

การพัฒนาปุ๋ยเคมีชนิดปลดปล่อยช้าที่เคลือบด้วยโปรตีนจากกากถั่วเหลือง



นายณัฐ งามเจตน์มรณย์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1840-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF SLOW RELEASE PROTEIN-COATED CHEMICAL FERTILIZER
USING SOY-BEAN RESIDUE



Mr. Nut Ngamchettanarom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1840-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาปุ๋ยเคมีชนิดปลดปล่อยช้าที่เคลือบด้วย- โปรตีนจากกากถั่วเหลือง
โดย	นายณัฐ งามเจตธรรมย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ณัฐพร โทณานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยดำเนินการ
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ณัฐพร โทณานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... กรรมการ
(คุณปรีชา แสงธีระปิติกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล)

นายณัฐ งามเจตน์ธรรมย์ : การพัฒนาปุ๋ยเคมีชนิดปลดปล่อยช้าที่เคลือบด้วยโปรตีนจากกากถั่วเหลือง
(DEVELOPMENT OF SLOW RELEASE PROTEIN-COATED CHEMICAL FERTILIZER USING
SOY-BEAN RESIDUE) อ. ที่ปรึกษา : อ.ณัฐพร โทณานนท์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ศ.ดร.วิวัฒน์
ตัฒชะพานิชกุล , 128 หน้า. ISBN 974-17 -1840-3.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการที่จะผลิตปุ๋ยเคมีให้มีความสามารถในการชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหาร โดยใช้สารเคลือบที่มีโปรตีนจากกากถั่วเหลืองเป็นวัสดุหลักในการที่จะนำมาเคลือบปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 สารเคลือบที่ใช้ในการวิจัยนี้จะประกอบด้วยโปรตีนจากกากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolate; SPI) น้ำกลั่น สาร Plasticizer สาร Crosslinking Agent (ในที่นี้ใช้สารละลาย Formaldehyde) และสี โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 7%, 82.5%, 7%, 3% และ 0.5% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ลักษณะของฟิล์มที่เคลือบปุ๋ยซึ่งได้แก่ความหนาของฟิล์มเคลือบและโครงสร้างของเนื้อฟิล์มมีความสำคัญต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย โดยถ้าฟิล์มเคลือบมีความหนาเพิ่มขึ้นและโครงสร้างของเนื้อฟิล์มแน่นขึ้น มีจำนวนรูพรุนน้อยและมีขนาดของรูพรุนเล็กจะทำให้ปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบสามารถชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ฟิล์มที่เคลือบปุ๋ยมีความหนาเพิ่มมากขึ้นคือจำนวนครั้งในการเคลือบที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนปัจจัยที่มีผลทำให้โครงสร้างของเนื้อฟิล์มมีความแน่นมากขึ้น มีจำนวนรูพรุนน้อยลง และมีขนาดของรูพรุนเล็ก ได้แก่ การใช้สารเคลือบที่มีความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่เพิ่มมากขึ้น การใช้สารเคลือบที่มี Mineral Oil เป็นสาร Plasticizer ที่ไม่ละลายน้ำแทน Glycerin ที่เป็นสารที่ละลายน้ำ และสุดท้ายคือการเพิ่มการเชื่อมโยงพันธะในโปรตีนโดยการ Activate ฟิล์มเคลือบด้วยสารละลาย Formaldehyde ทำให้โครงสร้างของเนื้อฟิล์มเคลือบเปลี่ยนจากโครงสร้างแบบ Amorphous ที่ละลายน้ำง่ายเป็นโครงสร้างแบบผลึกที่ละลายน้ำยากอัดตัวกันอยู่แน่น

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ปุ๋ยเคลือบที่มีการ Activate จะมีแนวโน้มการปลดปล่อยธาตุอาหาร N ได้นานกว่าปุ๋ยเคลือบที่ไม่ผ่านการ Activate และนานกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการเคลือบ คือปลดปล่อยหมดในระยะเวลาประมาณ 9 วัน 6 วัน และ 3 วันตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อผู้ผลิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4270313221 MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD:SLOW RELEASE FERTILIZER / SOY PROTEIN ISOLATE / FORMALDEHYDE

NUT NGAMCHETTANAROM: DEVELOPMENT OF SLOW RELEASE PROTEIN-COATED
CHEMICAL FERTILIZER USING SOYBEAN-RESIDUE. THESIS ADVISOR: MISS NATTAPORN
TONANON , THESIS COADVISOR: PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D., 128 pp.
ISBN 974-17-1840-3

The present work is aimed to study the feasibility to obtain slow release 8-24-24 chemical fertilizer coating with soy protein isolate as an essential raw material. The coating material is mainly composed of Soy Protein Isolate (SPI), distilled water, plasticizer, formaldehyde as cross-linking agent and color with an optimum composition of 7%, 82.5%, 7%, 3% and 0.5% by weight, respectively. It is found that the characteristic of coating film such as thickness of film and structure of the coating film are important factors affecting the release ability. The increase in thickness of film and the denseness of structure with small pores, resulting in extended period of releasing time. The main factor to increase a thickness of film is by coating fertilizer for several times. The factors to more dense the structure of coating film with small pores are using high concentration of soy protein isolate, using the mineral oil, a non-soluble material, as plasticizer and increasing cross- linking of protein bonds by activated coating film with formaldehyde solution that can change the structure of coating film from amorphous to crystal.

From this work can conclude that the activated coated fertilizer have a long period of time for releasing Nitrogen (N) compared with the non-activated coated fertilizer and uncoated fertilizer. The period of releasing time of these fertilizer are 9 days,6 days and 3 days, respectively.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DepartmentChemical Engineering.....

Field of study.....Chemical Engineering.....

Academic year.....2002.....

