



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล	วิศวกรรมเครื่องกล
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง	การแปรรูปลำต้นปาล์มด้วยวิธีการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง Processing of Palm Trunk by the Blasting Hydrothermal Conversion System (BHCS)
نامผู้วิจัย	นายอภิพล เจริญทอง
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย ศิวะโกศิษฐ์, Ph.D. )
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	( อาจารย์มะลิวัลย์ หลุทัยนาสันต์, Ph.D. )
หัวหน้าภาควิชา	( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประพจน์ ขุนทอง, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา อีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การแปรรูปลำต้นปาล์มด้วยวิธีการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง

Processing of Palm Trunk by the Blasting Hydrothermal Conversion System (BHCS)

โดย

นายอภิพล เจริญทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อภิพล เจริญทอง 2557: การแปรรูปลำต้นปาล์มด้วยวิธีการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย ศิวัะโกศิษฐ, Ph.D. 57 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการแปรรูปของเสี้ยนจากอุตสาหกรรมปาล์มให้กลายเป็นสิ่งที่มีมูลค่าด้วยวิธีการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง และเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารสำคัญต่างๆ ที่อยู่ในลำต้นปาล์ม โดยนำส่วนของลำต้นปาล์มที่หมักอายุเก็บเกี่ยวมาผ่านกระบวนการดองที่อุณหภูมิ 160°C 180°C 200°C และ 210°C ต่อเวลา 30 20 10 และ 5 นาที ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนสภาพของลำต้นปาล์มก่อนนำไปสู่กระบวนการหมักเพื่อแปรสภาพเป็นปุ๋ยชีวภาพ โดยกระบวนการ BHCS จะลดเวลาการย่อยสลายของวัตถุดิบลงจาก 4 เดือน เหลือ 20 นาที เพื่อใช้ในการทำปุ๋ยชีวภาพ การเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในลำต้นปาล์มหลังจากผ่านกระบวนการแสดงให้เห็นถึงปริมาณของ Organic carbon ที่เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการ โดยมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 210°C และเวลา 5 นาที ปริมาณของ Total Nitrogen Phosphorus และ Potassium มีปริมาณลดลงหลังจากผ่านกระบวนการ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานแต่ละครั้งประกอบด้วยค่าเชื้อเพลิง ค่าน้ำ และค่าไฟฟ้า คิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเพียง 30 บาทต่อครั้ง สำหรับต้นปาล์มปริมาณ 5 กิโลกรัม

---

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Apipol Rienthong 2014: Processing of Palm Trunk by the Blasting Hydrothermal Conversion System (BHCS). Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Wichai Siwakosit, Ph.D.  
57 pages.

The purposes of this research are to study the conversion of palm trunk by the blasting hydrothermal conversion system (BHCS) and study the changes of nutrient properties of the respective products. The operations of BHCS have been undertaken at various temperatures and periods which are 160° and 30 minutes, 180° and 20 minutes, 200° and 10 minutes, and 210° and 5 minutes.

The results have indicated that the products from BHCS experiments are suitable as raw materials of the organic fertilizer production. This would reduce the pre-treatment time for the raw materials from approximately 4 months to just 20 minutes of BHCS treatment. Also, the changes of nutrient properties of the processed materials indicate that the organic carbon content would increase with increasing experimental temperature, from 41.3% by dry weight before treatment to the maximum value of 52.78% by dry weight, treated at 210° and 5 minutes. Nitrogen, phosphorus and potassium contents would be reduced by BHCS. The utility cost of each experiment would be 30 baht, approximately.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. วิชัย ศิวะโกศิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.มะลิวัลย์ ทฤทัยธนาสันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม สำหรับการดูแลเอาใจใส่ ตรวจสอบแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ และติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัยในการค้นคว้าวิจัยจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ทั้งสองท่านนี้เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบ ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

และสุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณครอบครัว และทุกๆท่านที่คอยผลักดัน เป็นธุระจัดหาและ ให้กำลังใจตลอดมา จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

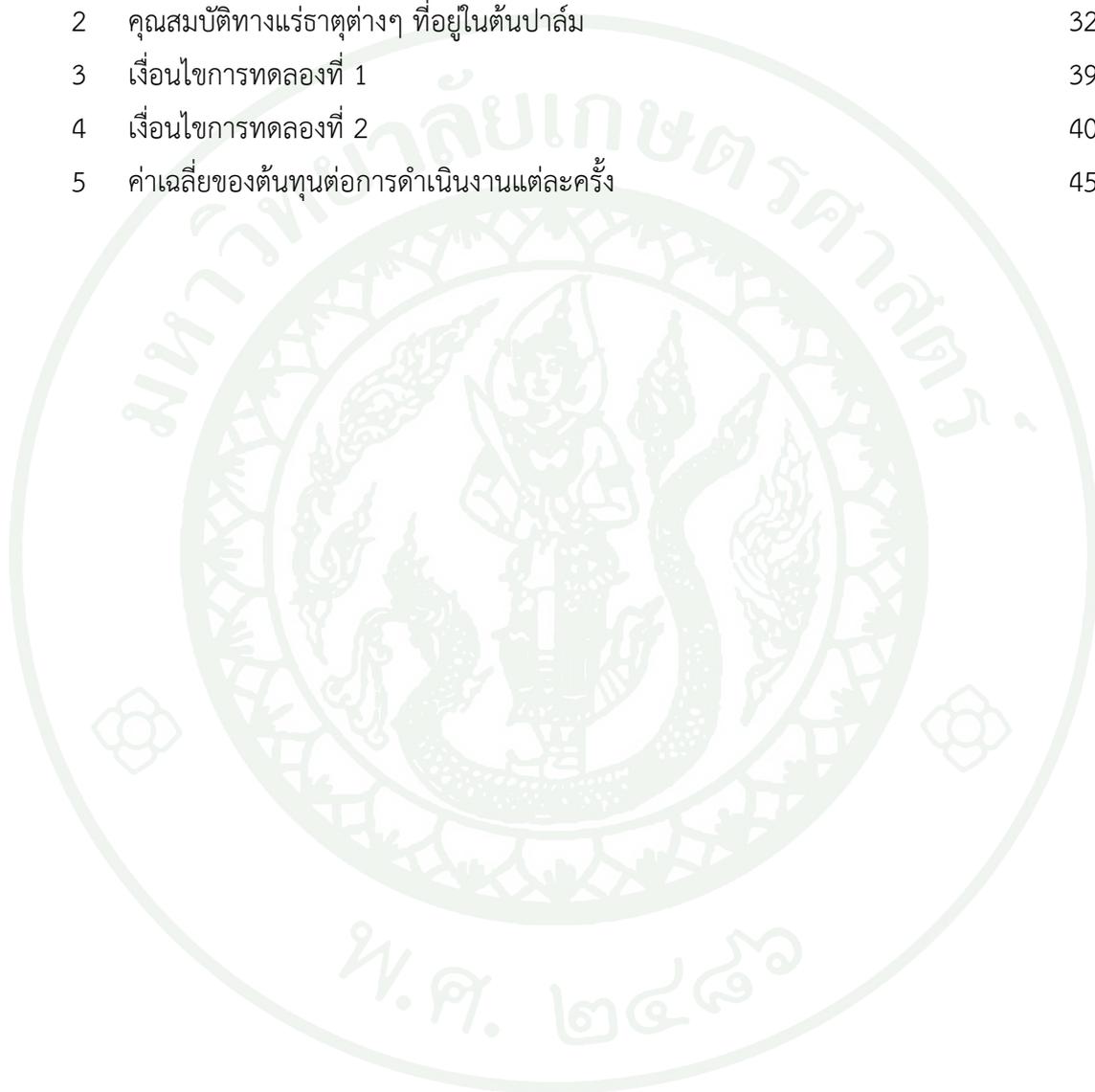
อภิพล เจริญทอง  
ตุลาคม 2557

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	41
ผล	41
วิจารณ์	45
สรุปและข้อเสนอแนะ	46
สรุป	46
ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	48
ภาคผนวก	50
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	57

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของต้นปาล์มน้ำมันและไม้ยางพารา	23
2	คุณสมบัติทางแร่ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในต้นปาล์ม	32
3	เงื่อนไขการทดลองที่ 1	39
4	เงื่อนไขการทดลองที่ 2	40
5	ค่าเฉลี่ยของต้นทุนต่อการดำเนินงานแต่ละครั้ง	45



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การบำบัดขยะชุมชน	3
2 การบำบัดกากตะกอก	4
3 เครื่อง HTT ขนาดเล็กแบบที่ 1	5
4 แผนภาพการทำงานของเครื่อง HTT ขนาดเล็กแบบที่ 1	6
5 แผนภาพการทำงานของเครื่อง HTT ขนาดเล็กแบบที่ 2	7
6 เครื่อง HTT ขนาดใหญ่	8
7 แผนภาพการทำงานของเครื่อง HTT ขนาดใหญ่	8
8 เครื่อง HTT ที่ใช้ในรูปอุตสาหกรรมขนาด 3 m <sup>3</sup>	9
9 แผนภาพการทำงานของเครื่อง HTT ที่ใช้ในอุตสาหกรรม	10
10 โครงสร้างของผนังเซลล์	11
11 ผลกระทบที่เกิดขึ้นบนผนังเซลล์หลังผ่านกระบวนการ HTT	11
12 ไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของเซลล์ลูลอส	14
13 เอนทัลปีของน้ำที่สภาวะอิ่มตัว	15
14 ต้นปาล์มน้ำมัน	21
15 กลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิลกระจายอยู่ในกลุ่มเซลล์พาเรนคิมา	22
16 ลักษณะการบดงของต้นปาล์มน้ำมันหลังการอบ	24
17 ลักษณะของลำต้นปาล์มที่ผ่านการตัดแล้ว	32
18 ส่วนประกอบของเครื่องระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง	33
19 ช่องสำหรับใส่วัสดุใช้ในการทดลอง (Feeder)	33
20 ลักษณะที่ใส่วัสดุใช้ในการทดลอง	34
21 Reactor	34
22 ตู้ควบคุมการทำงานของระบบ	35
23 หน้าจอแสดงผล	35
24 หม้อต้มไอน้ำด้านหน้า	36
25 หม้อต้มไอน้ำด้านหลัง	36
26 Product Tank	37
27 ลักษณะภายใน Product Tank	37
28 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง	39

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	ลักษณะของลำต้นปาล์มหลังจากผ่านกระบวนการ BHCS ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1	40
30	ลักษณะของลำต้นปาล์มหลังจากผ่านกระบวนการ BHCS ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2	41
31	แสดงปริมาณของ Organic carbon ที่เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการทดลอง	42
32	แสดงปริมาณของ Total Nitrogen ที่ลดลงหลังจากผ่านการทดลอง	43
33	แสดงปริมาณของ Phosphorus ที่ลดลงหลังจากผ่านการทดลอง	33
34	แสดงปริมาณของ Potassium ที่ลดลงหลังจากผ่านการทดลอง	44

การแปรรูปลำต้นปาล์มด้วยวิธีการเปลี่ยนรูปโดย  
การระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง

Processing of Palm Trunk by  
the Blasting Hydrothermal Conversion System (BHCS)

คำนำ

กระบวนการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูงหรือ processing by blasting hydrothermal conversion system (BHCS) เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อ hydrothermal treatment เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความร้อนและน้ำเป็นตัวกลางภายใต้สภาวะอุณหภูมิ และความดันสูง ของเสียหลากหลายขนาด หลายคุณลักษณะ จะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน ซึ่งในหลายประเทศ ประสบปัญหาจากการใช้ประโยชน์จากทรัพยากร จำพวกขยะมูลฝอย กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และมวลชีวภาพ ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าทรัพยากรดังกล่าวโดยการแปลงเป็นเชื้อเพลิง และปุ๋ยชีวภาพได้ จากการศึกษาการพัฒนาเทคโนโลยี hydrothermal treatment (HTT) พบว่าส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเพื่อแปรรูปทรัพยากรต่างๆ ให้เป็นเชื้อเพลิง เช่น การศึกษาการแปรรูปของเสียจากการผลิตกระดาษเป็นเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 180-240°C และเวลาการทดลอง 30 นาที (Chinnathan, 2013) การศึกษาการแปรรูปขยะมูลฝอยเป็นเชื้อเพลิงโดย ที่อุณหภูมิ 210-230°C และเวลาการทดลอง 30-90 นาที (Prawisudha *et al.*, 2012) และการศึกษาการแปรรูปของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์มเป็นเชื้อเพลิงโดย ที่อุณหภูมิ 200-350°C และเวลาการทดลอง 30 นาที (Yuliansyah *et al.*, 2010) สิ่งสำคัญที่ได้จากการวิจัยเหล่านี้นอกจากจะเป็นการแปรรูปของเสียต่างๆ เชื้อเพลิงแล้ว ยังสามารถช่วยลดปริมาณความชื้นที่มีมากให้น้อยลงได้อีกด้วย ส่วนการวิจัยการแปรรูปทรัพยากรต่างๆ ให้เป็นปุ๋ยชีวภาพนั้นได้มีการศึกษาแร่ธาตุอาหารที่หลงเหลืออยู่ในน้ำของกากตะกอนหลังจากผ่านกระบวนการ hydro-thermal treatment ที่อุณหภูมิ 180-220°C และเวลาการทดลอง 60 นาที และสามารถนำแร่ธาตุอาหารนั้นมาใช้เป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพได้ (Jambaldorj *et al.*, 2007) ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะศึกษาการแปรรูปของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์มด้วยวิธี การเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง เพื่อที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารสำคัญต่างๆที่อยู่ในลำต้นปาล์ม เมื่อผ่านอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันออกไป โดยจะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการแปรรูปของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์มให้สามารถแปรสภาพเป็นปุ๋ยชีวภาพได้หรือไม่ รวมถึงต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินการในแต่ละครั้งว่ามีต้นทุนเท่าไร จากการใช้ของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์มผ่านกระบวนการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการแปรรูปของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์ม ให้กลายเป็นสิ่งที่มีมูลค่าโดยผ่านกระบวนการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง
2. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารสำคัญต่างๆ ที่อยู่ในต้นปาล์ม ที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขการทดลองเมื่อผ่านอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันออกไป



## การตรวจเอกสาร

### เทคโนโลยี Hydrothermal treatment (HTT)

เนื่องจากหลายประเทศ ประสบปัญหาจากการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรจำพวกขยะมูลฝอย กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียและมวลชีวภาพ ปัจจุบันมีแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยี ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าทรัพยากรดังกล่าว โดยการแปลงเป็นเชื้อเพลิง และปุ๋ย ซึ่งเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการวิจัยนี้คือ การเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง หรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อ Hydrothermal treatment (HTT)

Hydrothermal treatment (HTT) คือ นวัตกรรมเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาโดย ห้องปฏิบัติการวิจัยโยชิกาวา เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความร้อนและน้ำเป็นตัวกลาง ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ และความดันสูง ของเสียหลากหลายขนาดหลากหลายคุณลักษณะ จะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน เช่น สามารถเปลี่ยนวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงให้แห้งจนสามารถนำวัตถุดิบไปใช้ประโยชน์ได้ โดยที่ใช้พลังงานต่ำ สามารถใช้ได้กับวัตถุดิบหลายชนิดตั้งแต่เศษอาหารจนถึงกากตะกอนของน้ำเสีย และผลผลิตที่ได้เมื่อมีความหลากหลายตั้งแต่เชื้อเพลิงจนถึงปุ๋ยชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 1 การบำบัดขยะชุมชน และภาพที่ 2 การบำบัดกากตะกอก



ภาพที่ 1 การบำบัดขยะชุมชน

ที่มา: Yoshikawa (2008)



ภาพที่ 2 การบำบัดกากตะกอก

ที่มา: Yoshikawa (2008)

ข้อดีของเทคโนโลยี Hydrothermal treatment (HTT) คือ

1. เป็นกระบวนการที่ใช้น้ำเพียงอย่างเดียว ไม่ต้องใช้สารเคมีใดๆ
2. ขั้นตอน กระบวนการทำงานเบากว่าเทคโนโลยีอื่น
3. วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง สามารถปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งได้
4. มีความเป็นเนื้อเดียวกัน เพิ่มคุณลักษณะความเป็นเชื้อเพลิงและลดปริมาณคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์
5. ประสิทธิภาพในการแปลงสภาพสูง
6. สามารถใช้กับวัตถุดิบหลากหลายรูปแบบและหลายคุณลักษณะ
7. ปฏิบัติงานง่าย
8. ไม่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น

