



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนากระดาษต้านจุลินทรีย์เคลือบสตาร์ชดัดแปรผสมน้ำมันกานพลู

Development of Antimicrobial Clove Oil-Incorporated Modified Starch-Coated Papers

นามผู้วิจัย นางสาวสุทธิสุดา วานิช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชฎาภรณ์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาณุวัฒน์ สรรพกุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชฎาภรณ์ จิณกาญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนากระดาษต้านจุลินทรีย์เคลือบสตาρχดัดแปรผสมน้ำมันกานพลู

Development of Antimicrobial Clove Oil – Incorporated Modified Starch – Coated Papers

โดย

นางสาวสุทธิสุดา วานิช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุทธิสุดา วานิช 2553: การพัฒนากระดาษด้านจุลินทรีย์เคลือบสตาโรลดแปรผสมน้ำมันกานพลู
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ
ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ธัญญรัตน์ จัญกาญจน์, Ph.D. 138 หน้า

กระดาษและกระดาษแข็งเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ทางการบรรจุอย่างแพร่หลายโดยกระดาษเป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการดูดซับสารละลายประเภทต่างๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระดาษให้มีสมบัติด้านจุลินทรีย์ โดยวิธีการเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูซึ่งผสมในสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาโรล การศึกษาประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ส่วนแรกศึกษาประสิทธิภาพในการด้านจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลูซึ่งทำละลายด้วยสารละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ความเข้มข้น 30 ไมโครลิตรต่อมิลลิกรัม และน้ำมันกานพลูในสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาโรลที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก โดยทดสอบกับเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย ได้แก่ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus cereus* ด้วยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น การศึกษาส่วนที่สองเป็นการพัฒนากระดาษด้านจุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษแข็ง กระดาษกราฟท์ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานจากเยื่อคุณภาพดีบริสุทธิ์ กระดาษทุกชนิดจะถูกเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาโรล และทดสอบประสิทธิภาพในการด้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเนื้อวุ้น และวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์ การศึกษาในส่วนที่สามคือการศึกษาอิทธิพลของการเคลือบต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของกระดาษ ผลการศึกษาจากส่วนที่หนึ่ง พบว่าน้ำมันกานพลูที่ละลายในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ และน้ำมันกานพลูในสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาโรลที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของ *E. coli* ได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ที่ร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก รองลงมา คือ *B. cereus* และ *S. aureus* ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดในการด้านจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดที่ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักสำหรับน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาโรลความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก สามารถด้านการเจริญของ *E. coli* ได้เพียงชนิดเดียว และมีค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ที่ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ผลจากการศึกษาในส่วนที่สองพบว่ากระดาษด้านจุลินทรีย์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาโรลร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด และจากการศึกษาในส่วนที่สาม พบว่าการเคลือบส่งผลให้กระดาษมีน้ำหนักมาตรฐาน และความหนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รวมทั้งส่งผลให้กระดาษมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีไปในโทนสีเหลือง อย่างไรก็ตามการเคลือบไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของกระดาษแข็ง และกระดาษกราฟท์ แต่สำหรับกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานพบว่า การเคลือบส่งผลให้ความต้านทานแรงกดงแหวน และความต้านทานแรงดันทะลุสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวควบคุม นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณของไฮโดรฟอบิกสตาโรลในสารเคลือบส่งผลให้ความต้านทานแรงกดงแหวนของกระดาษที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานมีค่าสูงขึ้น

Sudsuda Vanit 2010: Development of Antimicrobial Clove Oil - Incorporated Modified Starch - Coated Papers. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging and Materials Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Tunyarut Jinkarn, Ph.D. 138 pages.

Papers and paperboards are widely used packaging materials. As a basis property, papers can effectively absorb various substances in solution forms into their structure. Therefore, this study aimed to develop antimicrobial papers by coating with clove oil-incorporated hydrophobic starch. The study composed of three parts. First part was to investigate a minimum inhibitory concentrations (MICs) and antimicrobial inhibitory effects of pure clove oil which was diluted with dimethylsulfoxide (DMSO) (30 μ l /ml) and clove oil in hydrophobic starch solution (5% and 8%, w/w). The inhibitory effects were investigated against three types of common food spoilage bacteria including *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus* using the agar well diffusion method. For the second part, three types of antimicrobial papers were developed including duplex board, kraft liner and pure eucalyptus handsheet. The paper samples were coated with clove oil in hydrophobic starch solution, then, antimicrobial inhibitory effects were observed *via* headspace diffusion and a total plate count method. For the last part of the study, physical and mechanical properties of antimicrobial papers were investigated. Results of the first part showed that clove oil diluted with DMSO and clove oil in hydrophobic starch solution (8% w/w) were the most effective against the growth of *E. coli* with an MIC of 1.25 % while MICs for other two bacteria (*B. cereus* and *S. aureus*) was at 2.5%. However, clove oil in hydrophobic starch solution (5% w/w) can only inhibited the growth of *E. coli* with an MIC of 2.5 %. Furthermore, antimicrobial papers coated with 15% (w/w) clove oil in 8% (w/w) hydrophobic starch solution was the most effective against the growth of all bacteria under this study. For the last part of the study, basis weight and thickness of coated papers were significantly increased ($p \leq 0.05$) with slightly color change to a yellow tone. Although the coating had no effect on mechanical properties of duplex board and kraft liner, compression and bursting strength of coated handsheet was significantly increased ($p \leq 0.05$) compared with uncoated samples. In additions, for handsheet, higher amount of hydrophobic starch in the coating solution resulted in better ring crush resistance.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยญ์รัตน์ จิณกาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา คอยชี้แนะและช่วยแก้ปัญหา และความกรุณาให้ทุน
สนับสนุนงานวิจัย รวมทั้งคำแนะนำและการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอกราบขอบพระคุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภานุวัฒน์ สรรพกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สำหรับ ความรู้
คำปรึกษาและคำแนะนำในงานวิจัยครั้งนี้ ดร. สุพจน์ ประทีปถิ่นทอง ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ศูนย์
การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และดร. เลอพงศ์
จารุพันธ์ ประธานการสอบที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและชี้แนะแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของ
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัทกระดาศสไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กระดาษแข็งและเยื่อ
บริสุทธิ์ สำหรับใช้ในงานวิจัย และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและ
วัสดุทุกท่าน ที่กรุณาอำนวยความสะดวก และความช่วยเหลือในด้านสถานที่ เครื่องมือระหว่าง
การดำเนินงานวิจัย ขอขอบพระคุณ คุณสุภากร ศรีเนาวรัตน์กุล และ คุณสุชาดา ถาวรวิริยะนันท์ ที่
กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือในการทำงานวิจัย และขอบคุณ
คุณสุวรรณ์ รักช่วย สำหรับความช่วยเหลือ กำลังใจและคำแนะนำ ขอบขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ
ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุทุกท่าน สำหรับความมีน้ำใจ กำลังใจ ตลอดจนความ
ช่วยเหลือต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อวิสุทธิ และคุณแม่เกศสุดา วานิช ที่แนะนำและให้คำปรึกษา
อบรมสั่งสอน รวมทั้งคอยเป็นกำลังใจและแรงผลักดัน อีกทั้งการสนับสนุนอย่างเต็มที่ เสมอมา
ส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สุทธิสุดา วานิช

มีนาคม 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	103
สรุป	103
ข้อเสนอแนะ	105
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	106
ภาคผนวก	119
ภาคผนวก ก วิธีการทดสอบ	120
ภาคผนวก ข วิธีการขึ้นรูปกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน และการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบ	129
ภาคผนวก ค ตารางผลการทดลอง	133
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	138

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำมันกานพลู	12
2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	17
3 กิจกรรมการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลู	39
4 กิจกรรมการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 (โดยน้ำหนัก)	44
5 กิจกรรมการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 (โดยน้ำหนัก)	45
6 สมบัติทางกายภาพของกระดาษแต่ละชนิดก่อนเคลือบ	48
7 สมบัติเชิงกลของกระดาษแต่ละชนิดก่อนเคลือบ	49
8 สมบัติการดูดซึมน้ำกระดาษแต่ละชนิดก่อนเคลือบ	49
9 ประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษแข็ง duplex board ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น	57
10 ประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษคราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น	61
11 ประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น	65
12 ประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์	73
14	ประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์	75
15	น้ำหนักสารเคลือบของกระดาษเคลือบสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชผสมน้ำมันกานพลู	81
16	น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความชื้นของกระดาษแข็งเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	84
17	น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความชื้นของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	85
18	น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความชื้นของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	86
19	ค่าสีในระบบ CIE ของกระดาษแข็งเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	89
20	ค่าสีในระบบ CIE ของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	90
21	ค่าสีในระบบ CIE ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	91
22	ความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษแข็ง และกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
23	ความต้านทานแรงดันทะเลของกระดวยแข็ง และกระดวยกราฟท์เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	94
24	ความต้านทานแรงกดวงแหวน และแรงดันทะเลของกระดวยขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	96
ตารางผนวกที่		
ค1	ค่ามุมสัมผัสของน้ำของกระดวยแข็ง duplex board	134
ค2	ค่ามุมสัมผัสของน้ำของกระดวยกราฟท์	136

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	4
2	ลำดับชั้นสีในระบบ CIE	11
3	การวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ	12
4	โครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบของน้ำมันกานพลู	13
5	ผลของน้ำมันหอมระเหยที่มีต่อเซลล์ของแบคทีเรีย	16
6	โครงสร้างอะไมโลส	17
7	โครงสร้างของอะไมโลเพกติน	18
8	โครงสร้างโมเลกุลของ OSA starch	20
9	เครื่องเคลือบกระดาษ (Film coater PI-1210)	34
10	ความเข้มข้นต่ำที่สุดของน้ำมันกานพลูในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (ก) <i>B. cereus</i> (ข) <i>S. aureus</i> และ (ค) <i>E. coli</i>	42
11	ความเข้มข้นต่ำที่สุดของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 5 ในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (ก) <i>B. cereus</i> (ข) <i>S. aureus</i> และ (ค) <i>E. coli</i>	46
12	ความเข้มข้นต่ำที่สุดของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 8 ในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (ก) <i>B. cereus</i> (ข) <i>S. aureus</i> และ (ค) <i>E. coli</i>	47
13	กระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลู (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และ กระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- 14 กระดาษคราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และกระดาษคราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก 52
- 15 กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และกระดาษคราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก 53
- 16 ประสิทธิภาพของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการต้านการเจริญของ *E. coli* 55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

17	ประสิทธิภาพของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการด้านการเจริญของ <i>B. cereus</i>	55
18	ประสิทธิภาพของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการด้านการเจริญของ <i>S. aureus</i>	56
19	ประสิทธิภาพของกระดาษคราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการด้านการเจริญของ <i>E. coli</i>	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	เนื้อหา	หน้า
20	ประสิทธิภาพของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการต้านการเจริญของ <i>B. cereus</i>	59
21	ประสิทธิภาพของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการต้านการเจริญของ <i>S. aureus</i>	60
22	ประสิทธิภาพของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการต้านการเจริญของ <i>E. coli</i>	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

23

ประสิทธิภาพของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิก สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิก สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนียวในการดำเนินการเจริญของ *B. cereus*

63

24

ประสิทธิภาพของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิก สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิก สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนียวในการดำเนินการเจริญของ *S. aureus*

64

25

การลดลงของค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไปสำหรับกระดาษแข็ง หลังเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

97

26

การลดลงของค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไปสำหรับกระดาษแข็ง หลังเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

98

27

การลดลงของค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไปสำหรับกระดาษคราฟท์หลังเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

99

28

การลดลงของค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไปสำหรับกระดาษคราฟท์หลังเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

99

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	ลักษณะผิวหน้าของกระดาศส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่อง กราดกำลังขยาย 500 เท่า (ก) กระดาศแข็ง (ข) กระดาศคราฟท์ และ (ค) กระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน	102
ภาพผนวกที่		
ข1	การเตรียมตัวอย่างกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเพื่อการ ทดสอบ	132

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a* = redness

b* = yellowness

°C = degree celsius

CD = cross machine direction

CFU = colony forming unit

DMSO = dimethyl sulfoxide

L* = lightness

log = logarithm

MD = machine direction

MICs = minimum inhibitory concentrations

ml = milliliter

μl = microliter

mg = miligram

ppm = part per million

SEM = scanning electron microscopy

spp. = subspecies

การพัฒนากระดาษต้านจุลินทรีย์เคลือบสตาร์ชดัดแปรผสมน้ำมันกานพลู

Development of Antimicrobial Clove Oil - Incorporated Modified Starch - Coated Papers

คำนำ

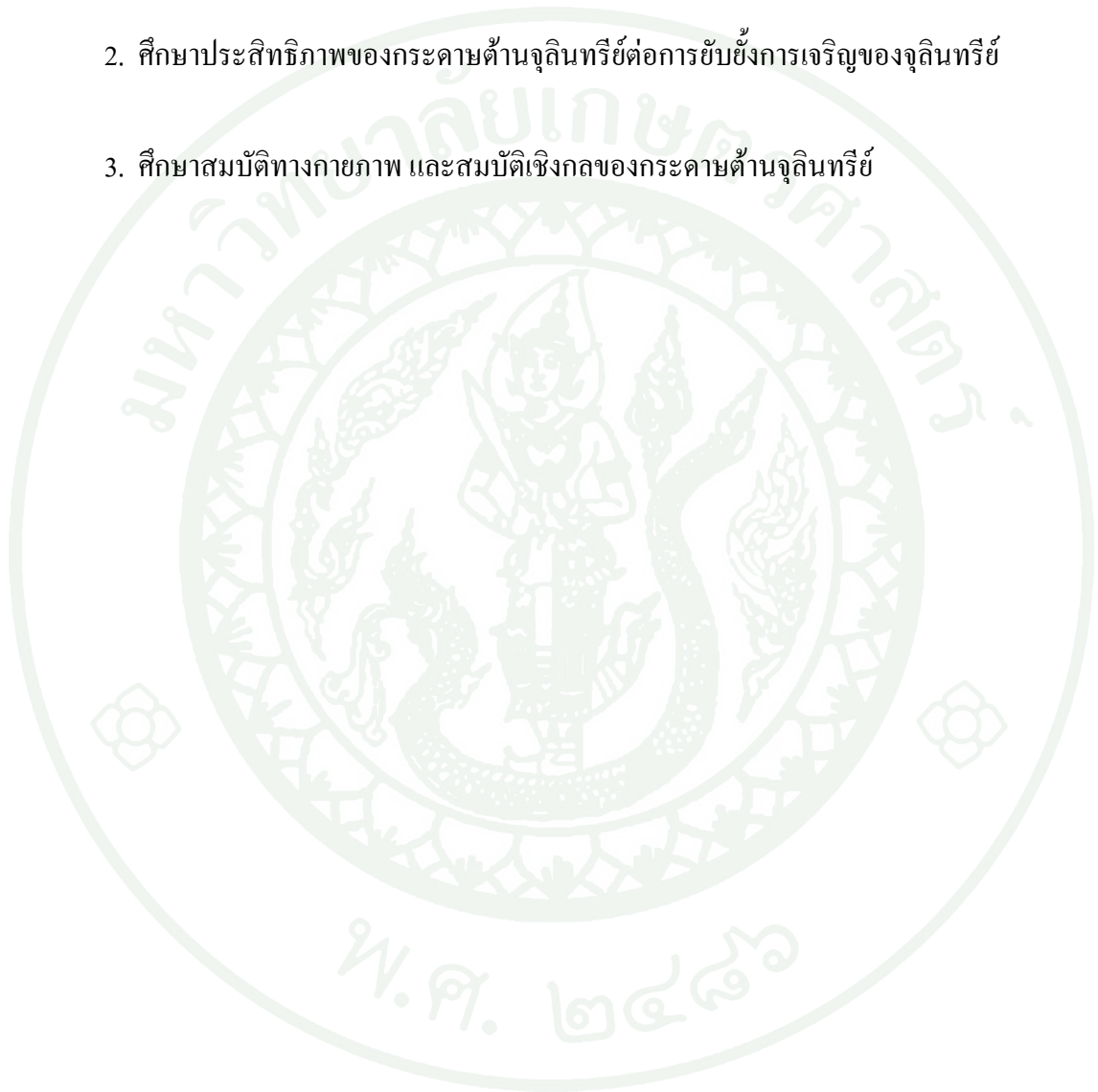
กระดาษและกระดาษแข็งเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ผลิตเป็นวัสดุบรรจุ เนื่องจากกระดาษเป็นวัสดุจากธรรมชาติ กระดาษและกระดาษแข็งจำนวนมากกว่า 2.5 ล้านตัน ใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารทั่วโลก (Suominen *et al.*, 1997) เนื่องจากกระดาษเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นผลกระทบที่อาจเกิดกับสิ่งแวดล้อมจึงมีน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุสังเคราะห์ชนิดอื่น อย่างไรก็ตาม อาหารที่ถูกบรรจุด้วยภาชนะกระดาษมีโอกาสที่จะปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ เช่น สายพันธุ์ *Bacillus* (Väisänen *et al.*, 1991) และเนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคได้ตระหนัก และให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์อาหารในเรื่องความปลอดภัยมากขึ้น บรรจุภัณฑ์จึงไม่ได้มีหน้าที่เพื่อบรรจุและปกป้องตัวผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่ยังช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่มีสาเหตุหลักมาจากจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์บางชนิดนอกจากจะเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียในอาหารแล้ว สารพิษที่ถูกผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ดังกล่าว ก่อให้เกิดโรคแก่ผู้บริโภค บรรจุภัณฑ์ประเภทแอคทีฟและบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติด้านการเจริญของจุลินทรีย์จึงถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว (Rodriguez *et al.*, 2007) กระดาษต้านจุลินทรีย์ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1985 เพื่อใช้ในทางการแพทย์เป็นหลัก ซึ่งสารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้จะเป็นสารประเภทอนินทรีย์ เช่น halogenated aromatic nitriles, dichlorophene (Intili, 1985) แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคมีแนวโน้มในการยอมรับสารต้านจุลินทรีย์จากสารอินทรีย์มากขึ้น (Moreira *et al.*, 2005) สารสกัดจากธรรมชาติกลุ่มน้ำมันหอมระเหย (essential oils) ที่มีสมบัติในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิด ทั้งจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหาร และก่อให้เกิดโรคจากอาหาร (Burt, 2004) ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่มีการนำมาใช้ในการพัฒนาวัสดุบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ เช่น น้ำมันอบเชย (cinnamon oil) น้ำมันหอมระเหยไทม์ (thyme) และ น้ำมันกานพลู (clove oil) ซึ่งสารสำคัญในน้ำมันกานพลูที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ คือ ยูจีนอล (eugenol) (Menon *et al.*, 2001)

อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้สารกลุ่มน้ำมันหอมระเหยกับบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับบรรจุภัณฑ์อาหาร มักต้องใช้ร่วมกับสารตัวพา (carrier) เพื่อเก็บกักไอร่ะเหยและค่อยๆ ปลดปล่อยไอร่ะเหยดังกล่าวจากภาชนะบรรจุไปยังพื้นผิวของอาหาร ซึ่งวิธีนี้ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพกว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยดังกล่าวโดยตรงบนพื้นผิวของอาหาร (Appendini and Hotchkiss, 2002) นอกจากนี้พบว่าม้งงานวิจัยจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารต้านจุลินทรีย์กลุ่มน้ำมันหอมระเหยเป็นองค์ประกอบในวัสดุบรรจุเช่น Suppakul *et al.* (2008); Rakchoy *et al.* (2009); Sangsuwan *et al.* (2008) และ Coma (2008) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำมันหอมระเหยสำหรับวัสดุกระดาษทางการบรรจุ พบว่ายังมีการศึกษาอยู่ในวงจำกัด เช่น Rodriguez *et al.* (2007) และ Arfa *et al.* (2007a) โดยในการศึกษาพบว่า งานวิจัยดังกล่าวให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์เป็นหลัก อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปในการผลิตกระดาษนั้น มักมีการเคลือบผิวหน้าด้วยสารละลายสตา์รซ์ดัดแปร หรือสารอื่น เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เพื่อความเรียบและความขาวสว่าง ดังนั้นในการผสมน้ำมันหอมระเหยในสารเคลือบผิวหน้ากระดาษเช่นในสารละลายสตา์รซ์ดัดแปร อาจช่วยลดขั้นตอนการพัฒนากระดาษต้านจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิต

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงมีแนวคิดในการพัฒนาวัสดุกระดาษ ทางการบรรจุชนิดต่างๆ เพื่อให้มีสมบัติในการต่อต้านการเจริญของจุลินทรีย์ โดยใช้น้ำมันกานพลูซึ่งเป็นสารสกัดจากธรรมชาติเป็นองค์ประกอบในสารเคลือบสตา์รซ์ดัดแปรประเภทไฮโดรโพนิกสตา์รซ์ และศึกษาประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ของกระดาษ รวมทั้งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของกระดาษทางการบรรจุอันเนื่องจากการเคลือบนั้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเข้มข้นต่ำที่สุดในการต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลู และสารเคลือบซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบ
2. ศึกษาประสิทธิภาพของกระดาษต้านจุลินทรีย์ต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์
3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของกระดาษต้านจุลินทรีย์

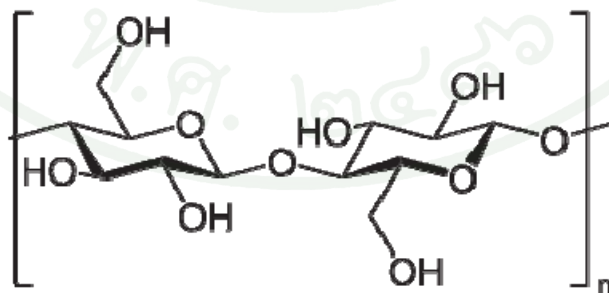


การตรวจเอกสาร

1. โครงสร้างของกระดาษ (paper structure)

โครงสร้างหลักของกระดาษประกอบไปด้วยเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) จำนวนมากที่ยึดจับเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous sheet) โดยการสานตัว (interweaving) และยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างเส้นใย (สมหวัง, 2546) การสานตัวของเส้นใยของกระดาษทำให้เกิดมีช่องว่างภายในโครงสร้าง ส่งผลให้กระดาษเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยและมีรูพรุน

เซลลูโลส (cellulose) เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช เป็นพอลิแซ็กคาไรด์เชิงเส้น (linear polysaccharide) ที่ประกอบไปด้วยหน่วยของกลูโคส (glucose) จำนวนมากเชื่อมต่อกันเป็นโซ่ตรงด้วยพันธะเบต้า 1-4 ซึ่งทำให้โมเลกุลของเซลลูโลสต่างจากโมเลกุลของสตาร์ชทั่วไป ถึงแม้ว่าความแข็งแรงของเส้นใยเซลลูโลสเกิดจากการเรียงตัวของหน่วยกลูโคสในสายพอลิเมอร์ โดยมีพันธะไฮโดรเจนยึดระหว่างเส้นใย อย่างไรก็ตามเมื่อเส้นใยเซลลูโลสสัมผัสกับน้ำ พันธะไฮโดรเจนสามารถสูญเสียความแข็งแรง เนื่องจากโมเลกุลของน้ำจะแทรกอยู่ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และ ออกซิเจน (oxygen) และในกระบวนการผลิตกระดาษ น้ำที่ถูกกำจัดออกไปส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลอยู่ชิดกัน ดังนั้นหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวหน้าของเส้นใยอยู่ใกล้กันจึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นโดยตรง นอกจากนี้การเพิ่มพันธะไฮโดรเจนสามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ของการยึดเกาะระหว่างเส้นใยโดยการบดเยื่อให้ละเอียดขึ้น (ดวงทิพย์, 2550)



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลส

ที่มา: Anonymus (2009)

2. องค์ประกอบของกระดาษ

กระดาษโดยทั่วไป ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ องค์ประกอบที่เป็นเส้นใย และองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใย เส้นใยหรือเยื่อกระดาษ มีทั้งเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว ปริมาณของเยื่อแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษ โดยทั่วไปจะมีปริมาณเยื่ออยู่ที่ร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษ นอกจากเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวแล้ว ยังมีการนำเยื่อหมุนเวียน (recycle pulp) มาเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตกระดาษด้วย ซึ่งอัตราส่วนของเยื่อใหม่ต่อเยื่อหมุนเวียนจะแตกต่างกันไปตามคุณภาพของกระดาษและการใช้งานสุดท้ายที่ต้องการ ส่วนองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใยได้แก่ สารเติมแต่ง (additives) ที่เติมลงไปทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษเพื่อให้เป็นไปตามต้องการ

2.1 องค์ประกอบที่เป็นเส้นใย (fiber)

ส่วนของเส้นใยจะประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาเรียงต่อกัน กับเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ซึ่งเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างโมเลกุลของกลูโคสและน้ำตาลอื่น ๆ เช่น แมนโนส (mannose) ฟูโคส (fucose) ไซโลส (xylose) มาต่อกัน เส้นใยยังมีส่วนที่เป็นลิกนิน (lignin) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมเส้นใยให้อยู่ด้วยกัน แต่ในขบวนการผลิตกระดาษ ลิกนินจะถูกขจัดออกจากเยื่อกระดาษ หากมีลิกนินหลงเหลืออยู่ในกระดาษ จะทำให้กระดาษเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อได้รับแสง (นิรนาม, ม.ป.ป.)

2.1.1 เยื่อใยสั้น (leaf pulp) ผลิตจากไม้เนื้อแข็ง (hardwood) เขตร้อน ใบมีลักษณะกว้าง เส้นใยมีลักษณะเล็ก ละเอียด แต่ความแข็งแรงต่ำ มีความยาวประมาณ 1-1.5 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 10-20 ไมครอน ไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ ยูคาลิปตัส (eucalyptus) กระดินเทพา (acacia) เบิร์ช (birch) และ แอสเพน (aspen) เนื่องจากเยื่อใยสั้นมีขนาดเล็ก ทำให้กระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยสั้นมีคุณสมบัติเด่นคือ ผิวกระดาษมีความเรียบ ทึบแสง เนื้อกระดาษแน่นและสม่ำเสมอ แต่มีข้อเสียคือความแข็งแรงทางกลมีน้อยและกระดาษขาดง่าย

2.1.2 เชื้อใยขาว (needle pulp) ผลิตจากไม้เนื้ออ่อน (softwood) จำพวกสน (pine) และ สปรูซ (spruce) ใยมีลักษณะแคบเรียวยาว (needle) เส้นใยมีลักษณะหยาบ มีความแข็งแรงสูง มีความยาวของเส้นใยประมาณ 3-3.5 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 20-40 ไมโครเมตร

2.2.3 สารเพิ่มความเหนียว เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด นอกจากนี้ยังช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษแข็ง สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ ได้แก่ สตาร์ชธรรมชาติ (native starch) สตาร์ชดัดแปร (modified starch) กัม (gum) และ พอลิอะคริลเอไมด์ (polyacrylamide) ปัจจุบันนิยมใช้สตาร์ชประจุบวก และ พอลิอะคริลเอไมด์ เนื่องจากสารเหล่านี้มีประจุบวก จึงสามารถจับกับเส้นใยซึ่งมีประจุลบได้ดี

2.2.4 สารฟอกขาว (optical brightening agent, OBA) หรือสารเพิ่มความขาวสว่าง เป็นสารสีย้อมประเภทเรืองแสง (fluorescent dye) เมื่อเติมลงไปจะช่วยให้กระดาษมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น

2.2.5 สารสีย้อม (dyes) เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในการบวนการผลิตกระดาษ เพื่อรักษาโทนสีของกระดาษให้คงที่และสอดคล้องกับสีของลิกนินซึ่งมีสีเหลือง โดยปกติถ้ากระดาษสัมผัสกับความร้อนหรือแสงอาทิตย์ ลิกนินที่หลงเหลืออยู่ในเนื้อกระดาษจะปรากฏสีของตัวเองออกมา ทำให้กระดาษมีสีเหลือง สารสีย้อมปรับสีของกระดาษเพื่อให้ดูขาวขึ้น

2.2.6 สารควบคุมจุลินทรีย์ (microbiological control agent หรือ biocide) เป็นสารที่ช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จำพวกเชื้อราหรือแบคทีเรียในระบบ เพื่อป้องกันการเกิดเมือกจุลินทรีย์ ตัวอย่างสารประกอบประเภทนี้ เช่น โบร โน โพล (2-bromo-2-nitropropane-1,3-diol; bronopol) (Anonymous, 2000)

2.2.7 สารเพิ่มการตกค้าง (retention aid) เป็นสารเคมีที่ช่วยให้เยื่อและ filler จับตัวกันและคงอยู่ในเนื้อกระดาษให้มากที่สุดในช่วงการระบายน้ำบนตะแกรงกดดินแผ่น ซึ่งสารเคมีประเภทนี้จะทำหน้าที่คล้ายกาวช่วยยึดเหนี่ยวทั้งเยื่อและอนุภาคเล็ก ๆ ของตัวเติม เข้าด้วยกัน ตัวอย่างสารเพิ่มการตกค้าง ได้แก่ แคทไอออนิกพอลิเมอร์ (cationic polymer) และ แอนไอออนิกคลย์ (anionic clay) (นิรนาม, ม.ป.ป.)

3. กระดาษkraft (kraft paper)

กระดาษkraftหรือกระดาษเหนียว คือ กระดาษที่ผลิตจากเยื่อซัลเฟตล้วนๆ หรือมีเยื่อดังกล่าวเป็นส่วนประกอบอย่างน้อยร้อยละ 80 คุณสมบัติเด่นของกระดาษkraft คือในเรื่องของความแข็งแรง โดยเฉพาะความสามารถในการต้านทานแรงฉีกขาด ความต้านทานแรงดึง รวมถึงความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงหักพับ กระดาษkraftที่นำมาใช้งานส่วนมากจะยังไม่ผ่านการกระบวนการฟอกขาว ดังนั้นจึงมีสีธรรมชาติซึ่งเป็นสีน้ำตาลคล้ำ นำมาใช้ในการห่อสินค้าทั่วไป ส่วนกระดาษkraftที่ผ่านการฟอกสีนั้นจะมีสีน้ำตาลสว่าง สีครีมหรือสีขาว นิยมนำไปใช้ห่อสินค้าจำพวกเสื้อผ้า อาหาร ยาและเครื่องเขียน (อัญชลี และคณะ, 2545)

สำหรับประเทศไทยนั้น ได้มีการกำหนดมาตรฐานกระดาษkraftหรือกระดาษเหนียว โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งให้นิยามไว้กว้างๆ ดังนี้ “กระดาษเหนียว หมายถึง กระดาษเหนียวที่เหมาะสมสำหรับห่อของ ทำถุงหรือผิวแผ่นกระดาษลูกฟูก” (มอก. 170-2529) ซึ่งได้มีการแบ่งประเภทของกระดาษเหนียวตามลักษณะการใช้งานเป็น 5 ประเภท คือ กระดาษถุงชั้นเดียว กระดาษถุงหลายชั้น กระดาษผิวกล่อง (kraft liner) กระดาษเวสต์เรงท์ (wet strength paper) และกระดาษริบด์kraft (ribbed kraft paper) และนอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงสมบัติหลักของกระดาษเหนียวเพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้งาน เช่น ลักษณะผิว การยึดตัว และความแข็งแรงเมื่อเปียก (อัญชลี และคณะ, 2545)

4. กระดาษแข็ง (paperboard)

กระดาษแข็ง คือ กระดาษหนาหลายชั้นที่สามารถทรงตัวอยู่ได้ในแนวดิ่ง ซึ่งแต่ละชั้นของกระดาษแข็งอาจมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันหรือเหมือนกันก็ได้ กระดาษแข็งผลิตจากเยื่อฟอกขาว (bleached pulps) ซึ่งเป็นเยื่อบริสุทธิ์ที่ประกอบด้วยเยื่อใยขาว เยื่อใยสั้น และเยื่อเศษกระดาษซึ่งได้มาจากกระดาษที่ผ่านการใช้งานแล้ว เช่น กระดาษปอนด์ขาว กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษกล่องต่างๆ ด้วยความคงตัวของกระดาษแข็งจึงนิยมนำมาผลิตเป็นกล่องกระดาษแข็งเพื่อบรรจุสินค้าในการค้าปลีก เช่น อาหาร ลูกกวาด สบู่ ยา เครื่องสำอางค์ ของเล่น เป็นต้น (อัญชลี และคณะ, 2545)

5. สมบัติของกระดาษ

5.1 สมบัติทางกายภาพของกระดาษ (physical properties)

5.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ คือ กรัมต่อตารางเมตร หรือ แกรมเมจ (grammage)

5.1.2 ความหนา (thickness) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษ หน่วยที่ใช้ส่วนใหญ่จะวัดเป็นมิลลิเมตร (millimeter) ความหนาของกระดาษนี้บางครั้งก็เรียกว่า คาลิเปอร์ (caliper) ความหนามีส่วนสัมพันธ์กับสมบัติอื่น ๆ ของกระดาษ เช่น ความเหนียว การโค้งงอและความคงรูป รวมถึงกรรมวิธีต่างๆ ในการแปรรูปเป็นภาชนะบรรจุ

5.1.3 ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (formation) หมายถึง ความแตกต่างของปริมาณเส้นใยที่เกี่ยวข้องประสานหรือเกิดพันธะเคมีต่อกัน ในแต่ละบริเวณของกระดาษ สมบัตินี้เป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับกระดาษพิมพ์ ทั้งนี้ ความไม่สม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ เกิดขึ้นเนื่องจาก วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ เช่น เส้นใย สารเติมแต่งต่าง ๆ ที่นำมาผสมกันมีความแตกต่างกันในขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น การตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษสามารถทำได้ โดยการยกขึ้นส่องกับแสงสว่าง ถ้ากระดาษมีความสม่ำเสมอต่ำ (poor formation) จะเห็นการกระจายตัวของเนื้อกระดาษไม่สม่ำเสมอปรากฏภาพเป็นดวง ๆ เป็นทาง ๆ หรือมองดูคล้ายก้อนเมฆ ทั้งนี้ ความสม่ำเสมอของกระดาษมีผลต่อสมบัติทางเชิงกลและความทึบแสงของกระดาษ

5.1.4 ทิศทางของเส้นใย (directionality) หมายถึง แนวหรือทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสในกระดาษ โดยพบว่า เส้นใยเซลลูโลสส่วนมากมีการเรียงตัวไปในทิศทางการไหลและการเคลื่อนที่ของตะแกรงบนเครื่องผลิตกระดาษ ดังนั้น แนวการเรียงตัวของเส้นใย หรือแนวเส้นใยของกระดาษจึงอยู่ใน “แนวนานเครื่อง” (machine direction; MD) หรือแนวเกรน (grain direction) มากกว่าส่วนแนวของกระดาษที่ตั้งฉากกับแนวนานเครื่องเรียกว่า “แนวขวางเครื่อง” (cross direction; CD) หรือแนวขวางเกรน (cross-grain direction) เนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใย

ในกระดวยทั้งสองแนวมีความแตกต่างกัน จึงมีผลให้สมบัติของกระดวยทั้งสองแนวแตกต่างกันด้วย ซึ่งสมบัตินี้มีความสำคัญมากในขั้นตอนการนำกระดวยไปแปรรูป

5.2 สมบัติเชิงกลของกระดวย (mechanical properties)

สมบัติเชิงกลของกระดวยเป็นตัวบ่งชี้ว่ากระดวยมีความทนทานต่อการใช้งาน (durability) และความสามารถในการต้านทานแรงที่มากระทำในลักษณะต่าง ๆ เช่น แรงดึง แรงเฉือน แรงบิด และแรงที่ทำให้กระดวยโค้งงอ ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตกระดวย การแปรรูป ตลอดจนการใช้งาน โดยสามารถวัดความแข็งแรงของกระดวยจากสมบัติเชิงกลต่างๆ ดังนี้ (นิรนาม, ม.ป.ป.)