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ท่าน ผู้ทำวิจัยขอกราบ
ขอบพระคุณ อาจารย์ ฌัฐพร โทณานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์
ตันตะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาแนะนำ
และชี้แนะความรู้ความเข้าใจต่าง ๆ มากมายตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนแก้ไข
วิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ ประธานกรรมการ คุณ
ปรีชา แสงธีระปิติกุล รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
สำหรับความช่วยเหลือให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขเพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวของคุณปรีชา แสงธีระปิติกุลที่ได้ให้ความอบอุ่น
ความเมตตา ตลอดจนให้คำแนะนำปรึกษาในด้านต่าง ๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณสำหรับเงินทุนอุดหนุนหลาย ๆ โครงการในงานวิจัยนี้ที่ให้การ
สนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่
ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ขอบพระคุณ
บริษัท ปุ๋ยแห่งชาติ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอบพระคุณสำหรับพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีอนุภาคและกระบวนการ
การวัสดุที่ได้คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและแนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาที่
ศึกษาอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี

ขอบคุณสำหรับน้อง ๆ Senior Project ในกลุ่มวิจัยปุ๋ยที่ได้ช่วยเหลือในด้านข้อมูลต่าง ๆ ที่
เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยนี้มาก

ขอบคุณสำหรับเพื่อน ๆ มศว. ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ พี่น้อง ในครอบครัวที่เข้าใจ ให้กำลังใจ และ
ให้โอกาสในการศึกษาของข้าพเจ้ามาตลอดจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	2
1.2 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำปุ๋ยประเภทสามารถควบคุม หรือชะลอการปลดปล่อยของสารอาหาร.....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาและการนำโปรตีนจากกากถั่วเหลือง มาใช้ประโยชน์.....	7
บทที่ 3 ความรู้เบื้องต้น.....	8
3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับปุ๋ย.....	8
3.1.1 การจำแนกปุ๋ย.....	8
3.1.2 สมบัติบางประการของปุ๋ยเคมี.....	12
3.1.3 หลักพิจารณาการใช้ปุ๋ยเคมี.....	14
3.1.4 หลักการให้ปุ๋ยสำหรับไม้ผล.....	16
3.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรตีนและโปรตีนจากกากถั่วเหลือง.....	17
3.2.1 ความรู้เบื้องต้นโดยทั่วไปเกี่ยวกับโปรตีน.....	17
3.2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรตีนจากกากถั่วเหลือง.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการทำ Film Coating.....	32
3.3.1 ส่วนประกอบของสารเคลือบที่ใช้ทำ Film Coating.....	32
3.3.2 เครื่องมือที่ใช้เคลือบในการทำ Film Coating.....	34
3.3.3 กรรมวิธีในการทำการเคลือบวิธี Film Coating โดยใช้ Coating pan...	37
3.4 กลไกการปลดปล่อยสารของอนุภาคใน Film Coating.....	39
3.4.1 ระบบที่ควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้หลักการแพร่ผ่านเมมเบรน.....	39
3.4.2 ระบบที่ควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้หลักการละลายของเมมเบรน...	43
บทที่ 4 อุปกรณ์การทดลอง และวิธีการทดลอง.....	44
4.1 วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	44
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
4.3 วิธีการทดลองในงานวิจัยนี้.....	48
4.3.1 การเตรียมสารเคลือบ (Coating Agents).....	48
4.3.2 การทำฟิล์มจากสารเคลือบ.....	48
4.3.3 การวัดการแพร่ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์มที่ทำขึ้น.....	49
4.3.4 การเคลือบปฏี.....	50
4.3.5 การวัดการปลดปล่อยธาตุอาหารในปฏี.....	50
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	51
5.1 ผลการทดลองในส่วนของการทำฟิล์มจากสารเคลือบ	
ที่มาจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง.....	51
5.1.1 ผลของความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสารเคลือบ	
ต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น.....	51
5.1.2 ผลของปริมาณสาร Plasticizer ในสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น.....	52
5.1.3 ผลของสาร Crosslinking Agent ในสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น.....	56
5.1.4 ผลของอุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ผลการทดลองในส่วนของการทำปุ๋ยเคมีชนิดปลดปล่อยช้า	
ที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง.....	60
5.2.1 ผลของความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสารเคลือบ	
ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย.....	60
5.2.2 ผลของจำนวนครั้งในการเคลือบปุ๋ยต่อการปลดปล่อย	
ธาตุอาหารในปุ๋ย.....	63
5.2.3 เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง	
ในสารเคลือบที่มีต่อความสามารถในการเคลือบปุ๋ย.....	63
5.2.4 ผลการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีเมื่อมีการ Activate ด้วย	
สารละลาย Formaldehyde บนปุ๋ยที่เคยผ่านการเคลือบแล้ว.....	65
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม.....	75
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	75
6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม.....	77
รายการอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก รายละเอียดของปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24.....	83
ภาคผนวก ข เกณฑ์ตลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารรับรองในปุ๋ยเคมี.....	85
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ย.....	87
ภาคผนวก ง ข้อมูลจากการทดลอง.....	95
ภาคผนวก จ แฟกเตอร์การแปลงหน่วย.....	106
ภาคผนวก ฉ เอกสารข้อมูลความปลอดภัย.....	108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	128

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ปฏิกิริยาเคมีของแข็งบางชนิดจำแนกตามความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช.....	11
3.2	ปริมาณและชนิดของโปรตีนโดยใช้การ Ultracentrifuge แยกจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ละลายน้ำได้.....	24
5.1	ผลของความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น.....	52
5.2	ผลของปริมาณสาร Plasticizer ในสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น.....	54
5.3	ผลของสาร Crosslinking Agent ในสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น.....	56
5.4	เปรียบเทียบผลการทดสอบแรงกระทำในแผ่นฟิล์ม.....	57
5.5	ผลของอุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น.....	58
5.6	เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสารเคลือบต่อความสามารถในการเคลือบพืช.....	63