## ตัวอย่างและหลักการของการบวนการ HTT ที่ใช้ในการทดลองต่างๆ

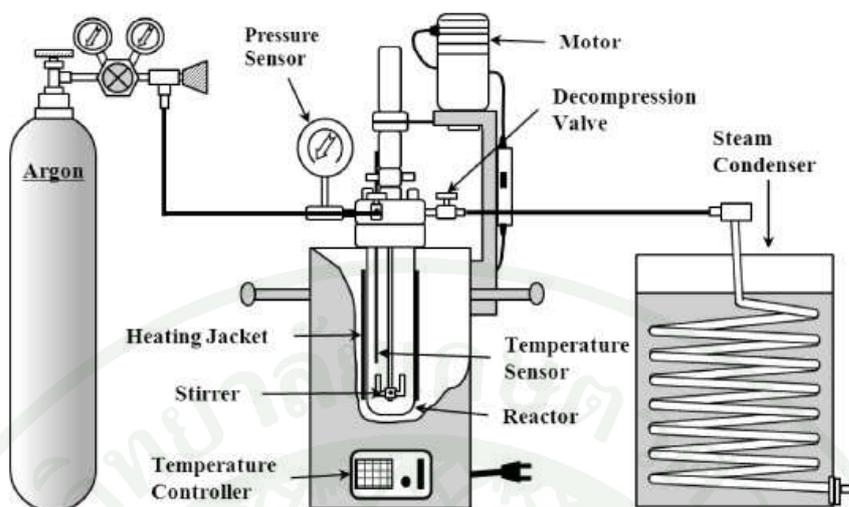
### 1. เครื่อง HTT ขนาดเล็กแบบที่ 1

เครื่อง Hydrothermal treatment ขนาดเล็ก (รุ่น MMJ-500, OMLAB-TECH.CO., LTD. JAPAN) มีขนาดความจุ 0.5 ลิตร ประกอบด้วยใบกวนอัตโนมัติ เช่นเซอร์วัดความดัน เช่นเซอร์วัดอุณหภูมิ และชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากนำวัตถุที่ใช้ในการทดลองขนาด 2-4 มิลลิเมตร มาใส่ใน Reactor ปริมาณของวัตถุและน้ำที่ใส่ใน Reactor กำหนดให้มีอัตราส่วนที่ 1:3 โดย Reactor จะได้รับความร้อนจาก Heating Jacket ตามช่วงอุณหภูมิที่กำหนดเช่น 160°C 180°C 200°C และ 210°C เป็นต้น ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในอัตรา 7.2 องศาเซลเซียสต่อนาที และใบกวนมีความเร็ว 200 รอบต่อนาที จากนั้นไต่อากาศออกจาก Reactor ให้หมดโดยใช้ก๊าซอาร์กอนเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ในขณะที่ Reactor ถูกให้ความร้อน ในตอนแรกความดันใน Reactor ถูกสมมติให้มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ จากนั้นเริ่มการทดลองโดยตั้งอุณหภูมิที่ต้องการลงไปที่ชุดควบคุมอุณหภูมิ และจับเวลาตามช่วงเวลาที่ต้องการในแต่ละการทดลอง เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการให้ทำการไล่ความดันใน Reactor ออกไปยัง Steam Condenser เพื่อให้ไอน้ำควบแน่น หลังจากนั้นจึงเก็บวัตถุตัวอย่างใน Reactor และน้ำใน Steam Condenser เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงต่อไป



ภาพที่ 3 เครื่อง HTT ขนาดเล็กแบบที่ 1

ที่มา: Nakhshiniev (2013)

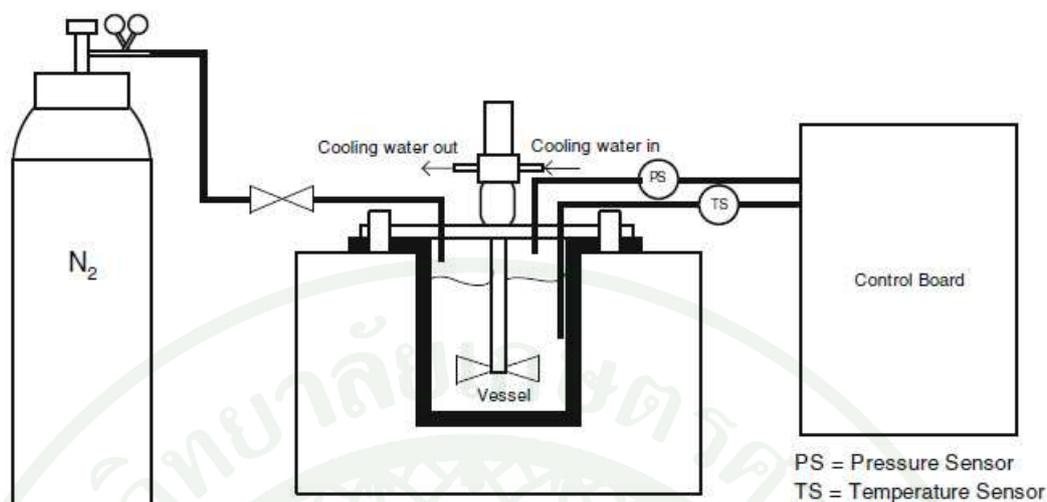


ภาพที่ 4 แผนภาพการทำงานของเครื่อง HTT ขนาดเล็กแบบที่ 1

ที่มา: Nakhshiniev (2013)

## 2. เครื่อง HTT ขนาดเล็กแบบที่ 2

เครื่อง Hydrothermal treatment ขนาดเล็ก (รุ่น Taiatsu Techno MA22, JAPAN) มีขนาดความจุ 0.5 ลิตร ประกอบด้วยใบกวนอัตโนมัติ เซ็นเซอร์วัดความดัน เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 5 สามารถผลิตความร้อนและความดันสูงสุดถึง 400°C และ 30 MPa. ตามลำดับ โดยกำหนดอัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ คือ 30 กรัมต่อน้ำ 300 มิลลิลิตร ที่ใส่ลงไป ใน Reactor จากนั้นไล่อากาศออกจาก Reactor ให้หมดโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน และใช้ความดันจากก๊าซไนโตรเจนทำให้มีความดันเริ่มต้นอยู่ที่ 2.0 MPa. Reactor จะได้รับความร้อนจาก Heating Jacket ตามช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 200-350°C โดยที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในอัตรา 6.6 องศาเซลเซียสต่อนาที และใบกวนมีความเร็ว 200 รอบต่อนาที และเริ่มจับเวลาตามระยะเวลาที่กำหนดในแต่ละการทดลอง (Yuliansyah, 2010)



ภาพที่ 5 แผนภาพการทำงานของเครื่อง HTT ขนาดเล็กแบบที่ 2

ที่มา: Yuliansyah (2010)

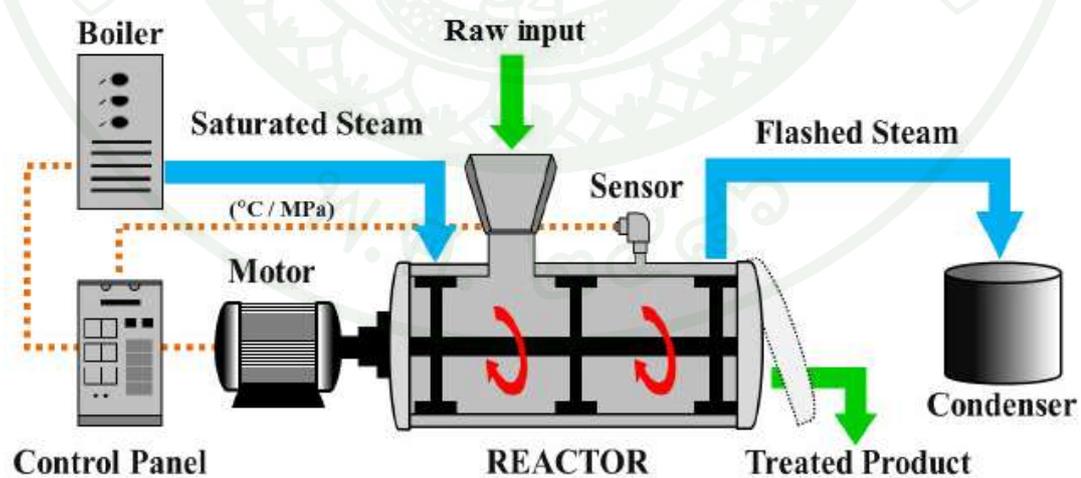
### 3. เครื่อง HTT ขนาดใหญ่

เป็นเครื่อง Hydrothermal treatment ขนาดใหญ่ ประกอบด้วย Reactor ที่มีขนาดความจุ 200 ลิตร Boiler ไบควอนอัตโนมัติ เช่นเซอร์วัดความดัน เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และชุดควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 6 และ ภาพที่ 7 เริ่มจากตั้งค่าของอุณหภูมิและระยะเวลาที่ต้องการลงไปชุดควบคุม นำวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองมาใส่ใน Reactor จากนั้น Boiler เริ่มจ่ายไอน้ำเข้ามาใน Reactor จนถึงช่วงของอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้และทำการจ่ายไอน้ำต่อไปอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้คงช่วงของอุณหภูมิที่ต้องการตลอดกระบวนการ ไบควอนอัตโนมัติทำหน้าที่ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันตลอดจนจบกระบวนการเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการให้ทำการไล่ความดันใน Reactor ออกไปยัง Steam Condenser เพื่อให้ไอน้ำควบแน่น หลังจากนั้นจึงเก็บวัตถุดิบอย่างใน Reactor และน้ำใน Steam Condenser เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงต่อไป (Nakhshiniev, 2012)



ภาพที่ 6 เครื่อง HTT ขนาดใหญ่

ที่มา: Nakhshiniev (2013)



ภาพที่ 7 แผนภาพการทำงานของเครื่อง HTT ขนาดใหญ่

ที่มา: Nakhshiniev (2013)

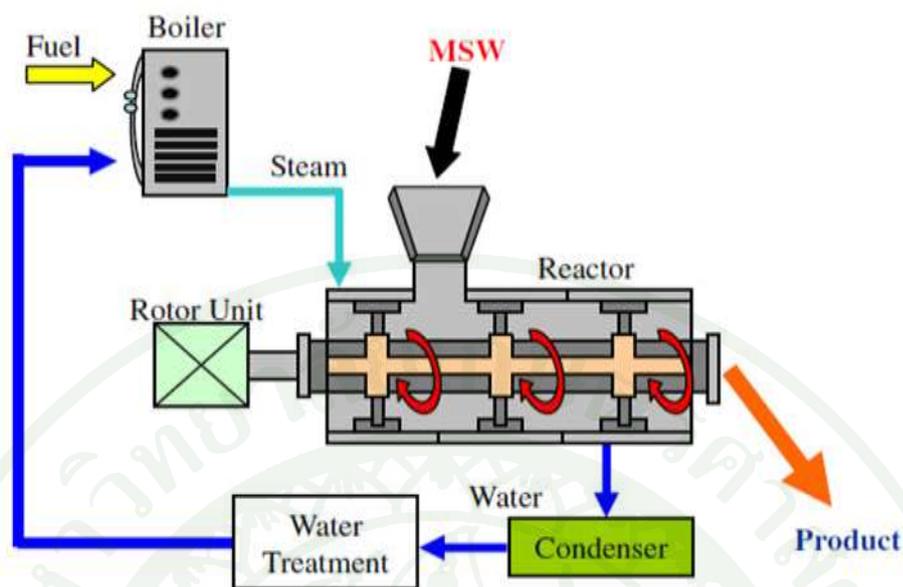
#### 4. เครื่อง HTT ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

เครื่อง Hydrothermal treatment ที่ใช้ในอุตสาหกรรมขนาด  $3 \text{ m}^3$  มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์ที่ประเทศญี่ปุ่น โดยนำของเสียจากโรงพยาบาล คลินิก ฯลฯ มาผ่านกระบวนการ HTT เพื่อให้สามารถนำไปกำจัดได้อย่างปลอดภัยยิ่งขึ้น หรือนำของเสียในรูปแบบอื่น เช่น ขยะมูลฝอย พลาสติก เศษอาหาร มูลสัตว์ และกากตะกอนน้ำเสีย ฯลฯ มาแปลงสภาพเป็นสิ่งที่ใช้ประโยชน์ได้ดังแสดงในภาพที่ 8 และภาพที่ 9 โดยการนำวัตถุดิบที่ต้องการใส่ลงไปใน Reactor จากนั้นจ่ายไอน้ำที่มีอุณหภูมิ  $200 - 300^\circ\text{C}$  และความดัน  $2-3 \text{ MPa}$ . เข้าไปใน Reactor เป็นระยะเวลาประมาณ 40 นาที และหมุนใบพัดเพื่อทำการผสมวัตถุดิบที่อยู่ใน Reactor ให้เข้ากัน เป็นระยะเวลาประมาณ 10 ถึง 30 นาที ไอน้ำที่ถูกปล่อยออกจะควบแน่นกลายเป็นน้ำ และนำน้ำที่ได้กลับไปใช้ใหม่ที่ Boiler อีกครั้ง หลังจากนั้นจึงเก็บวัตถุดิบตัวอย่างใน Reactor ไปใช้ประโยชน์ต่อไป (Yoshikawa, 2008)



รูปที่ 8 เครื่อง HTT ที่ใช้ในอุตสาหกรรมขนาด  $3 \text{ m}^3$

ที่มา: Yoshikawa (2008)



รูปที่ 9 แผนภาพการทำงานของเครื่อง HTT ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ที่มา: Yoshikawa (2008)

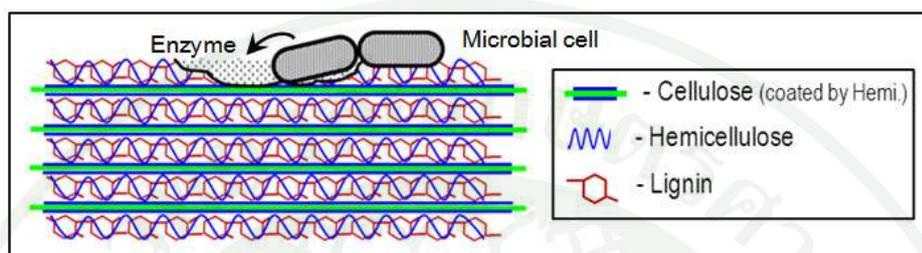
### การศึกษาด้านการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพ

เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารสำคัญต่างๆ ที่อยู่ในลำต้นปาล์ม ได้แก่ Organic carbon (O-C) Total nitrogen (T-N) Phosphorus (K) และ Potassium (P) เมื่อผ่านกระบวนการ HTT ที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันออกไป และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการแปรรูปของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์มให้แปรสภาพเป็นปุ๋ยชีวภาพ โดยทำการศึกษาคคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำ เช่น การแตกตัวเป็นไอออน การไฮโดรไลซิส ข้อดีของเทคโนโลยีอุณหภูมิและความดันสูง รวมถึงการตรวจเอกสารการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี HTT ด้านปุ๋ยชีวภาพ

### ผลกระทบของกระบวนการ HTT ต่อโครงสร้างเซลล์

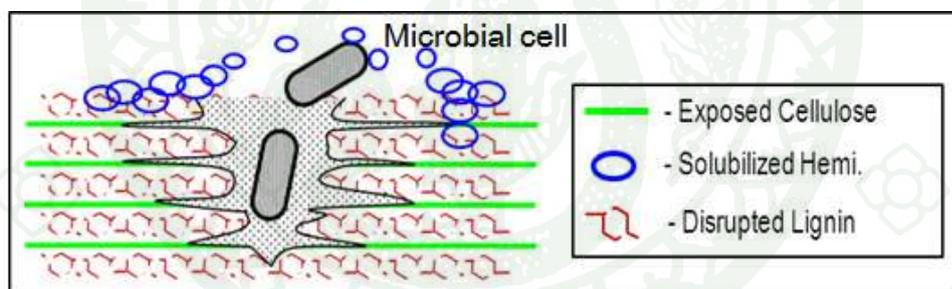
การทำ HTT เพื่อปรับสภาพก่อนกระบวนการหมักพบว่า สามารถย่นระยะเวลาการหมักสารจำพวกลิกโนเซลลูโลส ได้ในสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยส่วนสำคัญในการย่อยสลายลิกโน

เซลลูโลสที่อยู่ภายในผนังเซลล์ถูกปกป้องไว้ด้วยเฮมิเซลลูโลส ดังแสดงในภาพที่ 10 ตามธรรมชาติแล้ว ผนังเซลล์จะถูกปกป้องไว้โดยเฮมิเซลลูโลส และกระบวนการ HTT ทำให้เกิดโพรงและหลุมขึ้นภายใน โครงสร้างของผนังเซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 11 ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเข้าไปอยู่อาศัยของแบคทีเรีย และแบคทีเรียจะช่วยในการย่อยสลายเซลลูโลสต่อไป



ภาพที่ 10 โครงสร้างของผนังเซลล์

ที่มา: Nakhshiniev (2013)



ภาพที่ 11 ผลกระทบที่เกิดขึ้นบนผนังเซลล์หลังผ่านกระบวนการ HTT

ที่มา: Nakhshiniev (2013)

นอกจากนี้ น้ำตาลที่ได้จากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสจะส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของจำนวนแบคทีเรีย และเกิดในขั้นต้นของกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งสำคัญมากสำหรับการทำให้เกิดเป็นปุ๋ยชีวภาพอย่างรวดเร็ว และหัวใจสำคัญในการใช้กระบวนการ HTT ในการทำปุ๋ยชีวภาพนั้น คือ ไม่มีสารเคมีมาเจือปน และไม่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น (Nakhshiniev, 2013)

## คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอ คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง เช่น การระเบิดด้วยไอน้ำ ไอออนของน้ำ ไฮโดรไลซิส ข้อดีของเทคโนโลยีอุณหภูมิและความดันสูง และการใช้งานคุณสมบัติเหล่านี้ในการเปลี่ยนแปลงสารชีวมวล ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนอุณหภูมิและความดัน หรือการเติมสารเจือปนเพื่อทำให้เกิดการทำลายพันธะ C-C หรือ C-O เช่น น้ำตาลกลูโคส จะเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ที่เป็นกรดหรือด่างซึ่งเกี่ยวข้องกับไอออนในน้ำ ในปัจจุบันมีหลายวิธีในการใช้คุณสมบัติเหล่านี้เพื่อเปลี่ยนสารชีวมวลให้เป็นสารหรือสิ่งที่ต้องการ ในหัวข้อนี้กระบวนการ hydrothermal ใช้ในการเปลี่ยนสารชีวมวลรวมถึง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และกลีเซอริน ให้เป็นผลิตภัณฑ์ทางเคมี เช่น กรดอินทรีย์ เป็นต้น นอกจากนี้ผลพลอยได้จากกระบวนการยังก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย และเพื่อให้ได้ปริมาณคาร์บอน 100% และในที่สุดท้ายปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงกลีเซอริน และการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพันธะไฮโดรเจน

### 1. การระเบิดด้วยไอน้ำ

การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam explosion) เป็นการแยกเยื่อโดยใช้แรงดันไอน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 180-210°C ปริมาณเยื่อที่ได้มีสูงถึงร้อยละ 80-90 จึงจัดว่าเป็นเทคนิคการแยกเยื่อและเปิดโครงสร้างเนื้อไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลสด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันสูง เยื่อที่ได้จะมีสีคล้ำใช้ประโยชน์ได้ดีในการทำบอร์ดและได้อัด

การระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำมีภาวะความรุนแรงที่ได้รับจาก 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ (Temperature) และเวลา (Time) เพื่อให้ทราบถึงภาวะความรุนแรงที่วัสดุ ได้รับจากการระเบิดด้วยไอน้ำ จึงถูกทำให้ออกมาในรูปสมการ

$$R_0 = t \times \exp\left(\frac{T-100}{14.74}\right) \quad (1)$$

โดยมีตัวแปรคือ

- $R_0$  คือ ระดับความรุนแรง
- $t$  คือ เวลาในการระเบิดเยื่อ ในหน่วย นาที
- $T$  คือ อุณหภูมิในการระเบิดเยื่อ ในหน่วย องศาเซลเซียส

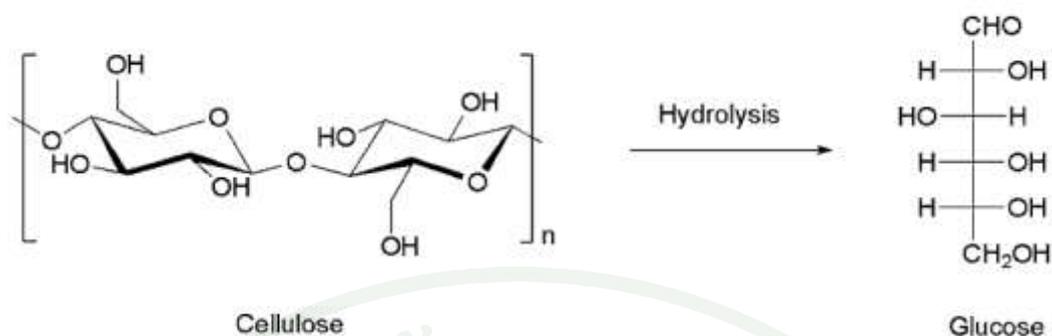
## 2. การแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ (Ion Product) ( $K_w$ )

ค่าการแตกตัวเป็นไอออนถูกกำหนดโดยความเข้มข้นของ  $H^+$  และ  $OH^-$  ในน้ำมีหน่วยเป็น  $mol^2/kg^2$  เมื่ออุณหภูมิและความดันของน้ำเพิ่มขึ้นที่  $300^\circ C$  และ  $250\ bar$  ตามลำดับ ทำให้ค่าการแตกตัวเป็นไอออนเพิ่มขึ้นจาก  $K_w = 10^{-14}\ mol^2/kg^2$  (ที่อุณหภูมิห้อง) เป็น  $K_w = 10^{-11}\ mol^2/kg^2$  และเมื่อน้ำมีค่าของ  $K_w$  เพิ่มขึ้นมากจะทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาของกรดและเบสเนื่องจากความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของ  $H^+$  และ  $OH^-$  นอกจากนี้คาดว่าผลที่ได้นี้ยังเกิดจากการเร่งปฏิกิริยากรดและเบสในปริมาณน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเสนอว่า ปฏิกิริยาไอออนิกจะเกิดในช่วง  $K_w < 10^{-14}$  และปฏิกิริยาอนุมูลอิสระจะเกิดในช่วง  $K_w > 10^{-14}$

## 3. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีความสำคัญและเป็นประโยชน์มากในการเริ่มต้นขบวนการที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสารชีวมวล และเกิดพันธะไกลโคไซด์เป็นพันธะโควาเลนต์ระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) กับน้ำตาลด้วยกันหรือกับสารอื่นที่ไม่ใช่ที่ไม่ใช่ น้ำตาล ทำให้เกิดเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) เช่น น้ำตาลกลูโคส ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดและเบส

การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสต่อเซลลูโลสจะทำให้เกิดเป็นน้ำตาลกลูโคส ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งเป็นการศึกษากันอย่างแพร่หลายต่อการเปลี่ยนแปลงสารชีวมวลเพราะเซลลูโลสเป็นสิ่งสำคัญที่อยู่ในองค์ประกอบของสารชีวมวลและสิ่งที่ได้จากน้ำตาลกลูโคสยังเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอีกด้วย ภายใต้เงื่อนไขของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เซลลูโลสจะถูกย่อยสลายด้วยน้ำกลายเป็นน้ำตาลกลูโคสหรืออยู่ในรูปโมโนเมอร์อื่นๆ โดยเกิดทำลายพันธะระหว่าง C-O-C และเกิดการย่อยสลายไปพร้อมกัน



ภาพที่ 12 ไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา: Jin (2014)

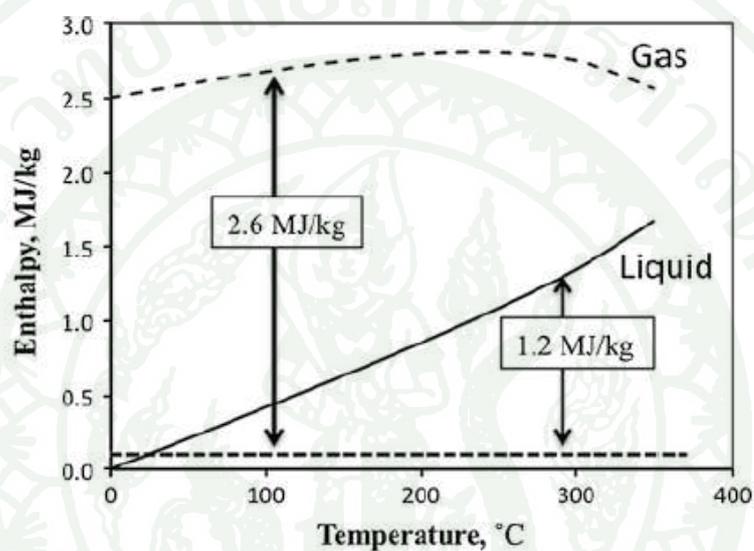
การย่อยสลายเซลลูโลสโดยวิธีไฮโดรไลซิสมี 3 วิธี ได้แก่

1. การย่อยสลายด้วยกรดคอนจูเกต (กรดที่เกิดจากเบสรับโปรตอน) และเกิดการแตกตัวของพันธะไกลโคไซด์จนเกิดเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่
2. การย่อยสลายด้วยเบส  $\text{OH}^-$  จะเข้าไปทำลายอะตอมของอะโนเมอริกคาร์บอน (คาร์บอนที่จับกับออกซิเจนสองอะตอม) โดยทำลายพันธะระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน จนเกิดเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่
3. การย่อยสลายด้วยน้ำ โดยน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่โดดเด่น เมื่อน้ำและพันธะไกลโคไซด์เกิดการแตกตัวพร้อมกันจะเกิดเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่

จากการทดลองการย่อยสลายของเซลลูโลสที่อุณหภูมิ 290 ถึง 400 °C และความดัน 25 Mpa. พบว่าผลที่ได้สูงกว่าการไฮโดรไลซิสแบบปกติถึง 75% และเกิดในช่วงที่เป็น Super critical water และ Sub critical water ความแตกต่างของปฏิกิริยาที่มีต่อการย่อยสลายกลูโคสและโอลิโกเมอร์ คือ ที่อุณหภูมิต่ำกลูโคสและโอลิโกเมอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการไฮโดรไลซิสเซลลูโลส แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิถึงจุด critical point ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมากกว่าอัตราการย่อยสลายกลูโคสและโอลิโกเมอร์

### ข้อดีของเทคโนโลยีอุณหภูมิต่ำและความดันสูง

ข้อดีบางประการของเทคโนโลยีความดันสูง คือ ช่วยลดการสูญเสียพลังงานของการขยายตัว (Expansion) แสดงในภาพที่ 13 น้ำกลายเป็นไอที่ความดันบรรยากาศ จะเกิดการสูญเสียพลังงานจลน์ในปริมาณมาก ตัวอย่างเช่นที่น้ำ 1 kg. กลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 100°C ต้องใช้พลังงาน 2.6 MJ. ในขณะที่ให้ความร้อนแก่น้ำ 1 kg. ที่อุณหภูมิ 300°C ใช้พลังงานเพียง 1.2 MJ.



ภาพที่ 13 เอนทัลปีของน้ำที่สภาวะอิ่มตัว

ที่มา: Watanabe (2014)

ข้อดีอีกประการหนึ่ง คือ สามารถเก็บและควบคุมความหนาแน่นของของเหลวได้โดยการควบคุมอุณหภูมิ ความหนาแน่นของของเหลวถือเป็นคุณสมบัติขั้นพื้นฐานและทางกายภาพ เช่น ค่าความเป็นฉนวน และความหนืด เป็นต้น ดังนั้นการควบคุมความหนาแน่นของของเหลว ทำให้ประสบความสำเร็จอย่างกว้างขวางต่อการควบคุมการละลายและการเกิดปฏิกิริยา

การควบคุมการละลายและความหนาแน่นของสารตั้งต้นทำให้เกิดความยืดหยุ่นต่อการเกิดสมดุลปฏิกิริยา เป็นที่รู้จักกันในหลักการของ Le Chatelier นอกจากนี้ยังสามารถปรับค่าความหนาแน่นได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิ ทำให้กระบวนการมีประสิทธิภาพทั้งทางพลศาสตร์และสมดุลปฏิกิริยา ความเข้มข้นเป็นปัจจัยต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและการแตกตัวของสารผลิตภัณฑ์

## การตรวจเอกสารการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี HTT ด้านปุ๋ยชีวภาพ

Jambaldorj (2007) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการนำกากตะกอกจากน้ำเสีย (sewage sludge) มาวิเคราะห์และใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพได้โดยผ่านกระบวนการ HTT ที่อุณหภูมิ 180°C 200°C 220°C ในช่วงเวลา 30-60 นาที ผลที่ได้จากการทดลอง คือ เมื่อนำน้ำตัวอย่างที่เหลือจากการผ่านกระบวนการมาวิเคราะห์ส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารที่เหลืออยู่ ดังนี้

1. Phosphorus (P) และ Total Nitrogen (N) มีความเข้มข้นลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้น
2. Potassium (K) ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้น
3. ระยะเวลาการทดลองมีผลเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหาร N, P และ K หลังจากนั้นได้มีการทดสอบโดยการนำน้ำที่ผ่านกระบวนการ HTT มาทดสอบการเจริญเติบโตของต้นไม้ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำนั้นสามารถใช้เป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพได้

Nakhshiniev (2012) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงผลกระทบต่อผนังเซลล์ และอัตราการย่อยสลายภายใต้สภาวะที่มีอากาศของลิกโนเซลลูโลสที่เหลืออยู่ในต้นปาล์ม เมื่อผ่านกระบวนการ HTT โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลอง ที่อุณหภูมิ 160°C 180°C 200°C และ 220°C ภายใต้เวลา 30 นาที ผลที่ได้จากการทดลองที่ อุณหภูมิ 160°C และ 180°C จะเห็นได้ว่าอุณหภูมินั้นมีผลต่อการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส และการลดลงในสัดส่วนของสารประกอบในผนังเซลล์ จาก 34.1% เหลือเพียง 9.5% และ 4.6% ตามลำดับ และภายใต้อุณหภูมิ 200°C และ 220°C ทำให้ลิกนินเป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นถึงการสลายของเฮมิเซลลูโลส และการต่อต้านของพอลิแซ็กคาไรด์ ต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ผลที่เกิดขึ้นต่อการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและการลดลงในสัดส่วนของสารประกอบในผนังเซลล์ 5.8% และ 9.4% ตามลำดับ จะเห็นว่าการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย และการสลายเฮมิเซลลูโลสอย่างเห็นได้ชัดที่สุดบนผนังเซลล์ จะเกิดขึ้นภายใต้อุณหภูมิ 180°C ซึ่งสิ่งที่ได้รับจากการทดลองนี้คือ

1. การเพิ่มขึ้นอย่างมากของธาตุคาร์บอนซึ่งช่วยในการย่อยอาหารของไมโครจุลินทรีย์ในระยะแรกของการย่อยสลาย และ
2. ทำให้เกิดหลุมและช่องว่างบนผนังเซลล์ จึงเป็นการช่วยเร่งการขยายตัวของจุลินทรีย์และการย่อยสลายต่อผนังเซลล์ ดังนั้นการย่อยสลายทางชีวภาพของต้นปาล์มที่ผ่านกระบวนการ HTT จะอาศัยเวลาเพียง 21 วัน เมื่อเทียบกับการย่อยสลายของต้นปาล์มที่ไม่ผ่านกระบวนการ HTT ซึ่งใช้เวลาถึง 63 วัน จึงแสดงให้เห็นว่ากระบวนการ HTT ประสบผลสำเร็จในการเปลี่ยนสภาพของต้นปาล์มก่อนนำไปสู่กระบวนการหมักเพื่อแปรสภาพเป็นปุ๋ยชีวภาพ

Jacquet (2011) ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการ Steam explosion ในการสลายตัวของเซลลูโลส ประสิทธิภาพของกระบวนการ Steam explosion จะถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของกระบวนการ วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ

Alba-fiber C200 เป็นผลิตภัณฑ์ของเซลลูโลสฟอกขาวที่ได้จากเยื่อไม้ โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง ที่อุณหภูมิ 180°C 210°C 230°C 250°C และ 260°C ต่อเวลา 2 และ 5 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนโดยใช้วิธี Thermogravimetric analyses (TGA) เพื่อหาการสูญเสียเปอร์เซ็นต์โดยมวลของ Alba-fiber C200 เมื่อผ่านกระบวนการผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์ที่ถูกย่อยสลายควบคู่กับการเพิ่มระดับของถ่าน นั้นหมายถึงเกิดการย่อยสลายที่โดดเด่นของเซลลูโลส ในทางคู่ขนานได้ทำการวิเคราะห์ The derivative of the thermogravimetric analysis (dTGA) พบว่าจุดสูงสุดที่ทำให้เกิดการลดลงหรือหยุดการสลายตัวของเซลลูโลสอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 370°C และสุดท้ายนำผลการวิเคราะห์ต่างๆ มาเขียนเป็น Theoretical diagram การสลายตัวของเซลลูโลสเพื่อการคาดการณ์ในการย่อยสลายของเซลลูโลสในขณะเกิดกระบวนการ Steam explosion

Meng (2001) ทำการศึกษาผลกระทบและองค์ประกอบของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย 3 ตัวอย่าง ได้แก่ BJ-Sample HS-Sample1 และ HS-Sample2 เมื่อผ่านกระบวนการ Hydrothermal drying โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1. ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 160°C 180°C 190°C และ 200°C ต่อช่วงเวลา 30 นาที ตามลำดับ และระยะเวลาการคายน้ำ 30 นาที ผลที่ได้ คือ ที่อุณหภูมิ 190°C สามารถลดความชื้นลงได้ต่ำกว่า 60% จากค่าความชื้นของกากตะกอนโดยเฉลี่ยที่ 80% และที่อุณหภูมิ 200°C สามารถลดความชื้นลงต่ำกว่า 55% ดังนั้นประสิทธิภาพการคายน้ำของผลิตภัณฑ์จึงขึ้นอยู่กับเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 2. ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลา กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 190°C ต่อช่วงเวลา 30 40 และ 50 นาที ตามลำดับ และระยะเวลาการคายน้ำ 30 นาที ผลที่ได้คือในช่วงเวลาตั้งแต่ 30 นาที เป็นต้นไปสามารถลดปริมาณความชื้นลงได้ต่ำกว่า 60% 3. ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการคายน้ำ กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 190°C ต่อช่วงเวลา 30 นาที และระยะเวลาการคายน้ำที่ 10 20 30 และ 40 นาที ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าในทุกระยะเวลาการคายน้ำตั้งแต่ 10 – 40 นาที สามารถลดความชื้นลงได้ต่ำกว่า 60% ทั้งหมด จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าของอุณหภูมิและช่วงเวลาที่ดีที่สุดในการกระบวนการนี้ คือ 190°C และ 30 นาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 190°C มีอัตราการย่อยสลายกากตะกอนของ BJ-Sample HS-Sample1 และ HS-Sample2 อยู่ที่ 5.32% 6.58% และ 10.44% ตามลำดับ โดยยังเหลือส่วนที่เป็นของแข็งถึง 90% และพบว่าอัตราการระเหยของกากตะกอนเมื่อผ่านกระบวนการเร็วกว่ากากตะกอกไม่ยั้งไม่ผ่านกระบวนการถึง 4.4 เท่าเมื่อนำไปตากให้แห้งโดยวิธีธรรมชาติ

## การตรวจเอกสารการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี HTT ด้านเชื้อเพลิงและอื่นๆ

เนื่องจากเอกสารการวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาการเปลี่ยนสภาพทรัพยากรต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนสภาพของต้นปาล์มก่อนนำไปสู่กระบวนการหมักเพื่อแปรสภาพเป็นปุ๋ยชีวภาพ ดังนั้นจึงขอนำเสนอในส่วนที่เป็นวิธีการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ ผลที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการ และการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป โดยมีการศึกษาดังนี้

Yuliansyah (2010) ศึกษาการนำของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์ม ทั้งใบและลำต้นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยผ่านกระบวนการ HTT ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง คือ 300 mL และส่วนของใบและลำต้นปาล์มคือ 30 g. นำมาใส่ในหม้อน้ำขนาด 500 mL ที่ประกอบด้วยใบกวนเทอร์โมมิเตอร์ และเซ็นเซอร์วัดความดัน โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลอง ที่อุณหภูมิ 200-350°C ที่ความดัน 2.0 MPa. ภายในกำหนดเวลา 30 นาที หลังจากผ่านกระบวนการ HTT แล้ว จะเหลือปริมาณปาล์มที่จะกลายเป็นเชื้อเพลิงเพียง 35-65% จากปริมาณเริ่มต้น โดยค่าความร้อนที่วัดได้อยู่ระหว่าง 19.9 - 29.7 MJ/kg. และ ปริมาณความชื้นอยู่ที่ 4.5 - 7.6% สารประกอบคาร์บอนมีค่าประมาณ 51.4 - 78.5 wt% และ ออกซิเจนมีค่าประมาณ 16.1 - 42.1 wt%

Prawisudha (2011) ได้ศึกษาการแปรรูปขยะชุมชนให้เป็นเชื้อเพลิง โดยผ่านกระบวนการ HTT โดยปริมาณที่ใช้ในการทดลองคือ 1 ตันต่อครั้ง ที่ความดัน 2 MPa. เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากผ่านกระบวนการ ขยะชุมชนนั้นได้เปลี่ยนรูปหดรัดตัวลง ง่ายต่อการตากแห้ง เมื่อแห้งวัสดุที่ได้จะมีลักษณะคล้ายผงแป้ง มีค่าความชื้นอยู่ที่ 10% ค่าความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 20 MJ/kg ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับถ่านหินซับบิทูมินัส (ถ่านหินเกรดต่ำ) นั่นเป็นเพราะว่าขยะชุมชนที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยพลาสติกจำนวนมาก ทำให้มีคลอรีนจำนวนมาก ผลคือจะทำให้เกิดการอุดตัน การกัดกร่อน และเกิดไดออกซินในเตาเผาได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ สังเกตได้ว่าในขยะที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีคลอรีนโดยเฉลี่ยสูงถึง 10,000 ppm และลดลงเหลือ 2,000 ppm เมื่อผ่านกระบวนการ HTT เพราะน้ำช่วยดึงคลอรีนออกจากขยะในระหว่างเกิดกระบวนการ และยังเกิดขึ้นชัดเจนในกระบวนการที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ดังนั้นผลการได้จากการทดลองเหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้ว่าสามารถนำขยะชุมชนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยผ่านกระบวนการ HTT

Areprasert (2013) ได้ศึกษาการแปรรูปของเสียจากการผลิตกระดาษเป็นเชื้อเพลิง โดยปัญหาที่เกิดขึ้นจากการผลิตกระดาษ คือ ของเสียมีปริมาณมหาศาล ยากต่อการจัดการ มีกลิ่นเหม็น มีปริมาณความชื้นสูง 70 - 80% และยากต่อการทำให้แห้ง ซึ่งการทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การ

ทดลองในห้องปฏิบัติการ และการทดลองกับเครื่องต้นแบบ ให้ความสนใจกระบวนการ HTT ต่อการแปรรูปของเสีย โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิ 180 - 240°C และเวลา 15 - 30 นาที ผลที่ได้จากการทดลองระหว่าง 2 ส่วน ไม่แตกต่างกันมากนัก คือ ของเหลวที่ได้มีลักษณะเหมือนโคลนกลื่นเหนียวน้อยลง เมื่อนำไปตากให้แห้งพบว่ามีความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงทำให้มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีขึ้น ลดปริมาณความชื้นลง และแห้งง่าย

Zhao (2013) กล่าวว่า HTT ได้ถูกพัฒนาขึ้นในหลายด้านเช่นการเพิ่มความสามารถในการแยกน้ำออกจากกากตะกอนหรือการผลิตเชื้อแข็งโดยการควบคุมปริมาณความชื้นของกากตะกอน แต่แทบจะไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) ในการเผากากตะกอนเลย ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่พฤติกรรมของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) ที่เกิดจากการเผากากตะกอนที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการ HTT โดยใช้การเผาไหม้ 5 รูปแบบคือ conventional combustion (CC), decoupling combustion (DC), separated combustion (SC) และ air-staging combustion (AC - A, AC - B) ด้วยการจ่ายก๊าซ 2 รูปแบบ ภายใต้อุณหภูมิ 800°C ผลที่ได้จากการเผาไหม้ในทุกรูปแบบพบว่าก๊าซไนโตรริกออกไซด์ (NO) เกิดจากกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการ HTT มีปริมาณน้อยกว่ากากตะกอนที่ไม่ผ่านกระบวนการ HTT ซึ่งในการเผาไหม้แบบ CC และ AC สามารถลดปริมาณของก๊าซไนโตรริกออกไซด์ (NO) ลงได้มากเมื่อเทียบกับการเผาไหม้แบบอื่นๆ ในอัตราส่วน 50.7% และ 56.4% ตามลำดับ ดังนั้นผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี HTT มีแนวโน้มที่ช่วยในการปรับสภาพเพราะไม่เพียงช่วยเพิ่มความสามารถในการแยกน้ำจากกากตะกอนแล้ว แต่ยังมีประสิทธิภาพในการควบคุมการปล่อยก๊าซไนโตรริกออกไซด์จากการเผาไหม้กากตะกอนอีกด้วย

Teerapong (2008) ในกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมัน จะได้น้ำมันปาล์มดิบประมาณ 18 - 22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำมันบริโภคหรืออุตสาหกรรมต่อเนืองอื่นๆ ส่วนของเหลือ 78 - 82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้แก่ทะลายเปล่า เส้นใยเปลือกผลปาล์ม กากสลัดจ์ รวมถึงน้ำที่อยู่ในทะลายปาล์ม จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ โดยทะลายเปล่าและกากสลัดจ์จะถูกนำไปใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เส้นใยเปลือกผลปาล์มและกะลาจะใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนของเหลวในทะลายจะแปรรูปเป็นโมลาส การนำของเสียเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของทะลายปาล์มให้สูงขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ราคาปาล์มน้ำมันมีเสถียรภาพมากขึ้นด้วย

Suwichaya (2009) จากการทดลองแยกองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแฝก (*Vetiveria zizanioides* Nash) ด้วยไอน้ำ ที่ความรุนแรงในช่วง  $\log Ro = 3.03-4.13$  (ที่ความดัน 15 และ 17 kg/cm<sup>2</sup> หรืออุณหภูมิ 203°C และ 208°C) เป็นเวลา 1 3 5 7 และ 9 นาที พบว่าปริมาณของ

น้ำตาลไซโลส กลูโคส เฟอร์ฟูรอล 5 - ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรอล กรดอะซิติก และ สารประกอบฟีนอลิกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดัน และระยะเวลาของการระเบิดด้วยไอน้ำ โดยสถานะที่ให้ความเข้มข้นไซโลสสูงสุดที่ร้อยละ 0.831 คือ ความดัน 17 kg/cm<sup>2</sup> (203°C) เวลา 5 นาที เมื่อทำการเปลี่ยนน้ำตาลโอลิโกเมอร์ของไซโลสในไฮโดรไลเซสให้เป็นน้ำตาลไซโลส ด้วยการไฮโดรไลซิสในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 % (w/v) ที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 45 นาที พบว่าน้ำตาลไซโลสเพิ่มจากร้อยละ 0.831 เป็น 3.917

Noda (2013) ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการ การเพิ่มขึ้นของสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีอยู่ในกระเทียมที่ผ่านกระบวนการ Steam Explosion เปรียบเทียบกับกระเทียมที่ผ่านกรรมวิธีการหมักบ่มหรือที่เรียกว่ากระเทียมดำ กำหนดเงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิ 183°C 200°C 214°C 225°C 235°C และ 258°C และช่วงเวลา 1 - 10 นาที พบว่ากระเทียมที่ผ่านกระบวนการนี้จะมีสารแอนติออกซิแดนซ์สูงกว่ากระเทียมดำ โดยสารแอนติออกซิแดนซ์จะมีค่าสูงสุดในการทดลองที่อุณหภูมิ 258°C เป็นระยะเวลา 5 นาที และสารประกอบฟีนอลจะมีปริมาณสูงสุดในการทดลองที่อุณหภูมิ 235°C เป็นระยะเวลา 5 นาที

## ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (Oil palm) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq. พบครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 1977 ทางตะวันตกของทวีปแอฟริกา ชาวปอตุเกสได้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกในทวีปเอเชียที่ประเทศอินโดนีเซียเมื่อ พ.ศ. 2391 จากนั้นจึงแพร่กระจายพันธุ์ไปยังเกาะสุมาตรา ในปีพ.ศ. 2448 มีการพบปาล์มน้ำมันพันธุ์ Dura ที่เมืองเดลีและตั้งชื่อว่าพันธุ์ Deli Dura และเริ่มปลูกเป็นการค้าอย่างจริงจังบนเกาะสุมาตราตั้งแต่ปี พ.ศ. 2454 เป็นต้นมา ประเทศไทยได้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกเป็นปาล์มประดับเมื่อปี พ.ศ. 2472 ที่จังหวัดสงขลาและจังหวัดจันทบุรี และเริ่มปลูกเป็นการค้าเมื่อปีพ.ศ. 2511 และตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 เป็นต้นมาก็มีการพัฒนาขยายพื้นที่ปลูกไปอย่างรวดเร็วจนถึงปัจจุบัน

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของภาคใต้รองจากยางพารา ผลการสำรวจในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประกอบด้วยพื้นที่ยืนต้นทั้งหมด 4,076,883 ไร่ และพื้นที่ให้ผล 3,552,272 ไร่ ซึ่งเป็นพื้นที่ในภาคใต้ถึง 3,146,789 ไร่ หรือร้อยละ 67.92 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด โดยส่วนใหญ่กระจายอยู่ในจังหวัดกระบี่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดชุมพร ตามลำดับ ปาล์มน้ำมันมีอายุเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 25 - 26 ปี เช่นเดียวกับไม้ยางพารา หากแต่ไม้ปาล์มน้ำมันไม่สามารถสร้างรายได้เพิ่มให้เกษตรกรแต่กลับเป็นปัญหาในการเตรียมพื้นที่เพื่อปลูกทดแทน

ซึ่งส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมใช้สารเคมีเพื่อให้ลำต้นปาล์มน้ำมันยืนต้นตายและเนาเปื่อยอยู่ในสวนปาล์ม น้ำมันมีลักษณะลำต้นตั้งตรง ไม่มีกิ่งแขนง ลำต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 - 38 เซนติเมตร และความสูงถึง 15 - 18 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 14 โดยทั่วไปความสูงของต้นปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นปีละประมาณ 1 ครั้งเมตร ลำต้นปาล์มน้ำมัน 1 ต้นให้ปริมาณเนื้อไม้โดยเฉลี่ย 1.72 ลูกบาศก์เมตร หรือ 220 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกเตอร์ ขนาดลำต้นของปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นตามอายุและระดับความสูงของลำต้น ด้วยพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในปัจจุบัน ผนวกกับรัฐบาลมีนโยบายขยายพื้นที่ปลูก ส่งผลให้ในอนาคตอันใกล้จะมีลำต้นปาล์มน้ำมันจำนวนมากที่ถูกปล่อยให้เนาเปื่อยไปอย่างน่าเสียดายเห็นควรมีการส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์จากไม้ปาล์มน้ำมันได้ในเชิงพาณิชย์



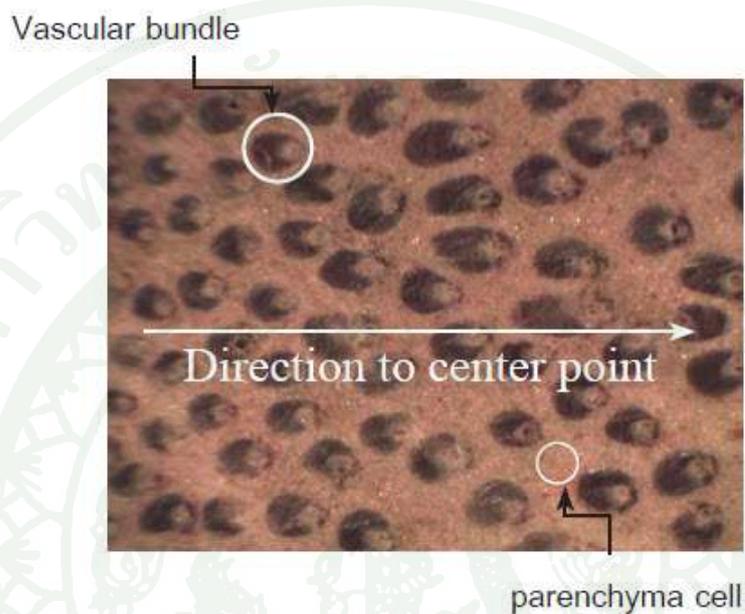
ภาพที่ 14 ต้นปาล์มน้ำมัน

### โครงสร้างไม้ปาล์มน้ำมัน

ไม้ปาล์มน้ำมันมีลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้แตกต่างจากไม้เศรษฐกิจชนิดอื่นๆ เช่น ไม้ยางพารา คือ โครงสร้างของเนื้อไม้ปาล์มน้ำมันประกอบด้วย 1) กลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิล (Vascular bundle, VB) ซึ่งทำหน้าที่ในการลำเลียงและให้ความแข็งแรงแก่ลำต้น และ 2) กลุ่มเซลล์พารენคิมา (Parenchyma) ทำหน้าที่ในการสะสมอาหาร

ด้านหน้าตัด (Cross section) ของลำต้นปาล์มน้ำมันประกอบด้วยส่วนของเปลือกและเนื้อไม้ โดยส่วนของเนื้อไม้มีกลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิลกระจายอยู่ในกลุ่มเซลล์พารენคิมา ดังแสดงในภาพที่ 15 และพบกลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิลกระจายแบบลดหลั่นจากบริเวณใกล้เปลือกจนถึงใจกลางลำต้น โดยในบริเวณใกล้เปลือก (Peripheral zone) ส่วนกลาง (Central zone) และใจกลางลำต้น (Inner

zone) มีจำนวนวาสคูลาบันเดิลต่อตารางเซนติเมตร เท่ากับ  $97.5 \text{ Vb/cm}^2$   $45.8 \text{ Vb/cm}^2$  และ  $25.2 \text{ Vb/cm}^2$  ตามลำดับ และลดลงตามระดับความสูงของลำต้น จากการกระจายของกลุ่มเซลล์ดังกล่าว ส่งผลให้สีไม้ปาล์มน้ำมันไม่สม่ำเสมอ บริเวณใกล้เปลือกมีสีเข้มกว่าบริเวณใจกลางลำต้น ไม้ปาล์มน้ำมันมีสีเหลืองในสถานะสด และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแห้ง



ภาพที่ 15 กลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิลกระจายอยู่ในกลุ่มเซลล์พาเรนคิมา

ที่มา: Rattana (2011)

#### องค์ประกอบทางเคมี

เนื้อไม้ปาล์มน้ำมันประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 47.5 โพลีแซ็กคาไรด์ร้อยละ 78.5 และ ลิกนินร้อยละ 18.4 พบว่าไม้ปาล์มน้ำมันมีเซลลูโลสต่ำกว่าไม้ยางพารา แต่มีสารซึ่งสามารถละลายในน้ำเย็น (Cold water) และละลายในน้ำร้อน (Hot water) สูงกว่าไม้ยางพารา แสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของต้นปาล์มน้ำมันและไม้ยางพารา

Species / Chemical composition %	Oil Palm Wood	Rubber Wood
Cellulose	47.5	55.6
Holocellulose	78.5	58.2
Acid-soluble lignin	18.4	27.6
Cold water	9.97	6.37
Hot water	13.89	8.27
Alcohol-acetone solubility	5.05	1.32

### ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นในสภาวะสดของลำต้นปาล์มน้ำมันค้อยๆ เพิ่มตามปริมาณความสูงของลำต้น พบว่าบริเวณแกนกลางลำต้นมีความชื้นสูงและลดลงตามแนวรัศมี ไม้ปาล์มน้ำมันอาจมีปริมาณความชื้นในสภาวะสดมากกว่าร้อยละ 500 อยู่ในช่วงร้อยละ 123-523 (โดยเฉลี่ยร้อยละ 304) ส่งผลให้ไม้ปาล์มน้ำมันมีอัตราการหดตัวสูง และผันแปรตามปริมาณความชื้นภายใน ลำต้นเนื้อไม้ปาล์มน้ำมันมีการหดตัวโดยปริมาตร ส่วนใจกลางลำต้นเท่ากับร้อยละ 11-20 ส่วนกลางร้อยละ 13-23 และบริเวณใกล้เปลือกร้อยละ 10-23 การหดตัวของเนื้อไม้ใช้ในการเผื่อขนาด ในกระบวนการเลื่อยไม้ เพื่อให้ได้ไม้ขนาดที่ต้องการเมื่อไม้แห้ง

### การใช้ประโยชน์จากลำต้นปาล์มน้ำมัน

เนื่องจากลักษณะโครงสร้าง สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ปาล์มน้ำมันมีความแตกต่างตลอดลำต้น ส่งผลให้ยากแก่การนำลำต้นปาล์มน้ำมันไปใช้ประโยชน์เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง เพราะฉะนั้นแนวทางในการใช้ประโยชน์ลำต้นปาล์มน้ำมัน จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงโครงสร้างและสมบัติของเนื้อไม้ในแต่ละส่วนของลำต้น จึงขอเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์ไม้ปาล์มน้ำมันดังต่อไปนี้

#### 1. ไม้ปาล์มน้ำมันแปรรูป

ลำต้นปาล์มน้ำมันมีความหนาแน่นสูงบริเวณใกล้เปลือกและส่วนโคนของลำต้นถึงระดับความสูงประมาณ 4 เมตร เนื้อไม้ส่วนนี้สามารถทำการแปรรูปเพื่อผลิตไม้ปาล์มน้ำมันแปรรูปโดยอาศัยเทคนิคการเลื่อยเช่นเดียวกับการเลื่อยไม้มะพร้าว

ปัญหาหลักในการผลิตไม้ปาเล็มน้ำมันแปรรูป คือ ไม้ปาเล็มน้ำมันมีปริมาณความชื้นและแป้งสูงซึ่งเป็นปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา โดยเชื้อราสามารถเข้าทำลายภายในเวลาข้ามคืน จึงจำเป็นต้องทำการอบไม้ปาเล็มน้ำมันโดยทันที หรือเก็บไว้ในสภาวะอากาศมีการถ่ายเท และไม่ปิดคลุมระหว่างการอบ นอกจากนี้ปัญหาเข้าทำลายของเชื้อราปริมาณความชื้นที่สูงและไม่สม่ำเสมอภายในแผ่นไม้แปรรูปทำให้ยากแก่การอบไม้ให้เกิดความเสียหายแก่ไม้ปาเล็มน้ำมัน โดยส่วนใหญ่ไม้ปาเล็มน้ำมันหลังการอบมักเกิดการโค้งงอลักษณะรูปถ้วยหรือบิดงอ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเนื้อไม้ภายในลำต้นดังแสดงในภาพที่ 16 ด้วยสาเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องมีการศึกษาระบวนการอบที่เหมาะสมต่อโครงสร้างของไม้ปาเล็มน้ำมัน



ภาพที่ 16 ลักษณะการบิดงอของต้นปาเล็มน้ำมันหลังการอบ

ที่มา: Rattana (2011)

## 2. ไม้บาง

เนื่องจากไม้ปาเล็มน้ำมันมีลำต้นตรงเหมาะต่อการนำไปปอกไม้บาง (Veneer) เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมไม้อัด (Plywood) เป็นต้น จากการกระจายของความหนาแน่นและปริมาณความชื้นในลำต้นไม้ปาเล็มน้ำมัน ไม้บางจากลำต้นปาเล็มน้ำมันจึงมีความหนาแน่นและความชื้นไม่สม่ำเสมอเป็นปัญหาต่อการอบไม้บาง ไม้อัดจากไม้บางปาเล็มน้ำมันมีความแข็งแรงต่ำและใช้กาวในการผลิตสูงเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิดอื่น แต่สามารถปรับปรุงความแข็งแรงของไม้อัดปาเล็มน้ำมันได้โดยการนำไม้บางซึ่งมีความหนาแน่นต่ำเป็นชั้นไส้และไม้บางความหนาแน่นสูงเป็นชั้นผิว หรืออาจใช้ไม้ชนิดอื่นที่มีความแข็งแรงสูงเป็นชั้นผิว เช่น ใช้ไม้บางจากไม้ยางพาราเป็นชั้นผิว เป็นต้น

### 3. เอทานอล

หากกล่าวถึงพืชในประเทศไทยที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลคองหนิไม่พ่นมันสำปะหลังและอ้อย หรือศักยภาพด้านพลังงานทดแทนจากปาล์มน้ำมัน คือ ไบโอดีเซล ซึ่งไม่ว่าจะเป็นมันสำปะหลัง อ้อยและน้ำมันปาล์ม ล้วนเป็นพืชที่ใช้ในการบริโภค ทำให้ประสบปัญหาเรื่องต้นทุนและปริมาณไม่เพียงพอต่อการผลิต จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องมองหาแหล่งวัตถุดิบอื่นทดแทน “ลำต้นปาล์มน้ำมัน” เป็นเศษเหลือทางการเกษตรที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลไม่พ่นมันสำปะหลังหรืออ้อย เนื่องจากองค์ประกอบเคมีของไม้ปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่เป็นแป้งหรือคาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะเนื้อไม้ส่วนบริเวณใจกลางและส่วนปลายของลำต้น (ซึ่งให้คุณภาพไม้แปรรูปต่ำ และเป็นส่วนใส่ในการปกไม้บาง) สามารถใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลให้ปริมาณเอทานอลสูงกว่าเนื้อไม้บริเวณใกล้เปลือกและส่วนโคนของลำต้น

ที่มา: Rattana (2011)

### ปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตพืช ด้านการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิต โดยปกติพืชจะได้รับแร่ธาตุอาหารต่างๆ จากดิน แต่เนื่องจากพื้นที่ทำการเกษตรของประเทศไทยได้ใช้ทำการเพาะปลูก และเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไปจากพื้นที่เป็นระยะเวลาต่อเนื่องและยาวนาน ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ ในดินถูกนำออกไปด้วยตลอดเวลา ดินจึงมีปริมาณธาตุอาหารลดลงและเสียสภาพสมดุล ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน เพื่อให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากเกษตรกรได้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาการขาดแคลนความอุดมสมบูรณ์ของดิน และต้องการเพิ่มผลการผลิตต่อพื้นที่เพื่อให้ได้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด ทำให้การใช้ปุ๋ยในการผลิตพืชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในศตวรรษที่ผ่านมา แต่การผลิตพืชด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ในบางพื้นที่ นอกจากจะไม่สามารถให้ผลผลิตตามเป้าหมายที่ต้องการแล้วยังเพิ่มมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ในสภาวะการปัจจุบันซึ่งปุ๋ยเคมีก็มีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้กระแสการปรับปรุงบำรุงดินในการผลิตพืชของเกษตรกรเปลี่ยนทิศทางไปสู่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น ตลาดการค้าปุ๋ยอินทรีย์เติบโตและขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการใช้วัตถุดิบและกรรมวิธีผลิตที่หลากหลายมาก จากการสำรวจผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาด พบว่าส่วนใหญ่ยังมีคุณสมบัติไม่ได้มาตรฐานตามหลักวิชาการ

## ความหมายของปุ๋ยชีวภาพ

ก่อนจะกล่าวถึงปุ๋ยชีวภาพควรจะมีใจถึงความเข้าใจถึงความหมายของคำว่าปุ๋ยก่อน ความหมายของปุ๋ยที่สั้นที่สุดนั้น ปุ๋ย หมายถึง วัสดุที่ให้ธาตุอาหารแก่พืช ส่วนพระราชบัญญัติปุ๋ย 2518 ได้ให้คำจำกัดความปุ๋ยไว้ว่า “ปุ๋ย” หมายถึง สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช นักวิชาการปุ๋ยโดยทั่วไปสามารถจำแนกปุ๋ยได้ 3 ประเภท

1. ปุ๋ยเคมี หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม และปุ๋ยเชิงประกอบ และหมายความตลอดถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมถึงปุณขาว ดินมาร์ล ปุณพลาสติก หรือยิปซัม
2. ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์วัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่นๆ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี
3. ปุ๋ยชีวภาพ หมายถึง ปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ที่สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช

## นิยามปุ๋ยชีวภาพ

คำว่า “ปุ๋ยชีวภาพ” (Bio-fertilizer) นั้นเป็นคำศัพท์ทางด้านปุ๋ยที่ใช้กันทุกๆ ไปในหลักวิชาการปุ๋ยสากล โดยได้มีการบัญญัติศัพท์นี้ขึ้นจากศัพท์ภาษาอังกฤษว่า biological fertilizer ซึ่งเป็นการนำคำว่า “ปุ๋ย” (fertilizer) หมายถึง ธาตุอาหารพืช กับคำว่า “ชีวภาพ” (Biological) หมายถึง สิ่งที่มีชีวิตมาสมานกัน ดังนั้นเจตนาที่บัญญัติคำนี้ จึงให้หมายถึง “ปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช” หรือเรียกว่า “ปุ๋ยจุลินทรีย์” ตามคำจำกัดความนี้จะเห็นได้ว่า ไม่ใช่จุลินทรีย์ทุกชนิดจะใช้ผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพได้ แต่ต้องเป็นจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถสร้างธาตุอาหารขึ้นทางชีวภาพแล้วแบ่งให้พืชใช้ได้หรือมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะเจาะจงในการสร้างสารบางอย่างออกมา มีผลทำให้ช่วยเพิ่มปริมาณรูปที่เป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอาหารหลักที่สำคัญ 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

## ประเภทของปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยชีวภาพสามารถแบ่งตามลักษณะการให้ธาตุอาหารแก่พืช ได้ 2 ประเภท คือ

### 1. ปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์สร้างธาตุอาหารพืช

จุลินทรีย์ที่สามารถสร้างธาตุอาหารพืชได้ในปัจจุบันพบเพียงกลุ่มเดียว คือ กลุ่มจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน ประกอบด้วยแบคทีเรียและแอกทีโนมัยซีท จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ มีชุดยีนไนโตรจีเนส (Nitrogenase genes) เป็นองค์ประกอบในจีโนม มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการสร้างเอนไซม์ไนโตรจีเนส และควบคุมกลไกการตรึงไนโตรเจนให้กับจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ให้มีขบวนการตรึงไนโตรเจนจากอากาศที่มีประสิทธิภาพ ปุ๋ยชีวภาพประเภทนี้สามารถแบ่งตามลักษณะความสัมพันธ์กับพืชอาศัยได้ 2 แบบ คือ

กลุ่มที่ 1 ปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (Symbiosis) ปุ๋ยชีวภาพกลุ่มนี้มีแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูงมาเป็นส่วนประกอบ สามารถทดแทนไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีให้กับพืชอาศัยได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ ชนิดของพืชอาศัย รวมทั้งระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่วนใหญ่มีการสร้างโครงสร้างพิเศษอยู่กับพืชอาศัยและตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพจากอากาศ ได้แก่ การสร้างปมของแบคทีเรียสกุลไรโซเบียมกับพืชตระกูลถั่วชนิดต่างๆ การสร้างปมที่รากสนกับแฟรงเคีย การสร้างปมที่รากปรงกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลโนสโตค (Nostoc) และการอาศัยอยู่ในโพรงใบแทนแดงของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลอะนาบีน่า (Anabaena) ในกลุ่มนี้พืชอาศัยจะได้รับไนโตรเจนที่ตรึงได้ทางชีวภาพจากจุลินทรีย์ไปใช้โดยตรงสามารถนำไปใช้ในการสร้างการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิตและคุณภาพพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กลุ่มที่ 2 ปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชแบบอิสระ (non-symbiotic  $N_2$  - fixing bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนต่ำ จึงสามารถทดแทนปุ๋ยไนโตรเจนให้กับพืชที่อาศัยอยู่เพียงระหว่าง 5 - 30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับสกุลของจุลินทรีย์และชนิดพืชที่จุลินทรีย์อาศัยอยู่ และพื้นฐานระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินรอบอาศัยอยู่บริเวณรากพืชตระกูลหญ้า สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม

1) แบคทีเรียที่อาศัยอยู่อย่างอิสระในดินและบริเวณรากพืช ได้แก่ อะโซโตแบคเตอร์ (Azotobacter) และสกุลไบเจอร์ริงเคีย (Beijerinckia)

2) แบคทีเรียที่พบอาศัยอยู่ได้ทั้งในดิน บริเวณรากพืช และภายในรากพืชชั้นนอก ได้แก่ สกุลอะโซสไปริลลัม (Azospirillum)

3) แบคทีเรียที่พบอาศัยอยู่ภายในต้นและใบพืช เป็นแบคทีเรียบางสกุลหรือบางชนิดที่ค้นพบใหม่ๆ เมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา ได้แก่ สกุลอะซีโตแบคเตอร์ ชนิดไดอะโซโทรฟิกัส (Acetobacter diazotrophicus) ที่พบในอ้อยและกาแฟ สกุลเฮอบาสไปริลลัม (Herbaspirillum spp.) ที่พบในข้าว อ้อยและพืชเส้นใยบางชนิด และสกุลอะโซอาร์คัส (Azoarcus spp.) ที่พบในข้าว และหญ้าอาหารสัตว์บางชนิด

## 2. ปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช

2.1 ปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria or PGPR) หรือ ฟิจีฟิอาร์ เป็นปุ๋ยชีวภาพชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มเดียวกันหรือต่างกลุ่มกัน เช่น ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถตรึงไนโตรเจน ช่วยละลายฟอสเฟต ผลิตฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และช่วยให้ธาตุอาหารเสริมบางชนิดเป็นประโยชน์ ซึ่งในแบคทีเรียบางสกุลมีความสามารถรวมกันหลายอย่าง เช่น แบคทีเรียสกุลอะโซสไปริลลัมบางสายพันธุ์มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน ช่วยละลายฟอสเฟต ผลิตฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญของรากพืช ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารพืช ปุ๋ยชีวภาพชนิดนี้ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้อย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพฟิจีฟิอาร์ 1 สำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง เป็นต้น

2.2 ปุ๋ยชีวภาพที่ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ปุ๋ยชีวภาพในกลุ่มนี้ช่วยเพิ่มประโยชน์ธาตุอาหารพืชบางชนิดที่ละลายน้ำยากให้เป็นประโยชน์กับพืชได้มากขึ้นโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวรากสำหรับการดูดซึมให้กับพืชด้วยการเพิ่มปริมาณบริเวณรากพืชด้วยเส้นใยของจุลินทรีย์ ช่วยให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ได้ยาก เช่น ฟอสฟอรัส และแคลเซียม มีโอกาสได้สัมผัสรากและดูดมาใช้ให้มากขึ้น จึงช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ให้กับพืช รวมทั้งจุลินทรีย์บางกลุ่มที่สามารถสร้างกรดอินทรีย์หรือเอนไซม์บางชนิด ที่สามารถช่วยละลายหรือย่อยฟอสเฟตให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ธาตุอาหารดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 ปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดซึมธาตุอาหารพืช ซึ่งเป็นเชื้อรากลุ่มไมโครไรซาที่อาศัยอยู่กับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน จะสร้างส่วนของเส้นใยพันกับรากพืชและบางส่วนขอลงไปในดินช่วยดูดธาตุอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ฟอสฟอรัสทำให้พืชได้รับฟอสฟอรัสที่ผ่านการดูดของเส้นใยไมโครไรซา ช่วยให้พืชมีปริมาณฟอสฟอรัส สำหรับใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ไมโครไรซายังช่วยป้องกันไม่ให้ ฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในดินถูกตรึง โดยปฏิกิริยาทางเคมีของดิน โดยไมโครไรซาจะช่วยดูดซับฟอสเฟต เก็บไว้ในโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า ออบัสกุลและเวสคิวเคิลที่อยู่ระหว่างเซลล์พืช ไมโครไรซาแบ่ง ออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ 1) วี-เอ ไมโครไรซา จะพบอยู่ในพืชสวน พืชไร่ พืชผักและไม้ดอกไม้ประดับ และ 2) เอ็คโตไมโครไรซา พบในไม้ยืนต้นและไม้ป่าสกุลสน การใช้ปุ๋ยชีวภาพไมโครไรซา ช่วยลดการใช้ ปุ๋ยเคมีได้อย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพไมโครไรซาสำหรับพืชชนิดต่างๆ