5.2.1 ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) หมายถึง ความต้านทานต่อแรงเค้นที่กระทำต่อกระดวยในแนวยาว (tensile stress) ความต้านทานต่อแรงดึงของกระดวยเป็นสมบัติที่สำคัญของกระดวยในระบบการพิมพ์ปั๊มม้วนมากกว่ากระดวยในระบบการพิมพ์แบบปั๊มแผ่น นอกจากนี้กระดวยที่ต้องนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ จำเป็นต้องมีความต้านทานต่อแรงดึงด้วย เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปมักมีแรงดึงกระทำต่อกระดวย

5.2.2 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursting strength) หมายถึง ความต้านทานต่อแรงที่กระทำกับพื้นที่หนึ่งตารางเมตรของกระดวย ในแนวตั้งฉากก่อนที่กระดวยจะเกิดการขาดทะลุ มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa) หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว

5.2.3 ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (tearing strength) หมายถึง ความสามารถของกระดวยที่ต้านแรงกระทำซึ่งจะทำให้ชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลินิวตัน (mN) หรือ กรัม (gram) กระดวยที่จำเป็นต้องตรวจสอบความต้านทานแรงฉีกขาดคือกระดวยที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทถุง และกระดวยพิมพ์

5.2.4 ความแข็งตึง (stiffness) หมายถึง ความต้านทานของกระดวยต่อการโค้งงอที่เกิดจากน้ำหนักของตัวกระดวยเอง หรือแรงอื่นที่กระทำต่อกระดวยนั้น ทั้งนี้กระดวยในแนวตามเครื่องมีความแข็งแรงตึงมากกว่ากระดวยในแนวขวางเครื่อง ความแข็งตึงของกระดวยมีความสำคัญต่อการปั๊มและรับกระดวยบนเครื่องพิมพ์

5.2.5 ความต้านทานต่อการพับ (fold strength) หมายถึง การพับไปพับมา (double folds) ของกระดาษขึ้นทดสอบจนกระทั่งขึ้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงที่กำหนด ค่าความต้านทานต่อการพับขาดของกระดาษในแนวนอนเครื่องสูงกว่าแนวขวางเครื่อง

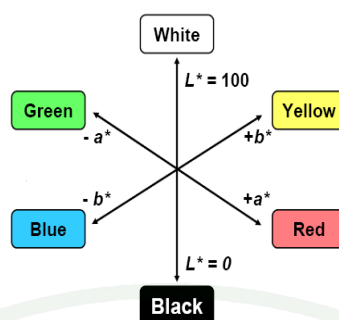
5.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ (optical properties)

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ หมายถึง สมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่ ความขาวสว่าง ความทึบแสง ความมันวาว (จริยาภรณ์, ม.ป.ป.)

5.3.1 ความขาวสว่าง (brightness) หมายถึง ค่าการสะท้อนแสงของแสงสีน้ำเงินในช่วงคลื่น 457 นาโนเมตร เยื่อกระดาษที่ยังไม่ได้ฟอกส่วนมากจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงเหลืองอ่อน อันเนื่องจากลิกนินจะดูดซับแสงสีน้ำเงินไว้ ทำให้ค่าการสะท้อนแสงที่ได้ในช่วงแสงสีน้ำเงินมีค่าต่ำ แต่เมื่อนำเยื่อไปฟอกโดยการขจัดลิกนิน เยื่อฟอกขาวที่ได้จะให้ค่าการสะท้อนแสงสีน้ำเงินสูงขึ้นมาก

5.3.2 ความทึบแสง (opacity) ความทึบแสงของกระดาษ เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน ความทึบแสงสามารถวัดได้ โดยการเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวที่ช่วงคลื่น 557 นาโนเมตร ระหว่างกระดาษแผ่นเดียวที่รองหลังด้วยพื้นดำสนิท กับกระดาษที่วางซ้อนกันหนาจนแสงไม่ผ่านทะลุ ทั้งความทึบแสงและความสว่างต่างขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ การกระเจิงแสงและการดูดซับแสง โดยกระดาษที่ใช้เยื่อที่มีความขาวสว่างมาก อาจก่อให้เกิดปัญหาความทึบแสง เนื่องจากเยื่อจะมีความทึบแสงน้อยลง การใช้ตัวเติมช่วยเพิ่มการกระเจิงแสงในเนื้อกระดาษจึงสามารถช่วยปรับปรุงความทึบแสงให้ดีขึ้น

5.3.3 ค่าสีของกระดาษ (color's paper) ในปัจจุบันระบบที่นิยมใช้ในการวัดค่าสีของกระดาษ คือ commission international de l'eclairage; CIE L*, a*, b* (Hubbe *et al.*, 2008) ซึ่งเป็นลำดับชั้นสีที่กำหนดค่าโคออดิเนตของสีใน 3 มิติ โดยลำดับชั้นสีในระบบ CIE แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลำดับชั้นสีในระบบ CIE

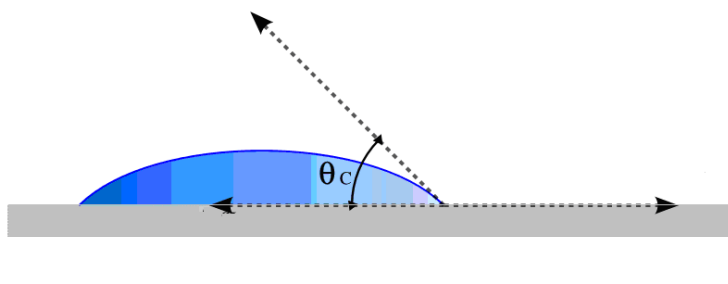
ที่มา: Hubbe *et al.* (2008)

จากลำดับชั้นสีสามารถอธิบายค่าสีต่างๆ ได้ดังนี้ L^* ใช้กำหนดค่าความสว่างของเนื้อสี โดยที่ถ้า $L^* = 0$ จะมองเห็นเป็นสีดำ แต่ $L^* = 100$ จะมองเห็นเป็นสีขาว ค่า a^* ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างสีแดงกับสีเขียว ถ้า a^* มีค่าบวก สีจะไปในทิศทางของสีแดง แต่ถ้า a^* มีค่าลบ สีจะไปในทิศทางของสีเขียว สำหรับค่า b^* ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างสีเหลืองกับสีน้ำเงิน โดยถ้า b^* มีค่าบวก สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง แต่ถ้า b^* มีค่าลบ สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน นอกจากนี้การวัดค่าความแตกต่างของสีสามารถแสดงด้วยค่า ΔE ซึ่งคือ ค่าความแตกต่างของค่าสี L^* , a^* และ b^* เมื่อเปรียบเทียบค่าดังกล่าวกับตัวควบคุมสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

5.4 สมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษ

5.4.1 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (contact angle test) เป็นการทดสอบความสามารถในการต้านทานน้ำของวัสดุ โดยมุมสัมผัส คือ มุมที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของของเหลวและอากาศกับพื้นผิวของแข็ง โดยหยดน้ำที่มีมุมสัมผัสขนาดใหญ่ บ่งชี้ว่าวัสดุนั้นไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ ยังบ่งบอกถึงการเปียก (wettability) การยึดติด (adhesion) และพลังงานผิว (surface energy) ที่ต่ำ แต่ถ้าหยดน้ำมีมุมสัมผัสขนาดเล็ก บ่งบอกว่าวัสดุนั้นชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งจะมีการเปียก การยึดติด และพลังงานผิวที่สูง ลักษณะการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ

5.4.2 การดูดซึมน้ำ (water absorption) หมายถึง ปริมาณของน้ำเป็นกรัมที่กระดาสซึ่งมีพื้นที่ 1 ตารางเมตร สามารถดูดซึมได้ภายในเวลาที่กำหนด สมบัตินี้สามารถใช้ในการทดสอบความสามารถในการดูดซึมของเหลวในกระดาส วิธีการทดสอบที่มักใช้คือ “คอบบี้ เทส” (cobb test) ซึ่งเป็นการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3285-93

5. น้ำมันกานพลู

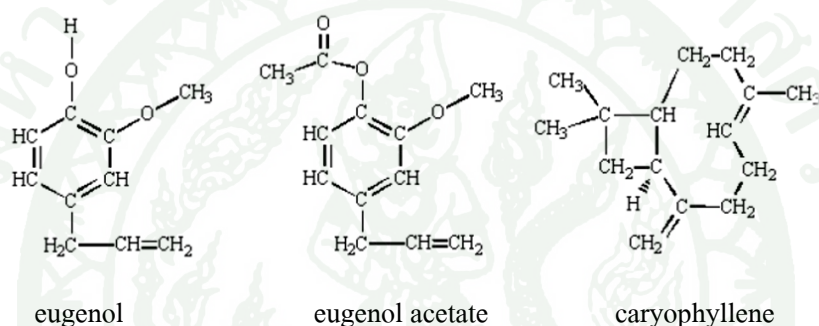
เป็นน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่น โดยใช้ไอน้ำจากต้นกานพลู ซึ่งมีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Syzygium aromaticum*, *Eugenia aromaticum* หรือ *Eugenia caryophyllata* ซึ่งมีถิ่นกำเนิดที่ฟิลิปปินส์, หมู่เกาะสุมาตรา, จาไมกา, บราซิล รวมทั้งประเทศอื่นๆ ที่มีที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น (Simonetti, 1991) โดยสมบัติของน้ำมันกานพลูแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำมันกานพลู

สมบัติ	ข้อมูลจำเพาะ
ลักษณะปรากฏ	เป็นของเหลวที่ไม่มีสี มีสีเหลืองอ่อน หรือ สีน้ำตาลอ่อน
ความหนาแน่น	1.045 g/ml ที่ 25 °C
จุดเดือด	251 °C
ลักษณะทางประสาทสัมผัส	มีกลิ่นฉุน (strong and spicy smell)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Anonymous (2005)

นอกจากนี้ ในน้ำมันกานพลูยังพบองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ยูจีนอล ยูจีนอลอะซิเตท (eugenol acetate) แครีโอฟิลลิน (caryophyllene) โครงสร้างทางเคมีแสดงดังภาพที่ 4 โดยมี ยูจีนอล เป็นองค์ประกอบหลัก มีปริมาณร้อยละ 60-90 นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น อะซิetyl ยูจีนอล (acetyl eugenol) เบต้า แครีโอฟิลลิน (beta-caryophyllene) วานิลลิน (vanillin) แทนนิน (tannins) แกลโลแทนนินแอซิด (gallotannic acid) และเมทิลซาลิไซเลต (methyl salicylate) ซึ่งเป็นสารยับยั้งความเจ็บปวด เป็นต้น เนื่องจากน้ำมันกานพลูประกอบด้วย ยูจีนอล ร้อยละ 60-90 จึงทำให้น้ำมันหอมระเหยดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติ ด้านการเจริญของเชื้อรา (antifungal) (Bennis *et al.*, 2004) ยับยั้งความรู้สึก (anesthetic) (Chaieb *et al.*, 2007) ด้านการเจริญของเชื้อ (antiseptic) และยับยั้งการอักเสบ (inflammation) (Pongprayoon *et al.*, 1991)



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบของน้ำมันกานพลู

ที่มา: Ayoola *et al.* (2008)

และจากในหลายๆการทดลองพบว่า น้ำมันกานพลูมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา จุลินทรีย์ในอาหารที่ก่อให้เกิดโรค รวมทั้งแบคทีเรียชนิดอื่นๆ เช่น ในการศึกษาของ Gupta *et al.* (2008) ซึ่งได้ศึกษาความสามารถของน้ำมันที่ได้จากสมุนไพรในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคจากอาหาร ซึ่งน้ำมันสกัดจากกานพลูสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ *S. aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Bacillus spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Micrococcus luteus*, *E. coli*, *Klebsiella spp.* ซึ่งมี MICs (minimum inhibitory concentrations) เท่ากับ ร้อยละ 2.5 โดยปริมาตร

Smith-Palmer *et al.* (1997) ได้ศึกษาถึงความสามารถของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 5 ชนิด ที่สามารถปนเปื้อนในอาหารและทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ ได้แก่ *Campylobacter jejuni*, *Salmonella Enteritidis*, *E. coli*, *S. aureus* และ *L. monocytogenes* และ

จากงานวิจัยนี้ พบว่า น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จาก เบย์ (*Laurus nobilis*) อบเชย (*Cinnamomum verum*) กานพลู และ ไทม์ (*Thymus vulgaris*) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งการเจริญของ เชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทั้ง 5 ชนิด ที่ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเพียง ร้อยละ 0.075 โดยปริมาตร

Moreira *et al.* (2005) ได้ศึกษาผลของกิจกรรมการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยต่างๆ ดังนี้ ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus globules*) ทีทรี (*Melaleuca alternifolia*) โรสแมรี่ (*Rosmarinus officinalis*) มินต์ (*Mentha piperita*) โรซา มอสชาตาร์ (*Rosa moschata*) กานพลู เลมอน (*Citrus limonum*) ออริกาโน (*Origanum vulgare*) ไพน์ (*Pinus sylvestris*) และ โหระพา (*Ocimum basilicum*) ที่มีต่อ *E.coli* O157:H7 ซึ่งน้ำมันหอมระเหยที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือน้ำมันกานพลู โดยใช้ในปริมาณเพียง 0.25 มิลลิลิตรต่อ 100 มิลลิลิตร ในการทดสอบหาค่า MICs และใช้ในปริมาณเพียง 0.3 มิลลิลิตรต่อ 100 มิลลิลิตร ในการทดสอบ minimum bactericidal concentration (MBC) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hammer *et al.* (1999) ที่กล่าวว่า ค่า MICs ของน้ำมันกานพลู เท่ากับ ร้อยละ 0.25 ในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* และยังมีอีกหลายงานวิจัย ซึ่งได้นำน้ำมันกานพลูไปประยุกต์ใช้กับอาหาร บรรจุภัณฑ์ รวมทั้งทางด้านการเกษตร ดังนี้

Menon and Garg (2001) ได้ศึกษาความสามารถของน้ำมันกานพลูในการยับยั้งการเจริญของ *L. monocytogenes* ในเนื้อและชีส ซึ่งพบว่า น้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 และ ร้อยละ 1.0 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อดังกล่าว บนอาหารทั้ง 2 ชนิดได้ และจากรายงานของ Smith-Palmer *et al.* (1997) ระบุไว้ว่า ปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยสูงสุดที่เลือกใช้ คือ ที่ร้อยละ 1 เพราะถ้าใช้ในปริมาณความเข้มข้นที่สูงกว่านี้ อาจส่งผลกระทบต่อารยอมรับของผู้บริโภคในกรณีที่ใช้กับอาหาร

Matan *et al.* (2006) ได้นำน้ำมันกานพลู ผสมกับ น้ำมันอบเชย เพื่อทดสอบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง ดังนี้ เชื้อรา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Aspergillus flavus*, *Penicillium roqueforti*, *Mucor plumbeus* และ *Eurotium* spp. และ ยีสต์ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Debaryomyces hansenii*, *Pichia membranaefaciens*, *Zygosaccharomyces rouxii* และ *Candida lipolytica* รวมทั้งแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *S. aureus* และ *Pediococcus halophilus* จากการทดลองพบว่า *A. flavus* สามารถต้านทานต่อน้ำมันหอมระเหยได้มากที่สุด โดยต้องใช้น้ำมันหอมระเหยทั้งสองผสมกันในอัตราส่วน 1:1 เป็นปริมาณ 4000 ไมโครลิตร ในการยับยั้งการเจริญ

Mytle *et al.* (2004) ได้ศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *L. monocytogenes* ในไส้กรอกไก่พร้อมบริโภค (ready to eat chicken frankfurters) ของน้ำมันกานพลู พบว่า ที่ปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันกานพลูร้อยละ 1 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อดังกล่าวได้

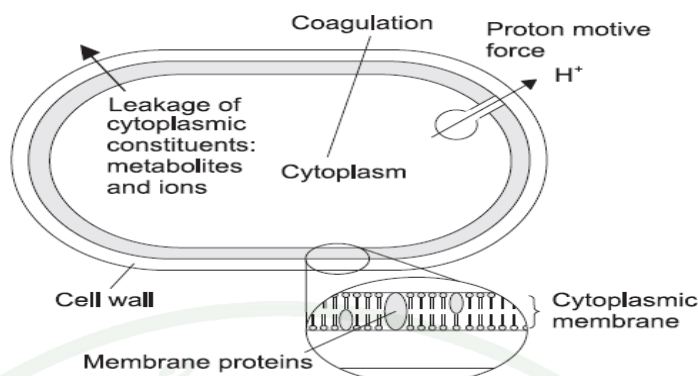
อุดมลักษณ์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันกานพลูน้ำมันอบเชย ในการยับยั้งเชื้อราซึ่งก่อให้เกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวขององุ่น 6 ชนิด ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Alternaria alternata*, *Collectotrichum gloeosporioides*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Phomopsis viticola* และ *Rhizopus stolonifer* พบว่า น้ำมันกานพลู สามารถยับยั้งเชื้อดังกล่าวได้ โดยค่าความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันกานพลูในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราทั้ง 6 ชนิด คือที่ 200, 200, 400, 800, 200 และ 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

6. กลไกการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหย

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหย คือ ไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้ ส่งผลให้น้ำมันหอมระเหยสามารถที่จะแทรกตัวไปในชั้นไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ของแบคทีเรียได้ ซึ่งเป็นการรบกวนโครงสร้างของเซลล์ และยังทำให้ง่ายต่อการผ่านเข้าออกของสารภายในเซลล์ได้ จึงเป็นสาเหตุของการรั่วซึมของไอออน และสารอื่นๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ ส่งผลให้เซลล์นั้นตาย

โดยทั่วไปแล้ว น้ำมันหอมระเหยที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ นั้น จะประกอบไปด้วยสารประเภทฟีนอลิก (phenolic compound) ในปริมาณที่สูง เช่น คาร์วาครอล (carvacrol) ยูจีนอล และ ไทมอล (thymol) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกดังกล่าวนี้ จะรบกวนในส่วนของไซโทพลาสซึมเมมเบรน (cytoplasmic membrane) ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของการส่งผ่านอิเล็กตรอนและโปรตรอน รวมทั้งสารสำคัญอื่นๆ และยังส่งผลให้เกิดการตกตะกอนขององค์ประกอบภายในเซลล์ ซึ่งกลไกต่างๆ ได้แสดงดังภาพที่ 5

นอกจากนี้ยังพบว่า ยูจีนอล ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันกานพลู มีความสามารถในการยับยั้งการผลิตเอนไซม์ อะไมเลส (amylase) และ โปรติเอส (proteases) ใน *B. cereus* และ หมูไฮดรอกซิลใน ยูจีนอล สามารถจับกับโปรตีน ซึ่งส่งผลให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยากับเอนไซม์ ใน *Enterobacter aerogenes* (Burt, 2004)



ภาพที่ 5 ผลของน้ำมันหอมระเหยที่มีต่อเซลล์ของแบคทีเรีย

ที่มา: Burt (2004)

7. สตาร์ช (starch)

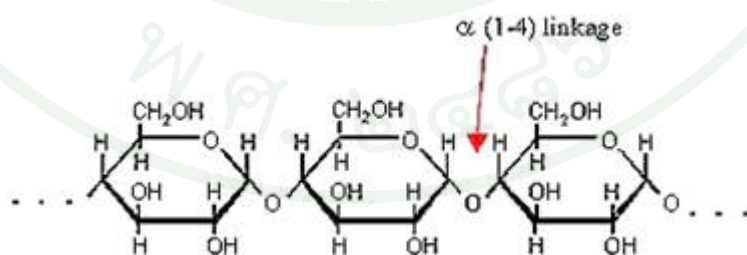
สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก มีสูตรเคมีทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชมีหน่วยพื้นฐานเป็นแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลสตาร์ชจะมี anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของสตาร์ชจะมีด้านปลาย ที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (reducing end) นั่นคือ สตาร์ชหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลของสตาร์ชแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพกทินซึ่งมีขนาดใหญ่ และมีกิ่งก้านสาขามาก โดยสมบัติของอะไมโลสและ อะไมโลเพกทินแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α -1,4	โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะ α -1,6
ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
เมื่อให้ความร้อนสารละลายสตาร์ชจะมี ความข้นหนืดน้อย	ข้นหนืดมากและใส
ให้น้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้น และแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

7.1 อะไมโลส (amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 - glycosidic linkage ดังภาพที่ 6 อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย

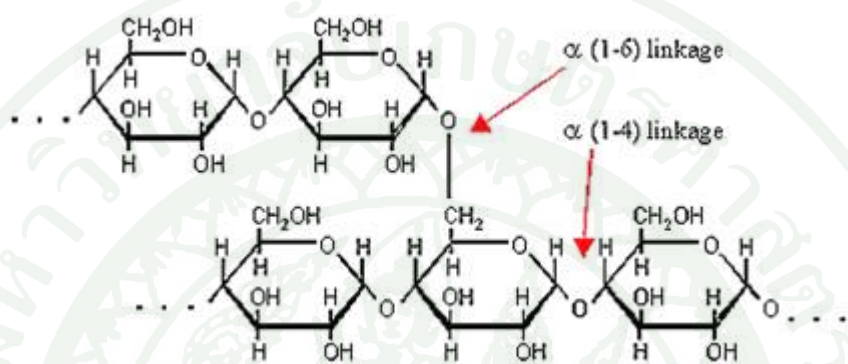


ภาพที่ 6 โครงสร้างอะไมโลส

ที่มา: คุชฎี และ นื่องนุช (ม.ป.ป.)

7.2 อะไมโลเพคติน (amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ α -1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 6-glycosidic linkage ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา: คุชฎี และ นื่องนุช (ม.ป.ป.)

สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้ สตาร์ชถูกใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่กระดาษ และเป็นสารกันซึม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพิ่มความต้านทานน้ำให้แก่กระดาษ ในปัจจุบันพบว่า ความต้องการสตาร์ชมีเพิ่มขึ้น สืบเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมกระดาษอย่างรวดเร็ว กอปรกับการแข่งขันกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ รวมทั้งแรงผลักดันในเรื่องของสิ่งแวดล้อม (Guan *et al.*, 2008)

ในการใช้งานในอุตสาหกรรม สตาร์ชธรรมชาติ โดยทั่วไปมีคุณสมบัติบางประการไม่เหมาะกับการใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดแคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ต่ำ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อความต้องการในการใช้งาน เช่น ในอุตสาหกรรมกระดาษ สตาร์ชที่ได้จากมันสำปะหลังดิบจะเหนียวเกินกว่าที่เครื่องเคลือบจะทำงานได้ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติสตาร์ช เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในรูปแบบของสตาร์ชดัดแปร

8. สตาร์ชดัดแปร (modified starch)

สตาร์ชดัดแปร คือ สตาร์ชที่ได้จากการนำสตาร์ชในธรรมชาติ เช่น สตาร์ชที่ได้จาก มันสำปะหลัง ข้าวโพด มันฝรั่ง และข้าวสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมี หรือฟิสิกส์ด้วยความร้อน หรือ เอนไซม์ หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ คุณสมบัติของสตาร์ชดัดแปรที่ต้องการ เช่น ทำให้คงต่อสภาวะในการผลิตได้ดีขึ้น การเกิดเจลลาตินไนซ์ การคืนตัวและการสูญเสีย น้ำของเจลลดลง ลักษณะของเนื้อเจลดีขึ้น มีคุณสมบัติความเหนียวเพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำหรือความสามารถในการผสมกับตัวทำละลายอื่นๆ เพิ่มขึ้น ตัวอย่างของสตาร์ชดัดแปรที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาศ

8.1 สตาร์ชที่ดัดแปรด้วยกรด (acid-thinned starch)

สามารถผลิตได้โดยการนำสตาร์ชที่กระจายตัวในน้ำ มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาตินไนซ์ (40-60 องศาเซลเซียส) แล้วเติมกรด ซึ่งกรดที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดเกลือ และกรดกำมะถัน ซึ่งสตาร์ชที่ได้จากการดัดแปรด้วยกรด จะมีขนาดของโมเลกุลที่สั้นลง ส่งผลให้ paste จากสตาร์ชดัดแปรนี้มีความหนืดขณะร้อน (hot paste viscosity) ที่ต่ำกว่าสตาร์ชดิบ ทำให้สามารถเตรียม paste ที่ความเข้มข้น (solid content) สูงขึ้นได้ และสตาร์ชที่ดัดแปรด้วยกรด เมื่อเย็นตัวลงจะมีแนวโน้มการเกิดการคืนตัว (retrogradation) ที่สูง จึงเกิดการฟอร์มเจลได้เร็ว และให้เจลที่มีลักษณะแข็ง สตาร์ชดัดแปรด้วยกรดนี้ใช้ในการเคลือบกระดาศเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่กระดาศ ช่วยให้ผิวหน้ากระดาศเรียบและกันการซึมผ่านของน้ำหมีก ทำให้มีคุณสมบัติในการพิมพ์ที่ดี (ไชยรัตน์, 2544)

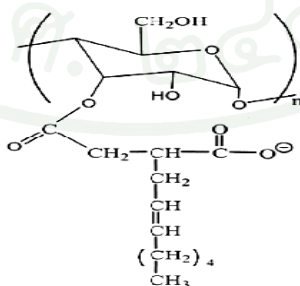
8.2 สตาร์ชออกซิไดซ์ (oxidized starch)

เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสตาร์ชที่กระจายตัวในน้ำกับสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยในการเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิมักจะถูกควบคุมให้อยู่ระหว่าง 30-35 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ คุณสมบัติของสตาร์ชออกซิไดซ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเข้มข้นของสารออกซิไดซ์ ระดับความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการออกซิเดชันส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนโมเลกุลของสตาร์ช โดยที่หมู่

ไฮดรอกซิลจะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่คาร์บอนิล หรือคาร์บอกซิล ได้สตาร์ชมีลักษณะเป็นประจุลบ (anionic starch) และโมเลกุลของสตาร์ชจะมีขนาดที่สั้นลง ซึ่งส่งผลให้ paste ของสตาร์ช ออกซิไดซ์มีความหนืดต่ำขณะร้อน แต่เมื่อเย็นตัวลง paste ของสตาร์ชออกซิไดซ์มีอัตราการคืนตัว ก่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลบนโมเลกุลของสตาร์ช ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดพันธะ ไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสตาร์ช ดังนั้น เจลที่ได้จากสตาร์ชชนิดนี้ จึงมีความคงตัวสูง และมี ลักษณะนุ่ม (soft gel) และใสกว่าเจลที่ได้จากสตาร์ชซึ่งตัดแปรด้วยกรด และสตาร์ชออกซิไดซ์นี้ ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยใช้เคลือบกระดาษ เพื่อให้ผิวหน้าเรียบและ แข็งแรง รวมทั้งช่วยป้องกันการซึมผ่านของน้ำหมึก (ไชยรัตน์, 2544)

8.3 ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (hydrophobic starch)

เป็นสตาร์ชตัดแปรอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งถูกตัดแปรทางเคมีเพื่อให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ตัวอย่างของไฮโดรโฟบิกสตาร์ช คือ สตาร์ชที่ผลิตได้จากกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) ด้วยสาร ออกทนิล ซัคซินิก แอนไฮไดร (octenyl succinic anhydride; OSA) เป็นต้น การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ฟังก์ชันต่างๆ จะเกิดขึ้นที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ภายในโมเลกุลของกลูโคส (Nilsson and Bergenstahl, 2006) และเกิดขึ้นในบริเวณ อสัณฐานของสตาร์ช การตัดแปรสตาร์ชด้วยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยโมเลกุลของ OSA จะ ได้สตาร์ชตัดแปร ออกทนิล ซัคซิเนต (octenyl-succinate modified starch; OSA starch) โครงสร้างโมเลกุล แสดงดังภาพที่ 8 ข้อดีของการมีหมู่ฟังก์ชันดังกล่าว คือช่วยรักษาสมบัติชอบน้ำของ สตาร์ชไว้ในขณะที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติไม่ชอบน้ำให้กับสตาร์ช ส่งผลให้ OSA starch มี คุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่ดีและยังมีคุณสมบัติในการเป็นฟิล์มที่ดีด้วย (ดวงทิพย์, 2550)



ภาพที่ 8 โครงสร้างโมเลกุลของ OSA starch

ที่มา: Shogren *et al.* (2000)

ส่วนมากแล้ว กระดาษที่เคลือบด้วยสตาร์ช จะมุ่งเน้นในการปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษเพื่อการพิมพ์ หรือปรับปรุงผิวหน้าของกระดาษให้เรียบ หรือเพิ่มความแข็งแรง แต่ถ้าต้องการพัฒนาคุณสมบัติทางด้านการกันการซึมผ่านแล้ว การเคลือบด้วยสตาร์ชอาจจะไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวได้มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ดังนั้นคุณสมบัติของกระดาษไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรง หรือคุณสมบัติทางด้านการกันการซึมผ่านของสาร จึงอาจเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (Gastaldi *et al.*, 2007)

9. ประเภทของบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์

บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ (antimicrobial packaging) เป็นบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟประเภทหนึ่งที่สามารถลด ชะลอหรือยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ซึ่งอาจปนเปื้อนมากับอาหารทั้งจากระบบบรรจุ หรือปนเปื้อนจากวัสดุที่ใช้บรรจุ (Appendini and Hotchkiss, 2002) ในบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร สารต้านจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกใส่ลงในพอลิเมอร์ ซึ่งทำให้วัสดุดังกล่าวสามารถยืดระยะเวลาในการเจริญของจุลินทรีย์ระยะเริ่มต้น (lag period) จึงส่งผลให้เกิดการชะลออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารได้ (Han, 2000) โดยสามารถแบ่งประเภทของบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ได้ 8 ประเภท (Suppakul, 2004) ได้แก่

9.1 ซองหรือแผ่นปลดปล่อยสารระเหย (volatile releasing sachets or pads)

ซองปลดปล่อยไอของเอทานอล เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เชิงการค้า ซองหรือแผ่นปลดปล่อยสารดังกล่าว ประกอบด้วยเอทานอลซึ่งถูกดูดซับอยู่ในวัสดุตัวพาและบรรจุในซองพอลิเมอร์ โดยเอทานอลจะซึมผ่านชั้นเลือกผ่าน และผ่านตัวช่องออกมายังบรรยากาศบริเวณรอบตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุ ตัวอย่างทางการค้าของซองปลดปล่อยเอทานอล ได้แก่ เอธิแคป (Ethicap[®]) หรือ แอนติโมลด์ไมล์ด์ (Antimold Mild[®]) โออิเทค (Oitech[™]) อีทีแพค (ET Pack) และ เฟร็ทเทค (Fretex[®]) ระบบการปลดปล่อยสารระเหยนี้มักใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ชีส และ ผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เช่น ปลาแห้ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเจริญของราในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

9.2 การพ่นก๊าซหรือแผ่นปลดปล่อยก๊าซ (gas flushing or emitting pads)

การพ่นก๊าซหรือการปลดปล่อยก๊าซสามารถควบคุมการเจริญของรา ได้แก่ *Botrytis cinerea*, *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. และ *Rhizopus* spp. ซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจำพวก ผลไม้ ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้เหล่านี้ได้ โดยการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในการต่อต้านการเจริญของรา ซึ่งสารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเสื่อมเสียขององุ่น ซึ่งได้ผลดีกว่าการฉายรังสีแกมมา หรือการฉายรังสีแกมมากับความร้อน อย่างไรก็ตาม ระบบการพ่นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถก่อเกิดปัญหาได้ เช่น เกิดการฟอกขาวของผิวองุ่น และ การตกค้างของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อย่างไรก็ตาม ได้มีการพัฒนาระบบการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ภายใต้การควบคุม พบว่าสามารถยับยั้งราได้และสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ก๊าซดังกล่าว ยังมีสารระเหยอื่น ที่ใช้ในการต่อต้านการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น อัลลิล ไอโซไทโอไซยาเนต (allyl isothiocyanate) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่ให้กลิ่นฉุนใน แบลคมัสตาร์ด (*Brassica nigra*) บราวน์มัสตาร์ด (*Brassica juncea*) และ วาซาบิ (*Eutrema wasabi* Maxim.) (Suppakul *et al.*, 2003a)

9.3 สารเคลือบหรือฟิล์มเคลือบต่อต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial coatings or coated films)

สารต้านจุลินทรีย์สามารถถูกเติมลงในสารเคลือบที่เหมาะสม เพื่อให้สารเคลือบดังกล่าวมีคุณสมบัติต่อต้านการเจริญของจุลินทรีย์ ในระยะเริ่มแรกของการพัฒนาการบรรจุแบบต่อต้านจุลินทรีย์ สารกำจัดราถูกเติมลงในไข่ เพื่อนำไปใช้เคลือบผิวผลไม้ ผัก และเนยแข็ง รวมถึงการเติมสารต้านจุลินทรีย์ดังกล่าวลงในไข่เพื่อนำมาเคลือบกระดาษ ใช้ในการห่อ ไส้กรอก และชีส (Appendini and Hotchkiss, 2002) ทั้งนี้สารต้านจุลินทรีย์ได้ถูกนำมาใช้เติมในสารเคลือบเพื่อชะลอการเจริญของยีสต์ รา และ แบคทีเรีย ระหว่างการเก็บรักษาและการกระจายสินค้า สารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้ ได้แก่ กรดอินทรีย์ (organic acids) และเกลือของกรดอินทรีย์ เนื่องจาก สารต้านจุลินทรีย์บางชนิดที่ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงในการผลิตฟิล์มพลาสติก ดังนั้น สารดังกล่าวจึงถูกเคลือบบนแผ่นฟิล์ม (Suppakul, 2004) ตัวอย่างเช่น นิสิน (nisin) ถูกนำมาเคลือบบนฟิล์มพอลิเอทิลีน (polyethylene) โดยใช้เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose)/ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose) เป็นตัวพาในการเคลือบ ซึ่งฟิล์มดังกล่าวสามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* และ *L. monocytogenes* ได้ (Suppakul *et al.*, 2003a)

9.4 ฟิล์มเกาะติดต่อต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial immobilized films)

สารต้านจุลินทรีย์สามารถเกาะติดบนพอลิเมอร์โดยอาศัยพันธะโควาเลนต์ หรือ พันธะไฮออนิก ทั้งนี้การเกาะติดจะต้องอาศัยหมู่ฟังก์ชันนอลทั้งของสารต้านจุลินทรีย์ และ พอลิเมอร์ ตัวอย่างสารต้านจุลินทรีย์ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันนอล ได้แก่ เปปไทด์ (peptides) เอนไซม์ พอลิเอมีน (polyamines) และกรดอินทรีย์ (organic acids) ตัวอย่างพอลิเมอร์ ที่ใช้ในการบรรจุอาหารและมีหมู่ฟังก์ชันนอล ได้แก่ เอทิลีนไวนิลอะซิเตท (ethylene vinyl acetate) เอทิลีนเมทิลอะคริเลท (ethylene methyl acrylate) เอทิลีนอะคริลิกแอซิด (ethylene acrylic acid) ไอออนอเมอร์ (ionomer) ไนลอน (nylon) พอลิสไตรีน (polystyrene) นอกจากนี้ การเกาะติดอาจจะต้องมี โมเลกุลตัวเชื่อมประสาน (spacer) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมพื้นผิวของพอลิเมอร์ กับสารต้านจุลินทรีย์ โดยตัวเชื่อมประสานนี้ช่วยให้มีอิสระในการเคลื่อนที่ที่เพียงพอ จึงส่งผลให้สารต้านจุลินทรีย์ สามารถสัมผัสกับจุลินทรีย์บนผิวหน้าอาหาร ตัวเชื่อมประสานที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้ สำหรับการบรรจุแบบต้านจุลินทรีย์ ได้แก่ เดกซ์แทรน (dextrans) พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethyleneglycol) เอทิลีนไดเอมีน (ethylenediamine) และ พอลิเอทิลีนอิมีน (polyethyleneimine) เนื่องจากตัวเชื่อมประสานเหล่านี้มีความเป็นพิษที่ต่ำ (Appendini and Hotchkiss, 2002)

9.5 ฟิล์มดูดซับต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial adsorbed films)