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1	α - amino acid..... 17
3.2	แรงยึดเหนี่ยวโครงสร้าง โมเลกุลใน โปรตีน..... 21
3.3	ภาพวาดแสดง โมเลกุล โปรตีนที่มีส่วนที่เป็นเกลียวและแผ่นพับ..... 22
3.4	คุณสมบัติการละลายตัวของโปรตีนของถั่วเหลืองในสภาวะ pH ต่าง ๆ..... 25
3.5	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง Quaternary Structure ของ 11 S Protein ในถั่วเหลือง..... 27
3.6	แผนผังแสดงขั้นตอนการทำ Soy Protein Isolate..... 31
3.7	Coating Pans ในรูปแบบต่าง ๆ..... 35
3.8	Diagram ของระบบ Fluidized coater..... 36
3.9	การเคลือบโดยใช้ระบบการฉีดพ่น..... 38
3.10	การควบคุมการปลดปล่อยด้วยหลักการแพร่ผ่านเมมเบรน..... 39
3.11	กลไกการปลดปล่อยของสารแบบ Solution/diffusion through continuous plasticized polymer phase..... 40
3.12	กลไกการปลดปล่อยของสารแบบ Solution/diffusion through plasticizer channels..... 41
3.13	กลไกการปลดปล่อยของสารแบบ Diffusion through aqueous pores..... 42
4.1	หม้อเคลือบ (Coating Pan)..... 45
4.2	Water Bath..... 45
4.3	ที่ปาดฟิล์ม..... 46
4.4	ชุดกวนผสมสารเคลือบ..... 46
4.5	Micrometer..... 47
4.6	ชุดทดลองการวัดการแพร่ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์ม..... 49
5.1	ผลการเปรียบเทียบ Flux ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์มโปรตีน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง..... 53
5.2	ผลการเปรียบเทียบ Flux ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์มโปรตีน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Glycerin ในสารเคลือบ..... 55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3 ผลเปรียบเทียบการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์ม โพรตีน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบ.....	59
5.4 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร K ของปุ๋ยเคลือบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพรตีนจากกากถั่วเหลือง.....	61
5.5 ภาพถ่าย SEM ของปุ๋ยที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีความเข้มข้น ของโพรตีนถั่วเหลือง 5 กรัม (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	62
5.6 ภาพถ่าย SEM ของปุ๋ยที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีความเข้มข้น ของโพรตีนถั่วเหลือง 13 กรัม (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	62
5.7 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร K ของปุ๋ยเคลือบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนครั้งในการเคลือบ.....	64
5.8 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร N ในปุ๋ยที่มีการ Activate หลังจากผ่านการเคลือบแล้ว.....	67
5.9 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร P ในปุ๋ยที่มีการ Activate หลังจากผ่านการเคลือบแล้ว.....	68
5.10 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร K ในปุ๋ยที่มีการ Activate หลังจากผ่านการเคลือบแล้ว.....	69
5.11 ภาพถ่าย SEM ของปุ๋ยชนิดที่ไม่มีการเคลือบ (กำลังขยาย 15 เท่า).....	70
5.12 ภาพถ่าย SEM ของปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 15 เท่า).....	70
5.13 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปุ๋ยชนิดที่ไม่มีการเคลือบ (กำลังขยาย 5000 เท่า).....	71
5.14 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปุ๋ยชนิดที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 5000 เท่า).....	71
5.15 ภาพถ่าย SEM ตัดขวางของปุ๋ยชนิดที่ไม่มีการเคลือบ (กำลังขยาย 200 เท่า).....	72
5.16 ภาพถ่าย SEM ตัดขวางของปุ๋ยชนิดที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 200 เท่า).....	72
5.17 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปุ๋ยชนิดที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.18 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปฏิกิริยาเคลือบที่ผ่านการ Activate (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	73
5.19 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปฏิกิริยาชนิดที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 5000 เท่า).....	74
5.20 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปฏิกิริยาเคลือบที่ผ่านการ Activate (กำลังขยาย 5000 เท่า).....	74



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีสินค้าทางการเกษตรเป็นรายได้หลักของประเทศ ดังนั้นการพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรจึงมีความสำคัญในการพัฒนาประเทศชาติ การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรมีหลายวิธีที่สามารถทำได้ การใช้ปุ๋ยเคมีเป็นวิธีหนึ่งที่จะนำมาพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ ปุ๋ยเคมีที่ใช้มีส่วนประกอบของธาตุอาหารหลักที่สำคัญ 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน (nitrogen; N) ฟอสฟอรัส (phosphorus; P) และโปแทสเซียม (potassium; K) โดยปกติปุ๋ยเคมีจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ง่าย ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยลงในดิน ปุ๋ยเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่พืชจะสามารถดูดซึมนำไปใช้ได้ นอกนั้นจะเกิดการสูญเสีย โดยส่วนใหญ่จะสูญเสียโดยถูกชะล้างไปกับน้ำในดินทำให้พืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นเกษตรกรจึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณปุ๋ยที่ใส่มากขึ้นเพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอกับความต้องการ แต่ในทางกลับกันเมื่อมีปริมาณหรือความเข้มข้นของปุ๋ยเคมีตกค้างสะสมอยู่ตามแหล่งน้ำลำคลองจะก่อให้เกิดผลเสียต่อสมดุลทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเกษตรกรต้องเสียค่าใช้จ่ายเงินมากเกินความจำเป็น

เทคโนโลยีหลายประเภทได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมการให้ปุ๋ยหรือธาตุอาหารแก่พืชในอัตราที่เหมาะสมเพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยได้มากที่สุดรวมถึงลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ปุ๋ยที่มีความสามารถชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหาร (Slow release fertilizer; SRF) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันเพื่อที่จะลดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

การเคลือบปุ๋ยเคมีด้วยสารที่มีความสามารถในการชะลอให้น้ำผ่านเข้าไปละลายปุ๋ยเคมีให้ช้าลงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ทำปุ๋ยให้มีความสามารถในการชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหาร ซึ่งกรรมวิธีในการเคลือบผิวอนุภาคในปัจจุบันมีหลายวิธี และหลักการของการเคลือบผิวอนุภาคด้วยหม้อเคลือบ (Coating Pans) เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวางในทางอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการเคลือบผิวอนุภาค ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้หลักและวิธีการของการเคลือบผิวอนุภาคด้วยหม้อเคลือบมาทำการเคลือบปุ๋ยที่จะทำการวิจัย

ถั่วเหลือง (Soybean) เป็นสารที่น่าสนใจชนิดหนึ่งในการที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ควบคุมให้เกิดการชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ย เนื่องจากหลังจากนำถั่วเหลืองไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การกลั่นน้ำมันถั่วเหลืองแล้วจะมีกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่เหลือใช้ ซึ่งโดยปกติแล้วในถั่วเหลืองและกากถั่วเหลืองจะมีโปรตีน ซึ่งโปรตีนนี้สามารถทำเป็นฟิล์มโพลีเมอร์เพื่อ

ทำหน้าที่ชะลอให้น้ำผ่านเข้าไปละลายปุ๋ยช้าลงทำให้ช่วยชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยได้อีกทั้งโปรตีนถั่วเหลืองยังเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสามารถย่อยสลายได้ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาทดลองถึงความเป็นไปได้ที่จะนำโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการปรับคุณสมบัติของปุ๋ยเคมีเพื่อให้มีความสามารถในการชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหาร (Slow release fertilizer; SRF)

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและวิจัยถึงความเป็นไปได้ในการนำโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเคลือบปุ๋ยเคมีให้สามารถชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ (Slow release fertilizer; SRF)

