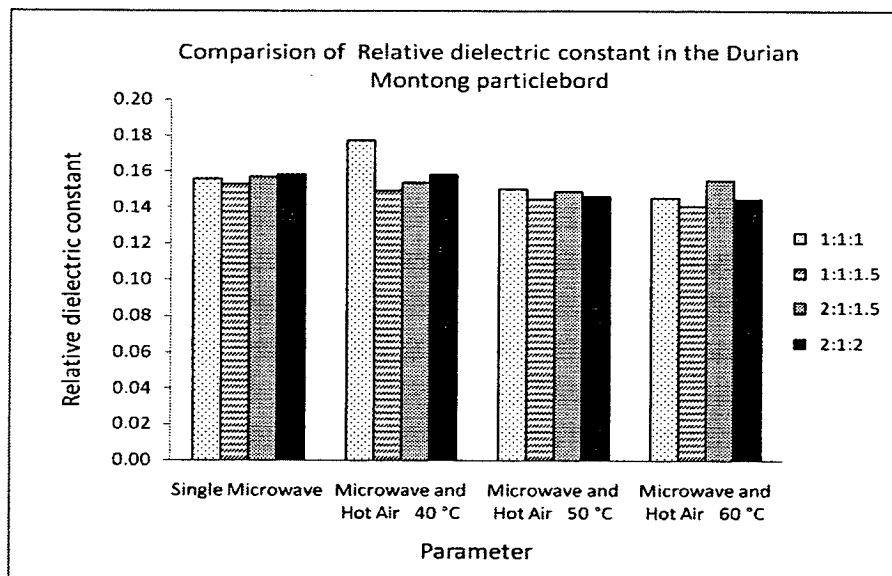


Fig. 8. Relative dielectric constant

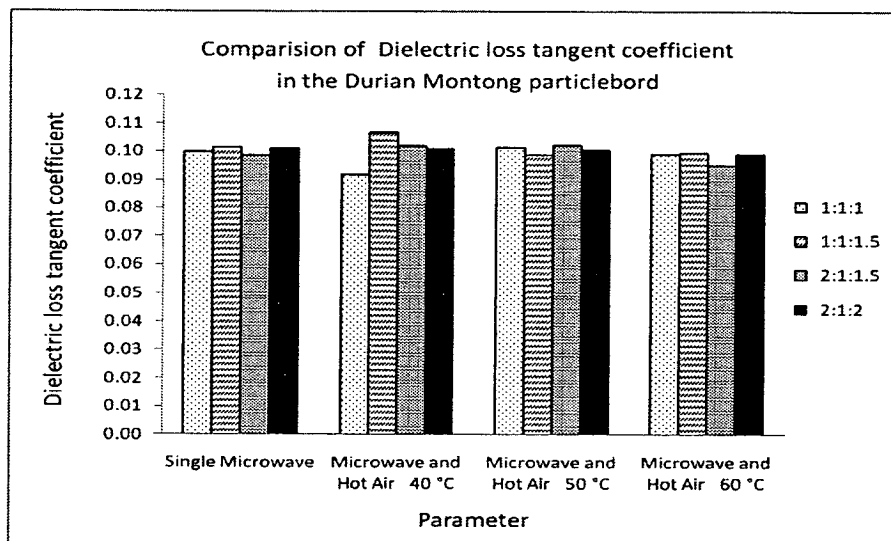


Fig. 9. Dielectric loss tangent coefficient

4.5. Microstructure of durian peel particleboard

In the following discussion, the internal structure of durian particleboard are investigated base on an analysis of the mechanical property; internal bond, after drying. Table 5 and 6 present the texture (cross section and surface) overview of the durian particleboard specimen under various dried processes by using scanning electron microscopy (SEM) technique. It is found that the dried specimens in all cases seem to have a similar micro structure arrangement. However, the single microwave dried specimen has a better micro structure arrangement because of uniform energy absorption and less shrinkage. This leads to offer the mechanical property of dried product.

Table 5. The electron Structure (Cross Section) of Particleboard

Candition	Single Microwave	Microwave and Hot Air 40 °C	Microwave and Hot Air 50 °C	Microwave and Hot Air 60 °C
1:1:1				
1:1:1.5				
2:1:1.5				
2:1:2				

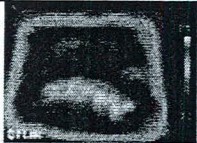
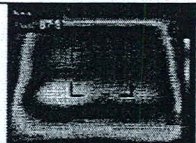
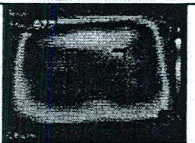
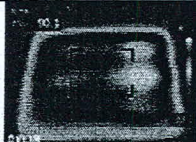
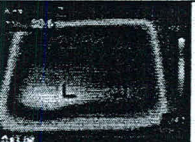
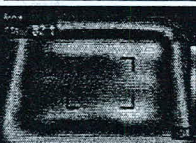
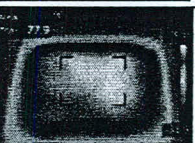
Table 6. The electron structure (Surface) of particleboard