นอกจากเทคนิคการเคลือบ การดูดซับสารต้านจุลินทรีย์ในฟิล์มพลาสติกเป็นอีก ทางเลือกหนึ่ง ซึ่งเทคนิคนี้สามารถช่วยให้สารต้านจุลินทรีย์ที่ไวต่อความร้อนสามารถใช้เดิมลงไป ในฟิล์มได้ เช่น ไนซินดูดซับในพอลิเอทิลีน เอทิลีนไวนิลอะซิเตท พอลิโพรพิลีน (polypropylene) พอลิเอไมด์ (polyamide) พอลิเอทิลีนเทอเรพเทเลท (polyethylene terephthalate) นอกจากนี้ การปรับแต่งโดยใช้ตัวทำละลาย และ/หรือ โครงสร้างของพอลิเมอร์ สามารถช่วยเสริม การดูดซับสารต้านจุลินทรีย์ได้ เช่น ฟิล์มพอลิเอทิลีน-โค-เมทาคริลิกแอซิด (poly(ethylene-co-methacrylic acid)) ซึ่งผ่านโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการบวมตัวโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตน พบว่า สามารถเพิ่มการดูดซับและการแพร่ของกรดเบนโซอิก และกรดซอร์บิก เมื่อเปรียบเทียบกับ ฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการดังกล่าว (Appendini and Hotchkiss, 2002)

9.6 फिल्मแต่งเติมด้านจุลินทรีย์ (antimicrobial incorporated films)

สารด้านจุลินทรีย์สามารถเติมลงไปในวัสดุบรรจุอย่างฟิล์มได้โดยตรง เพื่อเพิ่มสมบัติด้านการเจริญของจุลินทรีย์แก่ฟิล์ม สารด้านจุลินทรีย์ที่ใช้จะมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.1-5 โดยน้ำหนัก สารด้านจุลินทรีย์อาจเติมลงในฟิล์มพอลิเมอร์ในช่วงของการหลอม หรือ กระบวนการผลิตพอลิเมอร์เชิงความร้อน เช่น การอัดรีด และ การฉีดขึ้นรูป อย่างไรก็ตามสารด้านจุลินทรีย์ที่ใช้ควรมีความเสถียรเชิงความร้อน เช่น ซิลเวอร์ซีโอไลต์ (silver zeolites) ซึ่งสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ถึง 800 องศาเซลเซียส แต่สำหรับสารด้านจุลินทรีย์ที่ไวต่อความร้อน เช่น เอนไซม์ และ สารระเหย สามารถเติมลงในวัสดุดังกล่าวได้ โดยการใช้ตัวทำละลาย ซึ่งทั้งสารด้านจุลินทรีย์และพอลิเมอร์ต้องสามารถละลายได้ในสารละลายเดียวกัน นอกจากฟิล์มแล้ว สารด้านการเจริญของจุลินทรีย์จากธรรมชาติ สามารถเติมลงในกระดาษ เทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) และ เทอร์โมเซต (thermosets) (Appendini and Hotchkiss, 2002)

9.7 สารเคลือบหรือฟิล์มด้านจุลินทรีย์โดยกำเนิด (inherently antimicrobial coatings or films)

พอลิเมอร์บางชนิดมีคุณสมบัติด้านการเจริญของจุลินทรีย์โดยกำเนิด ดังนั้นจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในสารเคลือบและฟิล์ม ซึ่งได้แก่พอลิเมอร์ที่มีประจุบวก เช่น ไคโตซาน (chitosan) และ พอลิ-แอล-ไลซีน (poly-L-lysine) เนื่องจากประจุบวกของแอมินสามารถทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับประจุลบของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้เกิดการรั่วไหลขององค์ประกอบภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ได้มีการประยุกต์ใช้ไคโตซานสำหรับการเคลือบ ผัก และ ผลไม้สด เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากเชื้อรา นอกจากนี้พอลิเมอร์ที่มีประจุบวกอย่างไคโตแซน สามารถใช้เป็นตัวแทน โดยใช้ร่วมกับสารด้านจุลินทรีย์อื่น ๆ เช่น กรดอินทรีย์ และสารสกัดจากพืช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Appendini and Hotchkiss, 2002)

9.8 फिल्मด้านจุลินทรีย์ดัดแปรพื้นผิว (surface modified antimicrobial films)

พอลิเมอร์สามารถปรับปรุงก่อให้เกิดคุณสมบัติด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของฟิล์มได้โดยการดัดแปรพื้นผิว เช่น การดัดแปรฟิล์มพอลิเอไมด์ด้วยรังสียูวี ส่งผลให้เกิดหมู่แอมินขึ้นที่พื้นผิวฟิล์ม ซึ่งมีคุณสมบัติด้านการเจริญของจุลินทรีย์ (Appendini and Hotchkiss, 2002) นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาฟิล์มด้านการเจริญของจุลินทรีย์โดยใช้ยูวีเอ็กไซเมอร์เลเซอร์ฟิล์ม

ไนลอน 6,6 โดยผ่านการฉายรังสี ไซเลเซอร์ที่คลื่นความถี่ 193 นาโนเมตร พบว่าสามารถแสดงสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์ เนื่องจากร้อยละ 10 ของหมู่เอไมด์ถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นเอมีนซึ่งเกาะกับสายโซ่พอลิเมอร์ (Suppakul, 2004)

10. กระดาษต้านจุลินทรีย์

กระดาษต้านจุลินทรีย์ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1985 เพื่อใช้ในการแพทย์เป็นหลัก ซึ่งสารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้จะเป็นสารประเภทอนินทรีย์ เช่น halogenated aromatic nitriles, dichlorophene (Intili, 1985) แต่ในปัจจุบัน พบว่า มีการพัฒนากระดาษให้มีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ นอกเหนือจากการแพทย์ เช่น Rordrigues *et al.* (2008) ซึ่งได้พัฒนากระดาษต้านจุลินทรีย์โดยใช้น้ำมันหอมระเหยอบเชย โดยใช้สารเคลือบคือ พาราฟิน (paraffin) และได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษต้านจุลินทรีย์ดังกล่าวกับ *R. stolonifer* โดยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหี่ยวเหี่ยว พบว่า ปริมาณน้ำมันอบเชยที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก สามารถยับยั้งเชื้อราดังกล่าวได้ และเมื่อนำไปทดสอบกับขนมปัง พบว่า ภายหลังจากระยะเวลาการเก็บรักษา 3 วัน กระดาษต้านจุลินทรีย์สามารถยับยั้งการเจริญของรา *R. stolonifer* บนขนมปัง

Arfa *et al.* (2007a) ได้พัฒนากระดาษต้านจุลินทรีย์โดยใช้ ซอยโปรตีน ไอโซเลต (soy protein isolates; SPI) ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นสารเคลือบซึ่งทำหน้าที่เก็บกักสารต้านจุลินทรีย์ คือ คาร์วาครอล ปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ในลักษณะของ อินคลูชัน แมทริกซ์ (inclusion matrix) และนอกจากซอยโปรตีน ไอโซเลต แล้ว Arfa *et al.* (2007b) ได้พัฒนากระดาษต้านจุลินทรีย์โดยใช้ ซอยโปรตีน ไอโซเลต (soy protein isolates; SPI) และ สตาร์ชดัดแปร ออกทินิล ซัคซิเนต เป็นสารเคลือบเพื่อเก็บกักสารต้านจุลินทรีย์ ได้แก่ คาร์วาครอล และ อบเชย พบว่า กระดาษต้านจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* และ *B. cinerea*

อุดมลักษณ์ และคณะ (2544) ได้พัฒนากระดาษต้านจุลินทรีย์ โดยใช้กระดาษฟางข้าวมาเคลือบด้วยสารละลายน้ำมันอบเชย พบว่า กระดาษฟางข้าวที่เคลือบด้วยสารละลายน้ำมันอบเชย ความเข้มข้นร้อยละ 2 สามารถต้านการเจริญของเชื้อรา *A. niger*, *Eurotium* spp. และ *Penicillium carmemberti* ซึ่งเป็นสาเหตุการเสื่อมเสียของผลไม้กวนได้อย่างสมบูรณ์และเมื่อนำกระดาษดังกล่าวมาใช้ในการเก็บรักษาทุเรียนกวน พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษาทุเรียนกวนที่

อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 70 วัน เมื่อทำการศึกษาการยอมรับกระดาดฟางข้าวเคลือบน้ำมันอบเชยของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับกระดาดฟางข้าวเคลือบน้ำมันอบเชยร้อยละ 89.3

11. จุลินทรีย์

เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหาร และเป็นสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของผู้บริโภค รวมทั้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ลดระดับความเชื่อมั่นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้จุลินทรีย์สามารถที่จะปนเปื้อนสู่อาหารได้ และในกรณีเกิดการปนเปื้อนในปริมาณที่มาก ย่อมก่อให้เกิดความเสียหายที่มากเช่นกัน เช่น ในกรณีของการเกิดการปนเปื้อนจาก *E. coli* จากบรรจุภัณฑ์ของผักโขม ในสหรัฐอเมริกา (Rodrigues et al., 2007)

11.1 *Escherichia coli* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ ขนาด 2×0.5 ไมโครเมตร สามารถเจริญได้ในสภาพที่มีอากาศและไม่มีอากาศ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 37 องศาเซลเซียส และอาจสูงถึง 49 องศาเซลเซียส ในช่วงพีเอช 4.4 - 8.5 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity, a_w) ต่ำที่สุดที่สามารถเจริญได้คือ 0.95 เชื้อชนิดนี้ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ อาการอุจจาระร่วง เป็นเชื้อที่บ่งชี้ถึงการปนเปื้อนที่เกี่ยวข้องกับระบบขับถ่าย (อุจจาระ) ในอาหารหรือเครื่องดื่ม เช่น เนื้อสัตว์ นมดิบ ผักสด (วิลาวัณย์, 2539)

11.2 *Bacillus cereus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ลักษณะเป็นรูปท่อนตรง เคลื่อนที่ได้ สามารถสร้างสปอร์และสร้างสารพิษ โดยจะขับสารพิษออกมาขณะปนเปื้อนอยู่ในอาหาร ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญอยู่ระหว่าง 30 - 37 องศาเซลเซียส แต่ในบางสายพันธุ์สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ 4 - 5 องศาเซลเซียส ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 6 - 7 ช่วงวอเตอร์แอคทิวิตี มากกว่า 0.92 เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน และจะสร้างสารพิษเมื่ออยู่ภายใต้สภาพที่มีออกซิเจนน้อย สปอร์ของแบคทีเรียชนิดนี้ทนความร้อนปานกลาง ทนต่อสภาวะแห้งเยือกแข็ง และสภาวะแห้ง แบคทีเรียชนิดนี้สามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์จากพืช เช่น ข้าว ธัญพืช ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ รวมทั้งอาหารจำพวกสตรอว์เบอร์รี่ เช่น มันฝรั่ง พาสต้า และผลิตภัณฑ์เนยแข็ง รวมทั้งอาหารปรุงแต่ง เช่น ซอส พุดดิ้ง ซุป ลูกชิ้น พาย และสลัด นอกจากนี้ *B. cereus* สามารถที่จะปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์กระดาดฟางข้าวได้ (Suominen et al., 1997)

11.3 *Staphylococcus aureus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกไม่เคลื่อนที่ ไม่สร้างสปอร์ ลักษณะโคโลนีกลม ขอบเรียบ ฐาน มีสีครีม เหลือง ส้ม (ขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์บอนในเซลล์ เมมเบรน รวมถึงอุณหภูมิ อาหารเลี้ยงเชื้อ และสภาวะแวดล้อมที่ทำให้เชื้อเจริญ) สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 6 – 46 องศาเซลเซียส โดยมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 – 37 องศาเซลเซียส ทนความ ค่าพีเอชที่สามารถเจริญได้อยู่ในช่วง 4.0 – 10.0 ส่วนค่าอัตราการแตกตัวดี อยู่ในช่วง 0.85 – 0.999 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม facultative anaerobe คือ สามารถเจริญได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน มากกว่าในสภาพไม่มีออกซิเจน *S. aureus* เป็นเชื้อที่สามารถพบได้ที่ผิวหนัง โพรงจมูก เชื้อบุทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร และบาดแผลที่เป็นฝี หนอง รวมถึงในดิน ฟันละออง และสามารถปนเปื้อนในอาหารได้แก่ เนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อ เนื้อสัตว์ปีกและผลิตภัณฑ์จากไข่ อาหารประเภท สลัด เช่น ไข่ พูน่า เนื้อไก่ มันฝรั่ง และมักกะโรนี ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ครีมพาย เอแคลร์ ช็อกโกแลต แชนวิช และผลิตภัณฑ์นม (นงลักษณ์ และปรีชา, 2541)

12. การทดสอบความไวของจุลินทรีย์ต่อสารต้านจุลินทรีย์

การทดสอบความไวของจุลินทรีย์ต่อสารต้านจุลินทรีย์มีหลายวิธี สำหรับวิธีที่ได้รับความนิยมในการทดสอบกับสารต้านจุลินทรีย์ประเภทน้ำมันหอมระเหย (Pauli, 2006) ได้แก่ 3 วิธีดังนี้

12.1 การให้ซึมผ่านในอาหารวุ้น (agar diffusion test)

วิธีการทดสอบความไวของจุลินทรีย์ต่อสารต้านจุลินทรีย์ ด้วยวิธีการแพร่ผ่านในอาหารวุ้นนี้ สารต้านจุลินทรีย์ประเภทน้ำมันหอมระเหย หรือสารประกอบของน้ำมันหอมระเหย จะถูกใส่ไว้ในส่วนที่สามารถกักเก็บสารดังกล่าวไว้ได้ ซึ่งอาจจะเป็นหลุมที่ถูกเจาะในตัวอาหารวุ้นเลี้ยงเชื้อ หรืออาจจะถูกดูดซับไว้ด้วยแผ่นกระดาษ ในขณะที่เชื้อจุลินทรีย์ทดสอบจะถูกเลี้ยงให้เจริญบนผิวของอาหารวุ้น ซึ่งเมื่อครบกำหนดระยะเวลาในการบ่มเชื้อแล้ว บริเวณในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อาจเกิดขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสองปัจจัยหลักคือ ความสามารถของสารต้านจุลินทรีย์ที่สามารถแพร่และแทรกซึมผ่านตัวอาหารวุ้น และสองคือ สารต้านจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถที่จะยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งในบางกรณีที่สารต้านจุลินทรีย์ไม่สามารถที่จะแพร่และแทรกซึมผ่านวุ้นของอาหารเลี้ยงเชื้อได้ ดังนั้นจึงไม่เกิดการยับยั้ง เช่น ในกรณีของ ฟานโซล (farnesol) ซึ่งไม่ปรากฏบริเวณการยับยั้ง แต่สารต้านจุลินทรีย์ดังกล่าว มีประสิทธิภาพสูงในการต้านการเจริญของ *B. subtilis*

12.2 การเจือจางในอาหารวุ้น (agar dilution test)

วิธีการทดสอบความไวของจุลินทรีย์ต่อสารต้านจุลินทรีย์ ด้วยวิธีการเจือจางในอาหารวุ้น สารต้านจุลินทรีย์ตัวอย่างจะผสมในอาหารวุ้น และเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบถูกเพาะเลี้ยงให้เจริญบนผิวหน้าของอาหาร หลังจากการบ่ม สามารถทราบความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดของสารต้านจุลินทรีย์ที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บนผิวหน้าอาหารวุ้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

12.3 การเจือจางในอาหารเหลว (serial dilution test)

วิธีการเจือจางในอาหารเหลว สารต้านจุลินทรีย์ประเภทน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ทดสอบจำเป็นต้องมีการเติมแอลกอฮอล์ หรือสารลดแรงตึงผิว โดยเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบถูกเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว หลังจากเวลาบ่มเพาะเชื้อจุลินทรีย์ตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว สามารถประเมินความเข้มข้นต่ำสุดของสารต้านจุลินทรีย์ MICs ในหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า เปรียบเทียบกับตัวควบคุม ซึ่งหลอดของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่เกิดการยับยั้งการเจริญจะมีลักษณะที่ขุ่นกว่า หลอดของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ถูกยับยั้งการเจริญด้วยสารต้านจุลินทรีย์ นอกจากนี้ด้วยวิธีการนี้สามารถทราบถึงความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ minimal microbicidal concentration (MMC) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อที่เชื่อถูกทำลายด้วยสารต้านจุลินทรีย์ มีลักษณะใส กล่าวคือ ไม่มีเซลล์ของจุลินทรีย์ที่สามารถเติบโตได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

- 1.1 กระดาษแข็งประเภท duplex board ที่มีค่าน้ำหนักมาตรฐาน 300 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท กระดาษสหไทย จำกัด
- 1.2 กระดาษกราฟที่มีค่าน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งสั่งซื้อจาก บริษัท สยามกราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด
- 1.3 กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ที่มีค่าน้ำหนักมาตรฐาน 60 กรัมต่อตารางเมตร
- 1.4 ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (hydrophobic starch, Filmkote 370™)
- 1.5 น้ำมันกานพลู (*Eugenia aromaticum*) (Sigma-Aldrich, Singapore)

2. จุลินทรีย์

- 2.1 *Bacillus cereus* DMST 5040 (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, ประเทศไทย)
- 2.2 *Escherichia coli* DMST 4212 (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, ประเทศไทย)
- 2.3 *Staphylococcus aureus* DMST 8840 (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, ประเทศไทย)

3. อาหารเลี้ยงเชื้อ

- 3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับแบคทีเรีย (nutrient broth) (Merk, Germany)
- 3.2 ฐันผง (agar powder, Chili)
- 3.3 พาราฟิล์ม (Parafilm™, USA)

4. สารเคมี

- 4.1 ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Sigma-Aldrich Laborchemikalien GmbH, Germany)
- 4.2 โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Fluka chemie, Switzerland)

4.3 โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟส (Fluka chemie, Switzerland)

4.4 เอทานอล (ethanol 95%, Merck, Germany)

5. เครื่องมือ

5.1 จานเพาะเชื้อ (Griener, Germany)

5.2 ตัวเจาะหลุมวุ้น (cork boror) เบอร์ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

5.3 ไมโครปิเปต (Axygen, USA)

5.4 หม้อนึ่งความดัน (Huxley model HL-340, USA)

5.5 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany)

5.6 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (Binder model KBF 240, Germany)

5.7 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Contherm model CAT 180, New Zealand)

5.8 ตู้ปลอดเชื้อ (ISSCO laminar flow model VS-123, USA)

5.9 เครื่องผสม (Vortex mixer model CTL 107, Canada)

5.10 เครื่องไฮโมจิโนเซอร์ (model AN-10, Japan)

5.11 เครื่องวัดความหนา (Mitutoyo model ID-C112BS, Japan)

5.12 เครื่องวัดสี (Minolta CR-310, Japan)

5.13 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Sartorius model BP2110S, Germany)

5.14 เครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง (Shimadzu BX300, Japan)

5.15 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius model BP110S, Germany)

5.16 เทอร์โมมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียส

5.17 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (MACOH, England)

5.18 hotplate และ stirrer (Stuart Scientific, UK)

5.19 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (PHILIP XL30, Finland)

5.20 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Mullen, USA)

5.21 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวน (Testometric Micro 350, England)

5.22 เครื่องวัดมุมผิวสัมผัส (DataPhysics Instruments GmbH model OCA 15EC, Germany)

5.23 เครื่องเคลือบกระดาษ (Film coater PI-1210, Japan)

5.24 เดซิเกตเตอร์

- 5.25 แปรง
- 5.26 ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 5.27 ลวดเขี่ยเชื้อ
- 5.27 นาฬิกาจับเวลา
- 5.28 อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 5.29 อุปกรณ์ตัดกระดาก

วิธีการ

1. การศึกษากิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ และความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันกานพลูที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์

1.1 การเจือจางน้ำมันกานพลูโดยใช้ไดเมทิลซัลฟอกไซด์

ทำการเจือจางน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5, 2.5, 1.25, 0.625 และ 0.3125 (โดยปริมาตร) ในลักษณะที่ลดลงทุก ๆ 2 เท่า โดยใช้ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethylsulfoxide; DMSO) ความเข้มข้น 30 ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร (Hili *et al.*, 1997)

1.2 การทดสอบกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ และความเข้มข้นต่ำที่สุดของน้ำมันกานพลูที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์

ทดสอบโดยดัดแปลงวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (modified agar well diffusion technique) (Chung *et al.*, 1990) โดยทดสอบกับเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ ได้แก่ *E. coli*, *B. cereus* และ *S. aureus* ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นของเซลล์จุลินทรีย์จำนวน 10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ใช้เทคนิค pour plate โดยหยดเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบลงในจานเพาะเชื้อและเทอาหารเลี้ยงเชื้อ (nutrient agar) หมุนจานเพาะเชื้อเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์และอาหารเลี้ยงเชื้อกระจายทั่วจานเพาะเชื้อ รอให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัวอย่างน้อย 30 นาที ทำการเจาะหลุมอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจุลินทรีย์ทดสอบด้วยตัวเจาะหลุมวุ้นเบอร์ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จากนั้นหยดน้ำมันกานพลูที่เจือจางด้วยไดเมทิลซัลฟอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ตามข้อ 1.1 ในปริมาณ 40 ไมโครลิตรลงในแต่ละหลุมวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจุลินทรีย์ทดสอบ (Hili *et al.*, 1997) และใช้

ไดเมทิลซัลฟอกไซด์เป็นตัวควบคุมผลเชิงลบ (negative control) จากนั้นบ่มจานเพาะเชื้อในตู้เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง ประเมินกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์โดยบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งที่เกิดขึ้น ที่มีขนาดตั้งแต่ 7 มิลลิเมตรขึ้นไป (Nascimento *et al.*, 2000) และบันทึกความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารที่ใช้ที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์ได้

2. การศึกษากิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ และความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟิสิกส์ที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์

2.1 การเตรียมสารเคลือบ

เตรียมสารเคลือบไฮโดรฟิสิกส์ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ซึ่งคำนวณจากน้ำหนักแห้งของสตาร์ช โดยผสมไฮโดรฟิสิกส์ลงในน้ำกลั่น ให้ความร้อนและกวนอย่างสม่ำเสมอ ที่ระดับอุณหภูมิ 90 ± 5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารเคลือบมีลักษณะใส จากนั้นทำการลดอุณหภูมิของสารเคลือบสตาร์ช ให้เหลือ 65 ± 5 องศาเซลเซียส ด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เติมน้ำมันกานพลู ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ ร้อยละ 15 (โดยน้ำหนักของสารเคลือบสตาร์ช) หลังจากนั้นทำการผสมด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์เป็นเวลา 1 นาที

2.2 การทดสอบกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ และความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารเคลือบน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟิสิกส์ที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์

ทำการทดสอบด้วยวิธีเดียวกับข้อ 1.2 โดยหยดน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟิสิกส์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆตามที่ได้เตรียมได้จากข้อ 2.1 ปริมาณ 40 ไมโครลิตร ลงในแต่ละหลุมวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจุลินทรีย์ทดสอบ และใช้สารเคลือบไฮโดรฟิสิกส์ความเข้มข้นร้อยละ 5 และร้อยละ 8 (โดยน้ำหนัก) เป็นชุดควบคุมผลเชิงลบ (Hili *et al.*, 1997) บ่มจานเพาะเชื้อในตู้เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง ประเมินกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์โดยบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งที่เกิดขึ้น ที่มีขนาดตั้งแต่ 7 มิลลิเมตรขึ้นไป (Nascimento *et al.*, 2000) และบันทึกความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์ของสารเคลือบน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟิสิกส์

3. การศึกษาสมบัติกระดาษ

3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

3.1.1 ปรับสภาวะกระดาษทดสอบ (Test condition, ISO 187)

3.1.2 น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ (ASTM D646-96)

3.1.3 ความหนาของกระดาษ (ASTM D645-97)

3.1.4 ปริมาณความชื้นในกระดาษ (ASTM D644-99)

3.1.5 สี (ระบบ $L^*a^*b^*$)

3.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

3.2.1 ปรับสภาวะกระดาษทดสอบ (ISO 187)

3.2.2 ความต้านทานแรงกดวงแหวน (TAPPI T818-om97)

3.2.3 ความต้านทานแรงฉีกขาด (ASTM D 774-97)

3.3 ศึกษาสมบัติต้านทานน้ำด้วยเครื่องวัดมุมผิวสัมผัส (ดัดแปลงจาก ASTM D 5946-04)

3.4 การศึกษาลักษณะผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM)

นำกระดาษทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษแข็ง duplex board กระดาษคราฟท์ และ กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเก็บไว้ในตู้ควบคุมสภาวะที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดตัวอย่างขนาด 5×5 ตาราง มิลลิเมตร นำไปเก็บในเดซิเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจากตัวอย่าง จากนั้นนำไปตรวจลักษณะผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (PHILIP XL30, Finland) ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า

4. การเคลือบกระดาษ

สารเคลือบที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 ถูกเคลือบลงบนกระดาษแข็ง duplex board และด้านหน้าของกระดาษกราฟ ที่ตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.7 เซนติเมตร สำหรับกระดาษแข็ง duplex board สารจะถูกเคลือบด้านหลัง (ด้านสีเทา) ทั้งนี้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของความสม่ำเสมอของสารเคลือบ เนื่องจากกระดาษด้านหน้าผ่านการขัดผิวและอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซึมสารเคลือบของกระดาษซึ่งจะทำให้การเคลือบขาดความสม่ำเสมอได้ นอกจากนี้ในการใช้งานจริงของสารต้านจุลินทรีย์จะต้องมีการเคลือบสารด้านในของบรรจุภัณฑ์กระดาษ โดยใช้แปรงปาดเคลือบให้ทั่วแผ่นกระดาษในทิศทางเดียวกัน โดยไม่ให้มีการปาดซ้ำตำแหน่งเดิม ควบคุมปริมาณสารเคลือบบนกระดาษโดยการสู่วัดความหนาและชั่งน้ำหนักกระดาษเคลือบ ถูกทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการเคลือบ ก่อนนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ซึ่งมีความพรุนสูง และสามารถซับสารเคลือบได้ดี จึงไม่สามารถเคลือบโดยใช้แปรงได้ และต้องใช้สารเคลือบในปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้น สารเคลือบที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 ปริมาณ 6 มิลลิลิตร จึงถูกเคลือบลงบนกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องเคลือบ Film coater รุ่น PI 1210 ดังภาพที่ 9 ภายหลังการเคลือบจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดกระดาษเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.7 เซนติเมตร ก่อนนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์



ภาพที่ 9 เครื่องเคลือบกระดาษ (Film coater PI-1210)

5. การทดสอบกระดาศหลังจากการเคลือบ

5.1 การทดสอบประสิทธิภาพของกระดาศด้านจุลินทรีย์

5.1.1 วิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเนื้อวุ้น

ทดสอบประสิทธิภาพของกระดาศด้านจุลินทรีย์ตามวิธีการของ Sanla-Ead *et al.* (2006) โดยเทวุ้นปริมาณ 15 มิลลิลิตร รอให้วุ้นแข็งตัวใช้เทคนิค spread plate โดยหยดจุลินทรีย์บริสุทธิ์ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นของเซลล์จุลินทรีย์จำนวน 50 โคโลนีต่อ มิลลิลิตร เกลี่ยให้จุลินทรีย์กระจายทั่วจานเพาะเชื้อ จากนั้นติดกระดาศด้านจุลินทรีย์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (UV) เป็นเวลา 2 นาที ด้วยเทปกาวสองหน้าไว้ใต้ฝาของจานเพาะเชื้อ และนำมาประกบกับตัวจานเพาะเชื้อและปิดผนึกโดยรอบด้วยพาราฟิล์ม บ่มจานเพาะเชื้อในตู้เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง จากนั้นประเมินกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์โดยบันทึกผลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีที่เจริญเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และรายงานผลเป็นดัชนีการต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial index) คำนวณดัชนีการต้านจุลินทรีย์โดยเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีของจุลินทรีย์ทดสอบเมื่อทดสอบด้วยกระดาศควบคุมและกระดาศด้านจุลินทรีย์ จากสูตร

$$\text{Antimicrobial index} = \frac{O_C - O_M}{O_C}$$

เมื่อ

O_C = เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเมื่อทดสอบด้วยกระดาศควบคุม

O_M = เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเมื่อทดสอบด้วยกระดาศด้านจุลินทรีย์

5.1.2 วิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์

หลังจากทดสอบกระดาศด้านจุลินทรีย์ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเนื้อวุ้น จากนั้นทำการสุมเชื้อจุลินทรีย์จำนวน 5 โคโลนี จากตำแหน่งต่างๆ ของจานเพาะเชื้อ ตำแหน่งละ 1 โคโลนี ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24

ชั่วโมง ปิเปตตัวอย่างที่บ่มแล้วปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ปริมาณ 9 มิลลิลิตร ทำการเจือจางอาหารผสมที่ได้ลงทีละ 10 เท่า ปิเปตสารละลายอาหารผสมที่เจือจาง ณ ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ลงในวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยใช้เทคนิค spread plate ประเมินกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ โดยพิจารณาจากปริมาณจุลินทรีย์ (log CFU/ml) และ รายงานผลเป็นร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ (% reduction)

5.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของกระดาษหลังการเคลือบ

กระดาษทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษแข็ง duplex board กระดาษกราฟท์ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ที่ผ่านการเคลือบเก็บไว้ในตู้ควบคุมสภาวะที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง (ISO 187) ก่อนนำมาทดสอบสมบัติในด้านต่างๆ ตามข้อ 3.1 และ 3.2 โดยกรณีของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานการทดสอบสมบัติเชิงกล จะเตรียมตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI 220 sp-01

5.3 ศึกษาสมบัติด้านทานน้ำด้วยเครื่องวัดมุมผิวสัมผัส (ดัดแปลงจากASTM D 5946-04)

5.4 การศึกษาลักษณะผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำกระดาษทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษแข็ง duplex board กระดาษกราฟท์ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเก็บไว้ในตู้ควบคุมสภาวะที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดตัวอย่างขนาด 5×5 ตาราง มิลลิเมตร นำไปเก็บในแชลิกเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจากตัวอย่าง จากนั้นนำไปตรวจลักษณะผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า

6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 15.0 for Windows

7. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษากิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ และความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันกานพลูที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์

จากการศึกษากิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลู ซึ่งถูกเจือจางด้วยไดเมทิลซัลฟอกไซด์ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ ร้อยละ 5, 2.5, 1.25, 0.625 และ 0.3125 (โดยปริมาตร) กับเชื้อจุลินทรีย์แกรมบวก *B. cereus* และ *S. aureus* และเชื้อจุลินทรีย์แกรมลบ *E. coli* โดยวิธีการแพร่ผ่านในหลุมวุ้น พบว่า น้ำมันกานพลูสามารถต้านการเจริญของ จุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดได้ ดังตารางที่ 3 โดยมีบริเวณต้านในช่วง 8.68-24.62 มิลลิเมตร โดยบริเวณการยับยั้งแสดงดังภาพที่ 10

ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันกานพลูมีสารสำคัญ คือ ยูจีนอล ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทฟีนอลิก และสารประกอบฟีนอลิกดังกล่าวนี้ จะรบกวนในส่วนของไซโทพลาสซึมเมมเบรน ส่งผลให้เกิดการผิดปกติของ การส่งผ่านอิเล็กตรอน ไอออน รวมทั้งสารสำคัญอื่นๆ และเกิดการตกตะกอนขององค์ประกอบภายในเซลล์ ส่งผลให้เซลล์ตาย (Burt, 2004) และจากการศึกษาของ Khadija *et al.* (2003) ซึ่งศึกษาฤทธิ์ของแบคทีเรียแกรมลบ และแบคทีเรียแกรมบวกอย่าง *E. coli* และ *B. subtilis* ตามลำดับ ที่มีต่อน้ำมันกานพลู และน้ำมันออริกาโน ซึ่งน้ำมันดังกล่าวทั้งสองชนิด มีสารสำคัญคือ ฟีนอลิก พบว่าเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบอย่าง *E. coli* ถูกทำลายเกิดเป็นรูในส่วน ของเปลือกหุ้ม (envelope) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเซลล์ แต่สำหรับแบคทีเรียแกรมบวกอย่าง *B. subtilis* น้ำมันดังกล่าวทำให้เกิดการผิดปกติของตัวเซลล์โดยมีรูปร่างที่ผิดปกติไปจากเดิม และจากการศึกษาของ Gill *et al.* (2004) พบว่า ยูจีนอล รบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียอย่าง *L. monocytogenes* และ *Lactobacillus sakei* ส่งผลให้เซลล์ตาย

จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาบริเวณต้านในจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด จากน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าน้ำมันกานพลูสามารถต้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบอย่าง *E. coli* ได้ดีที่สุด และมีค่าแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์ คือ ร้อยละ 1.25 โดยปริมาตร และสามารถต้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวกอย่าง *B. cereus* และ *S. aureus*

ตารางที่ 3 กิจกรรมการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลู

จุลินทรีย์	ขนาดบริเวณด้าน ¹ (มิลลิเมตร)									
	ความเข้มข้นของน้ำมันกานพลูในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (ร้อยละโดยปริมาตร)									
	5	ดัชนี ²	2.5	ดัชนี	1.25	ดัชนี	0.625	ดัชนี	0.3125	ดัชนี
แบคทีเรียแกรมบวก										
<i>B. cereus</i>	12.20±2.13 ^{ab}	1.44	9.32±1.55 ^{aA}	0.86	-	-	-	-	-	-
<i>S. aureus</i>	13.24±0.90 ^{ab}	1.63	9.68±0.85 ^{aA}	0.93	-	-	-	-	-	-
แบคทีเรียแกรมลบ										
<i>E. coli</i>	24.62±1.92 ^{bc}	3.92	16.44±4.31 ^{bb}	2.29	8.68±0.73 ^A	0.73	-	-	-	-

หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณด้านการเจริญของจุลินทรีย์จากการทดลอง 3 ซ้ำ

²ค่าดัชนีการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ โดยหุ้มน้ำมันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

- ไม่พบบริเวณด้านการเจริญของจุลินทรีย์

^{a-b}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-C}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

รองลงมา โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งของแบคทีเรียทั้งสองชนิด คือ ร้อยละ 2.5 ซึ่งสอดคล้องกับ Sulieman *et al.* (2007) ซึ่งได้ศึกษาประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลู โดยได้ทำการทดสอบกับจุลินทรีย์ต่างๆ ดังนี้ *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *Salmonella typhimurium*, *Candida albicans*, *A. niger* และ *Rhizopus nigricans* ผลการทดลองพบว่า น้ำมันกานพลูสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ทุกชนิด และสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้ดีที่สุด โดยมีบริเวณการยับยั้งที่ 25 และ 36 มิลลิเมตร