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

1. ในขั้นต้นทำการศึกษาลักษณะสมบัติของฟิล์มที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลืองโดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาดังนี้
 - 1.1) ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่มีในแผ่นฟิล์ม
 - 1.2) ปริมาณของ Glycerin (สาร Plasticizer) ที่มีในแผ่นฟิล์ม
 - 1.3) ปริมาณของสารละลาย Formaldehyde (สาร Crosslinking Agent) ที่มีในแผ่นฟิล์ม
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้น โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังนี้
 - 2.1) ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่มีในแผ่นฟิล์ม
 - 2.2) ปริมาณของ Glycerin (สาร Plasticizer) ที่มีในแผ่นฟิล์ม
 - 2.3) อุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมสารเคลือบ
3. ทำการเคลือบปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ด้วยสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง และศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยประเภทชะลอการปลดปล่อยที่สร้างขึ้นโดยปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังนี้
 - 3.1) ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่มีในสารเคลือบ
 - 3.2) จำนวนครั้งที่ทำการเคลือบปุ๋ย
 - 3.3) การเพิ่มการกระตุ้นด้วยสารละลาย Formaldehyde บนปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบแล้ว

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำปุ๋ยประเภทที่สามารถควบคุมหรือชะลอการปลดปล่อยของธาตุอาหาร และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาและการนำโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมาใช้ประโยชน์

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำปุ๋ยประเภทที่สามารถควบคุมหรือชะลอการปลดปล่อยของธาตุอาหาร มีดังนี้

Hepburn และ Arizal (1988,1989) ได้เตรียมปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารโดยเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยกำมะถัน (Sulfur-coated urea, SCU) พบว่าสามารถควบคุมการปลดปล่อยยูเรียได้ตั้งแต่เม็ดปุ๋ยที่ได้มีความเปราะ แตกง่าย และที่ผิวเคลือบมีรูพรุนเป็นจำนวนมาก อีกทั้งใช้ต้นทุนในการผลิตที่ค่อนข้างสูง

Valkanas (1992) ได้ทำปุ๋ยโปแทสเซียมชนิดควบคุมการปลดปล่อยโดยเคลือบปุ๋ยโปแทสเซียมซัลเฟตด้วยสารเคลือบที่มีส่วนผสมระหว่าง Paraffin waxes และชันสนประเภท Wood rosin เมื่อนำปุ๋ยที่เตรียมได้มาทดสอบอัตราการละลายของโปแทสเซียมซัลเฟต พบว่าอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะช้าลงและปลดปล่อยได้ในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น ซึ่งอัตราการปลดปล่อยของโปแทสเซียมซัลเฟตเป็นไปตามกลไกการควบคุมการปลดปล่อยโดยการแพร่แบบ Square root of time-release kinetics และอัตราการปลดปล่อยโปแทสเซียมจะเพิ่มขึ้นเมื่อเตรียมโปแทสเซียมซัลเฟตในปริมาณที่มากขึ้น

Hudson (1995) ได้ปรับปรุงการเตรียมปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยกำมะถันให้ผิวเคลือบมีรูพรุนน้อยและทำให้เม็ดปุ๋ยมีความต้านทานต่อการขูด โดยใช้วัสดุอุดกันรั่ว (Sealant) ที่เป็นส่วนผสมระหว่าง wax ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ Petroleum waxes, Synthetic waxes, Natural waxes, Vegetable และ Mineral waxes กับโพลีเมอร์ที่ละลายได้ในจี๊ฟี่ พบว่า เมื่อเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยกำมะถัน 13% แล้วเติมวัสดุอุดกันรั่วลงไป 1% จะทำให้เม็ดปุ๋ยมีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นได้ดี แต่ถ้าต้องการให้เม็ดปุ๋ยมีความต้านทานต่อการขูดด้วยจะต้องใช้วัสดุอุดกันรั่วในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.5%

J.S. Notario del Pino และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบถึงการปลดปล่อย ฟอสฟอรัส (P) และ โปแตสเซียม (K) จากปุ๋ยที่ทำจาก zeolite และปุ๋ย KH_2PO_4 พบว่าการปลดปล่อย ของ P และ K ของปุ๋ยที่ศึกษามีลักษณะการปลดปล่อยเป็นไปตามกฎ 1st order ของหลักทางจลน์ พลศาสตร์ และพบว่าปุ๋ยที่ทำจาก zeolite จะปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสได้นานกว่าปุ๋ย KH_2PO_4 และ ปลดปล่อยฟอสฟอรัสได้นานขึ้นเมื่อมีการปรับสภาพด้วยกรดอ่อน ในทางกลับกันการปรับสภาพ ด้วยกรดจะทำให้การปลดปล่อยโปแตสเซียมเกิดเร็วขึ้น

MC. Garcia และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาการใช้ลิกนินที่ได้จากกระบวนการทำ กระดาษ Kraft มาเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรียเพื่อให้สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยของยูเรีย เนื่องจาก ลิกนินเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืชและดิน อีกทั้งยังมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำที่ทุกค่าของ pH ใน การทดลองนอกจากใช้ลิกนินเป็นสารเคลือบแล้วยังมีสารเติมแต่งอื่นๆ เช่น rosin, linseed oil, dimerized, esterified และ natural rosin เพื่อให้ปุ๋ยที่ได้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น จากการทดลองพบว่าลิก นินสามารถช่วยชะลอการปลดปล่อยของยูเรีย และประสิทธิภาพของปุ๋ยจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติม linseed oil เป็นสารเติมแต่งในการยัดเกาะ

Chen และ Geiger (1997) เตรียมปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยวัสดุโพลีเมอร์ที่ยอมให้น้ำซึมผ่าน อย่างช้า ๆ โดยใช้ Sulfonated terpolymer (SEPDm) ของ Ethylene, Propylene และ Non-conjugate diene เคลือบเป็นฟิล์มบาง ๆ แล้วเคลือบทับด้วยสารละลายของ Sodium lignosulfonate ซึ่งได้มา จากลิกนินของ Sulfate หรือ Sulfite ในขบวนการผลิตเยื่อกระดาษ โดยมีสารตัวเติม (Filler) คือ Talc กระจายอยู่ในสารละลายนี้ เมื่อนำไปทดสอบอัตราการปลดปล่อยของยูเรีย พบว่าเม็ดปุ๋ยที่มีการ เคลือบทับด้วย Lignosulfonate และใช้สารตัวเติมจะมีเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยยูเรียต่ำกว่าเม็ดปุ๋ยที่ เคลือบด้วยวัสดุโพลีเมอร์เพียงชั้นเดียว เนื่องจาก Lignosulfonate และสารตัวเติมมีคุณสมบัติเป็นตัว ป้องกันความชื้น และ Lignosulfonate ยังเป็นตัวยึดธาตุน้ำไว้ภายในสารเคลือบอีกด้วย