กลุ่มที่ 2 ปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ช่วยละลายฟอสเฟต เป็นปุ๋ยชีวภาพที่ ประกอบด้วยจุลินทรีย์ช่วยละลายหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตพบทั่วไปในประเทศไทยแต่มีปริมาณ ฟอสเฟตที่ละลายออกมาให้พืชใช้ได้เล็กน้อย ปัจจุบันพบว่ามีจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียและราหลายชนิดที่ สามารถช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟตให้เป็นประโยชน์ได้ ได้แก่ Bacillus Psudomonas, Thiobacillus, Aspergullus, Penicillium และอื่นๆ อีกมาก โดย จุลินทรีย์เหล่านี้จะสร้างกรดอินทรีย์ออกมาละลายฟอสเฟตออกจากหิน การละลายฟอสเฟตจะมี ประสิทธิภาพมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ และปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ต้องใช้เป็นแหล่ง น้ำตาลในการผลิตกรดอินทรีย์ หากสามารถคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงได้ จะช่วย ให้เกษตรกรได้ใช้ฟอสฟอรัสราคาถูกจากหินฟอสเฟตทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตมากขึ้น ได้แก่ ปุ๋ย ชีวภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต เป็นต้น

กลุ่มที่ 3 ปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ช่วยเพิ่มประโยชน์ของโพแทสเซียม โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญสำหรับพืชธาตุหนึ่ง พืชปกติจะมีโพแทสเซียมเป็น ส่วนประกอบประมาณ 3 - 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โพแทสเซียมมีความสำคัญในการสร้างโปรตีน สังเคราะห์แป้งและน้ำตาลโดยเฉพาะในพืชหัวบางชนิด ปกติพบโพแทสเซียมอยู่ในดินในรูปของแร่ ธรรมชาติ มี 3 รูป คือ 1) รูปที่ถูกตรึงไว้โดยอนุภาคของคอลลอยด์ 2) รูปที่แลกเปลี่ยนได้ และ 3) รูป ที่ละลายน้ำได้

โพแทสเซียมในธรรมชาติสามารถเป็นประโยชน์กับพืชได้ 3 วิธี คือ 1) การสลายตัว ทางกายภาพ 2) การสลายตัวทางเคมี 3) การสลายตัวทางชีวภาพ ในทางชีวภาพจุลินทรีย์บางชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียสกุลบาซิลลัส (Bacillus circulant) ซึ่งเป็นซิลิเกตแบคทีเรียสามารถสร้าง กรดอินทรีย์ออกมาละลายโพแทสเซียมออกจากแร่ดินเหนียวบางชนิดได้ สามารถใช้เป็นจุลินทรีย์ สำหรับผลิตปุ๋ยชีวภาพได้ สามารถใช้ได้ผลดีทั้งในพืชสวนและพืชไร่มีการผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพให้ เกษตรกรใช้แล้วในประเทศจีน

## แนวทางการใช้ปุ๋ยชีวภาพในอนาคต

ในสถานะที่มีแนวโน้มว่าต้นทุนค่าปุ๋ยเคมีจะเพิ่มสูงขึ้น และเพื่อให้เกิดระบบการผลิตพืชที่ยั่งยืนและปลอดภัยภายในประเทศ รวมทั้งเป็นการสนับสนุนนโยบายการเป็นครัวของโลกของรัฐบาล การผสมผสานการใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตพืชอย่างเหมาะสมในอนาคตนั้นมีความสำคัญ เพราะนอกจากปุ๋ยชีวภาพจะเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารที่สำคัญกับพืชที่มีประสิทธิภาพสูงแล้ว ปุ๋ยชีวภาพบางชนิดยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ด้วย ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีบางชนิดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเพื่อให้การใช้ปุ๋ยในอนาคตเป็นไปในแนวทางที่ถูกต้อง ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายควรทำความเข้าใจรายละเอียดของปุ๋ยชีวภาพให้ชัดเจน จนสามารถจัดจำแนกประเภท กลุ่ม หรือชนิดปุ๋ยชีวภาพได้ รู้ประโยชน์และวิธีการนำไปใช้ที่ถูกต้อง เพื่อจะได้เลือกใช้ให้เหมาะสมกับการผลิตพืชแต่ละชนิด จะได้ช่วยลดต้นทุนการผลิต เพิ่มคุณภาพและปริมาณผลผลิตพืช ทำให้เกษตรกรมีกำไรเพิ่มมากขึ้น เสริมสร้างศักยภาพในการแข่งขันให้กับเกษตรกรไทย เพื่อเป็นครัวของโลกอย่างยั่งยืน

ที่มา: นิยามปุ๋ยชีวภาพ (2555)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. ลำต้นของต้นปาล์มที่หมดอายุจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน	50	กิโลกรัม
2. เครื่องระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง	1	เครื่อง
ประกอบด้วย		
2.1 Reactor capacity	30	liter
2.2 Control panel	1	unit
2.3 Product tank	1	unit
3. Gas boiler model 2 VG, City Lion	1	unit
Specification		
3.1 Capacity	40	kg/h
3.2 Design pressure	40	bar
3.3 Heating surface	3	m <sup>2</sup>
4. ปั๊มน้ำ model KTR167		
Specification		
4.1 Volume	1.7	l/min
4.2 Pressure	70	kg. f/cm
4.3 Power source	220V / 1	Ph. / 50Hz
4.4 Running current	4.5	A.
4.5 Specific speed	1430	RPM
5. ถังแก๊ส LPG ขนาด 48 กก.	2	ถัง

## วิธีการ

### ลำต้นปาล์ม

ปาล์มที่ใช้ในการทดลอง คือ ส่วนของลำต้นที่หมดอายุจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน เนื่องจากทางภาคใต้ของประเทศไทยมีการปลูกต้นปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมากถึง 3 ล้านไร่ โดยจังหวัดที่ปลูกมากที่สุดคือ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร และนครศรีธรรมราช ตามลำดับ และทำให้เกิดของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันอันได้แก่ ส่วนของลำต้นที่หมดอายุเก็บเกี่ยว ทางใบ และ ทะลายปาล์มที่มีมากถึง 1 ล้านตันต่อปี (Rattana, 2011) ลำต้นปาล์มที่ใช้ในการทดลองจะต้องนำไป ตัดให้มีขนาด 2 - 4 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 17 และตารางที่ 2



ภาพที่ 17 ลักษณะของลำต้นปาล์มที่ผ่านการตัดแล้ว

จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในลำต้นปาล์ม ได้แก่ O-C%, T-N%, P และ K โดยค่าที่ได้ คือ 41.3 (Wt.%, d.b.) 0.35 (Wt.%, d.b.) 41.87 (mg/L) และ 102.75 (mg/L) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางแร่ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในต้นปาล์ม

Properties	Unit	Flash Palm
Organic Carbon (O-C)	Wt%, d.b.	41.3
Total Nitrogen (T-N)	Wt%, d.b.	0.35
Phosphorus (P)	mg/L	41.87
Potassium (K)	mg/L	129.5

ส่วนประกอบของเครื่องระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำแรงดันสูง (BHCS) ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดง  
ในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ส่วนประกอบของเครื่องระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำแรงดันสูง

เครื่องระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำแรงดันสูงประกอบด้วย

1. Feeder ทำหน้าที่รับวัสดุที่ใช้ในการทดลองและส่งต่อไปยัง Reactor



ภาพที่ 19 ช่องสำหรับใส่วัสดุใช้ในการทดลอง (Feeder)



ภาพที่ 20 ลักษณะที่ใส่วัตถุดิบในการทดลอง

2. Reactor มีปริมาตรบรรจุสูงสุด 30 ลิตร ทำหน้าที่เหมือนห้องสำหรับรับการระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำแรงดันสูง

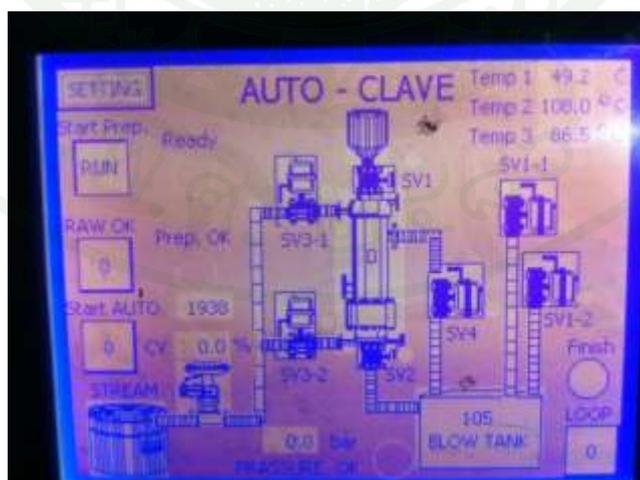


ภาพที่ 21 Reactor

3. Control panel ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและเวลาภายในระบบ โดยทำการใส่ข้อมูลที่ต้องการลงไป หลังจากนั้น control panel จะส่งสัญญาณไปควบคุมการเปิด-ปิด วาล์ว 1, 2 และ 3 เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิและเวลาเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในแต่ละการทดลองนั้นๆ



ภาพที่ 22 ตู้ควบคุมการทำงานของระบบ



ภาพที่ 23 หน้าจอแสดงผล

4. Gas boiler ทำหน้าป้อนไอน้ำแรงดันสูงไปสู่ Reactor สามารถผลิตอุณหภูมิและความดันสูงสุดอยู่ที่ 350°C และ 40 bar ตามลำดับ



ภาพที่ 24 หม้อต้มไอน้ำด้านหน้า



ภาพที่ 25 หม้อต้มไอน้ำด้านหลัง

5. Product tank ทำหน้าที่รับวัตถุดิบอย่างหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ



ภาพที่ 26 Product tank

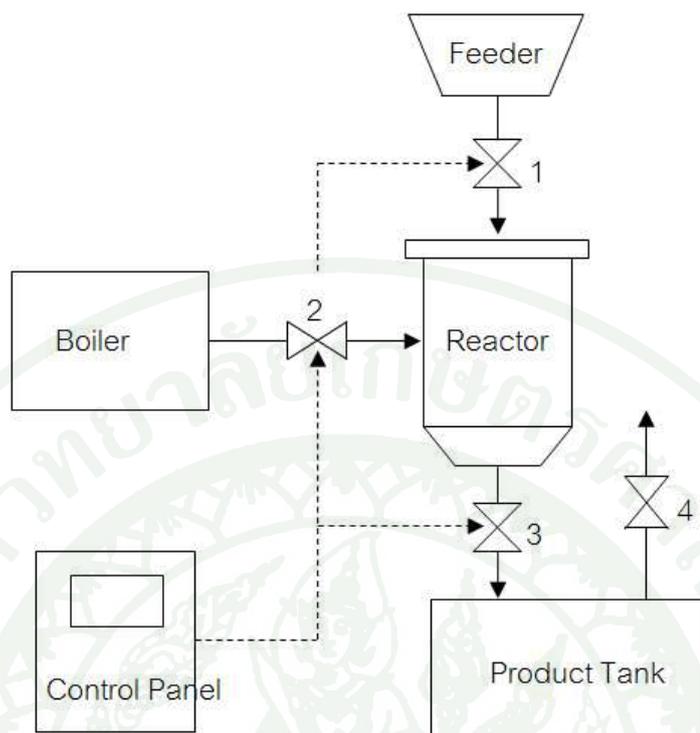


ภาพที่ 27 ลักษณะภายใน Product tank

## วิธีการทดลองโดยใช้เครื่องระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำแรงดันสูง (BHCS)

การทำงานของระบบ BHCS สามารถอธิบายโดย Schematic diagram ในภาพที่ 27 ดังนี้

1. นำลำต้นปาล์มจำนวน 5 กิโลกรัม หั่นเป็นชิ้นขนาด 2 - 4 เซนติเมตร
2. ตรวจสอบเช็ควาล์วทุกตัวให้อยู่ในสภาพเปิด-ปิด ตามสภาพการใช้งาน
3. ทำการเปิด Gas boiler เพื่อทำการอุ่น เป็นเวลาประมาณ 20 นาที
4. ป้อนค่าอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการลงใน Control panel
5. เปิดวาล์วเบอร์ 1 ทำการใส่ปาล์มลงที่ตำแหน่งด้านบนของ Feeder ให้ผ่านไปสู่ Reactor เมื่อใส่ปาล์มจนหมด ให้ปิดวาล์วเบอร์ 1 ในทันที
6. เปิดวาล์วเบอร์ 2 เพื่อให้ไอน้ำแรงดันสูงไหลเข้ามาใน Reactor โดยการเปิด-ปิด และหรีวาล์วเบอร์ 2 นั้นจะอยู่ภายใต้การควบคุมของ Control panel เพื่อให้เป็นไปตามอุณหภูมิและเวลาการทดลองที่กำหนด และเมื่อถึงเวลาที่กำหนด ให้ปิดวาล์วเบอร์ 2
7. เปิดวาล์วเบอร์ 3 เพื่อให้ตัวอย่างที่ผ่านการระเบิดเชื้อ ไหลมาอยู่ใน Product tank ทั้งหมด และความดันที่อยู่ใน Reactor และ Product tank นั้นจะถูกระบายสู่ชั้นบรรยากาศ โดยวาล์วเบอร์ 4
8. วาล์ว 4 ทำหน้าที่ระบายความดันออกจากระบบ โดยให้วาล์วอยู่ในลักษณะเปิดตลอดเวลาการทดลอง
9. ทำการจดบันทึกปริมาณน้ำ และก๊าซ LPG ที่ใช้ไปในแต่ละการทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณเฉลี่ยเพื่อหาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองในแต่ละครั้ง
10. เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการจึงทำการเก็บตัวอย่างที่ผ่านการระเบิดเชื้อส่งไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารสำคัญต่อไป



ภาพที่ 28 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องระเหิดด้วยไอน้ำแรงดันสูง

### เงื่อนไขการทดลอง

ขอบเขตของการทดลองถูกกำหนดโดยอุณหภูมิและเวลาดังแสดงในตารางที่ 3 เงื่อนไขการทดลองที่ 1 กำหนดให้ตัวอย่าง S1, S2, S3 และ S4 อยู่ในเงื่อนไขอุณหภูมิต่อเนื่องที่ คือ 160°C / 5 นาที 180°C / 5 นาที 200°C / 30 นาที และ 210°C / 30 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 3 เงื่อนไขการทดลองที่ 1

Properties	Unit	S1	S2	S3	S4
Temperature	°C	160	180	200	210
Holding time	Min.	5	5	30	30

เมื่อทำการทดลองตามขั้นตอนและเงื่อนไขดังกล่าวพบว่า ผลที่ได้จากการทดลองเมื่อนำไปตากแห้งแล้ว จะยังคงรูปคล้ายเดิมในตัวอย่างที่ S1 และ S2 และมีลักษณะเหมือนโคลนในตัวอย่าง

S3 และ S4 จึงสามารถสรุปได้ว่า ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำและเวลาในการทดลองน้อยจะทำให้ผลตัวอย่างที่ได้ยังคงเหลือเส้นใยอยู่เยอะ และถ้าใช้อุณหภูมิสูงและเวลาในการทดลองมากจะทำให้ผลตัวอย่างที่ได้มีลักษณะเหมือนกับโคลนจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 29 ลักษณะของลำต้นปาล์มหลังจากผ่านกระบวนการ BHCS ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1

หลังจากนั้น จึงได้กำหนดเงื่อนไขในการทดลองใหม่ คือเงื่อนไขการทดลองที่ 2 โดยกำหนดให้ตัวอย่าง S5, S6, S7 และ S8 อยู่ภายในเงื่อนไขอุณหภูมิต่อนาที คือ 160°C / 30 นาที 180°C / 20 นาที 200°C / 10 นาที และ 210°C / 5 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 จากนั้นจึงนำเงื่อนไขการทดลองดังกล่าวไปทำการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4 เงื่อนไขการทดลองที่ 2

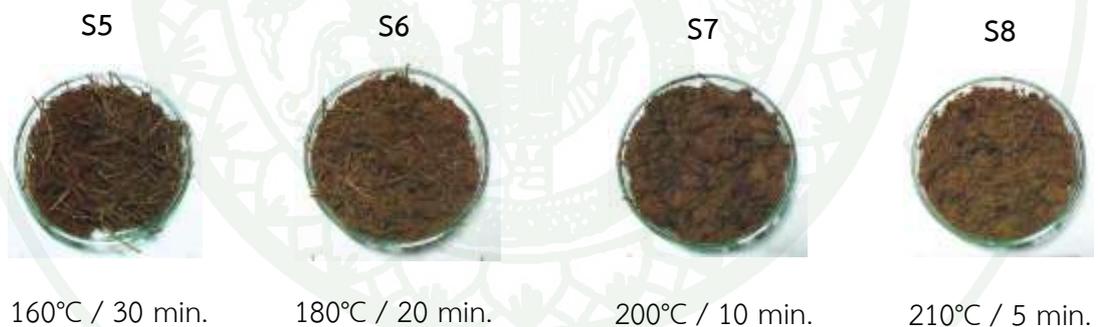
Properties	Unit	S1	S2	S3	S4
Temperature	°C	160	180	200	210
Holding time	Min.	30	20	10	5

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### ผลที่ได้จากการผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง

หลังจากผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง โดยใช้เงื่อนไขการทดลองที่ 2 ตัวอย่างที่ได้จะมีสีสันเปลี่ยนไปจากเดิม คือ มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อน และสีน้ำตาลเข้ม ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของอุณหภูมิและเวลาในการทดลองที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสีที่ได้นั้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของ organic carbon เมื่อผ่านการระเบิดเยื่อและไอน้ำที่มีความดันสูง มีลักษณะภายนอกคล้ายกับปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งจะอธิบายการเปลี่ยนแปลงของลำต้นปาล์มที่ผ่านกระบวนการนี้ได้เป็นอย่างดี โดยจะเห็นว่าผลตัวอย่าง S5 จะยังคงเหลือให้เห็นถึงเส้นใยของลำต้นปาล์มมากที่สุด รองลงมาคือผลตัวอย่าง S6 ที่ยังมีเส้นใยให้เห็นอยู่บ้าง และในผลตัวอย่าง S7 และ S8 นั้นแสดงให้เห็นถึงเส้นใยน้อยมากเมื่อเทียบกับผลตัวอย่าง S5 และ S6 สรุปได้ว่าผลตัวอย่าง S6 S7 และ S8 มีลักษณะภายนอกปุ๋ยชีวภาพมากกว่า ผลตัวอย่าง S5 ดังแสดงในภาพที่ 29



#### ภาพที่ 30 ลักษณะของลำต้นปาล์มหลังจากผ่านกระบวนการ BHCS ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2

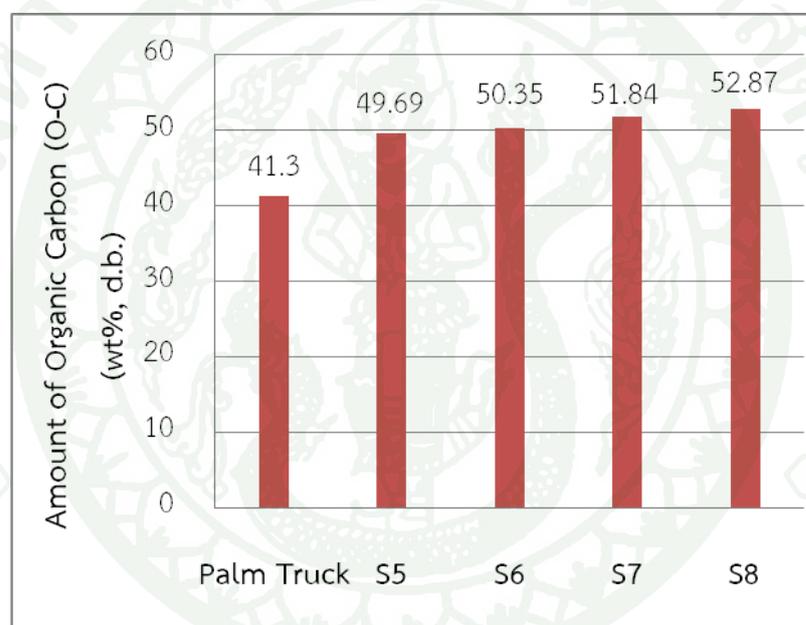
ส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารที่เหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง เมื่อเก็บผลตัวอย่างภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันจนครบ จึงนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารที่เหลืออยู่โดย

1. Organic carbon (O-C) และ Total nitrogen (T-N) ได้ส่งไปวิเคราะห์ที่โครงการพัฒนาวิชาการดิน-ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. Phosphorus (P) และ Potassium (K) ได้ทำการวิเคราะห์ผ่านเครื่อง TCPE-900 ที่ Laboratory of Pedosphere Science Department of Chemistry and Life Science, Nihon University, Japan ได้รับการช่วยเหลือจาก Dr. Hiroaki Sumida

### ผลจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารที่เหลืออยู่

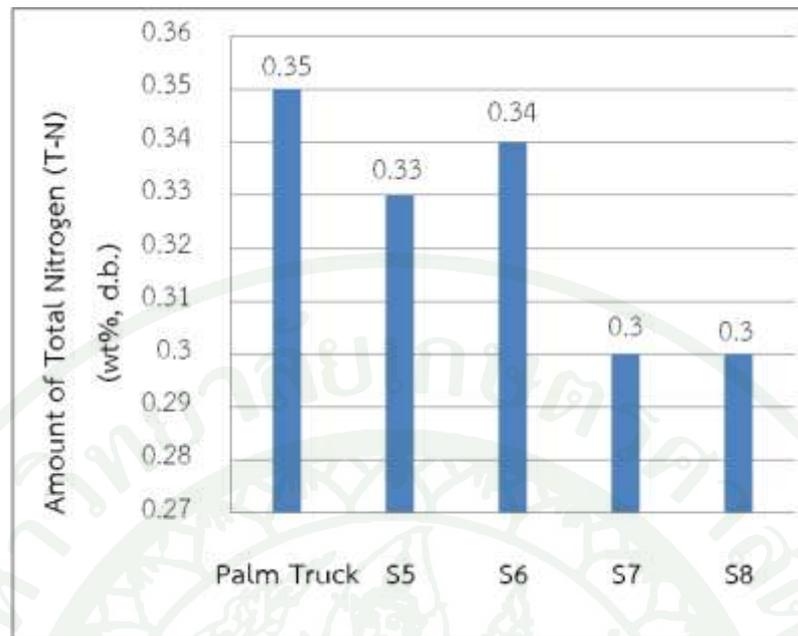
ภาพที่ 31 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของ Organic carbon ในช่วงของอุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยไม่ขึ้นกับเวลา สังเกตจากการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในผลตัวอย่างที่ S5 S6 S7 และ S8 ตามลำดับ



ภาพที่ 31 แสดงปริมาณของ Organic carbon ที่เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการทดลอง

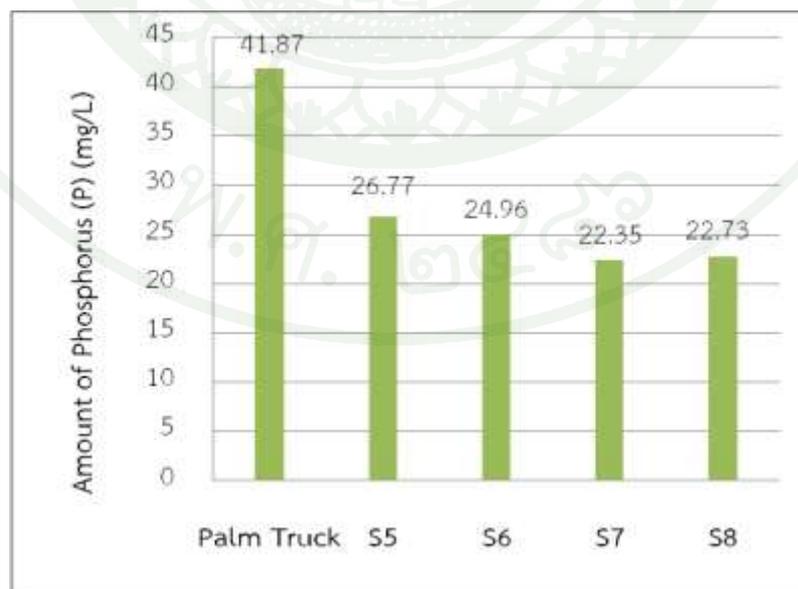
ภาพที่ 32 แสดงปริมาณของ Total Nitrogen ของต้นปาล์มที่ลดลงหลังจากผ่านกระบวนการ โดยค่าของ Total Nitrogen ที่เหลืออยู่มากที่สุดอยู่ในผลตัวอย่างที่ S6 น้อยที่สุดอยู่ที่ S7 และ S8

ภาพที่ 33 แสดงปริมาณของ Phosphorus ของต้นปาล์มที่ลดลงหลังจากผ่านกระบวนการ โดยค่าของ Potassium ที่เหลืออยู่มากที่สุดอยู่ในผลตัวอย่างที่ S5 รองลงมาคือ S6 S8 และ S7 ตามลำดับ

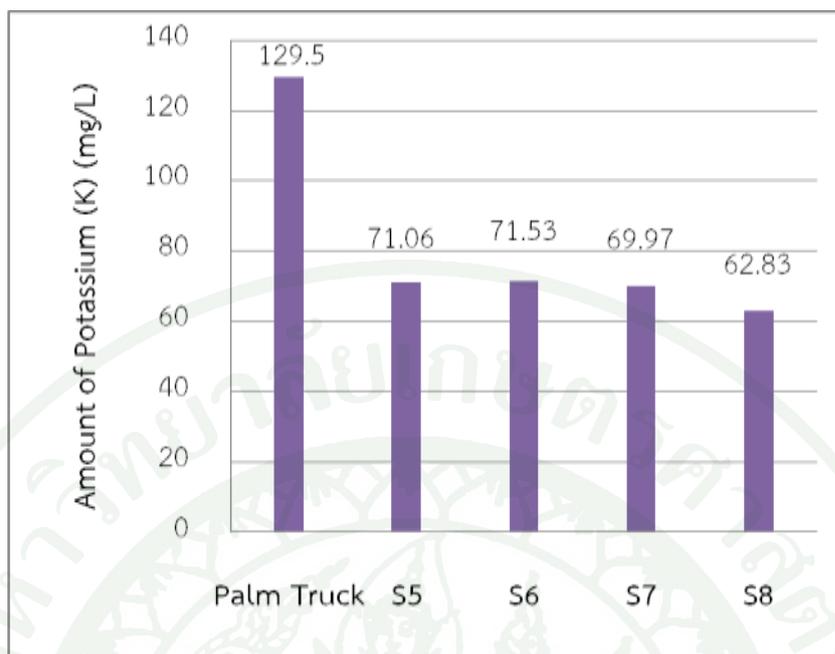


ภาพที่ 32 แสดงปริมาณของ Total Nitrogen ที่ลดลงหลังจากผ่านการทดลอง

ภาพที่ 34 แสดงปริมาณของ Potassium ของต้นปาล์มที่ลดลงหลังจากผ่านกระบวนการโดยค่าของ Phosphorus ที่เหลืออยู่มากที่สุดอยู่ในผลตัวอย่างที่ S6 รองลงมาคือ S5 S7 และ S8 ตามลำดับ



ภาพที่ 33 แสดงปริมาณของ Phosphorus ที่ลดลงหลังจากผ่านการทดลอง



ภาพที่ 34 แสดงปริมาณของ Potassium ที่ลดลงหลังจากผ่านการทดลอง

#### ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

ค่าใช้จ่ายของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน ถ้าไม่นับลำต้นของต้นปาล์มที่หมดอายุ เก็บเกี่ยวและเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันซึ่งไม่มีค่าใช้จ่ายแล้วนั้น ค่าใช้จ่ายประกอบไปด้วยแก๊ส LPG ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักของการผลิตไอน้ำด้วย Gas boiler ซึ่งปริมาณการใช้งานเฉลี่ยต่อ 1 การทดลอง คือ 1.2 กิโลกรัมต่อครั้ง คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเท่ากับ 24 บาทต่อครั้ง (แก๊ส LPG 1 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 20 บาท) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ มีปริมาณการใช้งานเฉลี่ยต่อ 1 การทดลอง คือ 0.01 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเท่ากับ 10 สตางค์ต่อครั้ง (น้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตร มีค่าเท่ากับ 10 บาท) และสุดท้ายคือค่าไฟฟ้า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเกิดจากชุดควบคุมการทำงานของเครื่องระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำแรงดันสูง ชุดควบคุมการทำงานของ Gas Boiler (Control panel) และปั้มน้ำ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่า 1 kWh. คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเท่ากับ 5 บาทต่อครั้ง ดังนั้นเมื่อรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการดำเนินงานแต่ละครั้งจึงคิดเป็นเงินทั้งสิ้นประมาณ 30 บาทต่อ 1 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของต้นทุนต่อการดำเนินงานแต่ละครั้ง

Used in experiment	Average fuel	Cost
Palm trunk	5 kg. / batch	Free
Gas LPG.	1.2 kg. / batch	24 baht / batch
Water	0.01 m <sup>3</sup> / batch	0.1 baht / batch
Electricity	Less than 1 kWh. / batch	Less than 5 baht / batch
<b>Total average cost = 30 baht / batch</b>		

### วิจารณ์

ภาพที่ 31 จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะสังเกตเห็นว่าปริมาณของ Organic carbon มีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการ โดยปริมาณที่เพิ่มมากที่สุดจะเกิดขึ้นในการทดลองที่อุณหภูมิ 210°C ต่อเวลา 5 นาที จากปริมาณของ Organic carbon 41.3 wt%, d.b. เป็น 52.87 wt%, d.b.

ภาพที่ 32 จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะสังเกตเห็นว่าปริมาณของ Total Nitrogen มีปริมาณลดลงหลังจากผ่านกระบวนการ โดยปริมาณเหลืออยู่มากที่สุดจะเกิดที่อุณหภูมิ 180°C และที่ระยะเวลา 20 นาที จากปริมาณของ Total Nitrogen 0.35 wt%, d.b. เป็น 0.34 wt%, d.b.

ภาพที่ 33 จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะสังเกตเห็นว่าปริมาณของ Phosphorus มีปริมาณลดลงหลังจากผ่านกระบวนการ โดยปริมาณเหลืออยู่มากที่สุดจะเกิดที่อุณหภูมิ 160°C และที่ระยะเวลา 30 นาที จากปริมาณ Phosphorus 41.87 mg/L เป็น 26.77 mg/L

ภาพที่ 34 จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะสังเกตเห็นว่าปริมาณของ Potassium มีปริมาณลดลงหลังจากผ่านกระบวนการ โดยปริมาณเหลืออยู่มากที่สุดจะเกิดที่อุณหภูมิ 180°C และที่ระยะเวลา 20 นาที จากปริมาณของ Potassium 129.5 mg/L เป็น 71.53 mg/L

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ค่าเฉลี่ยของต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินการแต่ละครั้งอยู่ที่ 30 บาท แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาในการดำเนินการน้อยลงจะสามารถทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้ เนื่องจากลดระยะเวลาการดำเนินการลงก็เท่ากับว่าลดปริมาณการใช้ก๊าซ LPG และน้ำลงด้วยเช่นกัน จึงทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงตามไปด้วย

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนสภาพลำต้นปาล์มที่หมดอายุเก็บเกี่ยวจากอุตสาหกรรมปาล์มเมื่อผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง (BHCS) ประกอบด้วย การเปลี่ยนสภาพของลำต้นปาล์มก่อนนำไปสู่กระบวนการหมักเพื่อแปรสภาพเป็นปุ๋ยชีวภาพ การเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในลำต้นปาล์มหลังจากผ่านกระบวนการ และต้นทุนในการดำเนินการแต่ละครั้ง ดังนี้

1. แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนสภาพของลำต้นปาล์มก่อนนำไปสู่กระบวนการหมักเพื่อแปรสภาพเป็นปุ๋ยชีวภาพ และช่วงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม คือ ผลตัวอย่าง S6 S7 และ S8 ภายในเงื่อนไขอุณหภูมิที่อนาที่ คือ 180°C 200°C และ 210°C ต่อเวลา 20 10 และ 5 นาที ตามลำดับ
2. Organic carbon มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้น และมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 210°C ต่อเวลา 5 นาที
3. Total Nitrogen, Phosphorus และ Potassium มีปริมาณลดลงหลังจากผ่านกระบวนการ
  - 3.1 Total Nitrogen และ Potassium มีปริมาณลดลงน้อยที่สุดอุณหภูมิ 180°C ต่อเวลา 20 นาที
  - 3.2 Phosphorus มีปริมาณลดลงน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 160°C ต่อเวลา 30 นาที
4. อุณหภูมิและเวลาที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการเปลี่ยนรูปโดยการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูง คือที่อุณหภูมิ 180°C ต่อเวลา 20 นาที
5. ใช้ต้นทุนเพียง 30 บาท ต่อปริมาณสูงสุด 30 ลิตร ต่อการทดลอง 1 ครั้ง อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาการหมักปุ๋ยชีวภาพ ที่ใช้เวลาโดยเฉลี่ยยาวนานถึง 3-4 เดือน ให้เหลือเวลาโดยเฉลี่ยเพียงแค่ 20 นาที และก่อนที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพนั้นต้องนำไปหมักในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 38°C เป็นเวลาอีก 20 วัน เพื่อลดปริมาณ organic carbon ลงจนสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพได้จากการวิจัยของ

(Nakhshiniev, 2012) สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ กระบวนการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแรงดันสูงไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและยังเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียจากอุตสาหกรรมปาล์มอีกด้วย

### ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยนี้เป็นเพียงจุดเริ่มต้นของกระบวนการหมักปุ๋ยชีวภาพ โดยทำการเร่งกระบวนการ การย่อยสลายให้เกิดขึ้น แต่หากต้องการพัฒนาต่อเพื่อให้เป็นปุ๋ยชีวภาพที่สมบูรณ์นั้น จะต้องทำการปรับสภาพโดยการเติมแบคทีเรียลงไป เพื่อให้เกิดการปรับสภาพ ลดปริมาณ Organic carbon และ Total nitrogen ลงให้เหลืออยู่ในปริมาณที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพต่อไป
2. การลงทุนในเชิงธุรกิจ เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุต่างๆ หลังจากผ่านกระบวนการ BHCS โดยปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งไม่มากนัก ปริมาณผลผลิตที่ได้ต่อค่าใช้จ่ายในแต่ละครั้งจึงเป็นดังที่แสดงไว้ข้างต้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณผลผลิตโดยที่ได้ในอัตราค่าใช้จ่ายเท่าเดิมแล้ว จะสามารถลดจำนวนของต้นทุนลงได้

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2555. **นิยามปุ๋ยชีวภาพ**. ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th>, 20 สิงหาคม 2557.