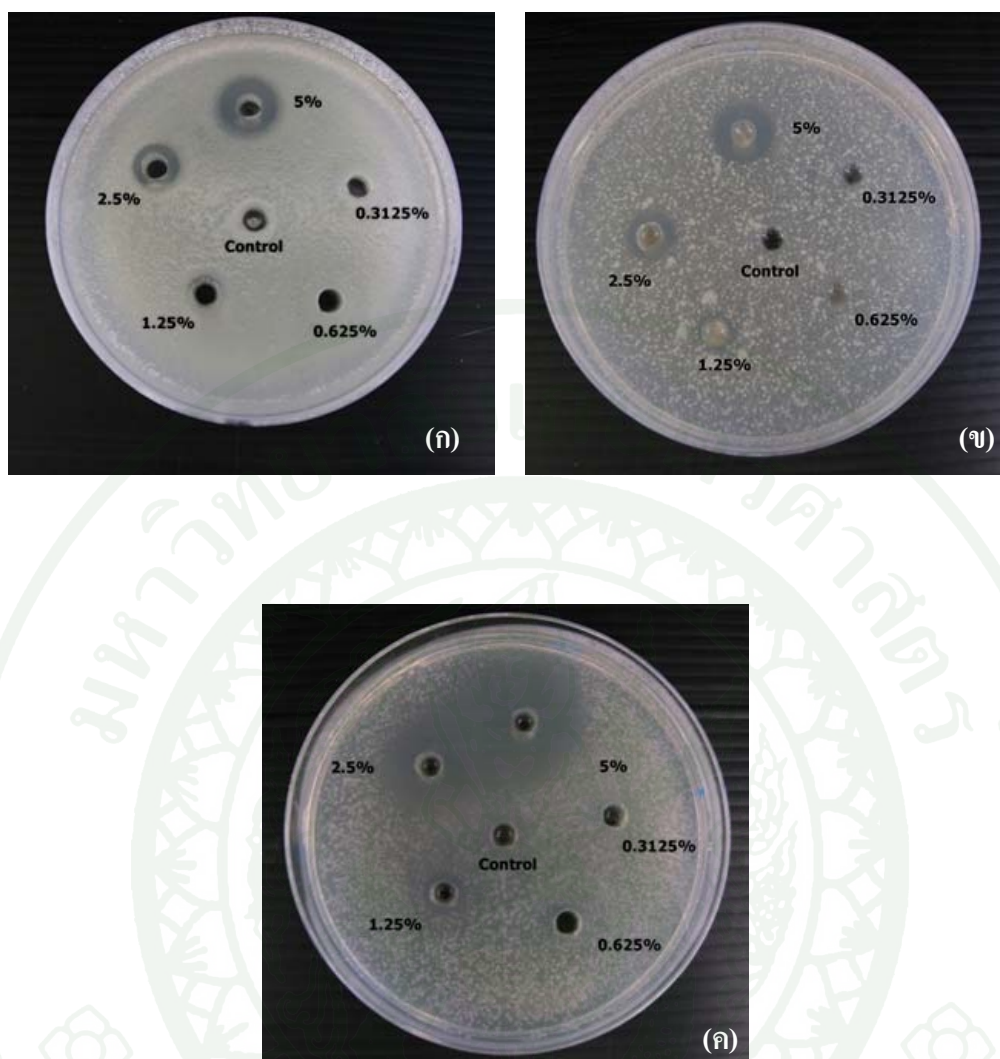
Gupta *et al.* (2008) ซึ่งได้ทำการศึกษาความสามารถของน้ำมันที่ได้จากสมุนไพรในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคจากอาหาร ซึ่งน้ำมันสกัดจากกานพลูสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ *S. aureus*, *S. epidermidis*, *B. subtilis*, *B. cereus*, *Bacillus spp.*, *L. monocytogenes*, *M. luteus*, *E. coli*, *Klebsiella spp.* ซึ่งมี MICs เท่ากับร้อยละ 2.5 โดยปริมาตร

การที่น้ำมันกานพลูสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบได้ดี ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ จะประกอบด้วยเปปติโดไกลแคน (peptidoglycan) และถัดมาคือ ชั้นนอกสุดของผนังเซลล์ (outer membrane) และชั้นนอกสุดดังกล่าวนี้ประกอบด้วยไลโปโปรตีน (lipoprotein) ฟอสโฟไลปิด (phospholipid) และ ไลโปพอลิแซ็กคาไรด์ (lipopolysaccharide) (Costerton *et al.*, 1974) น้ำมันกานพลูจึงสามารถแทรกซึมผ่านเข้าผนังเซลล์ชั้นนอกของแบคทีเรียแกรมลบได้ดีกว่า ประกอบกับชั้นเปปติโดไกลแคนของแบคทีเรียแกรมลบจะมีลักษณะที่บางกว่าแบคทีเรียแกรมบวก จึงง่ายต่อการถูกทำลาย

น้ำมันกานพลู มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ และเป็นสารระเหยได้ ส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมอัตราการระเหยของสารดังกล่าวได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้วิธีทดสอบกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ โดยวิธีแพร่ผ่านในหลุมวุ้น (Chung *et al.*, 1990) ทั้งนี้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น และด้วยคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำของน้ำมันกานพลู จึงใช้ ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ เป็นตัวทำละลายเพื่อเพิ่มการละลาย และช่วยให้สารทดสอบนี้สามารถที่จะแพร่ผ่านวุ้นได้ ทั้งนี้ความเข้มข้นของไคเมทิลซัลฟอกไซด์ ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเข้มข้นไม่เกิน 30 ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร เพื่อไม่ให้มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (Hili *et al.*, 1997) อย่างไรก็ตามพบว่าการวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้ ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างไปจากการทดลองนี้ เช่น ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ ร้อยละ 5 (Senthilkumar and Venkatesaly 2009; Senthilkumar *et al.*, 2009)

ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ ร้อยละ 10 (Tadtong *et al.*, 2009) และ ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ร้อยละ 99.5 (สุวรรณี และวลัยรัตน์, ม.ป.ป.) นอกจากนี้ยังมีการใช้ตัวทำละลายอื่นอีก เช่น เอทานอลร้อยละ 95 (Zhang *et al.*, 2009) และ เมทานอลร้อยละ 0.01 (Seongwei *et al.*, 2009)

อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของสารด้านจุลินทรีย์จำพวกน้ำมันหอมระเหย หรือสารจากธรรมชาติอื่น ๆ นั้นทำได้ยาก ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการด้านจุลินทรีย์ของสารดังกล่าว เช่น แหล่งเพาะปลูก วิธีการสกัด ฤดูกาลที่เพาะปลูก รวมทั้งจุลินทรีย์ และวิธีการที่ใช้ในการทดสอบ (Suppakul *et al.*, 2003b) ดังเช่นในการทดลองของ สุวรรณี และวลัยรัตน์ (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ของน้ำมันกานพลูทางการค้าจำนวน 5 บริษัท จากการวิเคราะห์สารประกอบด้วยวิธีแยกวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารในสภาวะก๊าซ (Gas Chromatograph Mass Spectrometer; GC-MS) พบว่า น้ำมันกานพลูจากแต่ละบริษัททางการค้ามีปริมาณสารสำคัญคือ ยูจินอล ไม่เท่ากัน โดยที่บริษัทหนึ่งมีสารประกอบหลักดังกล่าว เท่ากับ ร้อยละ 98.12 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าอีก 4 บริษัทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนบริษัทอื่น ๆ อีก 4 บริษัท มีองค์ประกอบของ ยูจินอล เป็นร้อยละดังนี้ 72.84, 84.76, 63.73 และ 91.15 โดยน้ำมันกานพลูมีค่าต่ำสุดในการยับยั้ง *E. coli* ที่ 0.938 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร และจากการศึกษาของ Santos *et al.* (2009) ได้ศึกษาสารสำคัญในองค์ประกอบของน้ำมันกานพลู คือ ยูจินอล พบว่า ตัวอย่างของน้ำมันกานพลู *S. aromaticum* L. ที่นำมาศึกษามี ยูจินอล เป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 93 และจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจาก *S. aromaticum* จากส่วนของดอกกานพลู (flower bud clove) ของ Seongwei *et al.* (2009) พบว่ามีสารยูจินอล เป็นองค์ประกอบอยู่เพียงร้อยละ 49 แต่ทั้งนี้สารดังกล่าวสามารถยับยั้งแบคทีเรียที่ได้จากสัตว์น้ำ ได้แก่ *Vibrio* spp., *Edwardsiella* spp., *Aeromonas* spp., *E. coli*, *Flavobacterium* spp., *Salmonella* spp., *Streptococcus* spp. และ *Pseudomonas* spp. และแบคทีเรียที่เป็นมาตรฐาน ได้แก่ *E. coli* (ATCC 25922), *Citrobacter freundii* (ATCC 8090), *Aeromonas hydrophila* (ATCC 49140), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 35032), *Streptococcus agalactiae* (ATCC13813), *Edwardsiella tarda* (ATCC 15947) และ *Yersinia enterocolitica* (ATCC 23715) โดยมีค่า MICs อยู่ระหว่าง 0.015 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรถึง 0.062 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร



ภาพที่ 10 บริเวณการยับยั้งของน้ำมันกานพลูต่อการเจริญของจุลินทรีย์

(ก) *B. cereus* (ข) *S. aureus* และ (ค) *E. coli*

2. การศึกษากิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ และความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์

การศึกษากิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ และความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบสตาร์ชดัดแปรประเภทไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ร้อยละ 5 และร้อยละ 8 ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่า น้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้เพียงชนิดเดียว โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญที่ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังตารางที่ 4 และ ภาพที่ 11 แต่สำหรับน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ทั้ง 3 ชนิด โดยที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบอย่าง *E. coli* ได้ดีที่สุด โดยมีค่า MICs คือ ร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก และสามารถยับยั้งการเจริญของสำหรับแบคทีเรียแกรมบวกอย่าง *B. cereus* และ *S. aureus* ได้น้อยกว่าโดยมีค่า MICs คือ ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แสดงดังตารางที่ 5 และ ภาพที่ 12 ถึงแม้ว่าน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นเดียวกับน้ำมันกานพลูในตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ แต่ประสิทธิภาพของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชมีค่าต่ำกว่า โดยมีค่าบริเวณการถูกยับยั้งและค่าดัชนีที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าบริเวณการถูกยับยั้งและค่าดัชนีของน้ำมันกานพลูใน DMSO

และการที่น้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า น้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 คาดว่าเนื่องจาก คุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำของทั้งน้ำมันกานพลู และคุณสมบัติไม่ชอบน้ำของไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ดังนั้นถ้าในสารเคลือบมีปริมาณของไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่มากขึ้น น่าจะส่งผลให้ความไม่ชอบน้ำของสารเคลือบดังกล่าวมีมากขึ้น จึงทำให้สามารถที่จะเข้ากันได้ดีกับน้ำมันกานพลู และไฮโดรโฟบิกสตาร์ชซึ่งถูกดัดแปรให้มีส่วนที่ไม่ชอบน้ำในสายโซ่โมเลกุล ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในระบบของอิมัลชันน้ำมันในน้ำได้ (Viswanathan, 1999) ดังนั้น โอกาสการแยกชั้นระหว่างน้ำมันกานพลูกับสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชในความเข้มข้นสูงจึงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ความเข้มข้นต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนที่ไม่ชอบน้ำของไฮโดรโฟบิกสตาร์ชสามารถที่จะช่วยในการดูดซับน้ำมันเข้ามาในโครงสร้างของสตาร์ชระหว่างกระบวนการเอนแคปซูเลชัน และทำหน้าที่กักเก็บน้ำมันไว้ในโครงสร้าง (Arfa *et al.*, 2007b)

ตารางที่ 4 กิจกรรมการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 (โดยน้ำหนัก)

จุลินทรีย์	ขนาดบริเวณด้าน ¹ (มิลลิเมตร)									
	ความเข้มข้นของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 (โดยน้ำหนัก)									
	5	ดัชนี ²	2.5	ดัชนี	1.25	ดัชนี	0.625	ดัชนี	0.3125	ดัชนี
แบคทีเรียแกรมบวก										
<i>B. cereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>S. aureus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
แบคทีเรียแกรมลบ										
<i>E. coli</i>	19.32±2.20 ^B	2.88	15.43±1.80 ^A	2.30	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณด้านการเจริญของจุลินทรีย์ จากการทดลอง 3 ซ้ำ

²ค่าดัชนีการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ โดยหลุมวุ้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

- ไม่พบบริเวณด้านการเจริญของจุลินทรีย์

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 5 กิจกรรมการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาบิลความเข้มข้นร้อยละ 8 (โดยน้ำหนัก)

จุลินทรีย์	ขนาดบริเวณด้าน ¹ (มิลลิเมตร)									
	ความเข้มข้นของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาบิลความเข้มข้นร้อยละ 8 (โดยน้ำหนัก)									
	5	ดัชนี ²	2.5	ดัชนี	1.25	ดัชนี	0.625	ดัชนี	0.3125	ดัชนี
แบคทีเรียแกรมบวก										
<i>B. cereus</i>	11.61±0.78 ^{aB}	1.32	7.91±0.70 ^{aA}	0.58	-	-	-	-	-	-
<i>S. aureus</i>	11.74±0.34 ^{aB}	1.35	8.69±0.59 ^{aA}	0.74	-	-	-	-	-	-
แบคทีเรียแกรมลบ										
<i>E. coli</i>	21.41±1.86 ^{bC}	3.28	16.58±3.66 ^{bB}	2.32	8.28±0.83 ^A	0.66	-	-	-	-

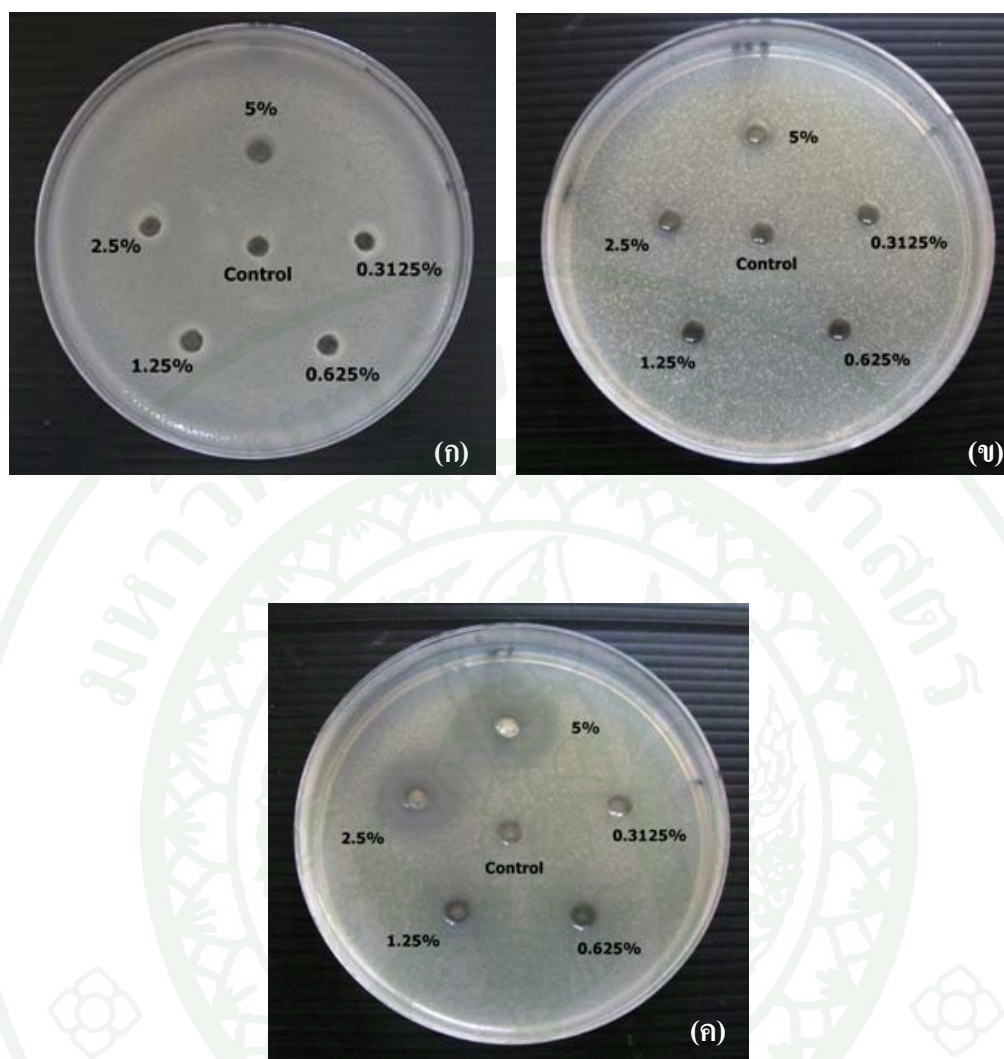
หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณด้านการเจริญของจุลินทรีย์ จากการทดลอง 3 ซ้ำ

²ค่าดัชนีการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ โดยหลุมวุ้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

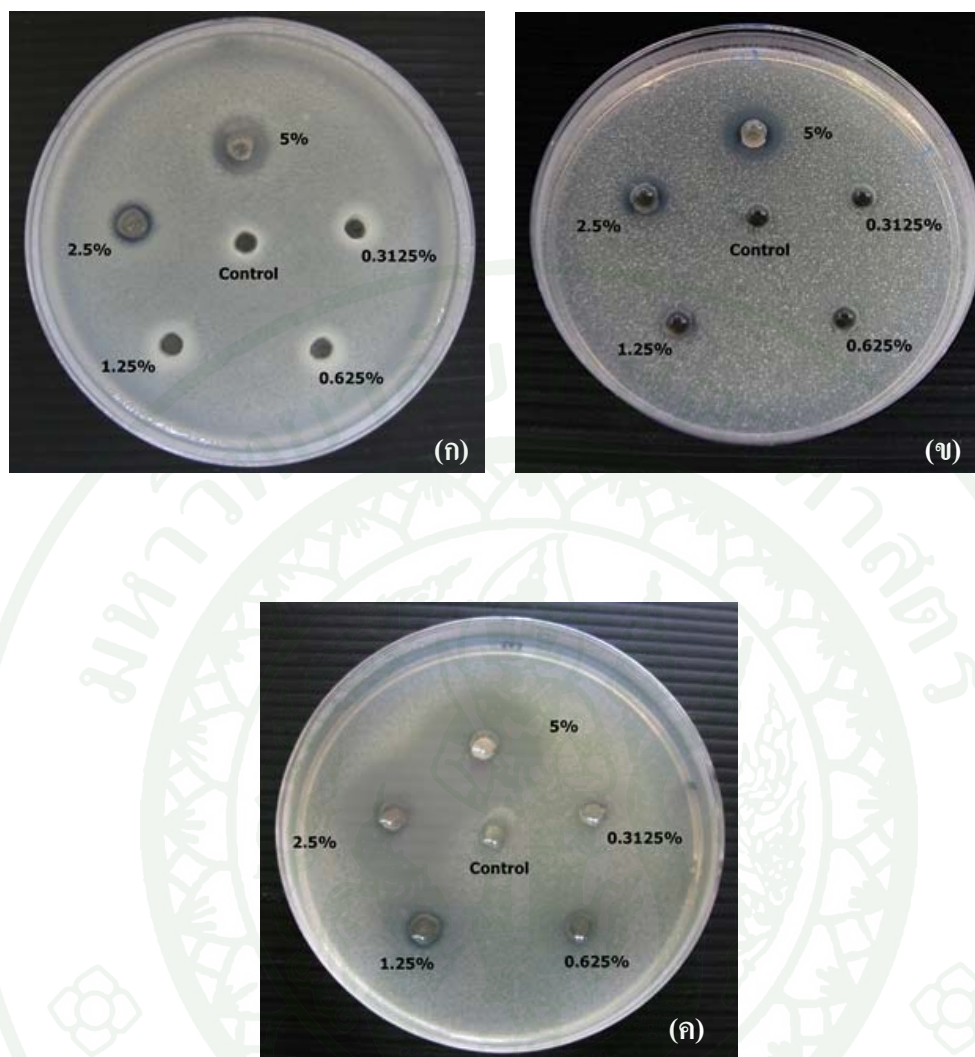
- ไม่พบบริเวณด้านการเจริญของจุลินทรีย์

^{a-b}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-C}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 11 บริเวณการยับยั้งของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (ก) *B. cereus* (ข) *S. aureus* และ (ค) *E. coli*



ภาพที่ 12 บริเวณการยับยั้งของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ความเข้มข้นร้อยละ 8 ในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (ก) *B. cereus* (ข) *S. aureus* และ (ค) *E. coli*

3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของกระดาษก่อนการเคลือบ

กระดาษแข็งที่ใช้ในการศึกษาเป็นกระดาษแข็งประเภท duplex board มีการเคลือบผิวด้านเดียวด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ด้านหน้าซึ่งเป็นด้านที่ถูกเคลือบผิว มีสีขาว และมีลักษณะผิวเรียบ ส่วนด้านหลังเป็นด้านที่ไม่ได้เคลือบ มีสีเทา และผิวหยาบ ส่วนกระดาษกราฟที่เลือกใช้เป็นกระดาษกราฟที่มีส่วนผสมของเยื่อใหม่ร้อยละ 30 และเยื่อหมุนเวียนร้อยละ 70 และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานจากเยื่อใยสั้นบริสุทธิ์ซึ่งไม่มีการเติมแต่งสารใดๆ โดยสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติการต้านทานน้ำ (ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ) ของกระดาษก่อนเคลือบ ดังตารางที่ 6, 7 และ 8 กระดาษแข็งมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด รองลงมาได้แก่ กระดาษกราฟและกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ตามลำดับ ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำของกระดาษกราฟที่ด้านหน้าก่อนเคลือบมีค่าสูงกว่ากระดาษแข็งด้านหลังก่อนเคลือบ ทั้งนี้เนื่องจากด้านหน้าของกระดาษกราฟผ่านการปรับแต่งผิว เช่น การเคลือบด้วยสารกันซึม ในขณะที่กระดาษแข็งด้านหลังไม่ได้ผ่านกระบวนการดังกล่าว จึงส่งผลให้ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำต่ำ ในขณะที่กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานไม่สามารถวัดค่าดังกล่าวได้

ตารางที่ 6 สมบัติทางกายภาพของกระดาษแต่ละชนิดก่อนเคลือบ

สมบัติของกระดาษ	ค่าทดสอบ		
	กระดาษแข็ง	กระดาษกราฟ	กระดาษขึ้นรูป ¹
น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม/ตารางเมตร)	290.53±1.79	119.45±1.64	60.86±1.58
ความหนา (มิลลิเมตร)	0.334±0.003	0.163±0.003	0.139±0.004
ความชื้น (ร้อยละ)	8.21±0.12	8.19±1.40	10.05±0.85
ค่าสี L*	71.06±0.07	69.07±0.48	89.66±0.35
ค่าสี a*	-0.14±0.03	4.87±0.22	-0.31±0.02
ค่าสี b*	3.71±0.02	18.46±0.40	0.79±0.05

หมายเหตุ ¹ กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน

ตารางที่ 7 สมบัติเชิงกลของกระดาษแต่ละชนิดก่อนเคลือบ

สมบัติของกระดาษ	ค่าทดสอบ		
	กระดาษแข็ง	กระดาษกราฟท์	กระดาษขึ้นรูป ¹
ความต้านทานแรงกดวง			
แหวนแนวMD	3.05±0.22	0.89±0.05	
(กิโลนิวตัน/เมตร)			0.12±0.02
ความต้านทานแรงกดวง			
แหวนแนวCD	2.51±0.34	0.61±0.12	
(กิโลนิวตัน/เมตร)			
ความต้านทานแรงดัน			
ทะลุ(กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร)	11.48±0.17	5.94±0.19	2.06±0.13

หมายเหตุ ¹ กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน

ตารางที่ 8 สมบัติการต้านทานน้ำของกระดาษแต่ละชนิดก่อนเคลือบ

เวลาที่ (วินาที)	ค่ามัมสัมผัสน้ำ (องศา)		
	กระดาษแข็ง	กระดาษกราฟท์	กระดาษขึ้นรูป ¹
0	64.43±6.92	121.07±1.13	n/a
15	64.43±6.92	121.07±1.13	n/a
30	59.97±7.38	118.97±1.61	n/a
45	52.07±18.25	118.22±1.33	n/a
60	48.56±17.59	117.42±1.16	n/a

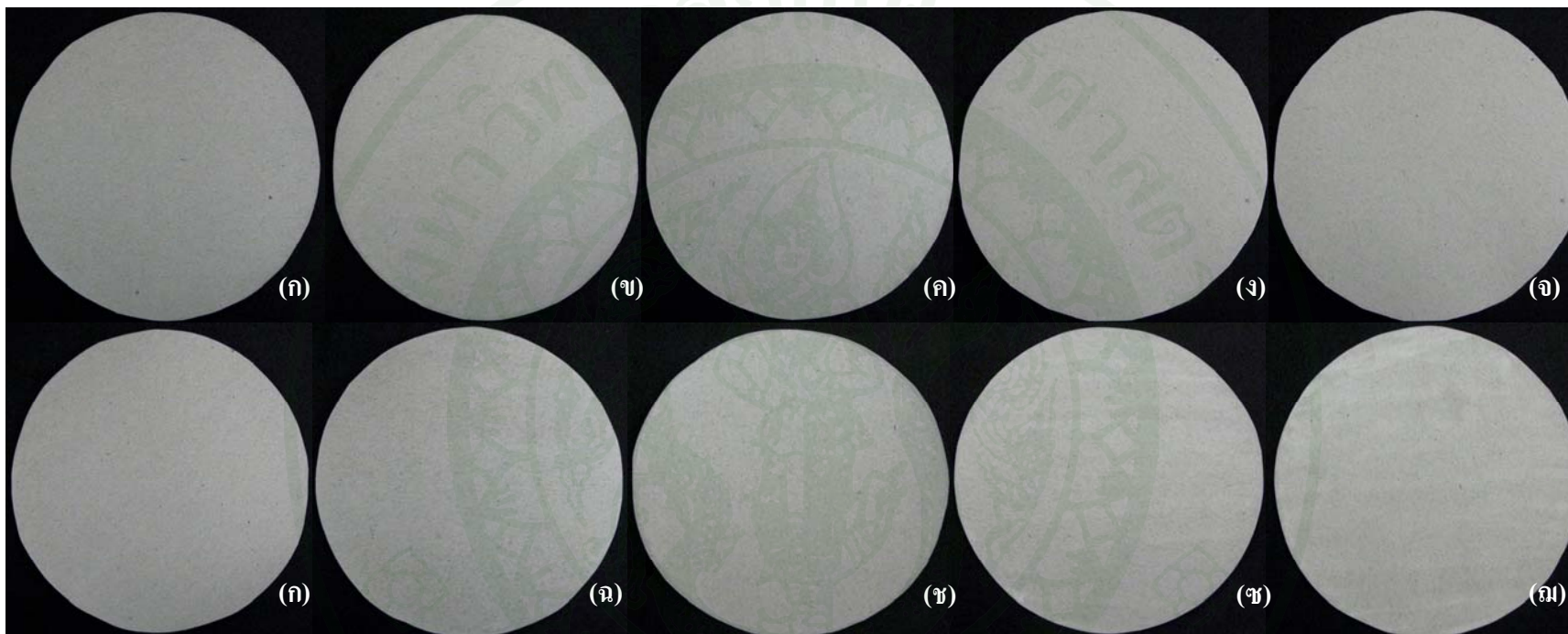
หมายเหตุ ¹ กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน

n/a ไม่สามารถวัดค่าได้

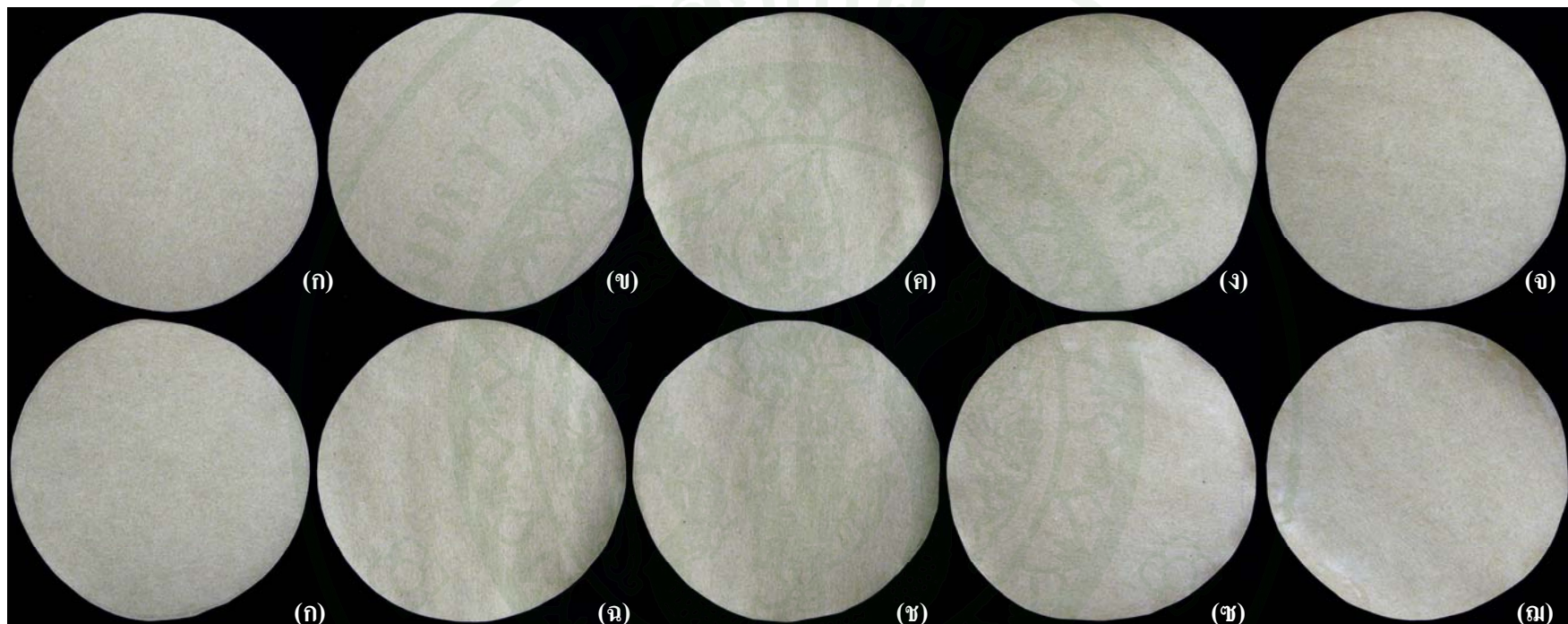
4. ลักษณะปรากฏของกระดาษเคลือบน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

กระดาษแข็งถูกเคลือบด้านสีเทา เพียงด้านเดียว เช่นเดียวกับกระดาษคราฟท์ที่ถูกเคลือบด้านหน้า เพียงด้านเดียว ด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนัก สารเคลือบดังกล่าวมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของสารเคลือบสตาร์ช พบว่า ลักษณะปรากฏโดยรวมของกระดาษเคลือบทั้งสองชนิด ด้วยสารเคลือบดังกล่าว เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ได้เคลือบ แสดงดังภาพที่ 13 และ 14 โดยสารเคลือบที่แห้ง จะปรากฏเป็นชั้นสีขาวบางๆ บนกระดาษ โดยกระดาษแข็ง และกระดาษคราฟท์ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ซึ่งสามารถสังเกตเห็นสีของสารเคลือบได้ชัดเจนกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำมันกานพลูในปริมาณที่สูง จะสามารถสังเกตเห็นสีของสารเคลือบ ซึ่งเป็นสีขาวได้ชัดเจนกว่า สารเคลือบที่มีน้ำมันกานพลูเป็นส่วนผสมในปริมาณที่ต่ำกว่า

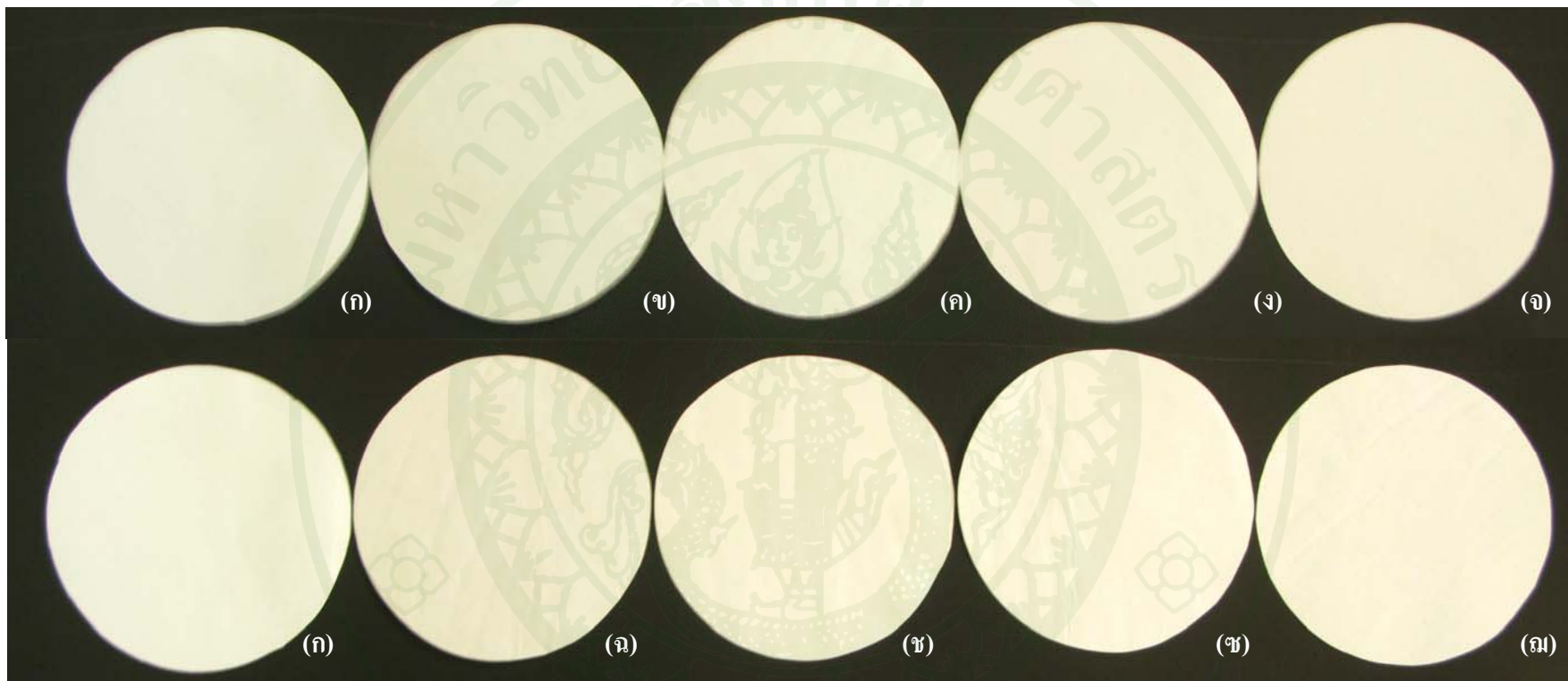
แต่สำหรับกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 และร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก สารเคลือบดังกล่าวมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของสารเคลือบสตาร์ช พบว่า กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบดังกล่าว มีสีของกระดาษที่เปลี่ยนแปลงไป โดยกระดาษจะออกโทนสีเหลืองมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) หรือกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชเพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุมเชิงลบ) แสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 13 กระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลู (ก) หัวควม (ข) หัวควมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ข) หัวควมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 14 กระจกกราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดย น้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และกระจกกราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลู ความเข้มข้น (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 15 กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ข) ร้อยละ 5 (ช) ร้อยละ 10 และ (ฉ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

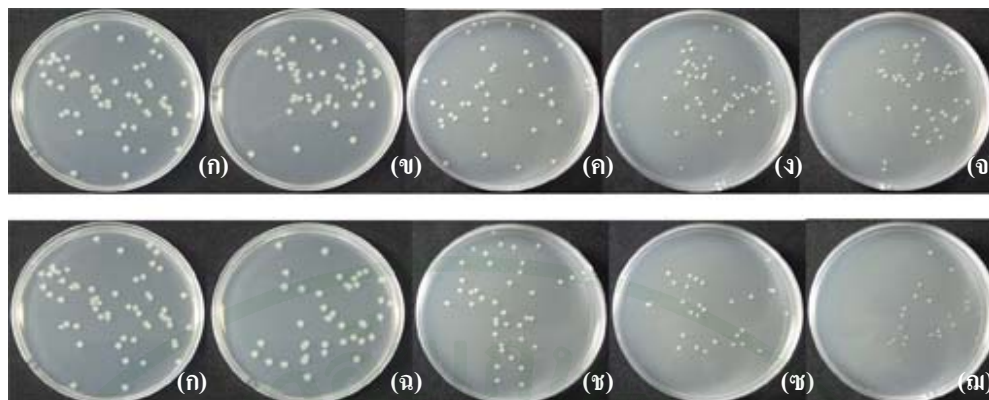
5. การทดสอบกระดาศหลังจากการเคลือบ

5.1 การทดสอบประสิทธิภาพของกระดาศด้านจุลินทรีย์

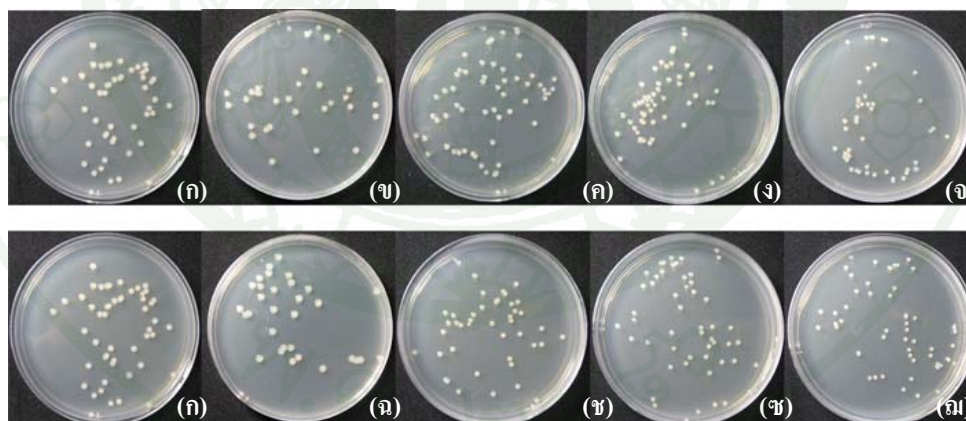
5.1.1 วิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเนื้อวุ้น

การทดสอบประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาศแข็ง กระดาศกราฟท์ และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเนื้อวุ้น ประเมินผลกิจกรรมการด้านจุลินทรีย์รายงานผลเป็นดัชนีการด้านจุลินทรีย์ แสดงผลดังตารางที่ 9, 10 และ 11 และเมื่อเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับกระดาศที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ (ตัวควบคุม) กระดาศที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 และร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก (ตัวควบคุมเชิงลบ) และกระดาศที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก พบว่า กระดาศทั้ง 3 ชนิด ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช สามารถด้านการเจริญของจุลินทรีย์ได้ทุกชนิด ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีมีขนาดเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม แสดงดังภาพที่ 16-24

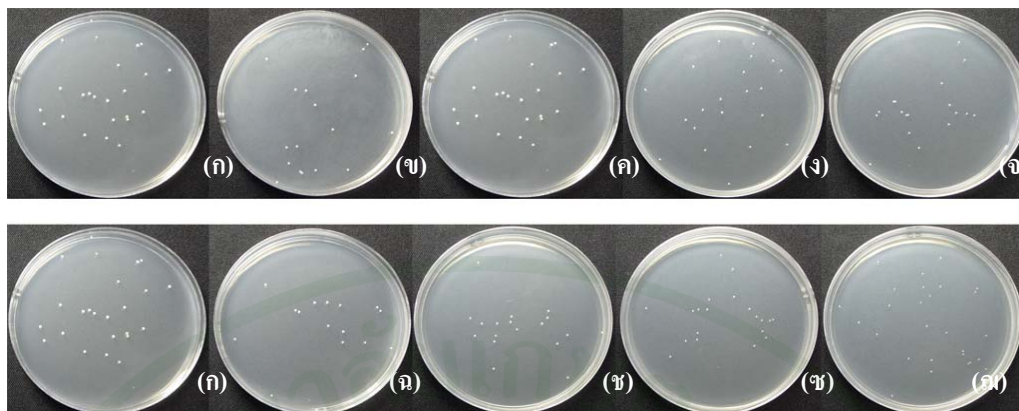
จากผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของน้ำมันกานพลูที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบส่งผลให้สามารถด้านการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีการด้านจุลินทรีย์ของตัวควบคุม คือ กระดาศแข็ง กระดาศกราฟท์ และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่ผ่านการเคลือบ กับตัวควบคุมเชิงลบซึ่งได้แก่ กระดาศทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการเคลือบสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 และร้อยละ 8 เพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุมเชิงลบ) พบว่า ดัชนีการด้านจุลินทรีย์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้น สารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อความสามารถในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์



ภาพที่ 16 ประสิทธิภาพของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการต้านการเจริญของ *E. coli*



ภาพที่ 17 ประสิทธิภาพของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการต้านการเจริญของ *B. cereus*



ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพของกระด้างแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการด้านการเจริญของ *S. aureus*

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ของกระด้างแข็งจากตารางที่ 9 พบว่า ปริมาณของน้ำมันกานพลู และความเข้มข้นของสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชมีผลต่อความสามารถในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด โดยปริมาณของน้ำมันกานพลูและความเข้มข้นของไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ของกระด้างดังกล่าวสูงขึ้น โดยมีค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่า กระด้างแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และ 15 ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 และ ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ต่อ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ระหว่าง 0.25-0.31, 0.05-0.14 และ 0.03-0.11 และ 0.27-0.32, 0.08-0.19 และ 0.10-0.26 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษแข็ง duplex board ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมันกานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาษในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์	เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์
<i>B. cereus</i>	ตัวควบคุม ²	3.11±0.35	0 ^{aA}	3.11±0.35	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ³	3.07±0.36	0.02 ^{aA}	3.10±0.37	0.01 ^{aA}
	5	2.36±0.04	0.25 ^{bB}	2.28±0.14	0.27 ^{baB}
	10	2.24±0.04	0.28 ^{bcB}	2.22±0.07	0.29 ^{bcB}
	15	2.14±0.31	0.31 ^{cB}	2.13±0.06	0.32 ^{cB}
<i>S. aureus</i>	ตัวควบคุม	1.29±0.12	0 ^{aA}	1.29±0.12	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	1.27±0.06	0.02 ^{aA}	1.28±0.04	0.01 ^{aA}
	5	1.22±0.04	0.05 ^{aB}	1.18±0.04	0.08 ^{bC}
	10	1.17±0.04	0.10 ^{bB}	1.07±0.15	0.17 ^{cB}
	15	1.11±0.03	0.14 ^{bB}	1.04±0.07	0.19 ^{cB}

ตารางที่ 9 (ต่อ)

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาษในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์	เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์
<i>E. coli</i>	ตัวควบคุม	2.61±0.33	0 ^{aA}	2.61±0.33	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	2.57±0.32	0.02 ^{aA}	2.59±0.32	0.01 ^{aA}
	5	2.55±0.30	0.03 ^{aA}	2.34±0.16	0.10 ^{bB}
	10	2.49±0.26	0.05 ^{aB}	2.33±0.06	0.11 ^{bC}
	15	2.32±0.14	0.11 ^{bB}	1.94±0.31	0.26 ^{cC}

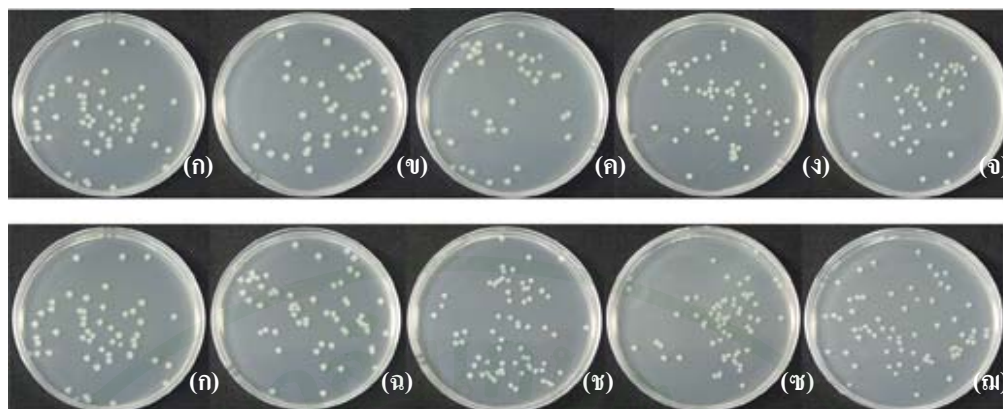
หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ โดยในแต่ละซ้ำวัด 15 โคโลนี

²กระดาษแข็ง duplex board ที่ไม่เคลือบ

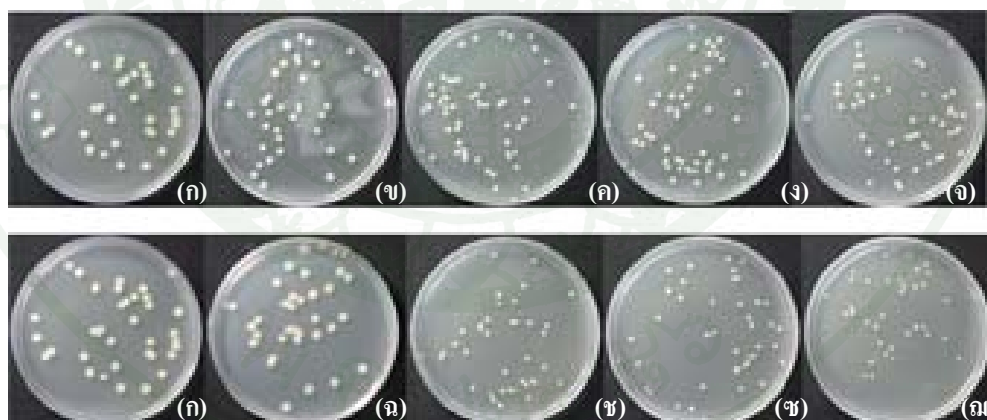
³กระดาษแข็ง duplex board ที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-c}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

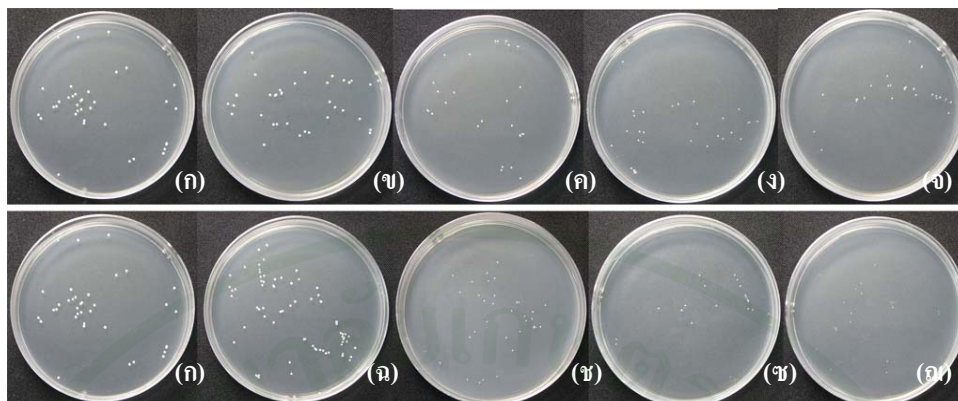
^{A-C}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบกับตัวควบคุม



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ก) ตัวควบคุมเชิงลบ (ข) ร้อยละ 5 (ค) ร้อยละ 10 และ (ง) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการดำเนินการเจริญของ *E. coli*



ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ก) ตัวควบคุมเชิงลบ (ข) ร้อยละ 5 (ค) ร้อยละ 10 และ (ง) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการดำเนินการเจริญของ *B. cereus*



ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพของกระดาศกราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ฌ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการต้านการเจริญของ *S. aureus*

สำหรับค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ของกระดาศกราฟท์ จากตารางที่ 10 พบว่า ปริมาณของน้ำมันกานพลู และความเข้มข้นของสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชมีผลต่อความสามารถในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด โดยปริมาณของน้ำมันกานพลูและความเข้มข้นของไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ของกระดาศดังกล่าวสูงขึ้น โดยมีค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกระดาศแข็ง โดยพบว่า กระดาศกราฟท์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ระหว่าง 0.08-0.19, 0.16-0.38 และ 0.11-0.31 ในขณะที่กระดาศกราฟท์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 มีค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ระหว่าง 0.14-0.28, 0.18-0.45 และ 0.22-0.34 ตามลำดับ สำหรับ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli*

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือรู

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาษในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์	เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์
<i>B. cereus</i>	ตัวควบคุม ²	3.12±0.22	0 ^{aA}	3.12±0.22	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ³	3.02±0.33	0.03 ^{bA}	3.04±0.33	0.03 ^{aA}
	5	2.86±0.29	0.08 ^{cB}	2.69±0.32	0.14 ^{bC}
	10	2.66±0.30	0.15 ^{dB}	2.50±0.23	0.20 ^{cC}
	15	2.52±0.26	0.19 ^{eB}	2.25±0.09	0.28 ^{dC}
<i>S. aureus</i>	ตัวควบคุม	1.34±0.07	0 ^{aA}	1.34±0.07	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	1.30±0.05	0.03 ^{aA}	1.31±0.06	0.03 ^{aA}
	5	1.13±0.04	0.16 ^{bB}	1.10±0.16	0.18 ^{bB}
	10	1.06±0.04	0.21 ^{cB}	1.03±0.03	0.23 ^{cC}
	15	0.83±0.28	0.38 ^{dB}	0.74±0.29	0.45 ^{dB}

ตารางที่ 10 (ต่อ)

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาศในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์	เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์
<i>E. coli</i>	ตัวควบคุม	3.42±0.31	0 ^{aA}	3.42±0.31	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	3.39±0.30	0.01 ^{aA}	3.34±0.23	0.02 ^{bA}
	5	3.05±0.10	0.11 ^{bB}	2.68±0.34	0.22 ^{cC}
	10	2.66±0.33	0.22 ^{cB}	2.54±0.29	0.26 ^{dC}
	15	2.38±0.19	0.31 ^{dB}	2.27±0.09	0.34 ^{cC}

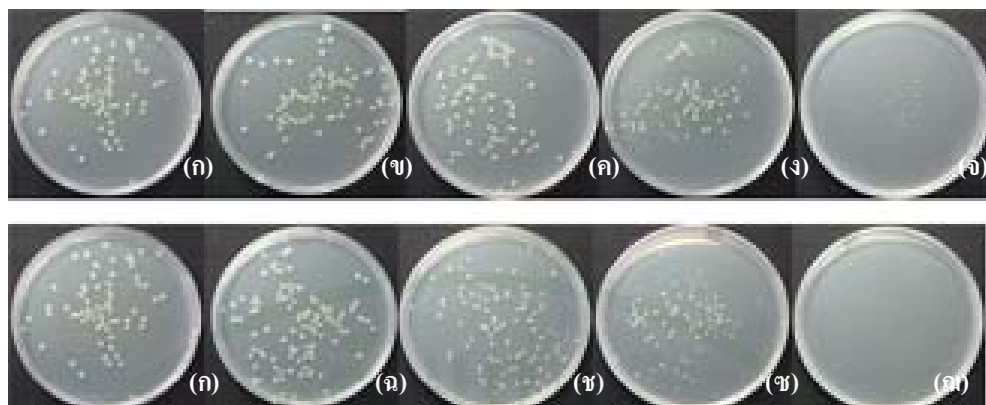
หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ โดยในแต่ละซ้ำวัด 15 โคโลนี

²กระดาศกราฟที่ไม่เคลือบ

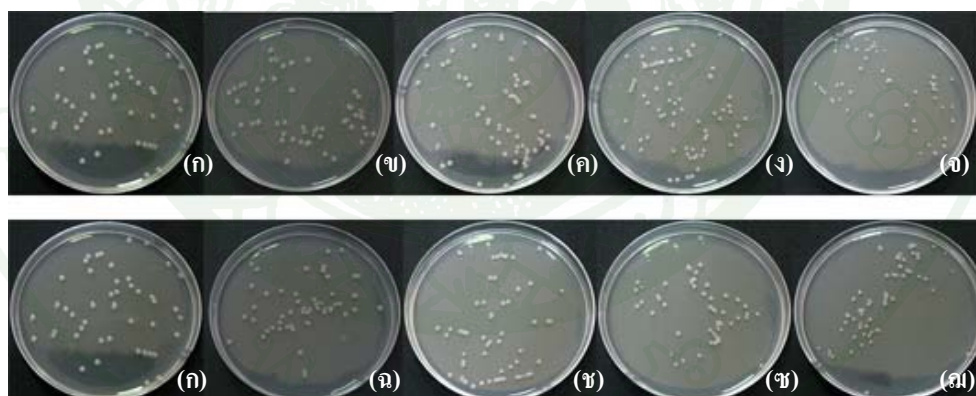
³กระดาศกราฟที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-c}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

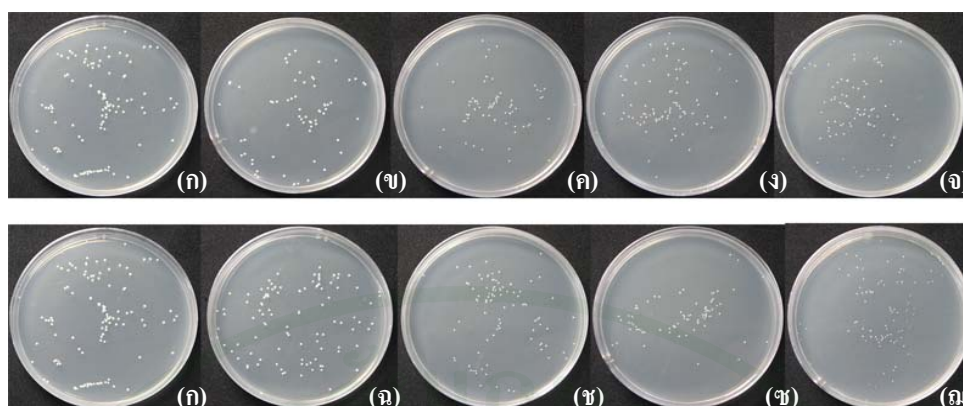
^{A-C}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบกับตัวควบคุม



ภาพที่ 22 ประสิทธิภาพของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลู ความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ณ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการด้านการเจริญของ *E. coli*



ภาพที่ 23 ประสิทธิภาพของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลู ความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ฉ) ตัวควบคุมเชิงลบ (ช) ร้อยละ 5 (ซ) ร้อยละ 10 และ (ณ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นในการด้านการเจริญของ *B. cereus*



ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลู ความเข้มข้น (ก) ตัวควบคุม (ข) ตัวควบคุมเชิงลบ (ค) ร้อยละ 5 (ง) ร้อยละ 10 และ (จ) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (ก) ตัวควบคุมเชิงลบ (ข) ร้อยละ 5 (ค) ร้อยละ 10 และ (ง) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือร้อนในการด้านการเจริญของ *S. aureus*

เช่นเดียวกับกระดาษแข็ง และกระดาษคราฟท์ ดัชนีการต้านจุลินทรีย์ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานจากตารางที่ 11 พบว่า ปริมาณของน้ำมันกานพลู และปริมาณของสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชมีผลต่อความสามารถในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด โดยปริมาณของน้ำมันกานพลูและความเข้มข้นของไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ของกระดาษดังกล่าวสูงขึ้น โดยพบว่า กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ระหว่าง 0.05-0.23, 0.27-0.36 และ 0.03-0.59 ตามลำดับ ในขณะที่กระดาษแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 8 มีค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ดังกล่าวระหว่าง 0.10-0.35, 0.30-0.41 และ 0.26-0.66 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้น ร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการแพร่ผ่าน ช่องว่างเหนือวุ้น

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาษในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์	เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์
<i>B. cereus</i>	ตัวควบคุม ²	3.47±0.25	0 ^{aA}	3.47±0.25	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ³	3.44±0.22	0.01 ^{aA}	3.41±0.21	0.02 ^{aB}
	5	3.28±0.04	0.05 ^{bB}	3.13±0.06	0.10 ^{bB}
	10	3.07±0.17	0.11 ^{cB}	2.95±0.30	0.15 ^{cC}
	15	2.66±0.31	0.23 ^{dB}	2.26±0.35	0.35 ^{dC}
<i>S. aureus</i>	ตัวควบคุม	1.71±0.32	0 ^{aA}	1.71±0.32	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	1.66±0.29	0.03 ^{aA}	1.65±0.30	0.04 ^{aA}
	5	1.26±0.09	0.27 ^{bB}	1.20±0.10	0.30 ^{bB}
	10	1.16±0.06	0.32 ^{bcB}	1.11±0.04	0.35 ^{cB}
	15	1.09±0.03	0.36 ^{cB}	1.01±0.41	0.41 ^{dB}

ตารางที่ 11 (ต่อ)

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาศในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์	เส้นผ่านศูนย์กลาง โคโลนี ¹ (มิลลิเมตร)	ดัชนีการต้าน จุลินทรีย์
<i>E. coli</i>	ตัวควบคุม	3.17±0.14	0 ^{aA}	3.17±0.14	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	3.15±0.12	0.01 ^{aA}	3.14±0.07	0.01 ^{aA}
	5	3.06±0.06	0.03 ^{bB}	2.35±0.06	0.26 ^{bC}
	10	2.40±0.04	0.24 ^{cB}	2.23±0.07	0.30 ^{cC}
	15	1.31±0.04	0.59 ^{dB}	1.06±0.17	0.66 ^{dC}

หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ โดยในแต่ละซ้ำวัด 15 โคโลนี

²กระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่เคลือบ

³กระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-d}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-C}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบกับตัวควบคุม

จากผลดังกล่าวข้างต้น พบว่า กระดาษแข็ง กระดาษคราฟท์ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่มีปริมาณมากขึ้นในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น มีผลโดยตรงต่อความสามารถของกระดาษในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *E. coli*, *B. cereus* และ *S. aureus* โดยสารเคลือบที่มีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดดีที่สุด รองลงมาได้แก่สารเคลือบที่มีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 10 และ 5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

นอกจากปริมาณน้ำมันกานพลูในสารเคลือบที่เป็นปัจจัยสำคัญในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว (Rodriguez *et al.*, 2008) พบว่า ปริมาณของสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบของสารเคลือบ มีผลต่อความสามารถในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของกระดาษเคลือบ โดยพบว่า กระดาษแข็ง กระดาษคราฟท์ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ประกอบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 ที่ทุกระดับความเข้มข้นของน้ำมันกานพลู มีประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ได้ดีกว่า โดยมีค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ที่สูงกว่า กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบซึ่งประกอบด้วยปริมาณไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ทั้งนี้ กระดาษทั้ง 3 ชนิด สามารถต้านการเจริญของ *E. coli*, *B. cereus* และ *S. aureus* ได้ เมื่อพิจารณาที่สารเคลือบซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ คือ น้ำมันกานพลูร้อยละ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร้อยละ 8 โดยพบว่า กระดาษแข็ง และกระดาษคราฟท์ สามารถต้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ *B. cereus* และ *S. aureus* ตามลำดับ แต่สำหรับกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานสามารถต้านการเจริญของ *E. coli* ได้ดี

การทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของกระดาษต้านจุลินทรีย์ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการทดสอบสารต้านจุลินทรีย์ที่เป็นน้ำมันหอมระเหย ทั้งนี้เนื่องจากสารดังกล่าว มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ และเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นการทดสอบด้วยวิธีนี้จึงสามารถแก้ปัญหา การที่สารต้านจุลินทรีย์ซึ่งไม่ชอบน้ำไม่สามารถแพร่ผ่านสู่วุ้นได้ อย่างไรก็ตาม การทดสอบกระดาษต้านจุลินทรีย์ด้วยวิธีการดังกล่าว ควรคำนึงปัจจัยต่างๆ ที่อาจส่งผลต่อการประเมินประสิทธิภาพของกระดาษต้านจุลินทรีย์ เช่น ความหนาและความสม่ำเสมอของวุ้น ความหนาของกระดาษและความสม่ำเสมอของสารเคลือบ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อปริมาตรของช่องว่างระหว่างผิวหน้าวุ้นกับกระดาษ ปริมาตรช่องว่างระหว่างวุ้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากความหนาของวุ้นที่ลดลง หรือความหนาของกระดาษลดลง ซึ่งปริมาตรของช่องว่างดังกล่าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่ออัตราการแพร่ของสารคงที่ จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของสารระเหยลดลง และในกรณีที่ปริมาตรช่องว่างระหว่างวุ้นลดลง อาจเกิดจากความหนาของวุ้นที่เพิ่มขึ้น หรือความหนาของกระดาษเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาตรของช่องว่างดังกล่าวที่ลดลง เมื่ออัตราการแพร่ของสารคงที่ สามารถส่งผลให้ความเข้มข้นของสารระเหยที่ทดสอบเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความเข้มข้นของสารระเหยที่ทดสอบ มีผลกระทบโดยตรงต่อขนาดโคโลนีของจุลินทรีย์ทดสอบ

นอกจากปริมาตรของช่องว่างระหว่างวุ้นและกระดาษทดสอบที่ควรคำนึงถึงในการทดสอบประสิทธิภาพกระดาษต้านจุลินทรีย์ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น จำนวนโคโลนีทดสอบในงานเพาะเชื้อเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ ทั้งนี้เพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนของขนาดโคโลนีที่ทดสอบ จึงกำหนดให้โคโลนีที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนไม่เกิน 50 โคโลนีต่อจานเพาะเชื้อ

ซึ่งวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านจุลินทรีย์โดยใช้วิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นนี้นิยมใช้ประเมินประสิทธิภาพของสารต้านจุลินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ และใช้ในการทดสอบความสามารถในการด้านการเจริญของเชื้อรา เช่น ในการศึกษาของ Goñi *et al.* (2009) ซึ่งใช้วิธีการทดสอบโดยการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำมันอบเชย และน้ำมันกานพลูต่อจุลินทรีย์ต่างๆ ดังนี้ แบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *P. aeruginosa* และ *Salmonella choleraesuis* แบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus* และ *Enterococcus faecalis* นอกจากนี้ Inouye *et al.* (2006) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหย 6 ชนิด ได้แก่ ออริกาโน

เพอร์ริลลา (*Perilla frutescens*) ทีทรี ลาเวนเดอร์ กานพลู และ เจอร์ราเนียม (*geranium spp.*) ต่อการต้านการเจริญของรา *Trichophyton mentagrophytes* ในสภาวะกล่องปิดโดยใช้ไอระเหยของน้ำมันหอมระเหยดังกล่าว น้ำมันหอมระเหยทั้ง 6 ชนิดสามารถฆ่าราดังกล่าวได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้โดยพบว่า น้ำมันออริกาน เพอร์ริลลา ทีทรี และ ลาเวนเดอร์ สามารถทำลายเชื้อราดังกล่าวในระยะเวลาอันสั้น ประมาณ 3 ชั่วโมง ในขณะที่น้ำมันกานพลู และเจอร์ราเนียม สามารถทำลายเชื้อราได้ โดยใช้ระยะเวลาที่นานกว่า คือ 15-24 ชั่วโมง

5.1.2 วิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์

การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ทดสอบทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก คือ *B. cereus* และ *S. aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ คือ *E. coli* ของกระดาษทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษแข็ง กระดาษคราฟท์ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์ และประเมินประสิทธิภาพของกระดาษต้านจุลินทรีย์ดังกล่าว โดยการนับจำนวนโคโลนีจากการบ่มเพาะเซลล์จุลินทรีย์จำนวน 5 โคโลนีจากจานเพาะเชื้อ ซึ่งผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของกระดาษ ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวัน โดยรายงานผลเป็นร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ ผลดังตารางที่ 12-14

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของกระดาษทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการนับจำนวนโคโลนีจากตารางที่ 12-14 พบว่า ปริมาณของน้ำมันกานพลู และความเข้มข้นของสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบ มีผลต่อความสามารถในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด โดยมีร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่า กระดาษแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 5 มีร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ระหว่างร้อยละ 2.73-5.37, 0.61-3.57 และ 2.14-4.73 ตามลำดับ ในขณะที่กระดาษแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 5, 10 และ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 มีค่าร้อยละการลดลงของ จุลินทรีย์ที่สูงกว่า คือ ระหว่างร้อยละ 3.14-6.54, 0.81-4.37 และ 2.65-5.63 ตามลำดับ เช่นเดียวกับกระดาษคราฟท์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 8 มีร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ที่สูงกว่าเมื่อ

เปรียบเทียบกับน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร้อยละ 5 โดยในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 8 มีค่าร้อยละลดลงของจุลินทรีย์ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ระหว่างร้อยละ 2.50-6.22, 4.00-12.20 และ 1.64-4.92 ตามลำดับ ในขณะที่กระดาษกราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ ระหว่างร้อยละ 1.18-4.22, 2.59-8.00 และ 1.37-3.98 ตามลำดับ

กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 มีร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ระหว่าง 2.67-7.79, 2.64-6.14 และ 1.83-8.05 ในขณะที่กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 5, 10 และ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 มีค่าร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ที่สูงกว่า คือ ระหว่าง 5.10-9.80, 4.21-11.78 และ 3.55-11.06 สำหรับ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับ ค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ข้างต้น ยกเว้น *E. coli* ซึ่งพบว่า มีดัชนีการต้านจุลินทรีย์ที่สูง แต่เมื่อนำมาบ่มเพาะ และประเมินร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ พบว่า ค่าดังกล่าวต่ำกว่าร้อยละลดลงของ *S. aureus* ซึ่งมีค่าดัชนีการต้านจุลินทรีย์ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้คาดว่า เป็นผลเนื่องมาจากการต่อเชื้อจุลินทรีย์ซ้ำ (repeated subcultures) ซึ่งสามารถส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของแบคทีเรียได้ (Kim et al., 2002) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมดังกล่าว คาดว่าสามารถส่งผลต่อขนาดโคโลนี รวมทั้งความสามารถในการต้านทานต่อสภาพแวดล้อมของแบคทีเรีย

เมื่อพิจารณาร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ ซึ่งถูกยับยั้งการเจริญจากกระดาษทั้ง 3 ชนิด โดยพิจารณาที่สารเคลือบซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ คือ น้ำมันกานพลูร้อยละ 15 ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร้อยละ 8 พบว่า กระดาษทั้ง 3 ชนิด สามารถต้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวกได้ดี กว่าแบคทีเรียแกรมลบ โดยกระดาษแข็งสามารถยับยั้งการเจริญของ *B. cereus* ได้ดีที่สุด โดยมีร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์ คือ 6.54 ในขณะที่กระดาษกราฟท์ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานสามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ได้ดีที่สุด โดยมีร้อยละการลดลงของโคโลนีคือ 12.20 และ 11.78 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมันกานพลู (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาษในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)	ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)
<i>B. cereus</i>	ตัวควบคุม ²	8.33±0.03	0 ^{aA}	8.34±0.03	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ³	8.32±0.03	0.14±0.47 ^{aA}	8.32±0.04	0.14±0.65 ^{aA}
	5	8.11±0.02	2.73±0.40 ^{bB}	8.07±0.05	3.14±0.48 ^{bC}
	10	7.97±0.02	4.09±0.33 ^{cB}	7.99±0.02	4.37±0.40 ^{cC}
	15	7.89±0.03	5.37±0.61 ^{dB}	7.79±0.05	6.54±0.56 ^{dC}
<i>S. aureus</i>	ตัวควบคุม	7.40±0.05	0 ^{aA}	7.40±0.05	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	7.39±0.04	0.09±0.65 ^{aA}	7.39±0.04	0.11±0.78 ^{aA}
	5	7.36±0.03	0.61±0.54 ^{bB}	7.34±0.03	0.81±0.57 ^{bB}
	10	7.29±0.04	1.54±0.76 ^{cB}	7.17±0.08	3.16±1.32 ^{cC}
	15	7.14±0.07	3.57±0.94 ^{dB}	7.08±0.07	4.37±1.35 ^{dC}

ตารางที่ 12 (ต่อ)

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมันกานพลู (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาศในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)	ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)
<i>E. coli</i>	ตัวควบคุม	7.61±0.02	0 ^{aA}	7.61±0.02	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	7.57±0.05	0.13±0.78 ^{aA}	7.57±0.05	0.26±0.71 ^{aA}
	5	7.44±0.04	2.14±0.57 ^{bB}	7.41±0.05	2.65±0.79 ^{bB}
	10	7.46±0.04	2.30±0.64 ^{bB}	7.34±0.02	3.54±0.45 ^{cC}
	15	7.25±0.04	4.73±1.05 ^{cB}	7.18±0.09	5.63±1.29 ^{dB}

หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

²กระดาศแข็งที่ไม่เคลือบ

³กระดาศแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-d}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-C}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบกับตัวควบคุม

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-15 (โดยน้ำหนัก)
ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมันกานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาษในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)	ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)
<i>B. cereus</i>	ตัวควบคุม ²	8.37±0.06	0 ^{aA}	8.37±0.06	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ³	8.36±0.05	0.07±0.73 ^{aA}	8.36±0.05	0.13±1.13 ^{aA}
	5	8.27±0.05	1.18±1.00 ^{bB}	8.16±0.05	2.50±0.96 ^{bC}
	10	8.15±0.05	2.26±0.78 ^{cB}	8.00±0.06	4.41±1.03 ^{cC}
	15	8.02±0.04	4.22±0.88 ^{dB}	7.85±0.05	6.22±0.82 ^{dC}
<i>S. aureus</i>	ตัวควบคุม	7.32±0.07	0 ^{aA}	7.32±0.07	0 ^a
	ตัวควบคุมเชิงลบ	7.31±0.08	0.08±1.20 ^{aA}	7.32±0.07	0.03±0.94 ^{aA}
	5	7.13±0.05	2.59±1.42 ^{bB}	7.03±0.08	4.00±1.66 ^{bC}
	10	6.97±0.08	4.79±0.96 ^{cB}	6.67±0.10	8.90±1.31 ^{cC}
	15	6.73±0.10	8.00±1.27 ^{dB}	6.43±0.13	12.20±1.97 ^{dC}

ตารางที่ 13 (ต่อ)

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมันกานพลู (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาศในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)	ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)
<i>E. coli</i>	ตัวควบคุม	7.95±0.03	0 ^{aA}	7.95±0.03	0 ^a
	ตัวควบคุมเชิงลบ	7.95±0.03	0.07±0.44 ^{aA}	7.95±0.02	0.07±0.36 ^{aA}
	5	7.85±0.03	1.37±0.72 ^{bB}	7.82±0.03	1.64±0.51 ^{bC}
	10	7.77±0.02	2.36±0.39 ^{cB}	7.71±0.03	3.04±0.68 ^{cC}
	15	7.64±0.03	3.98±0.65 ^{dB}	7.56±0.04	4.92±0.65 ^{dC}

หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

²กระดาศกราฟที่ไม่เคลือบ

³กระดาศกราฟที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-d}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-C}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบกับตัวควบคุม

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 5- 15 (โดยน้ำหนัก) ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 8 (โดยน้ำหนัก) ด้วยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมันกานพลู (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาษในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)	ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)
<i>B. cereus</i>	ตัวควบคุม ²	8.75±0.04	0 ^{aA}	8.75±0.04	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ³	8.75±0.05	0.08±0.82 ^{aA}	8.74±0.04	0.19±0.58 ^{aA}
	5	8.52±0.05	2.67±0.58 ^{bB}	8.31±0.06	5.10±0.78 ^{bC}
	10	8.41±0.07	3.95±0.96 ^{cB}	8.16±0.05	6.76±0.55 ^{cC}
	15	8.07±0.07	7.79±0.72 ^{dB}	7.89±0.09	9.80±1.25 ^{dC}
<i>S. aureus</i>	ตัวควบคุม	7.46±0.05	0 ^{aA}	7.46±0.05	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	7.43±0.07	0.37±0.49 ^{aA}	7.44±0.06	0.27±0.23 ^{aA}
	5	7.26±0.07	2.64±0.38 ^{bB}	7.15±0.11	4.21±0.99 ^{bC}
	10	7.12±0.07	4.60±0.30 ^{cB}	6.91±0.07	7.39±0.48 ^{cC}
	15	7.00±0.09	6.14±0.67 ^{dB}	6.58±0.14	11.78±1.45 ^{dC}

ตารางที่ 14 (ต่อ)

จุลินทรีย์	ความเข้มข้นน้ำมันกานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพของกระดาสในการต้านจุลินทรีย์			
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
		5		8	
		ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)	ปริมาณจุลินทรีย์ ¹ (log CFU/ml)	การลดลง (ร้อยละ)
<i>E. coli</i>	ตัวควบคุม	7.93±0.05	0 ^{aA}	7.93±0.05	0 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ	7.93±0.05	0.00±0.19 ^{aA}	7.93±0.05	0.02±0.18 ^{aA}
	5	7.78±0.06	1.83±0.29 ^{bB}	7.65±0.04	3.55±0.26 ^{bC}
	10	7.71±0.02	2.73±0.43 ^{cB}	7.57±0.06	4.48±0.40 ^{cC}
	15	7.29±0.06	8.05±0.20 ^{dB}	7.05±0.09	11.06±0.55 ^{dC}

หมายเหตุ ¹ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

²กระดาสขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่เคลือบ

³กระดาสขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-d}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-C}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบกับตัวควบคุม

จากผลการทดลองข้างต้น กระดาษด้านจุลินทรีย์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาบิลิตี้ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่า กระดาษที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาบิลิตี้ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก คาดว่าปริมาณของสตาบิลิตี้ที่มากขึ้น ส่งผลต่อความสามารถในการเก็บกักสารด้านจุลินทรีย์ อย่างน้ำมันกานพลูได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม การพัฒนากระดาษด้านจุลินทรีย์ของ Arfa *et al.* (2007b) ซึ่งใช้สตาบิลิตี้แคปซูลออกทิล ซัคซิเนต เป็นสารเคลือบในปริมาณที่สูงถึง ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อเก็บกักสารด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ การวาคโรล และ ซินนามัลดีไฮด์ (cinnamaldehyde) ในปริมาณร้อยละ 10, 30 และ 60 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของสารละลายสตาบิลิตี้แคปซูล

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่า กระดาษด้านจุลินทรีย์สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์แกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีความทนทานสูงกว่า เนื่องจากความสามารถในการซึมผ่านของสารผ่านผนังเซลล์ หรือกลไกการไหลเวียนของสารของเยื่อหุ้มเซลล์ (Shanab *et al.*, 2004; Mahboobi *et al.*, 2006) และเนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบมีส่วนของผนังเซลล์ชั้นนอกที่เป็นชั้นของไขมันซึ่งอยู่ถัดจากชั้นเปปติโดไกลแคน ส่งผลให้กั้นการซึมผ่านของสารได้ดีกว่า (Nikaido, 2003) ในขณะที่แบคทีเรียแกรมบวกมีเพียงชั้นของเปปติโดไกลแคนที่ห่อหุ้มตัวเซลล์ โดยไม่มีชั้นของไขมันห่อหุ้มซึ่งแตกต่างจากแบคทีเรียแกรมลบ เป็นสาเหตุที่ส่งผลให้แบคทีเรียแกรมบวกมีความไวต่อสารด้านการเจริญของจุลินทรีย์มากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (Pelissari *et al.*, 2009)

ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาบิลิตี้ต่อการต้านการเจริญของแบคทีเรีย เมื่อทดสอบด้วยวิธีการสัมผัสโดยตรงกับเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีการแพร่ผ่านหลุมวุ้น จะมีประสิทธิภาพต่อการต้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบอย่าง *E. coli* ได้ดีกว่า แต่เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้นกลับมีประสิทธิภาพต่อการต้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวกอย่าง *B. cereus* และ *S. aureus* ได้ดีกว่า ทั้งนี้ผลที่ได้สอดคล้องกับ Goñi *et al.* (2009) ซึ่งได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันกานพลู และน้ำมันอบเชยในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ พบว่า แบคทีเรียแกรมลบอย่าง *S. choleraesuis* สามารถถูกยับยั้งการเจริญได้ดีด้วยน้ำมันหอมระเหยดังกล่าว เมื่อทดสอบด้วยวิธีสัมผัสโดยตรงกับสารด้านจุลินทรีย์ แต่กลับมีความต้านทานมากขึ้น เมื่อทดสอบด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น ทั้งนี้ Goñi *et al.* (2009) คาดว่าเป็นผลเนื่องจาก สมบัติทางเคมีกายภาพของสารด้านจุลินทรีย์ และอาหารเลี้ยงเชื้อ รวมทั้งวิธีการที่ทำให้สารด้านจุลินทรีย์เกิดการยับยั้งต่อการเจริญของจุลินทรีย์

นอกจากการใช้สตาร์ชเป็นสารเคลือบสำหรับน้ำมันหอมระเหยสำหรับการเคลือบกระดาษแล้ว ยังมีสารเคลือบชนิดอื่นๆที่ใช้ในการเคลือบกระดาษ เช่น Rordrigues *et al.* (2008) ซึ่งได้พัฒนากระดาษด้านจุลินทรีย์โดยใช้น้ำมันหอมระเหยอบเชย โดยใช้สารเคลือบคือ พาราฟิน และได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษด้านจุลินทรีย์ดังกล่าวกับ *R. stolonifer* โดยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น พบว่า ปริมาณน้ำมันอบเชยที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก สามารถยับยั้งเชื้อราดังกล่าวได้ และเมื่อนำไปทดสอบกับขนมปัง พบว่า ภายหลังจากระยะเวลาการเก็บรักษา 3 วัน กระดาษด้านจุลินทรีย์สามารถยับยั้งการเจริญของรา *R. stolonifer* บนขนมปังได้

อย่างไรก็ตามการใช้พาราฟิน หรือ แวกซ์ ในการเคลือบกระดาษ สารดังกล่าวจะแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างกระดาษ ส่งผลให้เกิดการจับตัวของเส้นใย และยากต่อกระบวนการแยกสารออกก่อนนำมาผลิตเยื่อใช้ใหม่ (Zou *et al.*, 2007) การพัฒนากระดาษด้านจุลินทรีย์นอกจากใช้สารเคลือบประเภทแวกซ์แล้ว ยังมีสารเคลือบอื่นๆอีก เช่น โปรตีน (protein) ดังการศึกษากระดาษด้านจุลินทรีย์ของ Arfa *et al.* (2007a) โดยใช้ ซอยโปรตีน ไอโซเลต ปริมาตรร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นสารเคลือบซึ่งทำหน้าที่เก็บกักสารด้านจุลินทรีย์ คือ คาร์วาครอล ปริมาตรร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ในลักษณะของ อินคลูชัน แมทริกซ์ และอีกการศึกษาของ Arfa *et al.* (2007b) ได้พัฒนากระดาษด้านจุลินทรีย์โดยใช้ ซอยโปรตีน ไอโซเลต และ สตาร์ชดัดแปรออกทินิล ซัคซิเนต เป็นสารเคลือบสารด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ คาร์วาครอล และ ซินามัลดีไฮด์ พบว่า กระดาษด้านจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* และ *B. cinerea* และจากการทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษด้านจุลินทรีย์ดังกล่าว ยังพบว่า ในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง แมทริกซ์ (matrix) ของสารเคลือบจะสามารถปลดปล่อยสารด้านจุลินทรีย์ได้ดี อย่างไรก็ตามความสามารถในการปลดปล่อยสารด้านจุลินทรีย์นั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของแมทริกซ์และธรรมชาติของสารด้านจุลินทรีย์ และจากการศึกษาดังกล่าว พบว่า ซอยโปรตีน ไอโซเลต เป็นสารเคลือบที่ดีกว่า สตาร์ชดัดแปร ออกทินิล ซัคซิเนต โดยเฉพาะกับสารด้านจุลินทรีย์อย่าง คาร์วาครอล

5.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของกระดาษหลังจากการเคลือบ

กระดาษแข็ง duplex board กระดาษคราฟท์ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ถูกนำมาปรับสภาพที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์

ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง (ISO 187) ก่อนนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติการต้านทานน้ำ และการศึกษาลักษณะผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาศแข็ง กระดาศกราฟท์ และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช ได้แก่ น้ำหนักสารเคลือบ แสดงดังตารางที่ 15 น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความชื้น ค่าสี แสดงดังตารางที่ 16, 17 และ 18 ตามลำดับ และค่ามุมสัมผัสของน้ำของกระดาศหลังการเคลือบ

จากตารางที่ 15 แสดงน้ำหนักของสารเคลือบของกระดาศทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กระดาศแข็ง กระดาศกราฟท์ และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน โดยพบว่า น้ำหนักของสารเคลือบของกระดาศทั้ง 3 ชนิด ที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชผสมน้ำมันกานพลู มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมเชิงลบ และความเข้มข้นของไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่สูงขึ้นในสารเคลือบส่งผลให้กระดาศนั้นมีน้ำหนักของสารเคลือบมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาศที่เคลือบด้วยสารเคลือบซึ่งประกอบด้วยไฮโดรฟอบิกสตาร์ชในปริมาณที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ปริมาณของน้ำมันกานพลูและความเข้มข้นของไฮโดรฟอบิกที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบ ไม่มีผลทำให้กระดาศมีน้ำหนักสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และจากผลของประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ของกระดาศด้านจุลินทรีย์ข้างต้น เมื่อพิจารณาร่วมกับน้ำหนักของสารเคลือบบนกระดาศแล้ว พบว่า กระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานซึ่งมีน้ำหนักของสารเคลือบอยู่ระหว่าง 8.46-10.62 กรัมต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ดีที่สุด คือ มีดัชนีการต้านของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดอยู่ระหว่าง 0.05-0.66 และมีร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 1.83-11.78 รองลงมา คือ กระดาศกราฟท์ซึ่งมีน้ำหนักสารเคลือบอยู่ระหว่าง 4.56-5.51 กรัมต่อตารางเมตร มีดัชนีการต้านของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดอยู่ระหว่าง 0.08-0.45 และมีร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 1.18-12.20 แต่สำหรับกระดาศแข็งซึ่งมีน้ำหนักสารเคลือบใกล้เคียงกับน้ำหนักสารเคลือบของกระดาศกราฟท์ โดยมีน้ำหนักสารเคลือบอยู่ระหว่าง 5.77-6.61 กรัมต่อตารางเมตร แต่มีประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ที่ด้อยกว่า มีดัชนีการต้านของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดอยู่ระหว่าง 0.01-0.32 และมีร้อยละการลดลงของจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 0.61-6.54 ทั้งนี้คาดว่าสารเคลือบส่วนใหญ่ซึมเข้าสู่เนื้อกระดาศและถูกกักเก็บอยู่ระหว่างเส้นใยของกระดาศ แต่สำหรับกระดาศกราฟท์คาดว่าสารเคลือบจะค้างอยู่ที่ผิวหน้าของกระดาศมากกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยผลของค่ามุมสัมผัสของน้ำของกระดาศก่อนเคลือบ โดยพบว่ากระดาศแข็ง

ก่อนเคลือบมีมุมสัมผัสที่ต่ำ คือ 64.43 องศา แสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งแสดงถึงความต้านทานน้ำที่ต่ำ สารเคลือบซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จึงสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อกระดาษแข็งได้ โดยง่าย แต่สำหรับกระดาษกราฟท์ก่อนเคลือบ พบว่า มีค่ามุมสัมผัสของน้ำที่สูงคือ 121.07 องศา แสดงว่ากระดาษกราฟท์มีความต้านทานน้ำที่สูงกว่า ดังนั้นสารเคลือบจึงมีโอกาสดูดซึมเข้าไปในโครงสร้างของกระดาษน้อยกว่า และส่วนใหญ่จึงขังอยู่ที่ผิวหน้า เนื่องจากความแตกต่างของตำแหน่งของสารเคลือบ ดังนั้นจึงส่งผลต่อความสามารถในการปลดปล่อยของสารต้านจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ของกระดาษแข็งหรือกระดาษกราฟท์ซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบที่มีปริมาณใกล้เคียงกัน พบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ คือ ปริมาณของน้ำมันกานพลูซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในสารเคลือบ

จากตารางที่ 16 เมื่อพิจารณาน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้นมีค่าน้ำหนักมาตรฐานที่เพิ่มขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) เช่นเดียวกับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษกราฟท์ที่จากตารางที่ 17 พบว่า น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษกราฟท์ที่เคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ชเพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุมเชิงลบ) และกระดาษกราฟท์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ น้ำมันกานพลูที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบ หรือความเข้มข้นของสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่แตกต่างกันในสารเคลือบ ไม่มีผลต่อค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษแข็ง และกระดาษกราฟท์ที่ผ่านการเคลือบ แต่สำหรับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน จากตารางที่ 18 พบว่า ปริมาณของไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบ มีผลต่อน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ โดยกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าน้ำหนักมาตรฐานที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และค่าดังกล่าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำมันกานพลูที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบไม่มีผลต่อน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ผ่านการเคลือบ

ตารางที่ 15 น้ำหนักสารเคลือบของกระดาษเคลือบสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชผสมน้ำมันกานพลู

ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	น้ำหนักสารเคลือบ(กรัมต่อตารางเมตร)					
	กระดาษแข็ง		กระดาษกราฟท์		กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูป	
	ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		มาตรฐาน	
					ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	0 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}
ตัวควบคุมเชิงลบ ²	5.62±0.66 ^{bb}	5.86±0.90 ^{bb}	3.47±0.81 ^{bb}	4.03±0.43 ^{aC}	7.20±0.51 ^{bb}	8.91±0.54 ^{bc}
5	6.12±0.58 ^{cb}	6.42±0.89 ^{bcB}	4.70±0.63 ^{cb}	4.87±1.16 ^{bb}	8.46±0.88 ^{cb}	9.46±0.62 ^{bc}
10	6.04±0.41 ^{bcB}	6.61±0.53 ^{cC}	4.56±0.7 ^{cb}	5.35±0.62 ^{cC}	8.79±0.69 ^{cb}	9.32±0.92 ^{bb}
15	5.77±0.50 ^{bcB}	5.91±0.38 ^{bb}	5.51±0.79 ^{db}	5.45±0.56 ^{cb}	8.96±0.7 ^{cb}	10.62±1.96 ^{cC}

หมายเหตุ ¹ กระดาษ ที่ไม่เคลือบ

² กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-C} ตัวอักษรในแนวนอนในค่าทดสอบเดียวกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

กระดาศแข็ง กระดาศกราฟท์ และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน เมื่อเคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชเพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุมเชิงลบ) ส่งผลให้ความหนาที่เพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาศที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) ซึ่งกระดาศทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น มีความหนาที่เพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม และตัวควบคุมเชิงลบ แต่อย่างไรก็ตามไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่สูงขึ้นในสารเคลือบไม่ส่งผลให้ความหนาของกระดาศเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ความชื้นของกระดาศแข็งที่เคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ชเพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุมเชิงลบ) มีค่า คือ ร้อยละ 9.07 และ 9.13 ซึ่งค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม และกระดาศที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชโดยทั่วไปมีคุณสมบัติชอบน้ำ ถึงแม้ว่าไฮโดรโฟบิกสตาร์ชจะถูกดัดแปรเพื่อเพิ่มคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของสตาร์ชด้วยสารออกทิลิล ซัลฟอนิก แอนไฮไดร จากกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน จะเกิดขึ้นที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ภายในโมเลกุลของกลูโคส (Nilsson and Bergenstahl, 2006) ส่งผลให้สตาร์ชยังคงมีสมบัติที่ชอบน้ำ และเพิ่มคุณสมบัติไม่ชอบน้ำได้บางส่วน ดังนั้นการนำสารเคลือบสตาร์ชดังกล่าวมาเคลือบกระดาศ จึงส่งผลให้กระดาศมีแนวโน้มที่จะดูดความชื้นจากสถานะแวดล้อมได้มากขึ้น (นวพร, 2549) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำมันกานพลู และปริมาณของสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่สูงขึ้นในสารเคลือบ พบว่า ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสารทั้งสองในสารเคลือบไม่มีผลต่อความชื้นของกระดาศ

สำหรับความชื้นของกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ (ตัวควบคุม) และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ตัวควบคุมเชิงลบ) พบว่า มีความชื้นสูง โดยมีค่าความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 9.47-10.23 แต่ความชื้นของกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานกลับมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อผ่านการเคลือบด้วย น้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช โดยกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น มีค่าความชื้นที่ต่ำ คือ ร้อยละ 7.29 และร้อยละ 7.17 และค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม และตัวควบคุมเชิงลบ ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากสารเคลือบที่ประกอบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าว มีสัดส่วนของน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบที่ระดับความเข้มข้นของน้ำมันกานพลูอื่นๆ และเนื่องจากน้ำมันมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ การมีปริมาณน้ำมันในสารเคลือบในปริมาณที่สูง ทำให้เส้นใยกระดาษรวมทั้งสตาร์ชมีความสามารถในการดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมลดลง จึงส่งผลให้ค่าความชื้นของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานดังกล่าวมีค่าต่ำ เช่นเดียวกับการศึกษาของ ปิยะวิทย์ และคณะ (ม.ป.ป.) พบว่า การเคลือบผิวเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากสตาร์ชด้วยกรดไขมัน ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกนั้นดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกที่ไม่ผ่านการเคลือบ เมื่อพิจารณาความชื้นของกระดาษกราฟที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ตัวควบคุมเชิงลบ) พบว่า มีความชื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม แต่ค่าความชื้นดังกล่าวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นเดียวกับ ความชื้นของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม และตัวควบคุมเชิงลบ

ค่าความสว่าง (L^*) โดยค่า L^* ที่มีค่าสูงแสดงถึงวัตถุนั้น มีค่าความสว่างที่มากกว่าวัตถุที่มีค่า L^* ที่ต่ำกว่า กระดาษแข็ง และกระดาษกราฟที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช มีค่า L^* ลดลงเมื่อเทียบกับตัวควบคุม ซึ่งค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งกระดาษแข็ง และกระดาษกราฟ ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช กลับมีค่าความสว่างที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่า L^* ที่สูงขึ้น และมีค่าใกล้เคียงกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ ทั้งนี้เนื่องจากสารเคลือบที่ความเข้มข้นดังกล่าวมี สีขาวขุ่น มากกว่าสารเคลือบที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ ดังนั้นเมื่อนำมาเคลือบกระดาษจึงส่งผลให้กระดาษทั้งสองมีค่าความสว่างมากขึ้น ดังตารางที่ 19 และ 18 ที่ความเข้มข้นดังกล่าวมี สีขาวขุ่นมากกว่าสารเคลือบที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ ดังนั้นเมื่อนำมาเคลือบกระดาษจึงส่งผลให้กระดาษมีค่าความสว่างมากขึ้น แต่สำหรับกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานพบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของกระดาษดังกล่าวที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม และตัวควบคุมเชิงลบ ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 16 น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความชื้นของกระดาษแข็งเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าทดสอบ					
	น้ำหนักมาตรฐาน		ความหนา (มิลลิเมตร)		ความชื้น (ร้อยละ)	
	(กรัมต่อตารางเมตร)					
	ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	290.53±1.79 ^{aA}	290.53±1.79 ^{aA}	0.334±0.003 ^{aA}	0.334±0.003 ^{aA}	8.21±0.12 ^{aA}	8.21±0.12 ^{aA}
ตัวควบคุมเชิงลบ ²	299.46±2.11 ^{aB}	299.92±1.64 ^{aB}	0.365±0.004 ^{bB}	0.367±0.005 ^{bB}	9.07±0.29 ^{cB}	9.13±0.26 ^{bB}
5	298.53±1.86 ^{bB}	298.34±2.10 ^{bB}	0.369±0.006 ^{cB}	0.371±0.010 ^{cB}	8.62±0.09 ^{bA}	8.46±0.51 ^{aA}
10	298.09±1.97 ^{bB}	298.61±2.03 ^{bB}	0.370±0.007 ^{cB}	0.370±0.008 ^{cB}	8.51±0.09 ^{bB}	8.48±0.08 ^{aB}
15	298.15±1.68 ^{bB}	297.87±2.07 ^{bB}	0.369±0.005 ^{cB}	0.370±0.010 ^{cB}	8.62±0.10 ^{bB}	8.49±0.19 ^{aB}

หมายเหตุ ¹ กระดาษแข็ง duplex Board ที่ไม่เคลือบ

² กระดาษแข็ง duplex Board ที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-B} ตัวอักษรในแนวนอนในค่าทดสอบเดียวกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เทียบกับตัวควบคุม

ตารางที่ 17 น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความชื้นของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าทดสอบ					
	น้ำหนักมาตรฐาน		ความหนา (มิลลิเมตร)		ความชื้น (ร้อยละ)	
	(กรัมต่อตารางเมตร)					
	ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	119.45±1.64 ^{aA}	119.45±1.64 ^{aA}	0.163±0.003 ^{aA}	0.163±0.003 ^{aA}	8.19±1.40 ^{aB}	8.19±1.40 ^{aB}
ตัวควบคุมเชิงลบ ²	123.26±2.13 ^{bB}	124.52±1.38 ^{bB}	0.172±0.003 ^{bB}	0.173±0.005 ^{bB}	8.21±1.95 ^{aB}	8.69±1.94 ^{aB}
5	124.69±1.21 ^{cB}	124.84±1.02 ^{cB}	0.175±0.004 ^{cB}	0.176±0.006 ^{cB}	8.28±2.30 ^{aB}	8.26±1.66 ^{aB}
10	124.68±1.11 ^{cB}	124.75±1.50 ^{cB}	0.174±0.005 ^{cB}	0.174±0.007 ^{cB}	8.39±1.87 ^{aB}	7.80±1.73 ^{aA}
15	124.70±2.19 ^{cB}	124.79±2.08 ^{cB}	0.175±0.004 ^{cB}	0.176±0.005 ^{cB}	7.64±1.97 ^{aA}	7.75±1.31 ^{aA}

หมายเหตุ ¹ กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ

² กระดาษกราฟที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-B} ตัวอักษรในแนวนอนในค่าทดสอบเดียวกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เทียบกับตัวควบคุม

ตารางที่ 18 น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความชื้นของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าทดสอบ					
	น้ำหนักมาตรฐาน		ความหนา (มิลลิเมตร)		ความชื้น (ร้อยละ)	
	(กรัมต่อตารางเมตร)					
	ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	60.86±1.58 ^{aA}	69.86±1.58 ^{aA}	0.139±0.004 ^{aA}	0.139±0.004 ^{aA}	10.05±0.85 ^{cB}	10.05±0.85 ^{bB}
ตัวควบคุมเชิงลบ ²	68.43±1.15 ^{bB}	70.91±1.41 ^{bC}	0.143±0.004 ^{bB}	0.144±0.003 ^{bB}	9.47±0.89 ^{cB}	10.23±1.15 ^{bB}
5	68.64±1.88 ^{bB}	70.84±1.41 ^{bC}	0.153±0.004 ^{cB}	0.155±0.008 ^{cB}	7.92±0.59 ^{cA}	9.73±0.69 ^{bA}
10	68.69±1.0 ^{bB}	70.87±2.40 ^{bC}	0.154±0.007 ^{cB}	0.155±0.003 ^{cB}	7.50±1.02 ^{bA}	9.60±1.22 ^{bB}
15	68.72±0.92 ^{bB}	70.42±3.08 ^{bC}	0.155±0.004 ^{cB}	0.154±0.005 ^{cB}	7.29±1.32 ^{aA}	7.17±1.04 ^{aA}

หมายเหตุ ¹ กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่เคลือบ

² กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-B} ตัวอักษรในแนวนอนในค่าทดสอบเดียวกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เทียบกับตัวควบคุม

ค่า a^* ที่มาก (มีค่าบวก) แสดงถึงวัตถุนั้นมีโทนสีแดง ในขณะที่ค่า a^* มีค่าน้อย (มีค่าลบ) แสดงถึงวัตถุนั้นมีโทนสีเขียว จากตารางที่ 19 พบว่า กระดาษแข็ง มีค่า a^* อยู่ในช่วงลบ กล่าวคือมีค่าสีในโทนสีเขียว โดยพบว่า ปริมาณน้ำมันกานพลูที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบส่งผลให้กระดาษแข็งดังกล่าวมีค่า a^* ที่ลดลง (เป็นโทนสีเขียวมากขึ้น) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระดาษแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบซึ่งมีน้ำมันกานพลูเป็นองค์ประกอบร้อยละ 10 และ 15 ซึ่งมีค่า a^* อยู่ระหว่าง -0.17 และ -0.26 ซึ่งค่าดังกล่าว แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม ซึ่งมีค่า a^* เพียง -0.14

แต่สำหรับค่า a^* ของกระดาษกราฟ จากตารางที่ 20 พบว่า ค่า a^* อยู่ในช่วงค่าบวก แสดงว่ากระดาษกราฟดังกล่าวมีโทนสีแดง กระดาษดังกล่าวที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาบิลที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก พบว่า ค่า a^* ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม และตัวควบคุมเชิงลบ แต่กระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาบิลร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่า a^* ที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม และตัวควบคุมเชิงลบ ค่า a^* ที่สูงขึ้น แสดงถึงกระดาษเคลือบดังกล่าวมีการเปลี่ยนสีไปในโทนสีแดงมากขึ้น แต่ค่า a^* ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ดังตารางที่ 21 พบว่า มีค่า a^* อยู่ในช่วงลบ กล่าวคือมีค่าสีในโทนสีเขียวเช่นเดียวกับกระดาษแข็ง แต่ปริมาณของน้ำมันกานพลู หรือความเข้มข้นของสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาบิลที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบ ไม่มีผลต่อค่า a^* ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน ค่า a^* ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ผ่านการเคลือบ จึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบ เทียบกับตัวควบคุม และตัวควบคุมเชิงลบ

ค่า b^* ที่มีค่ามาก (ค่าบวก) แสดงถึงวัตถุนั้นมีโทนสีเหลือง ในขณะที่ค่า b^* ที่มีค่าน้อย (ค่าลบ) แสดงถึงวัตถุนั้นมีโทนสีน้ำเงิน จากตารางที่ 19 ค่า b^* ของกระดาษแข็ง มีค่าอยู่ในช่วงบวก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.71- 4.73 โดยกระดาษแข็งที่ผ่านการเคลือบ พบว่า ทั้งปริมาณไฮโดรฟอบิกสตาบิล และปริมาณของน้ำมันกานพลูซึ่งเป็นองค์ประกอบในสารเคลือบ มีผลโดยตรงกับค่า b^* ของกระดาษแข็งที่ผ่านการเคลือบ โดยปริมาณของน้ำมันกานพลูที่เพิ่มมากขึ้นในสารเคลือบ ส่งผลให้ค่า b^* ของกระดาษแข็งมีค่าสูงขึ้น ซึ่งค่า b^* ที่เพิ่มมากขึ้น แสดงว่ากระดาษมีการเปลี่ยนแปลงเป็นโทนสีเหลืองมากขึ้น แต่กระดาษกราฟที่มีค่า b^* ที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษชนิดอื่น ๆ เนื่องจากกระดาษกราฟมีโทนสีน้ำเงิน โดยค่า b^* อยู่ระหว่าง 18.46-19.26 และจากตารางที่ 20 พบว่ากระดาษกราฟที่ผ่านการเคลือบ มีค่า b^* ที่สูงขึ้น ซึ่งค่าดังกล่าวมีความ

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม แสดงว่ากระดาษเคลือบดังกล่าวมีการเปลี่ยนเป็นโทนสีเหลืองมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช กลับมีค่า b^* ที่ลดลง และมีค่าใกล้เคียงกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ

เมื่อพิจารณาค่า b^* ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน จากตารางที่ 21 พบว่า กระดาษชนิดดังกล่าวมีค่า b^* น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษแข็ง และกระดาษกราฟที่มีค่า b^* อยู่ในช่วง 0.79-2.54 กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานผ่านการเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น พบว่า มีค่า b^* ที่สูงขึ้น ซึ่งค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม แสดงว่ากระดาษเคลือบดังกล่าวมีการเปลี่ยนเป็นโทนสีเหลืองมากขึ้นโดยปริมาณของน้ำมันกานพลูที่เป็นองค์ประกอบในสารเคลือบมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า b^* ดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชในสารเคลือบไม่มีผลต่อค่า b^* ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบเมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่า ΔE พบว่า กระดาษแข็ง กระดาษกราฟ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานมีค่าความแตกต่างของค่าสีมากกว่า 0.5 โดยกระดาษแข็งมีความแตกต่างของค่าสีมากกว่า 1 และค่าดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรฟอบิกสตาร์ชในสารเคลือบสำหรับกระดาษกราฟที่มีค่าความแตกต่างของค่าสีอยู่ระหว่าง 0.88-1.00 และเช่นเดียวกับกระดาษแข็ง ที่ความเข้มข้นของไฮโดรฟอบิกสตาร์ชในสารเคลือบส่งผลให้มีค่าความแตกต่างของค่าสีที่เพิ่มขึ้น สำหรับกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน พบว่า ทั้งความเข้มข้นของน้ำมันกานพลูและความเข้มข้นของไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบส่งผลให้ค่าความแตกต่างของค่าสีเพิ่มมากขึ้นด้วยมีค่าความแตกต่างของค่าสีอยู่ระหว่าง 0.40-1.81 อย่างไรก็ตามสายตาของมนุษย์สามารถแยกแยะความแตกต่างของค่าสีได้เมื่อ ΔE มีค่าอย่างน้อย 5 (Linstrom, 2008) ทั้งนี้สารเคลือบชนิดต่าง ๆ สามารถส่งผลกระทบต่อค่าความสว่าง ความทึบแสง และความมันวาวของกระดาษได้ (Jonhed, 2006)

ตารางที่ 19 ค่าสีในระบบ CIE ของกระดาษแข็งเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

ความเข้มข้น น้ำมันกานพลู (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ค่าสี							
	L*		a*		b*		ΔE	
	ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น	
	ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	71.06±0.07 ^{aA}	71.06±0.07 ^{aA}	-0.14±0.03 ^{bA}	-0.14±0.03 ^{bA}	3.71±0.02 ^{aA}	3.71±0.02 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}
ตัวควบคุม ²	69.29±0.06 ^{aB}	68.74±0.25 ^{aA}	-0.14±0.02 ^{bA}	-0.14±0.01 ^{bA}	4.27±0.02 ^{bA}	4.60±0.07 ^{bB}	1.85 ^{cA}	2.81 ^{cB}
5	69.48±0.09 ^{bB}	69.05±0.16 ^{bA}	-0.16±0.04 ^{bA}	-0.17±0.04 ^{bA}	4.30±0.09 ^{bcA}	4.57±0.13 ^{bB}	1.69 ^{cA}	2.19 ^{dB}
10	69.88±0.12 ^{cA}	69.98±0.14 ^{cA}	-0.17±0.01 ^{bA}	-0.25±0.03 ^{aA}	4.36±0.06 ^{cdA}	4.68±0.13 ^{cB}	1.35 ^{bA}	1.46 ^{bB}
15	70.37±0.51 ^{dA}	70.38±0.47 ^{dA}	-0.20±0.02 ^{aA}	-0.26±0.14 ^{aA}	4.38±0.13 ^{cA}	4.73±0.10 ^{cB}	1.10 ^{bA}	1.32 ^{bA}

หมายเหตุ ¹ กระดาษแข็งที่ไม่เคลือบ

² กระดาษแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-B} ตัวอักษรในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

ตารางที่ 20 ค่าสีในระบบ CIE ของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

ความเข้มข้น น้ำมันกานพลู (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ค่าสี							
	L*		a*		b*		ΔE	
	ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น	
	ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	69.07±0.48 ^{cA}	69.07±0.48 ^{cA}	4.87±0.22 ^{aA}	4.87±0.22 ^{abA}	18.46±0.40 ^{aA}	18.46±0.40 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}
ตัวควบคุม ²	69.23±0.28 ^{dB}	69.03±0.20 ^{dB}	4.77±0.04 ^{aB}	4.77±0.08 ^{aB}	19.11±0.24 ^{bB}	19.23±0.12 ^{bB}	0.88 ^{bB}	0.91 ^{bB}
5	68.70±0.37 ^{aB}	68.72±0.64 ^{aB}	4.88±0.11 ^{aB}	5.09±0.31 ^{cB}	19.24±0.38 ^{bB}	19.26±0.54 ^{bB}	0.95 ^{bB}	1.00 ^{bB}
10	68.77±0.83 ^{bB}	68.95±0.78 ^{bB}	4.97±0.28 ^{aB}	5.03±0.25 ^{bcB}	19.08±0.66 ^{bB}	19.11±0.45 ^{bB}	0.88 ^{bB}	0.98 ^{bB}
15	69.24±0.59 ^{cB}	69.12±0.20 ^{cB}	4.89±0.22 ^{aB}	4.98±0.08 ^{abcB}	18.78±0.54 ^{abB}	18.37±0.46 ^{aB}	0.82 ^{bB}	0.91 ^{bB}

หมายเหตุ ¹ กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ

² กระดาษกราฟที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-B} ตัวอักษรในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

ตารางที่ 21 ค่าสีในระบบ CIE ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

ความเข้มข้น น้ำมันกานพลู (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ค่าสี							
	L*		a*		b*		ΔE	
	ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น	
	ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	89.66±0.35 ^{aA}	89.66±0.35 ^{aA}	-0.31±0.02 ^{aA}	-0.31±0.02 ^{aA}	0.79±0.05 ^{aA}	0.79±0.05 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}
ตัวควบคุม ²	89.47±0.21 ^{aA}	89.43±0.44 ^{aA}	-0.34±0.03 ^{aA}	-0.36±0.03 ^{aA}	0.85±0.08 ^{aB}	0.86±0.04 ^{aB}	0.40 ^{aAB}	0.69 ^{bB}
5	89.76±0.30 ^{aA}	89.45±0.37 ^{aA}	-0.35±0.04 ^{aA}	-0.37±0.15 ^{aA}	1.62±0.26 ^{bB}	1.77±0.13 ^{bB}	0.92 ^{bB}	1.14 ^{cB}
10	89.68±0.40 ^{aA}	89.58±0.17 ^{aA}	-0.37±0.10 ^{aA}	-0.32±0.05 ^{aA}	1.83±0.50 ^{bB}	2.01±0.13 ^{cB}	1.29 ^{bB}	1.31 ^{cB}
15	89.64±0.10 ^{aA}	89.50±0.17 ^{aA}	-0.33±0.09 ^{aA}	-0.37±0.10 ^{aA}	2.68±0.25 ^{cB}	2.54±0.23 ^{dB}	1.95 ^{cB}	1.81 ^{dB}

หมายเหตุ ¹ กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่เคลือบ

² กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-B} ตัวอักษรในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาศแข็ง และกระดาศกราฟที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช ได้แก่ ความต้านทานแรงกดงแหวน และความต้านทานแรงดันทะลุ แสดงดังตารางที่ 22 และ 23 ตามลำดับ พบว่า น้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของกระดาศทั้งสองชนิด คาดว่าเนื่องจากสารเคลือบดังกล่าว เคลือบเป็นชั้นบางๆปกคลุมผิวกระดาศ ถึงแม้สารเคลือบบางส่วนจะซึมลงไปในกระดาศ แต่ไม่มากพอที่จะมีผลต่อโครงสร้างและความแข็งแรงเชิงกลของกระดาศ

แต่สำหรับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช ได้แก่ ความต้านทานแรงกดงแหวน และความต้านทานแรงดันทะลุ แสดงดังตารางที่ 24 พบว่า สารเคลือบมีผลต่อสมบัติเชิงกลของกระดาศ โดยกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ผ่านการเคลือบด้วยไฮโดรฟอบิกสตาร์ชเพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุมเชิงลบ) และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น มีค่าต้านทานแรงกดงแหวนที่เพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม แต่เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำมันกานพลูที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบ พบว่า ไม่มีผลต่อความต้านทานแรงกดงแหวนของกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ผ่านการเคลือบ แต่ปริมาณของสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่ต่างกัน มีผลต่อความต้านทานแรงกดงแหวนของกระดาศเคลือบ โดยกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 มีค่าความต้านทานแรงกดงแหวนสูงกว่ากระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 และค่าดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ทั้งนี้ เนื่องจาก กระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน มีโครงสร้างที่มีความพรุนสูง สารเคลือบจึงสามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างและเส้นใยของกระดาศได้ จึงส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาศ และปริมาณไฮโดรฟอบิกสตาร์ชที่สูงขึ้นส่งผลให้กระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานมีความแข็งแรงเชิงกลมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ นวพร และคณะ (2549) พบว่า ปริมาณของสตาร์ชดัดแปรในสารเคลือบที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้กระดาศเคลือบด้วยสารเคลือบดังกล่าวมีความแข็งแรงเชิงกลที่สูงขึ้น

ตารางที่ 22 ความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาดแข็ง และกระดาดกราฟท์เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความต้านทานแรงกดวงแหวนกระดาดแข็ง ³ (กิโลนิวตันต่อเมตร)				ความต้านทานแรงกดวงแหวนกระดาดกราฟท์ ³ (กิโลนิวตันต่อเมตร)			
	ทิส MD		ทิส CD		ทิส MD		ทิส CD	
	ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น	
	ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	3.05±0.22	3.05±0.22	2.51±0.34	2.51±0.34	0.89±0.05	0.89±0.05	0.61±0.12	0.61±0.12
ตัวควบคุมเชิงลบ ²	3.07±0.16	30.6±0.21	2.58±0.20	2.59±0.25	0.89±0.06	0.90±0.13	0.63±0.05	0.63±0.07
5	3.08±0.26	3.04±0.27	2.59±0.12	2.59±0.07	0.90±0.09	0.90±0.15	0.65±0.06	0.64±0.08
10	3.05±0.29	3.05±0.25	2.56±0.22	2.51±0.06	0.91±0.10	0.90±0.05	0.64±0.07	0.64±0.11
15	3.05±0.21	3.04±0.20	2.58±0.20	2.51±0.09	0.91±0.04	0.90±0.04	0.65±0.10	0.64±0.09