Uri Shavit และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาถึงการปลดปล่อยสารอาหารในปุ๋ยที่สามารถ ควบคุมอัตราการปลดปล่อยของสารอาหาร โดยรูปแบบของปุ๋ยชนิดนี้จะศึกษาโดยใช้หลักการผสม ระหว่างปุ๋ยที่สามารถละลายน้ำได้ กับสาร thickener ที่สามารถเกิดเป็นเจลได้ เช่น Na- polyacrylamide และ Na-carboxymethylcellulose จากนั้นบรรจุของผสมลงในท่อแก้วปลายด้าน หนึ่งปิดอีกด้านหนึ่งเปิดเป็นช่องเล็กๆซึ่งใช้แทนการห่อหุ้มที่สารผ่านเข้าออกไม่ได้ (impermeable envelope) ซึ่งหลักการที่ใช้ในการปลดปล่อยสารอาหารในชุดการทดลองนี้คือเกิดการปลดปล่อย เนื่องจากน้ำภายนอกจะเข้าไปทางช่องเล็กๆที่เปิดไว้ จากนั้นน้ำจะเข้าไปละลายปุ๋ยและทำให้สาร thickener เกิดเป็นเจล จากนั้นสารอาหารที่อยู่ในสภาพสารละลายจะค่อยๆแพร่ผ่านออกมาทางช่อง

เล็กๆของชุดการทดลองที่เปิดไว้เช่นกัน ซึ่งจากการศึกษาจะพบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยสารอาหารในการทดลองนี้คือ ชนิดของปุ๋ย ชนิดและความเข้มข้นของสาร thickener และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางเล็กๆที่เปิดไว้ของชุดการทดลอง

M.E. Engelsjord และคณะ (1997) ได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการปลดปล่อยสารอาหาร N, P, K จากปุ๋ยชนิดละลายช้า ซึ่งทำการทดลองโดยวัดอัตราการปลดปล่อยสารอาหารในปุ๋ยที่อุณหภูมิ 4 °C, 12 °C และ 21 °C นอกจากนี้ยังสร้างชุดทดลองให้ใกล้เคียงกับการนำไปใช้งานจริง โดยทดลองกับปุ๋ยที่เคลือบด้วยกำมะถัน และปุ๋ย NPK ชนิดที่ใช้โดยทั่วไป จากการศึกษพบว่า ณ อุณหภูมิ 21 °C ธาตุอาหารไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 4 และ 12 °C อีกทั้งปุ๋ยที่มีการเคลือบสารพวกกำมะถันจะปลดปล่อยไนโตรเจนได้นานกว่าปุ๋ย NPK ทั่วไป นอกจากนี้ในปุ๋ย NPK ที่ใช้กันทั่วไปนั้นพบว่าอุณหภูมิจะไม่มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหาร P และ K

กวี ดำรงสิริพร (2539) ได้ศึกษาการใช้ยางสกินซึ่งเป็นยางธรรมชาติที่ได้มาจากหางน้ำยางมาผลิตปุ๋ยยูเรียชนิดควบคุมการปลดปล่อยโดยผสมยูเรียกับยางสกินด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยได้ทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของยูเรียในยางสกินและศึกษาอิทธิพลที่มีต่ออัตราการปลดปล่อยยูเรียซึ่งได้แก่ อุณหภูมิของตัวกลาง การใช้สารตัวเติม และเปรียบเทียบถึงการใช้ยางสกินกับยางธรรมชาติ จากการศึกษพบว่าปุ๋ยที่ใช้ยางสกิน 100 ส่วน : ยูเรีย 300 ส่วน จะปลดปล่อยยูเรียได้นานที่สุดประมาณ 28 วัน เมื่อตัวกลางเป็นกรด-เบส จะทำให้อัตราการปลดปล่อยยูเรียเพิ่มขึ้น เมื่อตัวกลางมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการปลดปล่อยยูเรียเพิ่มขึ้น และยางสกินจะทำให้ปุ๋ยเสื่อมสภาพเร็วกว่ายางธรรมชาติแต่จะทำให้อัตราการปลดปล่อยยูเรียเพิ่มขึ้น

ชะวะณี สิริชัยวัฒนา (2539) ได้ศึกษาการทำแคปซูลของปุ๋ยยูเรียที่มียางธรรมชาติเป็นเมทริกซ์ที่เตรียมโดยการทำให้อนุภาคของยางธรรมชาติบวมด้วยสารละลายอินทรีย์ และเตรียมโดยการตกตะกอนของของผสมยูเรียกับน้ำยางธรรมชาติในกรดอะซิติก พบว่าวิธีการตกตะกอนในกรดเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมแคปซูลของยูเรีย จากนั้นนำโซเดียมอัลจินตมาเคลือบเม็ดแคปซูลของยูเรีย / ยางธรรมชาติ พบว่าเมื่อใช้โซเดียมอัลจินตมาเคลือบแคปซูลจะทำให้ลดการปลดปล่อยของยูเรียได้ช้าลง อีกทั้งอัตราการปลดปล่อยของยูเรียจะเป็นสัดส่วนกลับกับความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตและขนาดแคปซูล และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นเริ่มต้นของยูเรียในแคปซูล

ก้นตักนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา (2540) ได้ทำการจำลองทางคณิตศาสตร์ถึงการถ่ายโอนปุ๋ยยูเรียที่ถูกเคลื่อนที่ด้วยขบวนการแพร่ตามกฎข้อที่สองของ Fick พบว่า แบบจำลองของการแพร่นี้สามารถทำนายปริมาณการปลดปล่อยสะสมของปุ๋ยยูเรียได้สอดคล้องกับผลการทดลองโดยปัจจัยสำคัญที่คำนึงถึงได้แก่ ความหนาของชั้นเคลือบ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ และขนาดของเม็ดปุ๋ย

เพ็ญทิพย์ ธีระสุด (2541) ได้ศึกษาและพัฒนาการทำแคปซูลของปุ๋ยยูเรียที่มีขบวนการเป็นเมตริกซ์ต่อจากงานวิจัยของ ชะวะณี ศิริชัยวัฒนา แต่ได้พัฒนาโดยลดขั้นตอนการทำโดยการเติมโซเดียมอัลจินเตลงไปในน้ำยางธรรมชาติที่เป็นเมตริกซ์ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงในน้ำยาง จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมโซเดียมอัลจินเตลงไปในน้ำยางจะทำให้ยูเรียออกจากแคปซูลน้อยลง และพบว่าเมื่อเติมโซเดียมโคเคซิลซัลเฟตที่เป็นสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำยางจะทำให้ปุ๋ยยูเรียออกจากแคปซูลน้อยลงตรงข้ามกับเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก นอกจากนี้เมื่อเติมโคโคแซนซึ่งเป็นสารเติมแต่งที่ละลายตัวได้ในธรรมชาติพบว่าการเติมโคโคแซนในยางจะทำให้ปุ๋ยยูเรียถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น