Candition	Single Microwave	Microwave and Hot Air 40 °C	Microwave and Hot Air 50 °C	Microwave and Hot Air 60 °C
1:1:1				
1:1:1.5				
2:1:1.5				
2:1:2				

4.6 Thermo Photograph of durian peel particleboard

Thermo Photograph of durian peel particleboard (Drying time of 70 min) as shown in Table 7. It is found that at high hot air temperature the temperature distribution of the sample continuously rises faster than that in the case of low hot air temperature. The reason is that in the case of high hot air temperature, convective drying is strong while the microwave energy is still supplied. When the drying time increases, the microwave power absorption is lowered because the moisture content decreases. This result is due to the influence of capillary pressure and vapour diffusion, which drives the moisture to the sample surface of durian particleboard sample. Near the end stage of the drying process as the moisture content inside the sample is reduced, the microwave power absorption decrease accordingly.

Table 7. Thermo photograph of particleboard (Drying time of 70 min)

Candition	Single Microwave	Microwave and Hot Air 40 °C	Microwave and Hot Air 50 °C	Microwave and Hot Air 60 °C
1:1:1				
1:1:1.5				
2:1:1.5				
2:1:2				

5. Conclusion

A combined multi-feed microwave-convective air and continuous belt dryer is one of the most interesting heating methods (requires lower energy consumption than single microwave system (SEC of 0.16509 MJ/kg) for the same or better product qualities than combined system. It shows the potential to reduce electrical energy consumption. Moreover, combined system permits quicker drying at high hot air temperature. If this technology is implemented to industry, it will decrease the production costs due to the lower electrical energy consumption.

Acknowledgement

The authors would like to express sincere appreciation to the National Research Council of Thailand (NRCT) and the Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) for the financial support of this research; and deep gratitude to Dr. Sorapong Pavasupree of Faculty of Engineering the

Rajamangala University of Technology Thanyaburi and Dr. Chanakan Asasutjarit of the Thailand Institute of Scientific and Technological Research for their invaluable and useful suggestions.

References

- [1] Charoenvai, S., "New Insulating Material: Binderless Particleboard from Durian Peel", The 2nd International Conference on Civil Engineering and Building Materials (CEBM 2012), November 17~18, 2012, Hong Kong.
- [2] Asasutjarit, C., Charoenvai S., Hirunlabh J., Khedari J., 2009 "Materials and mechanical properties of pretreated coir-based green composites", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 40, Iss. 7, pp. 633-637.
- [3] Asasutjarit, C., Charoenvai S., Hirunlabh J., Khedari J., 2008, "Effect of pretreatment on properties of coir-based green composite", *Advanced Materials Research*, Vols. 47-50, pp. 678 – 681.
- [4] Asasutjarit, C., Hirunlabh J., Khedari J., Charoenvai S., Zeghmami B., Cheul Shin U., 2007, "Development of coconut coir-based lightweight cement board", *Journal of construction and building materials*, Volume 21, Issue 2, Pages 277-288.
- [5] Charoenvai, S., J. Khedari, J. Hirunlabh, C., B. Zeghmami, D. Quenard and N. Pratintong, 2005, "Heat and moisture transport in durian fiber based lightweight construction materials", *Journal of Solar Energy*, Volume 78, Issue 4, April 2005, Pages 543-553.
- [6] Khedari, J., Watsanasathaporn, P., Hirunlabh, J., 2005, "Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity," *Cement & Concrete Composites*, volume 27, Pages 111-116.
- [7] Khedari, J., Nangkongnab, N., Hirunlabh, J. and Sombat Teekasap, 2004, "New Low-Cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir", *Building and Environment*, Vol. 39, pp. 59-65.
- [8] Khedari J, Suttisonk B, Pratintong N, Hirunlabh J. New Lightweight Composite Construction Materials with Low Thermal Conductivity, *Cement and Composites* 2002; 23: 65-70.
- [9] Khedari, J., Charoenvai, S. and Hirunlabh, J., 2003, "New insulating particleboards from durian peel and coconut coir" *Journal of Building and Environment*, Vol. 38, Issue 3, pp. 435-441.
- [10] Prommas, R., Rattanadecho, P., Cholasuek, D., 2120, "Energy and exergy analyses in drying process of porous media using hot air," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, pp. 372-378.
- [11] Vongpradubchai, S., Rattanadecho, P., 2011, "Microwave and Hot Air Drying of Wood Using a Rectangular Waveguide," *Drying Technology*, pp.451-460.
- [12] Jindarat, W., Rattanadecho, P., Vongpradubchai, S. and Pianroj, Y., 2011, Analysis of Energy Consumption in Drying Process of Non-Hygroscopic Porous Packed Bed Using a Combined Multi-Feed Microwave - Convective Air and Continuous Belt System (CMCB), *Drying Technology An International J.*, Vol.29(08), pp. 926 – 938.