หมายเหตุ ¹ กระดาดที่ไม่เคลือบ

² กระดาดที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

³ ค่าทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 23 ความต้านทานแรงดันทะเลของกระดวยแข็ง และกระดวยคราฟท์เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช

ความเข้มข้นน้ำมันกานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความต้านทานแรงดันทะเลของกระดวยแข็ง ³ (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)		ความต้านทานแรงดันทะเลของกระดวยคราฟท์ ³ (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)	
	ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	11.48±0.17	11.48±0.17	5.94±0.19	5.94±0.19
ตัวควบคุมเชิงลบ ²	11.56±0.21	11.44±0.18	5.92±0.19	5.99±0.26
5	11.52±0.17	11.56±0.63	6.00±0.23	6.02±0.20
10	11.38±0.26	11.44±0.54	6.04±0.42	6.00±0.30
15	11.38±0.15	11.36±0.13	6.04±0.25	6.06±0.16

หมายเหตุ ¹กระดวยที่ไม่เคลือบ

²กระดวยที่เคลือบสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

³ค่าทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

พิจารณาความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน จากตารางที่ 24 พบว่า กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานซึ่งเคลือบด้วยไฮโดรโฟบิก สตาร์ชเพียงอย่างเดียว (ตัวควบคุมเชิงลบ) และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบ ด้วยสารเคลือบ มีค่าความต้านทานแรงดันทะเลที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม โดยค่าดังกล่าว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ปริมาณของน้ำมัน กานพลูที่เพิ่มมากขึ้นในสารเคลือบ กลับส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษขึ้นรูป ด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานมีค่าที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมเชิงลบ สอดคล้องกับผลการ ทดลองของ อุดมลักษณ์ และคณะ (2544) พบว่า การเคลือบกระดาษด้วยสารละลายน้ำมันหอม ระเหยจากอบเชยมีผลให้คุณสมบัติทางเชิงกลของกระดาษลดลง เนื่องจากเมื่อเติมน้ำมันลงใน สารละลายไฮโดรโฟบิกสตาร์ชซึ่งมีความชอบน้ำมากกว่าน้ำมัน ส่งผลให้สารเคลือบที่ได้ขาด ความสมบูรณ์และความต่อเนื่องในโครงสร้าง (Weller *et al.*, 1998; Sebt *et al.*, 2002; Colla *et al.*, 2006) เนื่องจากมีน้ำมันแทรกอยู่ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ดังนั้นกระดาษขึ้นรูปด้วย เครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีปริมาณน้ำมันกานพลูสูง ความแข็งแรงหลัง เคลือบจึงลดลง สอดคล้องกับ Yang and Paulson (2000) พบว่าปริมาณของไขมันที่เป็น องค์ประกอบในฟิล์มที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง ปริมาณไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของกระดาษลดลง ดังนั้นจึงส่งผลให้ความต้านทานแรงดันทะเล ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานมีค่าลดลง นอกจากนี้ปริมาณของสารเคลือบ ไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบ มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดันทะเล โดยกระดาษขึ้น รูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร้อยละ 8 มีค่า ความต้านทานแรงดันทะเลที่สูงกว่า กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสาร เคลือบไฮโดรไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร้อยละ 5 ซึ่งค่าดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 24 ความต้านทานแรงกดวงแหวน และแรงดันทะลุของกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช

ความเข้มข้น น้ำมันกานพลู (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ความต้านทานแรงกดวงแหวน		ความต้านทานแรงดันทะลุ	
	(กิโลนิวตันต่อเมตร)		(กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)	
	ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช	
	(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	5	8	5	8
ตัวควบคุม ¹	0.12±0.02 ^{aA}	0.12±0.02 ^{aA}	2.06±0.13 ^{aA}	2.06±0.13 ^{aA}
ตัวควบคุมเชิงลบ ²	0.20±0.06 ^{bA}	0.21±0.05 ^{bA}	5.16±1.58 ^{cA}	5.96±0.28 ^{cB}
5	0.18±0.03 ^{bA}	0.21±0.04 ^{bB}	3.98±0.36 ^{dA}	4.72±0.63 ^{dB}
10	0.17±0.03 ^{bA}	0.21±0.03 ^{bB}	3.18±0.33 ^{cA}	4.34±0.48 ^{cB}
15	0.17±0.04 ^{bA}	0.21±0.03 ^{bB}	2.70±0.14 ^{bA}	3.72±0.32 ^{bB}

หมายเหตุ ¹ กระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่เคลือบ

² กระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

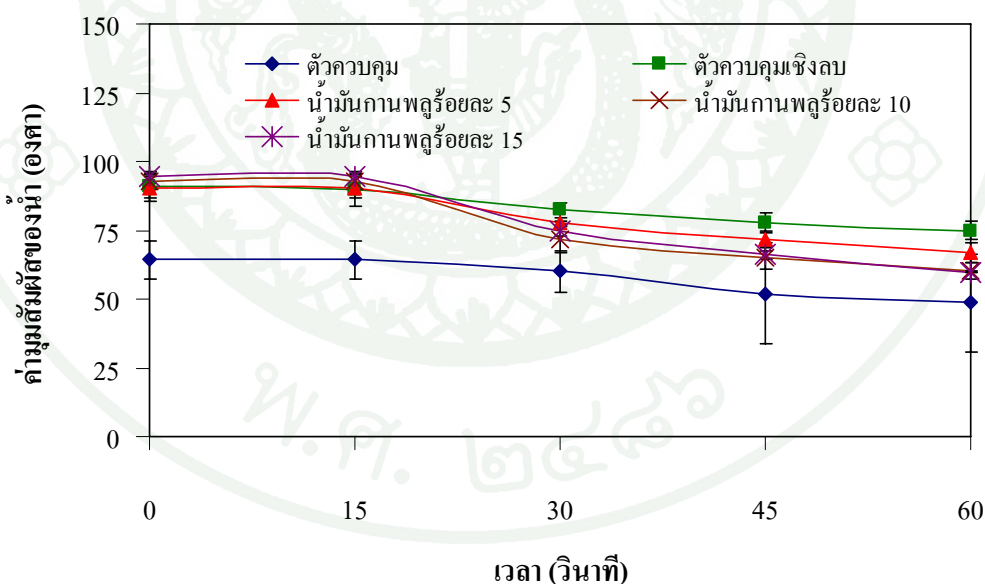
^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

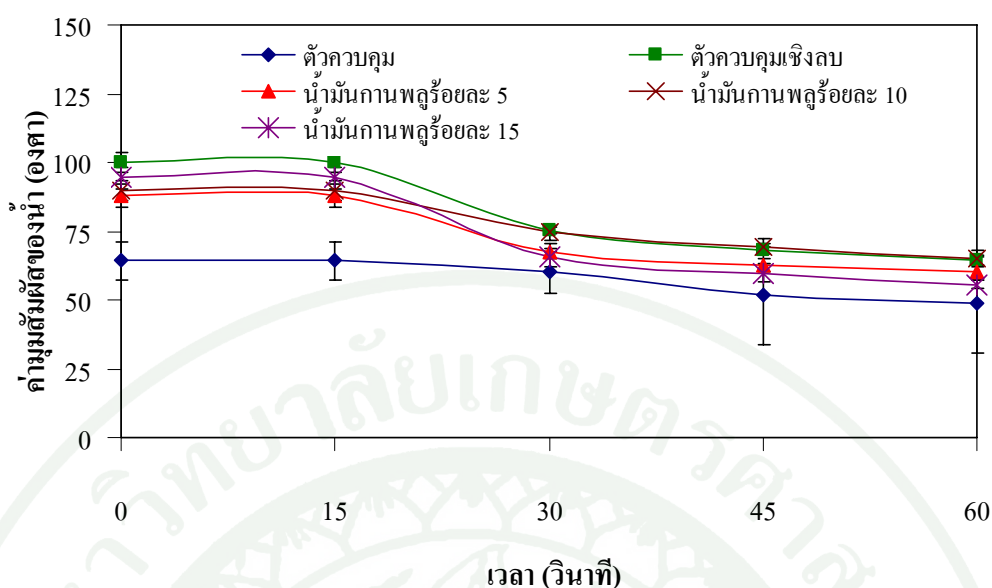
5.3 การศึกษาสมบัติต้านทานน้ำด้วยเครื่องวัดมุมผิวสัมผัส

สำหรับการทดสอบความสามารถในความต้านทานน้ำของกระดาศทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กระดาศแข็ง (ด้านหลัง) กระดาศคราฟท์ (ด้านหน้า) และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน โดยการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำนั้น พบว่ากระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำได้ ทั้งนี้เนื่องจากกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่นำมาทดลองนี้ ไม่ได้ผ่านการเติมสารเติมแต่งใดๆ ดังนั้นกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานจึงมีความพรุนที่สูง และสารเคลือบที่ใช้เคลือบนั้นก็ไม่สามารถที่จะลดช่องว่างระหว่างเส้นใยของกระดาศได้ สอดคล้องกับ Shen *et al.* (2000) อย่างไรก็ตาม Okayama *et al.* (2000) ได้พัฒนา

เครื่องมือเพื่อศึกษาการซึมผ่านของของเหลวบนกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานจากเชื้อหมุนเวียนนำมาใช้ใหม่ แต่สำหรับกระดาษแข็ง และกระดาษคราฟท์ สามารถวัดค่าความต้านทานน้ำดังกล่าวได้ โดยพบว่า ความสามารถในการต้านทานน้ำของกระดาษแข็งด้านหลัง ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น มีค่ามุมสัมผัสของน้ำที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษแข็งที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) ซึ่งค่ามุมสัมผัสที่มีค่ามากนี้บ่งชี้ว่ากระดาษนั้นมีความสามารถในการต้านทานน้ำได้ดี โดยความสามารถในการต้านทานน้ำของกระดาษแข็งมีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งพิจารณาจากค่ามุมสัมผัสของน้ำที่มีค่าลดลง โดยค่ามุมสัมผัสของน้ำดังกล่าวมีค่าลดลงอย่างชัดเจนและลดลงอย่างต่อเนื่องหลังวินาทีที่ 15 ดังภาพที่ 25 และ 26 ผลจากการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ Andersson and Jarnstrom (n.d.) พบว่า กระดาษที่ผ่านกระบวนการ sizing ด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ช มีความสามารถในการต้านทานการดูดซึมของน้ำได้ดี โดยมีค่ามุมสัมผัสของน้ำที่มากกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านกระบวนการดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ค่ามุมสัมผัสของน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่แตกต่างกัน

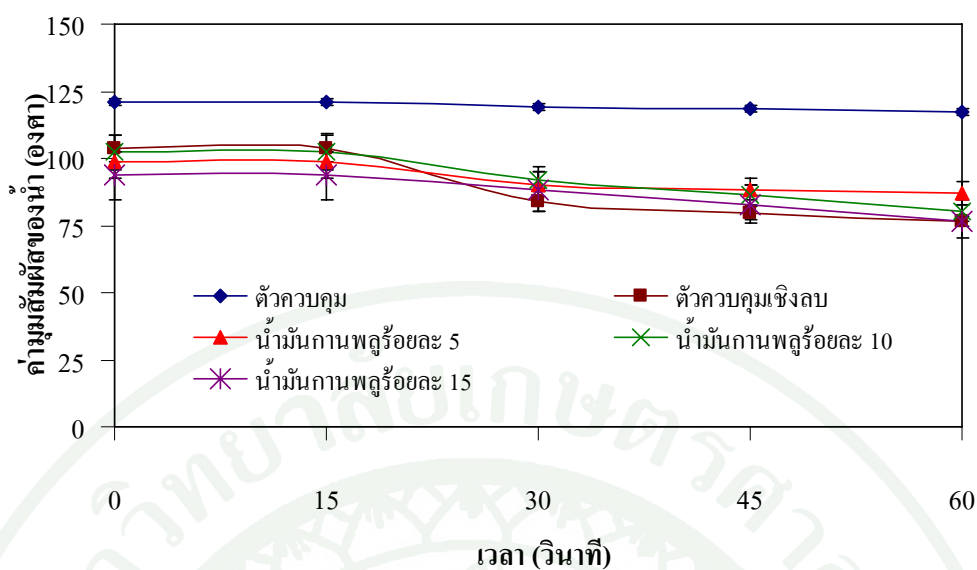


ภาพที่ 25 การลดลงของค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไปสำหรับกระดาษแข็งหลังเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

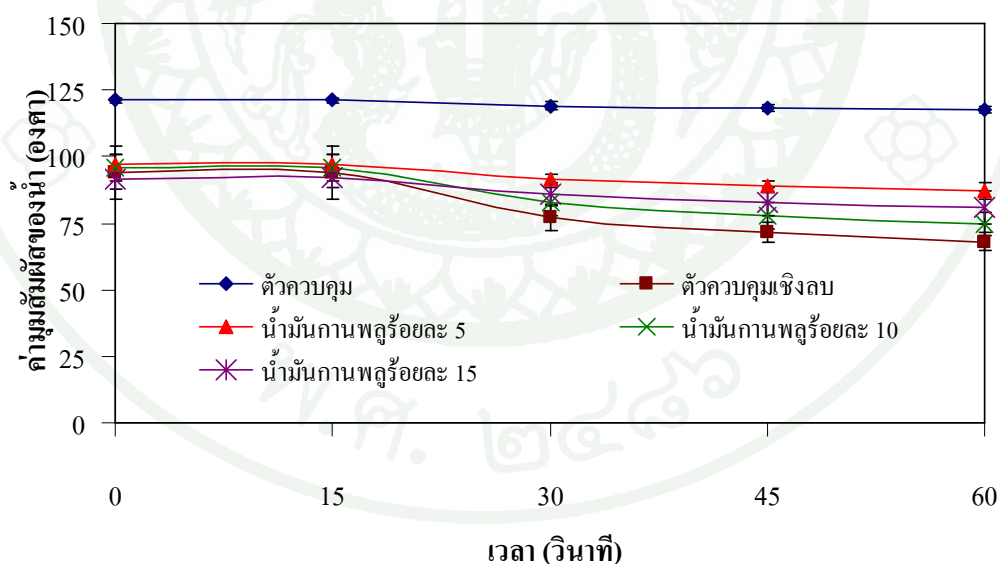


ภาพที่ 26 การลดลงของค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไปสำหรับกระดาษแข็ง หลังเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

แต่สำหรับค่าทดสอบความสามารถในการต้านทานน้ำของกระดาษกราฟที่ด้านหน้าโดยพิจารณาจากค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ พบว่ากระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชทั้งสองระดับความเข้มข้น มีค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษกราฟที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) ซึ่งการที่กระดาษเคลือบมีค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำที่ลดต่ำลง เนื่องจากกระดาษที่เคลือบถูกปกคลุมด้วยสารเคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ช ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานน้ำที่ดีกว่า สารกันซึมที่ฉาบผิวหน้ากระดาษอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ สารเคลือบดังกล่าว ยังส่งผลให้กระดาษที่ผ่านการเคลือบมีพลังงานผิวสัมผัสที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำลดลง (Mittal *et al.*, 2002) อย่างไรก็ตาม สารเคลือบบางชนิด เช่น ไคโตซาน สามารถลดความต้านทานน้ำของกระดาษได้ เนื่องจากสารเคลือบ บางส่วนแทรกซึมเข้าไปในระหว่างเส้นใยและเติมเต็มระหว่างช่องว่างของเส้นใยในกระดาษ เป็นผลให้สารกันซึม (sizing agent) มีผลต่อกระดาษน้อยลง ดังนั้นผิวหน้าของกระดาษที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบดังกล่าวจึงมีคุณสมบัติชอบน้ำมากขึ้น (Bordenave *et al.*, 2007) แต่อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการต้านทานน้ำของกระดาษกราฟที่มีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งพิจารณาจากค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำที่มีค่าลดลง โดยค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำดังกล่าวมีค่าลดลงอย่างชัดเจนและลดลงอย่างต่อเนื่องหลังวินาทีที่ 15 ดังภาพที่ 27 และ 28



ภาพที่ 27 การลดลงของค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไปสำหรับกระดาศคราฟท์
หลังเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิก
สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 28 การลดลงของค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไปสำหรับกระดาศคราฟท์
หลังเคลือบด้วยน้ำมันกานพลูที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิก
สตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

5.4 การศึกษาลักษณะผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

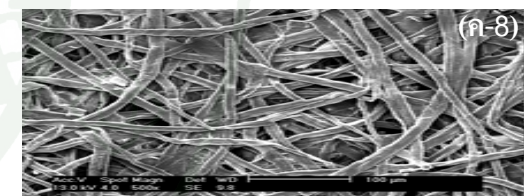
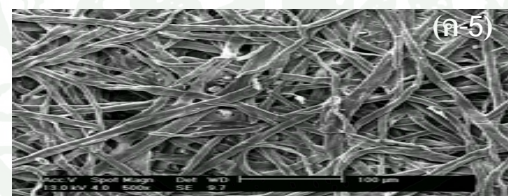
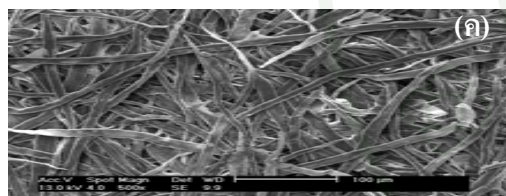
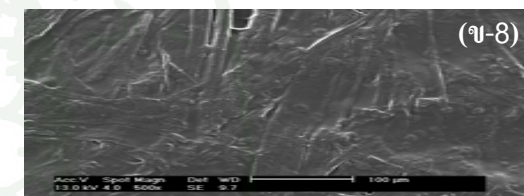
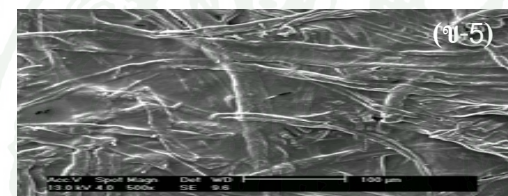
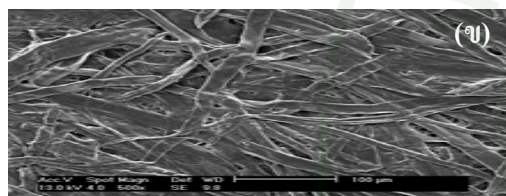
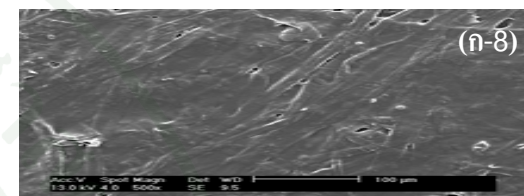
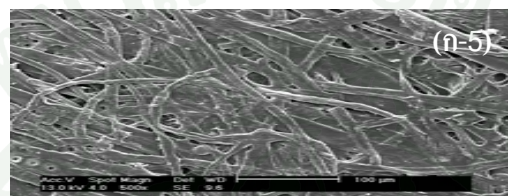
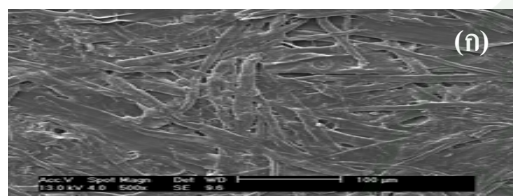
ผลของการศึกษาลักษณะผิวหน้าของกระดาศแข็งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า กระดาศแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีสารเคลือบปกคลุมเส้นใยของกระดาศ ดังภาพที่ 29 (ก-5) โดยเส้นใยดังกล่าวมีสีขาวมากกว่าเส้นใยของกระดาศแข็งที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) ดังภาพที่ (ก) และกระดาศแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีลักษณะของผิวหน้าของกระดาศที่เรียบกว่า และสามารถสังเกตเห็นสารเคลือบที่ปกคลุมเส้นใยอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 29 (ก-8) เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาศแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และกระดาศแข็งที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม)

ผลของการศึกษาลักษณะผิวหน้าของกระดาศกราฟท์ (ด้านหน้า) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า กระดาศกราฟท์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีสารเคลือบปกคลุมเส้นใยของกระดาศ ดังภาพที่ 29 (ข-5) ส่งผลให้ผิวหน้าของกระดาศดังกล่าว มีลักษณะเรียบกว่ากระดาศกราฟท์ที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) ดังภาพที่ 29 (ข) และกระดาศกราฟท์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีลักษณะของผิวหน้าของกระดาศที่เรียบมากขึ้น และสามารถสังเกตเห็นสารเคลือบที่ปกคลุมเส้นใยอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 29 (ข-8) เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาศกราฟท์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และกระดาศกราฟท์ที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) แสดงดังภาพที่ 29 (ข)

ผลของการศึกษาลักษณะผิวหน้าของกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า กระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีสารเคลือบปกคลุมเส้นใยของกระดาศ ดังภาพที่ 29 (ค-5) ส่งผลให้เส้นใยของกระดาศดังกล่าว มีสีขาวขุ่น กว่าเส้นใยของกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) ดังภาพที่ 29 (ค) และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก สามารถสังเกตเห็นสารเคลือบที่ปกคลุมเส้นใยอย่างชัดเจน โดยเส้นใยของกระดาศมีสีขาวขุ่นมากกว่า ดังภาพที่ 29 (ค-8) เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และกระดาศขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ไม่ได้เคลือบ (ตัวควบคุม) แสดงดังภาพที่ 29 (ค)

ถึงแม้สารเคลือบดังกล่าวสามารถที่จะแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน และปกคลุมเส้นใยของกระดาษดังกล่าว แต่ก็ไม่สามารถที่จะผสานช่องว่างระหว่างเส้นใยได้ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากช่องว่างระหว่างเส้นใยที่ยังคงเห็นได้ชัดเจน และผิวหน้าของกระดาษที่ไม่ได้ปกคลุมด้วยสารเคลือบจะมีลักษณะเรียบ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างลักษณะของเส้นใยของกระดาษทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษแข็ง กระดาษคราฟท์ และกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน พบว่า กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานมีช่องว่างระหว่างเส้นใยมากกว่ากระดาษแข็ง และกระดาษคราฟท์ และมีความพรุนสูง ถึงแม้ว่าสารเคลือบส่วนใหญ่จะถูกดูดซับด้วยเส้นใย แต่ไม่สามารถเติมเต็มช่องว่างระหว่างเส้นใยได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษแข็ง และกระดาษคราฟท์ ซึ่งมีลักษณะของเส้นใยที่ผสานตัวกันได้ดีกว่า และมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อยกว่า ดังนั้น สารเคลือบบางส่วนของกระดาษจึงสามารถแทรกซึมเข้าไประหว่างเส้นใยได้ โดยสารเคลือบส่วนใหญ่จะปกคลุมที่ผิวหน้าของกระดาษ โดยที่ความเข้มข้นของสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาติคที่มากขึ้น ส่งผลให้ผิวหน้าของกระดาษเรียบมากขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะผิวหน้าระหว่างกระดาษแข็ง (ด้านหลัง) กับ กระดาษคราฟท์ (ด้านหน้า) ที่ไม่ผ่านการเคลือบ (ตัวควบคุม) พบว่า ลักษณะผิวหน้าของกระดาษแข็ง แสดงดังภาพที่ 29 (ก) มีลักษณะที่ค่อนข้างเรียบกว่า ลักษณะผิวหน้าของกระดาษคราฟท์ แสดงดังภาพที่ 29 (ข) นอกจากนี้ กระดาษคราฟท์ที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาติคความเข้มข้นร้อยละ 5 มีผิวหน้าที่เรียบกว่า และมีสารที่ปกคลุมเส้นใยมากกว่า กระดาษแข็งที่เคลือบด้วยสารเคลือบดังกล่าว ภาพที่ 29 (ข-5) และ 29 (ก-5) ตามลำดับ



ตัวควบคุม

เคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร้อยละ 5

เคลือบไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร้อยละ 8

ภาพที่ 29 ลักษณะผิวหน้าของกระดาษกรองด้วยกลีองจุลทรศน์อีเล็กตรอนส่องกราดกำลังขยาย 500 เท่า (ก) กระดาษแข็ง (ข) กระดาษกราฟที่ และ (ค) กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษากิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลูซึ่งเจือจางด้วย ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ด้วยวิธีการแพร่ผ่านหลุมวุ้น น้ำมันกานพลูสามารถต้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบอย่าง *E. coli* ได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถต้านการเจริญ คือ ร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก และสามารถยับยั้งการเจริญของ *B. cereus*, *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รองลงมา โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถต้านการเจริญ คือ ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

2. การศึกษากิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิก สตาร์ชที่ ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนักและความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ด้วยวิธีการแพร่ผ่านหลุมวุ้น น้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดได้ โดยสามารถต้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบอย่าง *E. coli* ได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถต้านการเจริญ คือ ร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก และสามารถยับยั้งการเจริญของ *B. cereus*, *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รองลงมา โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถต้านการเจริญ คือ ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แต่น้ำมันกานพลูในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 สามารถต้านการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบอย่าง *E. coli* ได้เพียงชนิดเดียว โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถต้านการเจริญ คือ ร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก

3. การศึกษาสมบัติ และทดสอบประสิทธิภาพในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น และวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์ พบว่า กระดาษแข็งซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบที่น้ำมันกานพลูทุกระดับความเข้มข้นสามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดได้ โดยประสิทธิภาพของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เมื่อน้ำมันกานพลู และ

ไฮโดรโฟบิกสตาร์ชในสารเคลือบมีปริมาณมากขึ้น แต่สารเคลือบดังกล่าวไม่มีผลต่อความแข็งแรงของกระดาษเชิงกล แต่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน และความหนา ความต้านทานน้ำ เพิ่มขึ้นของกระดาษเมื่อผ่านการเคลือบ และค่าสี b^* ของกระดาษแข็งเคลือบสารเคลือบผสมน้ำมันกานพลูที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น บ่งบอกถึงกระดาษเคลือบเปลี่ยนไปในโทนสีเหลือง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

4. การศึกษาสมบัติ และทดสอบประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ของกระดาษกราฟที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น และวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์ พบว่า กระดาษกราฟที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ทุกระดับความเข้มข้นสามารถด้านการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดได้ โดยประสิทธิภาพของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เมื่อน้ำมันกานพลู และไฮโดรโฟบิกสตาร์ชในสารเคลือบมีปริมาณมากขึ้น แต่สารเคลือบดังกล่าวไม่มีผลต่อความแข็งแรงของกระดาษเชิงกล แต่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน และความหนา ที่เพิ่มขึ้นของกระดาษเมื่อผ่านการเคลือบ แต่กระดาษกราฟที่เคลือบมีความต้านทานน้ำที่ลดลง ค่าสี b^* ของกระดาษกราฟที่เคลือบสารเคลือบผสมน้ำมันกานพลูที่มีค่าเพิ่มขึ้น บ่งบอกถึงกระดาษเคลือบเปลี่ยนไปในโทนสีเหลือง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

5. การศึกษาสมบัติ และทดสอบประสิทธิภาพในการด้านการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ *B. cereus*, *S. aureus* และ *E. coli* ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ในสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ชร้อยละ 5 และ 8 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการแพร่ผ่านช่องว่างเหนือวุ้น และวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์ พบว่า กระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานซึ่งเคลือบด้วยสารเคลือบที่ทุกระดับความเข้มข้นสามารถด้านการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดได้ โดยประสิทธิภาพของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เมื่อน้ำมันกานพลู และไฮโดรโฟบิกสตาร์ชในสารเคลือบมีปริมาณมากขึ้น สารเคลือบดังกล่าวมีผลต่อความแข็งแรงของกระดาษเชิงกล และมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความต้านทานแรงกดวงแหวน และความต้านทานแรงดันทะลุที่เพิ่มขึ้นของกระดาษเมื่อผ่านการเคลือบ และค่าสี b^* ของกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานที่ผ่านการเคลือบ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันกานพลูในสารเคลือบมากขึ้น ส่งผลให้กระดาษมีแนวโน้มเป็นสีเหลือง

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาสารเคลือบ และเทคนิคในการเตรียมสารเคลือบอื่นๆ ที่เป็นไปได้ในการใช้เคลือบกระดาษ เช่น เอนแคปซูเลชัน ทั้งนี้เนื่องจากสารเคลือบ และเทคนิคในการเตรียมสารเคลือบมีผลโดยตรงกับความสามารถในการปลดปล่อยของสารต้านจุลินทรีย์ ซึ่งสารเคลือบที่เหมาะสมอาจสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของกระดาษต้านจุลินทรีย์ และสามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยของสารต้านจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ศึกษาวิธีการเคลือบอื่นๆ เช่น เคลือบสองชั้น ทั้งนี้เพื่อให้สารต้านจุลินทรีย์อยู่ที่ผิวหน้ากระดาษ เนื่องจากสารเคลือบจะซึมลงในกระดาษและถูกเก็บกักไว้ในกระดาษ อาจส่งผลต่อการปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ รวมทั้งศึกษาเพิ่มเติมถึงสารเคลือบที่เหมาะสมในการนำมาเคลือบก่อนการเคลือบสารต้านจุลินทรีย์
3. ศึกษาการนำกระดาษต้านจุลินทรีย์ไปประยุกต์ใช้จริงกับอาหารประเภทต่างๆ เช่น ทำฝักถั่วงอกอาหารจานด่วน ฝักถั่วงอกและวัตถุดิบกระแทกสำหรับบรรจุผลไม้ รวมทั้งกระดาษห่อผลก่อนการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลไม้ประเภทส้ม เนื่องจากน้ำมันกานพลูสามารถยับยั้งการเจริญของราเขียว (*Penicillium digitatum*) ซึ่งพบมากในผลไม้ตระกูลส้ม ได้ดีที่สุด (Hall and Fernandez, 2004) ทั้งนี้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานของกระดาษต้านจุลินทรีย์ จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จริยาภรณ์ เสาร์ทอง. ม.ป.ป. กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ. แหล่งที่มา:

<http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20090709Jariyaporn12.pdf>, 31 มกราคม 2553.

ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาณวัฒน์. 2544. ความรู้เบื้องต้นกับสตา์ชข้าวเจ้า. ข่าวสารวิชาการในวงการ
สตา์ช 4: 1-7.

ดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย. 2550. ผลการเคลือบสตา์ชตัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษ
กราฟที่ทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสภาวะห้องเย็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คุณฉวี อดุภาพ และ น้องนุช เจริญกุล. ม.ป.ป. เคมีและสมบัติของสตา์ช. Carbohydrate
Technology. แหล่งที่มา: [http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/
chapter2.html](http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html), 19 กุมภาพันธ์ 2552.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. 2541. จุลชีววิทยาทั่วไป. จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

นภาพร วรรณวิศาล. 2549. ผลของการเคลือบสตา์ชตัดแปรที่มีต่อสมบัติความแข็งแรงของ
กระดาษกราฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____, ธัญญรัตน์ จิณกาญจน์, น้ำฝน ลำดับวงศ์ และ วาณี ชนเห็นชอบ. 2549. ผล
ของการเคลือบออกซิไคซ์สตา์ชที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษกราฟ, น. 461-
465. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 (สาขา
อุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

นรินาม. ม.ป.ป. องค์ประกอบของกระดาษ. แหล่งที่มา:

www.doublepaper.com/knowning/paper_element1.pdf, 25 สิงหาคม 2552.

นิรนาม. ม.ป.ป. สมบัติของกระดาษ. แหล่งที่มา:

www.doublepaper.com/knowning/paper_properties2.pdf, 25 สิงหาคม 2552.

ปิยะวิทย์ สดสุชาติ, วันชัย เลิศวิจิตรจรัส และ อำนาจ สิทธิตระกูล. ม.ป.ป. การปรับปรุงสมบัติการดูดความชื้นของเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากสตาร์ชโดยใช้กรดไขมัน. แหล่งที่มา:

www.scisoc.or.th/stt/35/sec_e/paper/STT35_E_E0045.pdf, 31 มกราคม 2552.

วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล. 2539. จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่ออาหาร. โอ. เอส. พรินติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ

สมหวัง จันตยานวงศ์. 2546. เอกสารประกอบการสอนวิชาโครงสร้างและสมบัติของกระดาษ. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศวรรณี เหลืองสุนทรชัย และ วลัยรัตน์ จันทรปานนท์. 2550. ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ของน้ำมันกานพลูทางการค้า. น. 719-725. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

อัญชลี กมลรัตนกุล, ไพศาล อนันต์นุกุล, อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิต และ มยุรี ภาคลำเจียก. 2545. คู่มือการใช้กระดาษเพื่อการหีบห่อ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

อุดมลักษณ์ สุขอัครตะ, อุไรวรรณ คิลกคุณานันท์, วุฒินันท์ คงทัด, วิชัย หฤทัยธนาสันดี และ สุภาณิดา บัวบาน. 2549. การพัฒนากระดาษฟางข้าวเคลือบน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรเพื่อยืดอายุการเก็บผลไม้กวน, น. 446-453. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

อุดมลักษณ์ สุขอัครตะ, วิชัย หฤทัยธนาสันต์, วลัยรัตน์ จันทรปานนท์, อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ และ ภาณุวัฒน์ สรรพกุล. 2551. การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันกานพลู น้ำมันอบเชย และการเสริมฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคหลังการเก็บเกี่ยวขององุ่น, น. 497-504. ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 (สาขา อุตสาหกรรมเกษตร)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

Andersson, C. and L. Jarnstrom. n.d. **Distribution of starch and hydrophobic sizing agents**.

Available Source: [http:// www.t2f.nu/t2f_rapp_f_85.pdf](http://www.t2f.nu/t2f_rapp_f_85.pdf), May 15, 2008.

Anonymous. 2000. **Paper industry biocides**. Available Source:

www.basf.com/biocides/pdfs/PIB_Brochure.pdf, January 25, 2009.

_____. 2005. **Clove oil MSDS**. Available Source: http://www.sciencelab.com/xMSDS-Clove_oil-9927498, December 22, 2008.

_____. 2009. **Cellulose**. Wikipedia. Available Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>, January 13, 2010

ASTM International. 2004a. Standard Practice for Conditioning Paper and Paper Products Testing ASTM D 685-93 (Reapproved 2002). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09: 45-47.

_____. 2004b. Standard Test Methods for Bursting Strength of Paper. ASTM D 774/D 774M-97 (Reapproved 2002). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09: 78-81.

_____. 2004c. Standard Test Methods for Grammage of Paper and Paperboard (Mass Per Unit Area). ASTM D 646-96 (Reapproved 2001). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09: 40-44.

ASTM International. 2004d. Standard Test Methods for Moisture Content of Paper and Paperboard by Oven Drying. ASTM D 644-99 (Reapproved 2002). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09: 34-36.

_____. 2004e. Standard Test Methods for Thickness of Paper and Paperboard. ASTM D 645/D 645M-97 (Reapproved 2002). **Annual Book of ASTM Standards** 15.09: 37-39.

_____. 2004f. Standard Test Methods for Corona-Treated Polymer Films Using Water Contact Angle Measurement. ASTM D5946-04. **Annual Book of ASTM Standards** 20.19: 1-6.

Arfa, A.B., L. Preziosi-Belloy, P.Chalier, N. Gontard and Y. Chrakabandhu. 2007a. Coating papers with soy protein isolates as inclusion matrix of carvacrol. **Food Research International** 40: 22-32.

_____, _____, _____ and _____. 2007b. Antimicrobial paper based on a soy protein isolate or modified starch coating including carvacrol and cinnamaldehyde. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 55: 2155-2162.

Appendini, P. and J.H. Hotchkiss. 2002. Review of antimicrobial food packaging. **Innovative Food Science and Emerging Technology** 3: 113-120.

Ayoola, G.A., F.M. Lawore, T. Adelowotan, I.E. Aibinu, E. Adenipekun, H.A.B. Coker and T.O. Odugbemi. 2008. Chemical analysis and antimicrobial activity of essential oil of *Syzigium aromaticum* (clove). **African Journal of Microbiology Research** 2: 162-166.