ชนินทร์ วงษ์ดนตรี และคณะ (2543) ได้ศึกษาถึงการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยละลายช้าชนิดออสโมโกล์ทสูตร 14-14-14 โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหารเมื่อแช่ปุ๋ยในตุ้บกลางที่เป็นน้ำและดินตามลำดับ อีกทั้งยังได้ศึกษาถึงการปลดปล่อยธาตุอาหารเมื่อแช่ปุ๋ยในตุ้บกลางที่มี pH และอุณหภูมิต่างกัน จากการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยธาตุอาหาร N, P และ K เมื่อแช่ปุ๋ยในตุ้บกลางที่เป็นดินจะมีแนวโน้มของการปลดปล่อยธาตุอาหารเป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ ธาตุอาหาร N จะปลดปล่อยธาตุอาหารเร็วกว่าธาตุอาหาร K และเร็วกว่าธาตุอาหาร P ตามลำดับ และการปลดปล่อยธาตุอาหารในตุ้บกลางที่เป็นดินจะปลดปล่อยช้ากว่าในตุ้บกลางที่เป็นน้ำ ส่วนการปลดปล่อยธาตุอาหารในตุ้บกลางที่เป็นกรดหรือเบสจะมีแนวโน้มการปลดปล่อยที่เร็วกว่าในตุ้บกลางที่มีสถานะที่เป็นกลาง และเมื่ออุณหภูมิของตุ้บกลางสูงขึ้นแนวโน้มของการปลดปล่อยธาตุอาหารจะเร็วขึ้นตามลำดับ

2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาและการนำโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมาใช้ประโยชน์ มีดังนี้

A.H. Brandenburg และคณะ (1993) ได้ศึกษาพัฒนาการทำฟิล์มโดยใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลือง (Isolated soy protein; ISP) โดยการเติมสาร Alkali เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มที่เกิดขึ้น จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของฟิล์มซึ่งได้แก่ Water vapor permeability (WVP), Oxygen permeability (O_2P), Tensile strength (TS) และค่า Percent elongation (%E) จากการศึกษาพบว่า การเติมสาร Alkali ไม่มีผลต่อค่า WVP, O_2P และ TS แต่จะมีค่า %E ที่สูงขึ้น

V.M. Ghorpade และคณะ (1995) ได้เตรียมฟิล์มจากสารละลายโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่มี Glycerin เป็นสาร Plasticizer และศึกษาถึงผลของคุณสมบัติของฟิล์มซึ่งได้แก่ค่า Water solubility (WS), Tensile strength (TS), Puncture strength (PS) และค่า Water vapor permeability (WVP) เมื่อมีการเติมสาร Acetic anhydride, Succinic anhydride, Calcium cation และ Formaldehyde ลงในสารละลายที่ใช้เตรียมฟิล์ม จากการศึกษาพบว่าการเกิดปฏิกิริยา Acylation ที่เกิดจากการเติมสาร Acetic และ Succinic นั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของฟิล์มที่เกิดขึ้น ส่วนการเติม Calcium cation จะทำให้ค่า TS และ PS เพิ่มขึ้น 96 และ 43% ตามลำดับแต่ไม่มีผลต่อคุณสมบัติในด้านความต้านทานของฟิล์ม (Film barrier) ส่วนการเติม Formaldehyde จะมีผลทำให้ค่า TS และ PS เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้ค่า WS และ WVP ลดลงซึ่งเป็นผลเนื่องจากการเกิด Crosslink ในโครงสร้างของโปรตีนนั่นเอง

U. Kalapathy และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาผลของความหนืดของสารละลายโปรตีนจากกากถั่วเหลืองเมื่อมีการเติมเกลือ NaCl และ Na_2SO_4 ในสารละลาย จากการศึกษาพบว่าเมื่อเติมเกลือ NaCl และ Na_2SO_4 ความเข้มข้น 0.1 M ลงในสารละลายที่มี pH 10.0 และอุณหภูมิ 50 °C จะทำให้ความหนืดลดลงจากปกติที่มีความหนืดมากกว่า 30,000 cP เป็น 6000 และ 1050 cP ตามลำดับ

สมชาย จอมดวง (2528) ได้ทำการสกัดโปรตีนไอโซเลตจากกากถั่วเหลืองโดยใช้ความร้อนช่วยในการสกัด คือ กากถั่วเหลือง 300 กรัม เติมน้ำเป็นตัวทำละลาย 1:30 (300 กรัม : 9 ลิตร) ปรับ pH 12.0 อุณหภูมิ 70 °C กวนด้วยไม้พาย 15 นาที กรองแยกสารละลายโปรตีน นำสารละลายที่ได้ปรับ pH 4.5 ด้วยกรดเกลือ (6 นอร์มัล) กรองแยกตะกอน นำตะกอนโปรตีนที่ได้ละลายน้ำ 3 ลิตร ปรับให้เป็นกลาง (pH 7.0) ปั่นในเครื่องปั่นผสม กรองอีกครั้งหนึ่งแล้วทำให้แห้งด้วยเครื่อง spray dryer จะได้โปรตีนไอโซเลตจากกากถั่วเหลือง

บทที่ 3

ความรู้เบื้องต้น

3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับปุ๋ย

3.1.1 การจำแนกปุ๋ย

ปุ๋ยอาจจำแนกได้หลายวิธีโดยอาศัยแนวทางที่แตกต่างกันไป เช่น พิจารณาจากชนิดของสารประกอบที่เป็นปุ๋ย ชนิดและจำนวนของธาตุอาหารที่มีในปุ๋ย และพิจารณาจากความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

3.1.1.1 จำแนกโดยถือเอาชนิดของสารประกอบเป็นเกณฑ์ สามารถจำแนกได้เป็น **ปุ๋ยอนินทรีย์** (Inorganic fertilizers) หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากอนินทรีย์สาร ได้แก่ แอมโมเนียมซัลเฟต ซูเปอร์ฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ได้รวมปุ๋ยอนินทรีย์กับปุ๋ยอินทรีย์สังเคราะห์เข้าด้วยกันเรียกว่า ปุ๋ยเคมี (Chemical fertilizers) แล้วให้ความหมายของปุ๋ยเคมีว่า ปุ๋ยเคมี คือ ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม และปุ๋ยเชิงประกอบ และหมายความตลอดถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย

ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizers) หมายความว่าปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์วัตถุ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่น ๆ ตัวอย่างของปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยเทศบาลซึ่งทำจากขยะมูลฝอยล้วน ๆ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และกากเมล็ดพืชต่าง ๆ

3.1.1.2 จำแนกโดยถือเอาชนิดและจำนวนของธาตุอาหารที่ประกอบในปุ๋ยเป็นเกณฑ์

คำว่าธาตุอาหารนั้น พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 อธิบายว่า หมายถึงธาตุอาหารที่อยู่ในปุ๋ย และสามารถเป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ ในแง่สรีรวิทยาของพืชมงคล ธาตุอาหารพืชหมายถึง (1) ถ้าพืชขาดธาตุนั้นพืชไม่สามารถดำรงชีพจนครบจักร (2) ธาตุนั้นเป็นส่วนหนึ่งอยู่ในโมเลกุลของสารที่มีความสำคัญต่อเมตาโบลิซึมของพืช

จำแนกโดยถือเอาชนิดธาตุเป็นเป็นหลัก สามารถแบ่งประเภทของปุ๋ยได้ดังนี้

ก. ปุ๋ยไนโตรเจน หมายถึง ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจนเป็นสำคัญ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ ยูเรีย เป็นต้น

ข. ปุ๋ยฟอสฟอรัส หมายถึง ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสเป็นสำคัญ เช่น ซูเปอร์ฟอสเฟต และทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต เป็นต้น ปุ๋ยพวกนี้เรียกว่า ปุ๋ยฟอสเฟต ก็ได้

ค. ปุ๋ยโพแทสเซียม หมายถึง ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารโพแทสเซียมเป็นสำคัญ เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมซัลเฟต ปุ๋ยพวกนี้เรียกว่า ปุ๋ยโพแทส ก็ได้

จำแนกโดยถือเอาจำนวนของธาตุอาหารที่ประกอบในปุ๋ยเป็นหลัก จำแนกได้ดังนี้

ก. ปุ๋ยเชิงเดี่ยว (Single fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารหลัก (ธาตุปุ๋ย) เพียงธาตุเดียว ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟต หรือปุ๋ยโพแทส

ข. ปุ๋ยเชิงผสม (Mixed fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยเคมีที่ได้จากการผสมปุ๋ยเคมีชนิดหรือประเภทต่าง ๆ (แม่ปุ๋ย) เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ธาตุอาหารตามต้องการ

ค. ปุ๋ยเชิงประกอบ (Compound fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่มีธาตุปุ๋ยประกอบอยู่มากกว่าหนึ่งธาตุ ซึ่งอาจผลิตโดยนำแม่ปุ๋ยมาผสมกันอย่างง่าย ๆ หรือเป็นการผลิตโดยกรรมวิธีทางเคมีที่ซับซ้อน

3.1.1.3 จำแนกตามความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชเป็นเกณฑ์ จะสามารถจำแนกได้เป็น

ปุ๋ยละลายเร็ว หมายถึง ปุ๋ยเคมีชนิดของแข็งทุกชนิดไม่ว่าจะอยู่ในรูปใดที่มีธาตุอาหารพืชละลายน้ำหรืออยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของธาตุอาหารพืชทั้งหมดในสูตรปุ๋ย ปุ๋ยเคมีชนิดของแข็งที่ใช้กันในทางเกษตรส่วนใหญ่เป็นปุ๋ยละลายเร็ว ซึ่งอยู่ในรูปปุ๋ยเม็ด ปุ๋ยเกร็ด ปุ๋ยผง หรือปุ๋ยอัดเม็ด แต่ที่นิยมมากที่สุดคือปุ๋ยใส่ทางดินในรูปปุ๋ยเม็ด ได้แก่ ปุ๋ยยูเรียและปุ๋ยผสมสูตรต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยสูตร 16-20-0, 15-15-15 และ 8-24-24 เป็นต้น

ปุ๋ยกึ่งละลายช้าละลายเร็ว หมายถึง ปุ๋ยเคมีที่มีเนื้อปุ๋ยบางส่วนละลายน้ำได้ดีและบางส่วนไม่ละลายน้ำ โดยทั่วไปสัดส่วนของเนื้อปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดีจะมีปริมาณมากกว่าที่พบในปุ๋ยประเภทละลายช้า

ปุ๋ยละลายช้า หมายถึง ปุ๋ยเคมีที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย เมื่อใส่ลงดิน ธาตุอาหารพืชในส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงและค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น

- **ปุ๋ยที่มีธรรมชาติในการละลายช้า** คือ ปุ๋ยเคมีที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้เล็กน้อยตามธรรมชาติ ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายได้ของธาตุอาหารพืชได้แก่ ชนิดของปุ๋ย ขนาดของเม็ด ความสะดวกของเม็ดปุ๋ย ความชื้นในดิน ปฏิกริยาดิน กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินรวมทั้งสมบัติและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ในดิน ตัวอย่างปุ๋ยเคมีละลายช้า ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สังเคราะห์ต่าง ๆ เช่น IBDU (Isobutylidene diurea) ปุ๋ยหินฟอสเฟต ปุ๋ยโปแทสเซียมเมต้าฟอสเฟต และโปแทสเซียมแคลเซียมไพโรฟอสเฟต เป็นต้น