Areprasert, C. 2013. **Solid fuel production from paper sludge employing hydrothermal treatment**. M.S. Thesis, Tokyo Institute of Technology.

Choowang, R. 2011. Utilization role of oil palm trunk. **Academic articles** 31: 456-462.

Jacquet, N., N. Quievy, C. Vanderghem, S. Janas, C. Blecker, B. Wathélet, J. Devaux and M. Paquot. 2011. Influence of steam explosion on the thermal stability of cellulose fibres. **Polymer Degradation and Stability** 96: 1582-1588.

Jambaldorj, G., M. Takahashi and K. Yoshikawa. 2007. Liquid fertilizer production from sewage sludge by hydrothermal treatment. **EcoTopia science** 07: 605-608.

Jin, F., Y. Wang, X. Zeng, Z. Shen and G. Yao. 2014. Water Under High Temperature and Pressure Conditions and Its Applications to Develop Green Technologies for Biomass Conversion. pp. 3-29. In F. Jin, ed. **Application of Hydrothermal Reactions to Biomass Conversion**. Springer, China.

Jungniyom, T. 2008. Zero - waste Process in Oil Palm Extraction Industries. **Hatyai Academic Journal** 6: 159-164.

Meng, D., Z. Jiang, K. Yoshikawa and H. Mu. 2012. The effect of operation parameters on the hydrothermal drying treatment. **Renewable Energy** 42: 90-94.

Nakhshiniev, B., H.B. Gonzales and K. Yoshikawa. 2012. Hydrothermal treatment of date palm lignocellulose residue for organic fertilizer conversion: effect on cell wall and aerobic degradation rate. **Compost science & utilization** 20: 245-253

- Nakhshiniev, B. 2013. **Enhancing Biodegradability of Lignocellulosic Residues for Organic Fertilizer Production through Hydrothermal Treatment**. Ph.D. Thesis, Tokyo Institute of Technology.
- Noda, Y., C. Asada, C. Sasaki, S. Hashimoto and Y. Nakamura. 2013. Extraction method for increasing antioxidant activity of raw garlic using steam explosion. **Biochemical Engineering Journal** 73: 1– 4.
- Prawisudha, P., T. Namioka and K. Yoshikawa. 2012. Coal alternative fuel production from municipal solid wastes employing hydrothermal treatment. **Apply Energy** 90: 298-304.
- Rodkamnerd, S., S. Chuntranuluck, V. Punsuvon and P. Vaithanomsat. 2009. Influence of Steam Explosion Conditions on Chemicals Fractionation from Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* Nash) and Hydrolysate Preparation for Xylitol Production. **The 6<sup>th</sup> ku-hps conference** 6: 290-296.
- Watanabe, M., T. Aida and R. Smith. 2014. Review of Biomass Conversion in High Pressure High Temperature Water (HHW) Including Recent Experimental Results (Isomerization and Carbonization), pp. 249-275. In F. Jin, ed. **Application of Hydrothermal Reactions to Biomass Conversion**. Springer, China.
- Yuliansyah, A.T., T. Hirajima, S. Kumagai and K. Sasaki. 2010. Production of solid biofuel from agricultural wastes of the palm oil industry by hydrothermal treatment. **Waste biomass valor** 1: 395-405.
- Zhao, P., H. Chen, S. Ge and K. Yoshikawa. 2013. Effect of the hydrothermal pretreatment for the reduction of NO emission from sewage sludge combustion. **Applied Energy** 111: 199-205.





ที่ วท 0306/ **17287**

ถึง ผศ.ดร. วิชัย ติวะโกศิษฏ์

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานผลการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบตัวอย่าง ดันปาล์ม (Fresh Oil Palm Trunk) หมายเลขปฏิบัติการ L55/08392.1 จำนวน 1 ตัวอย่าง ตามคำร้องเลขรับ L55/08392 วันที่ 12 ตุลาคม 2555

พร้อมนี้ได้แนบผลการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ มาเพื่อทราบ



พ.ศ. ๒๕๕๖

โครงการเคมี

โทรศัพท์ 0 2201 7211-2

โทรสาร 0 2201 7213

E-mail : chemistry@dss.go.th

แบบ วศ.1



กรมวิทยาศาสตร์บริการ

## รายงานการทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ตรา	หมายเลขปฏิบัติการ
ต้นปาล์ม (Fresh Oil Palm Trunk)	-	L55/08392.1

### ผลการทดสอบ

	สภาพของตัวอย่างตามที่ได้รับ	สภาพของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่ 105° ซ
ความชื้น	ร้อยละ 13.5	-
เถ้า	ร้อยละ 2.9	3.4
สารที่ระเหยได้	ร้อยละ 68.9	79.7
คาร์บอนคงตัว	ร้อยละ 14.7	16.9
คาร์บอน (C)	ร้อยละ 41.3	47.7
ไฮโดรเจน (H)	ร้อยละ 6.8	6.2
ไนโตรเจน (N)	ร้อยละ 0.35	0.40
กำมะถัน (S)	ร้อยละ 0.04	0.05
ออกซิเจน (O)	ร้อยละ 48.6	42.2
ค่าความร้อนแบบกรอส (gross)	แคลอรีต่อกรัม 3805	4399
ค่าความร้อนแบบเนต (net)	แคลอรีต่อกรัม 3451	4081

พ.ศ. ๒๕๖๖

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

รายงานนี้ได้รับมอบหมายให้ทดสอบ/สอบเทียบเท่านั้น ไม่มีรองวัตถุประสงค์อื่นค่าที่รายงานนี้เป็นการโฆษณาหรืออ้างอิง  
 ห้ามคัดลอกไปใช้หรือเผยแพร่รายงานผลการวิเคราะห์โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 ถนนพระรามที่ 6 วาสุกรี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

หน้า 2/3

หมายเลขปฏิบัติการ L55/08392.1

ชื่อผู้ให้บริการ ผศ.ดร. วิชัย ศิวะโกศิษฐ์

ที่อยู่ผู้ให้บริการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

ลักษณะตัวอย่าง ของแข็งสีน้ำตาล

วันที่ทดสอบ 16-31 ตุลาคม 2555

วิธีทดสอบ ASTM D 7582-10<sup>E1</sup>, ASTM D 5373-08, ASTM D 3179-02<sup>E1</sup>, ASTM D 3177-02 (2007), ASTM D 3176-09 และ ASTM D 5865-11 ตามลำดับ

ผู้รับรอง

*Ms. Anant*  
(นางสาวกานดา โทมลวัฒน์ชัย)  
นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

ผู้รายงาน

*ว.ประเสริฐ วัฒนกุล*  
(นายชिरพันธุ์ พันธุ์กระวี)  
นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

รายงานนี้รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ทดสอบและเทียบเท่านั้น ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง  
ห้ามคัดลอกใบรับรองหรือรายงานและตีพิมพ์บางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

หน้า 3/3



## โครงการพัฒนาวิชาการดิน-ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

SOIL-FERTILIZER-ENVIRONMENT SCIENTIFIC DEVELOPMENT PROJECT.  
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE, FACULTY OF AGRICULTURE, KASETSART UNIVERSITY  
Tel. 0-2942-8104-5, 0-2561-4670 Fax: 0-2942-8106

แผ่นที่ 1

Sheet NO.

ตัวอย่างของ : สดามันผลิตผสมเกษตรฯ

Sample submitted by :

ตัวอย่างจาก : ตำบล

อำเภอ

จังหวัด

เลขที่ใบเสร็จ : 2681/0941

วันที่เสนอรายงาน : 25/12/2555

Date of report :

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ : 27/11/2555

Date of sample submitted :

ผู้ควบคุมตรวจสอบผลการวิเคราะห์

ดร.รุ่งโรจน์ พิพิธภักดี

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ P.30

ชนิดตัวอย่าง : ป่าส้ม (ลำต้น)

ตัวอย่าง C/N ratio

Test0	9.82
Test1	156.58
Test2	157.63
Test3	155.62
Test4	165.18
Test5	112.86
Test6	172.79
Test7	136.79
Test8	143.66
Test9	170.38
Test10	148.10
Test11	131.91
Test12	176.22
Test13	109.06
Test14	259.56
Test15	165.63
Test16	180.87
P10-t30 carbon	203.24
P10-t60 carbon	171.13
P16-t30 carbon	193.84
P16-t60 carbon	196.46
P16-t120 carbon	180.35
P23-t30 carbon	135.45
P23-t60 carbon	186.22
P25-t3 carbon	356.01



.....  
(ผศ.ดร.ศุภิมา ธนะจิตต์)

แทนหัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ  
ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

SAMPLE CODE	WEIGHT(g)	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (ml)	NH <sub>4</sub> FeSO <sub>4</sub> (ml)	BLANK	ค่าคงที่	ค่าคงที่		% OM	% OC	T-N	C/N
ขป	0.1085	20.0	15.10	40.7	5	0.686	7.4201	79.54	46.14	1.09	42.33
ขป	0.1003	20.0	17.30	40.7	5	0.686	8.5012	78.65	45.62	1.10	41.47
P30-1	0.1055	20.0	31.00	40.7	5	0.686	15.2334	30.99	17.98	1.83	9.82
P30-2	0.1019	20.0	20.30	40.7	5	0.686	9.9754	67.49	39.15	0.25	156.58
P30-3	0.1045	20.0	12.90	40.7	5	0.686	6.3391	89.68	52.02	0.33	157.63
P30-4	0.1077	20.0	10.70	40.7	5	0.686	5.2580	93.90	54.47	0.35	155.62
P30-5	0.1008	20.0	12.60	40.7	5	0.686	6.1916	93.97	54.51	0.33	165.18
P30-6	0.1089	20.0	9.90	40.7	5	0.686	4.8649	95.34	55.30	0.49	112.86
P30-7	0.1158	20.0	10.00	40.7	5	0.686	4.9140	89.37	51.84	0.30	172.79
P30-8	0.1215	20.0	8.40	40.7	5	0.686	4.1278	89.62	51.98	0.38	136.79
P30-9	0.1019	20.0	13.00	40.7	5	0.686	6.3882	91.64	53.15	0.37	143.66
P30-10	0.1117	20.0	11.50	40.7	5	0.686	5.6511	88.12	51.12	0.30	170.38
P30-11	0.1297	20.0	7.30	40.7	5	0.686	3.5872	86.81	50.35	0.34	148.10
P30-12	0.1030	20.0	13.60	40.7	5	0.686	6.6830	88.69	51.45	0.39	131.91
P30-13	0.1043	20.0	12.50	40.7	5	0.686	6.1425	91.14	52.87	0.30	176.22
P30-14	0.1004	20.0	18.30	40.7	5	0.686	8.9926	75.21	43.63	0.40	109.06
P30-15	0.1241	20.0	9.40	40.7	5	0.686	4.6192	85.02	49.32	0.19	259.56
P30-16	0.1031	20.0	14.50	40.7	5	0.686	7.1253	85.66	49.69	0.30	165.63
P30-17	0.1166	20.0	10.50	40.7	5	0.686	5.1597	87.31	50.64	0.28	180.87
P30-18	0.1025	20.0	13.00	40.7	5	0.686	6.3882	91.10	52.84	0.26	203.24
P30-19	0.1150	20.0	9.50	40.7	5	0.686	4.6683	91.46	53.05	0.31	171.13
P30-20	0.1203	20.0	8.50	40.7	5	0.686	4.1769	90.23	52.34	0.27	193.84
P30-21	0.1269	20.0	5.00	40.7	5	0.686	2.4570	94.83	55.01	0.28	196.46
P30-22	0.1329	20.0	2.70	40.7	5	0.686	1.3268	96.39	55.91	0.31	180.35
P30-23	0.1126	20.0	9.50	40.7	5	0.686	4.6683	93.41	54.18	0.40	135.45
P30-24	0.1260	20.0	5.90	40.7	5	0.686	2.8993	93.10	54.00	0.29	186.22
P30-25	0.1122	20.0	12.10	40.7	5	0.686	5.9459	85.93	49.84	0.14	356.01

S1 = Test 14 (P30-14), Temp = 160°C and Time = 5 min.  
 S2 = Test 09 (P30-09), Temp = 180°C and Time = 5 min.  
 S3 = Test 13 (P30-13), Temp = 200°C and Time = 30 min.  
 S4 = Test 05 (P30-05), Temp = 210°C and Time = 30 min.

S5 = Test 01 (P30-01), Temp = 160°C and Time = 30 min.  
 S6 = Test 11 (P30-11), Temp = 180°C and Time = 20 min.  
 S7 = Test 07 (P30-07), Temp = 200°C and Time = 10 min.  
 S8 = Test 02 (P30-02), Temp = 210°C and Time = 5 min.

Analysis P and K from Palm truck after HTT

試料区	試料名	G#	再計算	K 定量 [1] mg/L	K 定量 [2] mg/L	K 定量 [3] mg/L	K 定量 平均 mg/L	Na 定量 [1] mg/L	Na 定量 [2] mg/L	Na 定量 [3] mg/L	Na 定量 平均 mg/L	P 定量 [1] mg/L	P 定量 [2] mg/L	P 定量 [3] mg/L	P 定量 平均 mg/L	S 定量 [1] mg/L	S 定量 [2] mg/L	S 定量 [3] mg/L	S 定量 平均 mg/L
UNK	B-1	1	あり	3.09	3.88	2.2	3.06	-1.1	-0.488	-0.376	-0.654 L	5.97	6.86	3.5	5.45 L	9.19	16.7	11.9	12.6
UNK	B-2	1	あり	1.19	1.23	1.37	1.26	-0.364	-0.401	-0.188	-0.318 L	0.527	0.508	0.435	0.490 L	1.11	1.06	1.28	1.15
UNK	B-3	1	あり	10.3	7.26	3.96	7.18	-0.897	-0.0982	-0.192	-0.396 L	11.7	9.16	4.71	8.52 L	18.9	14	7.26	13.4
UNK	S1-160/1	1	あり	51.3	46.3	40.9	46.1	1.1	0.455	0.508	0.688 L	6.09	5.52	4.97	5.53	13.2	12.1	11.7	12.3
UNK	S1-160/2	1	あり	131	89.9	63.9	94.9	0.752	0.498	0.95	0.733 L	60.7	54.8	31	48.8	137	124	72.8	111
UNK	S1-160/3	1	あり	95.4	69.2	51.9	72.2	1.02	1.25	0.704	0.994 L	40	23.8	14	26	89.2	53.6	31.8	58.2
UNK	S2-180/1	1	あり	75.9	51.9	38.5	55.4	-0.582	0.0643	0.0454	-0.157 L	38.5	21.1	11.5	23.7	86.1	50	26.9	54.3
UNK	S2-180/2	1	あり	115	86	67.6	89.5	2.14	1.52	1.6	1.76 L	35.8	21.3	13.1	23.4	86.1	51.4	32.1	56.5
UNK	S2-180/3	1	あり	93.9	65.9	49.3	69.7	0.146	1.14	0.603	0.630 L	45.5	24.7	13.3	27.8	108	59.3	31.7	66.2
UNK	S3-200/1	1	あり	44.9	35.4	30.4	36.9	13.2	7.78	4.7	8.55	10.9	6.76	4.34	7.34	22.7	14.1	9.4	15.4
UNK	S3-200/2	1	あり	107	86.3	72.4	88.5	1.33	1.36	1.6	1.43 L	22	14.5	9.77	15.4	46.1	30.4	20.7	32.4
UNK	S3-200/3	1	あり	113	80	60.2	84.5	-0.425	-0.374	0.0767	-0.241 L	47.2	26	14.6	29.3	99.8	55.8	30.8	62.1
UNK	S4-210/1	1	あり	74.7	58.5	48.9	60.7	1.54	1.26	1.18	1.33 L	19	12.1	7.62	12.9	43.9	28.5	17.9	30.1
UNK	S4-210/2	1	あり	98.8	74.2	59	77.3	0.452	0.317	0.792	0.520 L	32.1	19.1	11.4	20.9	72.8	44	26.3	47.7
UNK	S4-210/3	1	あり	72.8	46.6	32.2	50.5	-4.57	-2.47	-1.48	-2.84 L	41.5	40.4	21.4	34.4	88.8	87.6	45.7	74.1
UNK	S5-raw1	1	あり	126	92.7	73.4	97.5	0.862	0.974	1.06	0.965 L	43.2	25.8	15	28	76.9	45.8	27.2	49.9
UNK	S5-raw2	1	あり	128	106	91	108	2.58	2.47	2.16	2.40 L	24.3	16.9	11.6	17.6	43.8	30.7	21.1	31.9
UNK	S5-raw3	1	あり	251	172	126	183	5.75	3.97	3.4	4.37 L	105	87	47.7	80	190	157	85.2	144

	k	p
raw	129.5	41.867
160/30	71.067	26.777
180/20	71.533	24.967
200/10	69.967	17.347
210/5	62.833	22.733

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายอภิพล เจริญทอง
เกิดวันที่	8 พฤศจิกายน 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิศวกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลการดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-