Bennis, S., F. Chami, N. Chami, T. Bouchikhi and A. Remmal. 2004. Surface alteration of *Saccharomyces cerevisiae* induced by thymol and eugenol. **Letters in Applied Microbiology** 36: 454-458.

- Bordenave, N., S. Grelier, F. Pichavant and V. Coma. 2007. Water and moisture susceptibility of chitosan and paper-based materials: structure-property relationships. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 55: 9479-9488.
- Burt, S. 2004. Essential oils: antimicrobial properties and potential applications in foods. **Food Microbiology** 94: 223-253.
- Chaieb, K., H. Hajlaoui, T. Zamantar, B. A. Kahla-Nakbi, M. Rouabhia, K. Mahdouani and F. Bakhrouf. 2007. The chemical composition and biological activity of clove essential oil, *Eugenia caryophyllata* (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae). **Phytotherapy Research** 21: 501-506.
- Chung, K.T., W.R. Thomasson and C.D. Wu-Yuan. 1990. Growth inhibition of selected food-borne bacteria, particularly *Listeria monocytogenes*, by plant extracts. **Journal of Applied Bacteriology** 69: 498-503.
- Colla, E., P.J. Do, A. Sobral, F. Cecialia and M. Alli. 2006. *Amaranthus cruentus* flour edible films: Influence of stearic acid addition, plasticizer concentration, and emulsion stirring speed on water vapor permeability and mechanical properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 54: 6645-6653.
- Coma, V. 2008. A review: Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. **Meat Sciences** 78: 90-103.
- Costerton, J. W., J. M. Ingram and K.J. Cheng. 1974. Structure and function of the cell envelope of gram-negative bacteria. **American Society for Microbiology** 38: 87-110.
- Gastaldi, E., P. Chalier, A. Guillemin and N. Gontard. 2007. Microstructure of protein-coated paper as affected by physico-chemical properties of coating solutions. **Colloids and Surfaces A** 301: 301-310.

- Gill, A.O. and R.A. Holley. 2004. Mechanisms of bactericidal action of cinnamaldehyde against *Listeria monocytogenes* and of eugenol against *L. monocytogenes* and *Lactobacillus sakei*. **Applied and Environmental Microbiology** 70: 5750–575.
- Guan, Y., L. Qian, H. Xiao and A. Zheng. 2008. Preparation of novel antimicrobial-modified starch and its adsorption on cellulose fibers: Part I. Optimization of synthetic conditions and antimicrobial activities. **Cellulose** 15: 609-618.
- Goñi, P., P. Lopez, C. Sanchez, R. Gomez-Lus, R. Becerril and C. Nerin. 2009. Antimicrobial activity in the vapour phase of a combination of cinnamon and clove essential oils. **Food Chemistry** 116: 982–989.
- Gupta, C., A.P. Garg, R.C. Uniyal and A. Kumari. 2008. Antimicrobial activity of some herbal oils against common food-borne pathogens. **African Journal of Microbiology Research** 2: 258-261.
- Hall, D.J. and Y.J. Fernandez. 2004. *In Vitro* evaluation of selected essential oils as fungicides against *Penicillium digitatum* SACC., pp. 377-379. In **Proceedings of the 2004 Joint Meeting of the Florida State Horticultural Society and the Soil and Crop Science Society of Florida**. Florida, USA.
- Hammer, K.A., C.F. Carson and T.V. Riley. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. **Journal of Applied Microbiology** 86: 985-990.
- Han, J.H. 2000. Antimicrobial food packaging. **Food Technology** 3: 56-65.
- Hili, P., C.S. Evans and R.G. Veness. 1997. Antimicrobial action of essential oils: the effect of dimethylsulphoxide on the activity of cinnamon oil. **Applied and Environmental Microbiology** 24: 269-275.

Hubbe, M.A., J.J. Pawlak and A.A. Koukoulad. 2008. Paper's appearance: A review.

BioResources 3: 627-665.

International Organization for Standardization. 1990. **Paper, board and pulps – Standard atmosphere for conditioning and testing and procedure for monitoring the atmosphere and conditioning of samples.** ISO 187.

Intili, H.S. 1985. **Antimicrobial Paper.** U.S. Patent 4,533,435.

Inouye, S., Y. Nishiyama, K. Uchida, Y. Hasumi, H. Yamaguchi and S. Abe. 2006. The vapor activity of oregano, perilla, tea tree, lavender, clove, and geranium oils against a *Trichophyton mentagrophytes* in a closed box. **Journal of Infection and Chemotherapy** 12: 349-354.

Jonhed, A. 2006. **Properties of modified starches and their use in the surface treatment of paper.** Ph.D. Thesis, Karlstad University.

Khadija, R., B. Touria, T.E. Abdelrhafour, S. Khalid and R. Adnane. 2003. The mechanism of bactericidal action of oregano and clove essential oils and of their phenolic major components on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. **Journal of Essential Oil Research** 15: 286-292.

Kim, S.S., H.S. Lee, Y.S. Cho, Y.S. Lee, C.S. Bhang, H.S. Chae, S.W. Han, I.S. Chung and D.H. Park. 2002. The effect of the repeated subcultures of *Helicobacter pylori* on adhesion, motility, cytotoxicity, and gastric inflammation. **Journal of Korean Medical Science** 17: 302-306.

Lindstrom, Paul. 2008. **Delta E blues.** Available Source:

<http://www.graphicrepro.co.za/assets/2/pdf/48-DeltaE.pdf>, Febuary 27, 2010.

- Mahboobi, M., F. Shahcheraghi, M.M. Feizabadi. 2006. Bacteriacidal effecys of essential oils from clove, lavender and geranium on multi-drug resistant isolate of *Pseudomonas aeruginosa*. **Iranian Journal of Biotechnology** 4: 137-140.
- Matan, N., H. Rimkeeree, A.J. Mawson, P. Chompreeda, V. Haruthaithanasan and M. Parker. 2006. Antimicrobial activity of cinnamon and clove oils under modified atmosphere conditions. **International Journal of Food Microbiology** 107: 180-185.
- Menon, K.V. and S.R. Garg. 2001. Inhibitory effect of clove oil on *Listeria monocytogenes* in meat and cheese. **Food Microbiology** 18: 647-650.
- Mittal, K.L. and A. Pizzi. 2002. **Adhension promotion techniques**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Moreira, M.R., A.G Ponce, C.E. del Valle and S.I. Roura. 2005. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen. **LWT**. 38: 565-570.
- Mytle, N., G.L. Anderson, M.P. Doyle and M.A. Smith. 2004. Antimicrobial activity of clove (*Syzygium aromaticum*) oil in inhibiting *Listeria monocytogenes* on chicken frankfurters. **Food Control** 17: 102-107.
- Nascimento, G.G.F., L. Juliana, P.C. Freitas and G.L. Silva. 2000. Antibacterial activity of plant extracts and phytochemicals on antibiotic-resistant bacteria. **Brazilian Journal of Microbiology** 31: 247-256.
- Nikaido, H. 2003. Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited. **Microbiology and Molecular Biology Reviews** 67: 593-656.
- Nilsson, L. and B. Bergenstahl. 2006. Adsorption of hydrophobically modified starch at oil/water interfaces during emulsification. **Langmuir** 22: 8770-8776.

Okayama, T., N. Yoshinaga and K. Hashizume. 2000. Liquid transfer characteristic of recycled pulp handsheets. **Japan TAPPI Journal**. 58: 544-552.

Pauli, A. 2006. **AMICBASE – essential oils**. Available Source:
www.reviewscience.com/Download/AMICBASE_EssentialOils.pdf, September 8,
 2008.

Pelissari, M.F., M.V.E. Grossmann, F. Yamashita and E.A.G. Pineda. 2009.
 Antimicrobial, mechanical and barrier properties of cassava starch-chitosan films
 incorporated with oregano essential oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**
 57: 7499-7504.

Pongprayoon, U., P. Baeckstrom, U. Jacobsson, M. Lindstrom and L. Bohlin. 1991.
 Compounds inhibiting prostaglandin synthesis isolated from *Ipomoea pescaprae*.
Planta Medica 57: 515-518.

Rodriguez, A., R. Battle and C. Nerin. 2007. The use of essential oils as antimicrobial
 solutions in paper packaging. Part II. **Progress in Organic Coatings** 60: 33-38.

_____, _____ and _____. 2008. New cinnamon-based active paper packaging
 against *Rhizopus stolonifer* food spoilage. **Journal of Agricultural and Food**
Chemistry 56: 6364–6369.

Rakchoy, S., P. Suppakul and T. Jinkarn. 2009. Antimicrobial effects of vanillin coated
 solution for coating paperboard intended for packaging bakery products. **Asian**
Journal of Food and Agro-Industry 2: 138-147.

Sangsuwan, J., N. Rattanapanone and P. Rachtanapun. 2008. Effect of chitosan/methylcellulose
 film on microbial and quality characteristics of fresh-cut cantaloupe and pineapple.
Postharvest Biology and Technology 49: 403-410.

Sanla-Ead, N., A. Jangchud, V. Chonhenchob and P. Suppakul. 2006. Antimicrobial activity of cinnamon, clove and galangal essential oils and their principle constituents, and possible application in active packaging. *In Proceedings of the 15th IAPRI World Conference on Packaging*. Tokyo, Japan.

Santos, A.L., G.O. Chierice, K.S. Alexander, A. Riga and E. Matthews. 2009. Characterization of the raw essential oil eugenol extracted from *Syzygium aromaticum* L. **Journal of Thermal Analysis Calorimetry** 96: 821–825.

Sebti, I., F.R. Ham-Pichavant and V.R. Coma. 2002. Edible bioactive fatty acid-cellulosic derivative composites used in food-packaging applications. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50: 4290-4294.

Senthilkumar, A., V. Venkatesaly and K. Kannathasan. 2009. Antimicrobial of the leaf essential oil of *Blumea Mollis* (D.Don) Merr. **World Journal of Microbiology Biotechnol** 25: 1297-1300.

_____. and _____. 2009. Phytochemical analysis and antimicrobial activity of the essential oil of *Clausena anisata* (Willd) Hook.F.ex Benth. **World Journal of Microbiology Biotechnol** 5: 116-120.

Seongwei, L., N. Musa, W. Wee and N. Musa. 2009. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Syzygium aromaticum* flower bud (Clove) against fish systemic bacteria isolated from aquaculture sites. **Frontiers of Agriculture in China** 3: 332–336.

Shanab, B.,G. Adwan, D. Safiya and K. Adwan. 2004. Antibacterial activities of some plant extracts utilized in popular medicine in Palestine. **Turkish Journal of Biology** 28: 99-102.

- Shen, W., Y. Filonanko, Y. Truong, I.H. Parker, N. Brack, P. Pigram and J. Liesegang. 2000. Contact angle measurement and surface energetics of sized and unsized paper. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects** 173: 117-126.
- Shogren, R.L., A. Viswanathan, F. Felker and R.A. Gross. 2000. Distribution of octenyl succinate groups in octenyl succinic anhydride modified waxy maize starch. **Starch/Stärke** 52: 196-204.
- Simonetti, G. 1991. Cloves. **The Macdonald Encyclopedia of Herbs and Spices**. (1991): 60.
- Smith-Palmer, A., J. Stewart and L. Fyfe. 1998. Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne pathogens. **Letters in Applied Microbiology** 26: 118-122.
- Soroka, W. 2000. **Fundamentals of Packaging Technology**. Institute of Packaging Professionals, Naperville.
- Sulieman, A.M.E., I.M.O. El Boshra, A. El Arnin and E. Khalifa. 2007. Nutritive value of clove (*Syzygium aromaticum*) and detection of antimicrobial effect of its bud oil. **Research Journal of Microbiology** 2: 2266-2271.
- Suppakul, P., J. Miltz, K. Sonneveld and S.W. Bigger. 2003a. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. **Journal of Food Science** 68: 408-420.
- _____, _____, _____ and _____. 2003b. Antimicrobial properties of Basil and its possible application in food packaging. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 51: 3197-3207.

Suppakul, P. 2004. Antimicrobial food packaging. **Thai Packaging Newsletter** 14:33-43.

_____, J. Miltz, K. Sonneveld and S.W. Bigger. 2008. Efficacy of polyethylene-based antimicrobial films containing principal constituents of basil. **LWT** 41: 779-788.

Suominen, I., M. L. Suihko and M.S. Salonen. 1997. Microscopic study of migration of microbes in food-packaging paper and board. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology** 19: 104-113.

Tadtong, S., P. Wannakhot, W. Poolsawat, S. Athikomkulchai and W. Ruangrunsi. 2009. Antimicrobial activities of essential oil from *etlingera punicea* rhizome. **Journal of Health Research** 23: 77-79.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 2003a. **Physical testing of pulp handsheets. TAPPI T 220 sp-01.** Tappi Journal, Atlanta.

_____. 2003b. **Ring crush of paperboard. TAPPI T 818 cm-97.** Tappi Journal, Atlanta.

_____. 2003c. **Forming handsheets for physical tests of pulp. TAPPI T 205 sp-02.** Tappi Journal, Atlanta.

Tepsorn, R. 2009. **Antimicrobial Activity of Thai Traditional Medicinal Plants Extract Incorporated Alginate-Tapioca Starch Based Edible Films against Food Related Bacteria Including Food borne Pathogens.** Ph.D.Thesis. University of Hohenheim, Germany.

Väisänen, O.M., J. Mentu and M.S. Salkinoja-salonen. 1991. Bacteria in food packaging paper and board. **Journal of Applied Bacteriology** 71: 130-133.

- Viswanathan, A. 1999. Effect of degree of substitution of octenyl succinate starch on the emulsification activity on different oil phases. **Journal of Environmental Polymer Degradation** 7: 191-196.
- Weller, C.L., A. Gennadios and R.A. Saraiva. 1998. Edible bilayer films from zein and grain sorghum wax or carnauba wax. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie** 31: 279-285.
- Yang, L. and A.T. Paulson. 2000. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. **Food Research International** 33: 571-578.
- Zhang, H., B. Kong, Y.L. Xiong and X. Sun. 2009. Antimicrobial activities of spice extracts against pathogenic and spoilage bacteria in modified atmosphere packaged fresh pork and vacuum packaged ham slices stored at 4 °C. **Meat Science** 81: 686-692.
- Zou, Y., J. S. Hsieh, E. Mehnert and J. Kokoszka. 2007. The effect of pigments and latices on the properties of coated paper. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects** 294: 40-45.





การทดสอบปริมาณความชื้นของสตาร์ช

มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก AOAC 1995

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (moisture can)
3. ตู้อบไฟฟ้า
4. เชชชิกเคเตอร์พร้อมบรรจุสารดูดความชื้น

วิธีการทดสอบ

1. อบถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทิ้งไว้ให้เย็นในเชชชิกเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมฝา
2. ชั่งน้ำหนักสตาร์ชประมาณ 3 กรัมใส่ในถ้วยอลูมิเนียม บันทึกเป็นค่าน้ำหนักสตาร์ชก่อนอบ นำไปใส่ในตู้อบไฟฟ้า 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยระหว่างการอบให้เปิดฝาด้วยเอาไว้เล็กน้อย
3. เมื่อครบเวลา ปิดฝาด้วยแล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในเชชชิกเคเตอร์เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบอีกครั้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.0010 กรัม บันทึกเป็นค่าน้ำหนักสตาร์ชหลังอบ
4. ทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ได้ในหน่วยร้อยละ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักสตาร์ชก่อนอบ} - \text{น้ำหนักสตาร์ชหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}}$$

การทดสอบหาน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ

มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก ASTM D 646-96

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
3. อุปกรณ์สำหรับตัดกระดาษ

วิธีการทดสอบ

1. ตัดกระดาษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.7 เซนติเมตร จำนวน 10 แผ่น นำกระดาษไปเก็บไว้ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 อย่างน้อย 24 ชั่วโมง (ISO 187)
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างกระดาษครั้งละ 1 แผ่น รายงานค่าน้ำหนักมาตรฐานเฉลี่ยเป็นกรัมต่อตารางเมตร

การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม/ตารางเมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักของกระดาษ (กรัม)} \times 10000}{\text{พื้นที่ของกระดาษ (ตารางเซนติเมตร)}}$$

การทดสอบหาความหนาของกระดาษ

มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก ASTM D 645-97

เครื่องมือ

1. ไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, Japan)
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
3. อุปกรณ์สำหรับตัดกระดาษ

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมกระดาษขนาด 20×55 มิลลิเมตร เก็บไว้ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 อย่างน้อย 24 ชั่วโมง (ISO 187)
2. วัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ โดยให้ห่างจากขอบของกระดาษอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร รายงานค่าความหนาเฉลี่ยเป็นมิลลิเมตร

การทดสอบหาปริมาณความชื้นในกระดาษ

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 644-99

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ตู้อบไฟฟ้า
3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
4. ภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (moisture can)
5. เครื่องเคเตอร์บรรจุมารวัดความชื้น

วิธีการทดสอบ

1. อบถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักถ้วย
2. สุ่มตัวอย่างกระดาษเพื่อนำไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สถานะอุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. ตัดกระดาษให้มีขนาดประมาณ 2×2 เซนติเมตร ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมให้มีน้ำหนักประมาณ 3 กรัม บันทึกเป็นค่าน้ำหนักกระดาษก่อนอบ นำไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยระหว่างการอบให้เปิดฝาด้วยเอาไว้เล็กน้อย
4. เมื่อครบเวลา ปิดฝาด้วยแล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องเคเตอร์เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบอีกครั้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.0010 กรัม บันทึกเป็นค่าน้ำหนักกระดาษหลังอบ
5. ทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ได้ในหน่วยร้อยละ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น(ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักกระดาษก่อนอบ} - \text{น้ำหนักกระดาษหลังอบ})}{(\text{น้ำหนักกระดาษก่อนอบ})} \times 100$$

การทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวน

มาตรฐานการทดสอบ TAPPI T 818-om97

เครื่องมือ

1. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
2. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวน (Testometric 350, England)
3. specimen holder
4. อุปกรณ์สำหรับตัดกระดาษ

วิธีการทดสอบ

1. ตัดกระดาษขนาด 127×152 มิลลิเมตร ทั้งแนว MD และ CD โดยตัดตัวอย่างให้ขนานกับแนวทดสอบด้วยเครื่องตัดขึ้นทดสอบ 10 ชิ้นต่อแนว นำกระดาษไปเก็บไว้ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 อย่างน้อย 24 ชั่วโมง (ISO 187)
2. นำกระดาษสอดเข้าไปใน specimen holder ที่มีลักษณะเป็นวงกลม
3. กดตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดวงแหวน จนขอบขึ้นทดสอบเสียรูปจากแรงกด รายงานค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดวงแหวนทั้งแนว MD และ CD เป็นค่าแรงกดต่อความยาวของกระดาษที่รับแรงกด (กิโลนิวตันต่อเมตร)

การคำนวณ

ความต้านทานแรงกดวงแหวน (กิโลนิวตัน/เมตร) = $\frac{\text{ความต้านทานแรงกดวงแหวนที่วัดได้}}{(\text{นิวตัน})}$

การทดสอบค่าสี ($L^* a^* b^*$)

เครื่องมือ

1. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
2. เครื่องวัดสี
3. อุปกรณ์สำหรับตัดกระดาษ

วิธีการทดสอบ

1. ตัดกระดาษตัวอย่างขนาด 6×6 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 อย่างน้อย 24 ชั่วโมง (ISO 187)
3. เปิดเครื่องและทำการ calibrate เครื่องวัดสี
4. นำหัววัดวางบนตัวอย่างกระดาษ โดยไม่ให้มีบริเวณใดของหัววัดเลยออกไปนอกกระดาษที่ต้องการวัดสี
5. กดปุ่มเพื่อให้เครื่องทำการวัดสี
6. บันทึกค่าสี $L^* a^* b^*$ ที่ได้
7. ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ

การทดสอบค่ามุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles)

มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก ASTM D 5946-04

เครื่องมือ

1. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
2. เครื่องวัดมุมสัมผัส
3. นาฬิกาจับเวลา
4. อุปกรณ์สำหรับตัดกระดาษ

วิธีการทดสอบ

1. ตัดกระดาษตัวอย่างให้มีขนาด 1 x 5 เซนติเมตร
 2. นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 อย่างน้อย 24 ชั่วโมง (ISO 187)
 3. วางตัวอย่างกระดาษในจับยึดตัวอย่าง แล้ววางตัวอย่างทดสอบบนแท่นตัวอย่าง
 5. หยดน้ำกลั่นปริมาตร 5 ไมโครลิตร ลงบนตัวอย่างกระดาษ
 6. บันทึกภาพหยดน้ำ และวัดค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรม SCA 20
 7. บันทึกค่ามุมสัมผัสแบบต่อเนื่อง โดยถ่ายวิดีโอหยดน้ำทุกๆ 15 วินาที จนครบ 1 นาที
- ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ซ้ำต่อตัวอย่าง

การทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ

มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก ASTM D 774-97

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Mullen, USA)
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

วิธีการทดสอบ

1. ตัดกระดาษตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.7 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างไปเก็บในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
3. นำกระดาษที่จะทดสอบวางบนเครื่องทดสอบ โดยให้ผิวกระดาษด้านสักลาดอยู่ด้านบน ปิดแผ่นกระดาษด้วย clamping device
4. เริ่มทดสอบตัวอย่างโดยให้แรงดันดันกระดาษจนทะลุ บันทึกค่าที่ใช้ในการดันตัวอย่างจนทะลุ
5. ทำการทดสอบ 10 ซ้ำต่อตัวอย่างรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของความต้านทานแรงดันทะลุในหน่วยกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร

ภาคผนวก ข
วิธีการขึ้นรูปกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน และการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบ

วิธีการขึ้นรูปกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐาน

มาตรฐาน TAPPI T 205-sp02

อุปกรณ์

1. เครื่องกระจายเยื่อ
2. เครื่องกวนน้ำเยื่อ
3. ชุดเครื่องขึ้นรูปกระดาษขนาดมาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลาง 159 มิลลิเมตร
4. ลูกกลิ้งมาตรฐาน (standard couch roll)
5. แผ่นเพลท (standard couch plate)
6. เครื่องอัดรีดกระดาษ (standard press with pressure gage)
7. ชุดแผ่นและวงแหวน โลหะสำหรับตากกระดาษ (drying discs and drying rings)
8. กระดาษซับ (blotting paper)
9. กระบอกลงพลาสติกขนาด 1000 มิลลิลิตร

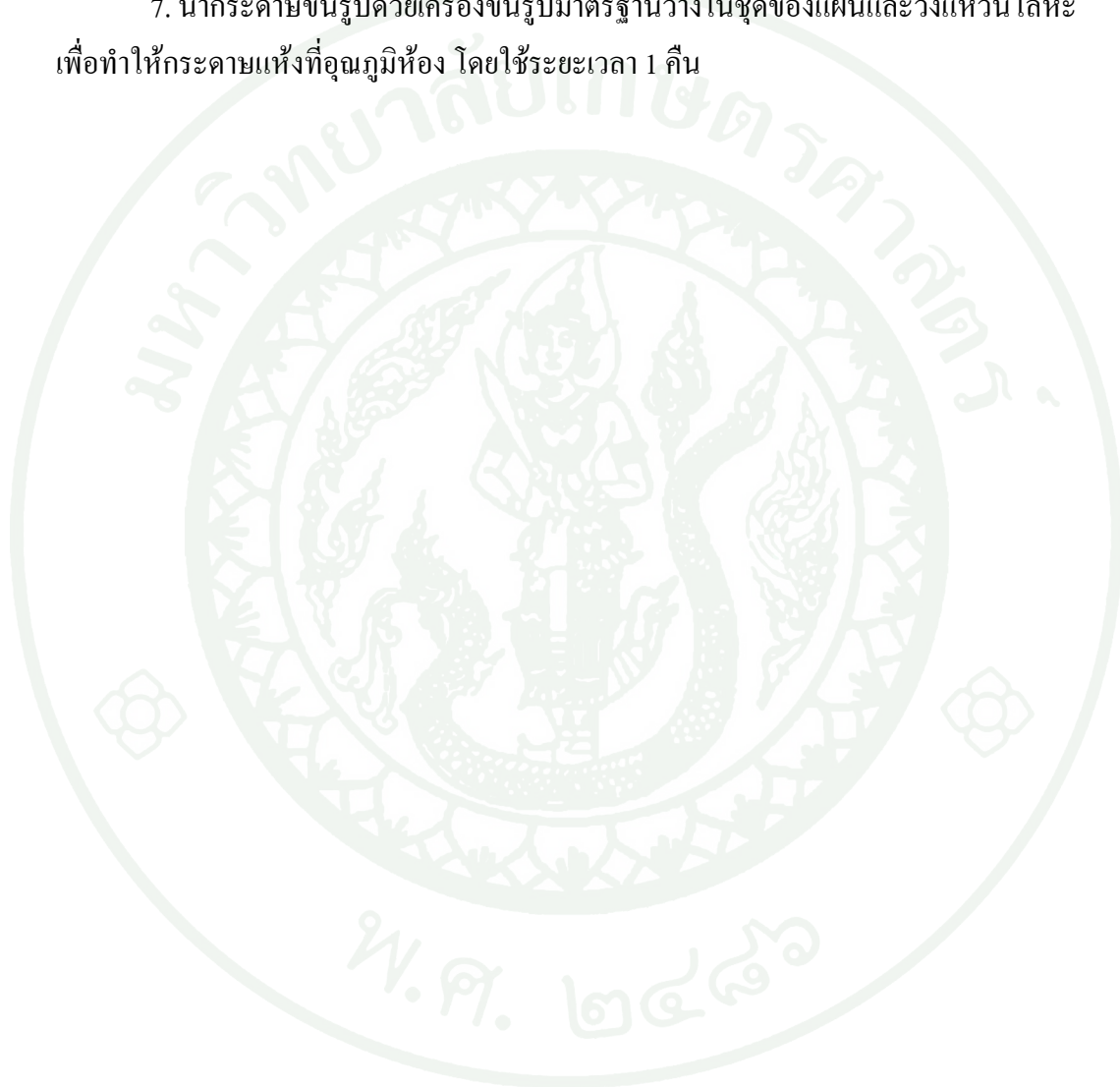
วิธีการ

1. นึกเชิบบริสุทธิ์ให้แต่ละชั้นมีขนาด 30 มิลลิเมตร นำเยื่อดังกล่าวปริมาณ 24 ± 0.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) แช่ในน้ำกลั่นอย่างน้อย 4 ชั่วโมง
2. เจือจางเยื่อตัวอย่างจากข้อที่ 1 ด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 2000 มิลลิลิตร กระจายน้ำเยื่อด้วยเครื่องกระจายเยื่อเป็นเวลา 10 นาที และเจือจางน้ำเยื่อจนมีปริมาตร 8000 มิลลิลิตร
3. กวนน้ำเยื่อตลอดเวลาด้วยเครื่องกวน ใช้น้ำเยื่อปริมาตร 400 มิลลิลิตรต่อการขึ้นรูปกระดาษ 1 แผ่น
4. ก่อนการขึ้นรูป เปิดเครื่องและทำความสะอาดแรงขึ้นรูปจากเยื่อที่อาจติดอยู่ ปิดเครื่องและเปิดน้ำให้อยู่ที่ระดับครึ่งหนึ่งของกระบอกรีดขึ้นรูป และใส่น้ำเยื่อลงไปพร้อมกับเปิดน้ำให้ได้ระดับตามขีดที่กำหนดไว้ของกระบอกรีดขึ้นรูป กวนเยื่อด้วยที่กวนประมาณ 6 ± 1 วินาทีในลักษณะขึ้น ลง จำนวน 5 ครั้ง ทำการปล่อยน้ำออกจากเครื่องขึ้นรูปอย่างรวดเร็ว เพื่อให้เกิดการขึ้นรูปเป็นแผ่นจากเยื่อ

5. ใช้กระดาษซับ 2 แผ่น ประกบบนแผ่นกระดาษขึ้นรูปและวางเพลทบนกระดาษซับ ก่อนใช้ลูกกลิ้ง กลิ้งกลับไป มา จำนวน 5 ครั้ง เป็นระยะเวลา 10 ± 2 วินาที นำกระดาษซับแผ่นบน ออก โดยที่กระดาษที่ขึ้นรูปด้วยมือจะติดอยู่กับกระดาษซับแผ่นแรก

6. ประกบกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานด้วยกระดาษซับที่แห้ง และประกบ ด้วยเพลทก่อนนำเข้าเครื่องอัดรีด โดยอัดกระดาษด้วยความดัน 50 psig เป็นระยะเวลา 5 นาที

7. นำกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานวางในชุดของแผ่นและวงแหวนโลหะ เพื่อให้กระดาษแห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลา 1 คืน



การเตรียมตัวอย่างกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเพื่อการทดสอบ

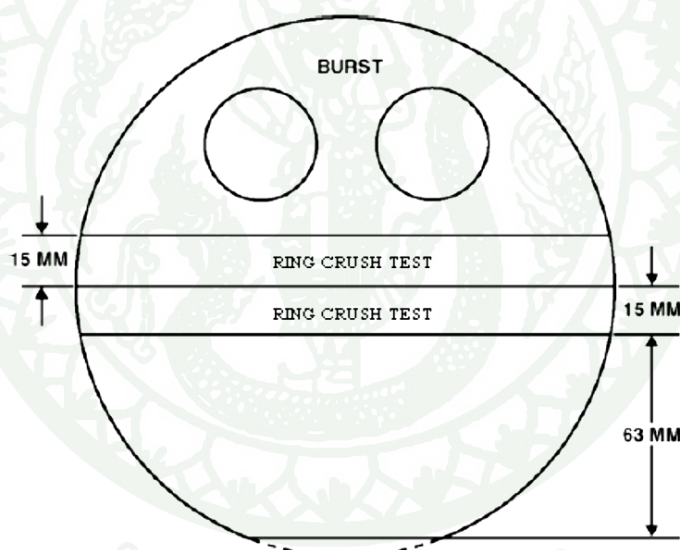
มาตรฐาน คัดแปลงจาก TAPPI T 220-sp01

อุปกรณ์

1. ไม้บรรทัด
2. อุปกรณ์ตัดกระดาษ

วิธีการ

1. ตัดกระดาษดังรูป และนำไปทดสอบตามมาตรฐานต่างๆตามที่กล่าวไว้ในภาคผนวก ก



ภาพผนวกที่ ข1 การเตรียมตัวอย่างกระดาษขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปมาตรฐานเพื่อการทดสอบ



ตารางผนวกที่ ค1 ค่ามุมสัมผัสของน้ำของกระดาษแข็ง duplex board

เวลาที่ (วินาที)	ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ (องศา)	
		ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
		5	8
0	ตัวควบคุม ¹	64.43±6.92 ^{aA}	64.43±6.92 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	90.67±5.23 ^{bB}	99.78±3.56 ^{cC}
	5	90.54±4.63 ^{bB}	88.12±4.15 ^{bB}
	10	92.64±2.75 ^{bB}	89.75±3.89 ^{bB}
	15	94.36±1.99 ^{bB}	94.41±3.89 ^{bcB}
15	ตัวควบคุม ¹	64.43±6.92 ^{aA}	64.43±6.92 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	89.71±5.99 ^{bB}	99.78±3.56 ^{cC}
	5	90.62±3.96 ^{bB}	88.12±4.15 ^{bB}
	10	92.64±2.75 ^{bB}	89.75±3.89 ^{bB}
	15	94.36±1.99 ^{bB}	94.41±3.89 ^{bcB}
30	ตัวควบคุม ¹	59.97±7.38 ^{aA}	59.97±7.38 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	82.24±2.94 ^{cB}	75.32±1.48 ^{cC}
	5	77.62±0.82 ^{bcB}	67.76±2.72 ^{bC}
	10	71.85±5.04 ^{bB}	74.60±2.71 ^{cB}
	15	74.54±1.91 ^{bB}	65.52±3.32 ^{bA}

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

เวลาที่ (วินาที)	ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ (องศา)	
		ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
		5	8
45	ตัวควบคุม ¹	52.07±18.25 ^{aA}	52.07±18.25 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	78.01±3.05 ^{cB}	68.15±1.35 ^{cB}
	5	71.39±2.72 ^{acB}	62.57±2.23 ^{abAB}
	10	64.93±4.13 ^{bAB}	69.51±2.73 ^{cB}
	15	66.19±1.50 ^{bcA}	59.83±3.34 ^{abA}
60	ตัวควบคุม ¹	48.56±17.59 ^{aA}	48.56±17.59 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	74.92±3.48 ^{cB}	64.36±1.60 ^{bB}
	5	67.04±3.54 ^{bcB}	59.99±2.58 ^{bAB}
	10	60.28±3.23 ^{bAB}	65.13±2.84 ^{bB}
	15	59.80±0.34 ^{bA}	55.59±1.35 ^{abA}

หมายเหตุ ¹ กระดาษแข็ง duplex board ที่ไม่เคลือบ

² กระดาษแข็ง duplex board ที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมันกานพลู

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{A-C} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

ตารางผนวกที่ ค2 ค่ามุมสัมผัสของน้ำของกระดาษกราฟที่

เวลาที่ (วินาที)	ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ (องศา)	
		ความเข้มข้นไฮโดรฟอบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
		5	8
0	ตัวควบคุม ¹	121.07±1.13 ^{aA}	121.07±1.13 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	103.84±5.11 ^{bB}	93.89±9.86 ^{bC}
	5	98.89±6.09 ^{bcB}	97.37±3.38 ^{bB}
	10	102.22±6.45 ^{bB}	95.88±5.11 ^{bB}
	15	93.56±9.10 ^{cB}	91.48±3.79 ^{bB}
15	ตัวควบคุม ¹	121.07±1.13 ^{aA}	121.07±1.13 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	103.92±5.11 ^{bB}	93.89±9.86 ^{bC}
	5	98.81±6.08 ^{bcB}	97.37±3.58 ^{bB}
	10	102.22±6.45 ^{bB}	95.88±5.11 ^{bB}
	15	93.56±9.10 ^{cB}	92.00±3.76 ^{bB}
30	ตัวควบคุม ¹	118.97±1.61 ^{aA}	118.97±1.61 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	84.19±3.65 ^{cB}	77.01±5.12 ^{dC}
	5	90.39±4.29 ^{bcB}	91.75±1.90 ^{bB}
	10	91.95±3.21 ^{bB}	83.04±5.44 ^{cC}
	15	88.43±8.19 ^{bcB}	86.00±4.23 ^{cB}

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

เวลาที่ (วินาที)	ความเข้มข้นน้ำมัน กานพลู (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ (องศา)	
		ความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
		5	8
45	ตัวควบคุม ¹	118.22±1.33 ^{aA}	118.22±1.33 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	79.87±2.43 ^{cB}	71.59±3.73 ^{cC}
	5	88.32±4.01 ^{bB}	88.81±2.22 ^{bB}
	10	86.35±3.72 ^{bB}	77.85±4.97 ^{dC}
	15	82.88±7.09 ^{bcB}	83.07±5.04 ^{cB}
60	ตัวควบคุม ¹	117.42±1.16 ^{aA}	117.42±1.16 ^{aA}
	ตัวควบคุมเชิงลบ ²	76.36±1.89 ^{cB}	68.05±3.47 ^{cC}
	5	86.99±4.1 ^{bB}	87.26±3.04 ^{bB}
	10	80.54±3.75 ^{cB}	74.51±4.37 ^{dC}
	15	76.49±6.07 ^{cB}	80.97±6.19 ^{cB}

หมายเหตุ ¹ กระดาษกราฟที่ไม่เคลือบ

² กระดาษกราฟที่เคลือบด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ช โดยไม่มีการเติมน้ำมัน
กานพลู

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น
ร้อยละ 95

^{A-C} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ
เชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุทธิสุดา วานิช
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 16 มีนาคม 2527
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-
การตีพิมพ์	สุทธิสุดา วานิช, ภาณุวัฒน์ สรรพกุล และ ธัญญรัตน์ จิฎกาณจน์. 2553. ประสิทธิภาพของกระดาษด้านจุลินทรีย์ ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในถ้วยกาแฟดัดแปร, น. 108- 116. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ Vanit, S., P. Suppakul and T. Jinkarn. 2010. Antimicrobial effects of coating solution containing clove oil and hydrophobic starch for coating paperboard. Asian Journal of Food and Agro-Industry 3: 204-212.