- **ปุ๋ยที่มีการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารของพืช** โดยทั่วไปเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีชนิดละลายช้า เช่น ปุ๋ยไอบิวติดยูหรือปุ๋ยยูเรียฟอร์มลงดิน การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจะมากหรือน้อยและสม่ำเสมอแค่ไหนขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดปุ๋ยและสมบัติของดิน เช่น ความชื้นในดิน ปฏิกริยาดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน และเนื่องจากสมบัติของดินและสิ่งแวดล้อมในดินแต่ละชนิดมีความแปรปรวนไม่แน่นอนขึ้นกับระยะเวลาหลังการใช้ปุ๋ยทำให้ปริมาณการปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชอาจไม่เพียงพอและสม่ำเสมอเท่าที่ควร เช่น บางช่วงเวลาอาจปลดปล่อยช้าหรือเร็วเกินไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสมบัติของดินและสิ่งแวดล้อมในดิน ดังนั้นจึงมีการคิดพัฒนากรรมวิธีการผลิตปุ๋ยเคมีชนิดที่มีสมบัติตามธรรมชาติอยู่ในรูปปุ๋ยละลายช้าและอยู่ในรูปปุ๋ยละลายเร็ว แต่สามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้ในระดับหนึ่ง โดยการหุ้มหรือเคลือบผิวเม็ดปุ๋ยแต่ละเม็ด หรือเม็ดปุ๋ยหลาย ๆ เม็ดด้วยสารบางอย่างเช่น ใช้กำมะถันเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรีย (Sulfur coated urea) หรือใช้สารเหนียว เช่น โพลีเอทิลีน (Polyethylene) อคริลิกอะซิเตด (Acrylic acetate) สารเรซิน (Resins) ขี้ผึ้ง (Waxes) และพาราฟิน (Paraffins) เคลือบเม็ดปุ๋ยหรือหุ้มกลุ่มเม็ดปุ๋ย ตัวอย่างเช่น ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรทและปุ๋ยออสโมโค้ท (Osmocote) เมื่อใส่ปุ๋ยประเภทนี้ลงดิน น้ำในดินจะซึมผ่านเปลือกหุ้มเข้าไปในเม็ดปุ๋ย แล้วละลายตัวปุ๋ยเกิดเป็นสารละลายของเกลือที่ซึมขึ้นภายในเปลือกของปุ๋ยแต่ละเม็ด ในสภาพเช่นนี้จะทำให้เกิดความดันออสโมซิสขึ้นภายใน และเมื่อมีความดันสูงจนถึงระดับหนึ่งจะมีผลทำให้น้ำปุ๋ยในรูปสารละลายค่อย ๆ แพร่ซึมผนังเปลือกเม็ดปุ๋ยที่ปริ้วออกมาสัมผัสดินและสารละลายดินอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเป็นระยะเวลานาน ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ อัตราการแพร่ซึมออกมาของเนื้อปุ๋ยจะมากหรือน้อยขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ชนิดและความหนาของสารที่ใช้เป็นเปลือกหุ้มผิวเม็ดปุ๋ย เป็นต้น (ปิยะ, 2538)

นอกจากการหุ้มผิวเม็ดปุ๋ยด้วยสารเคลือบชนิดต่าง ๆ แล้ว ยังมีปุ๋ยชนิดละลายเร็วซึ่งอาจอยู่ในรูปปุ๋ยเม็ด ปุ๋ยเกร็ด หรือปุ๋ยผงถูกห่อหุ้มด้วยแคปซูล (Capsule) ซึ่งโดยทั่วไปมักทำด้วยสารโพลีเอทิลีน (Perforated polyethylene capsule) โดยทั่วไปกลไกในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชผ่านผนังแคปซูลออกมาให้พืชได้ช้าอย่างช้า ๆ นั้น คล้ายคลึงกับปุ๋ยออสโมโค้ท ตัวอย่างของปุ๋ยประเภทนี้ ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย ข้อจำกัดของปุ๋ยประเภทนี้คือไม่เหมาะกับการใช้กับพืชเศรษฐกิจทั่วไป ยกเว้นพืชที่มีราคาแพงที่ปุ๋ยประเภทนี้อาจใช้ได้อย่างคุ้มค่าได้

ตารางที่ 3.1 ปุ๋ยเคมีชนิดของแข็งบางชนิดจำแนกตามความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารของพืช

ประเภทของปุ๋ยเคมี	ปุ๋ยไนโตรเจน	ปุ๋ยฟอสฟอรัส	ปุ๋ยโปแตสเซียม	ปุ๋ยผสม
ปุ๋ยละลายเร็ว	ยูเรีย แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไนเตรท	ซูเปอร์ฟอสเฟต	โปแตสเซียมคลอไรด์ โปแตสเซียมซัลเฟต	ปุ๋ยเชิงผสมและปุ๋ยเชิงประกอบชนิดต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยเชิงผสมสูตร 15-15-15 ปุ๋ยเชิงประกอบสูตร 13-0-46 ฯลฯ
ปุ๋ยกึ่งละลายช้าละลายเร็ว		ปุ๋ย PAPR ปุ๋ยแคลไซด์ฟอสเฟต ปุ๋ยฟิวส์ฟอสเฟต		
ปุ๋ยที่มีธรรมชาติในการละลายช้า	ไอบีดียู (IBDU) ซีดียู (CDU) ยูเรียฟอร์ม (UF)	ปุ๋ยหินฟอสเฟต		แมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต โปแตสเซียมเมต้าฟอสเฟต โปแตสเซียมแคลเซียมไพโรฟอสเฟต
ปุ๋ยที่มีการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร	ปุ๋ยหุ้มผิวเม็ด เช่น ปุ๋ยยูเรียที่หุ้มด้วยกำมะถัน ปุ๋ยแคปซูล		โปแตสเซียมคลอไรด์ ที่ หุ้ม ด้วยกำมะถัน	ปุ๋ยออสโมโค้ท สูตรต่าง ๆ เช่น 13-13-13 ฯลฯ ปุ๋ยนุทรีโค้ท เช่น สูตร 14-14-14 ปุ๋ยพาเอ็กซ์ เช่น สูตร 20-3-12 ปุ๋ยฟลอราไนท์ เช่น สูตร 20-5-8

ข้อดีของปุ๋ยที่มีการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร

1. ปุ๋ยประเภทนี้จะค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมา พืชจึงมีโอกาใช้ในช่วงเวลายาวนานขึ้น ประสิทธิภาพของปุ๋ยประเภทนี้จึงสูงกว่าปุ๋ยที่ละลายง่ายโดยทั่วไป
2. การสูญหายโดยการชะล้างของน้ำมีน้อยลง
3. ไม่ทำให้สารละลายในดินมีความเข้มข้นสูงเกินไปจนเป็นอันตรายต่อพืช แม้ว่าจะใส่ปุ๋ยทั้งหมดตามอัตราที่กำหนดไว้เพียงครั้งเดียว
4. ช่วยให้สภาพทางกายภาพของปุ๋ยดีขึ้นไม่ขึ้นง่าย
5. ใช้ได้กับปุ๋ยสูตรใด ๆ หรือจะผสมธาตุอาหารรอง หรือธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อยร่วมไปด้วยก็ได้

3.1.2 สมบัติบางประการของปุ๋ยเคมี

3.1.2.1 ปริมาณธาตุอาหารรับรอง

ปริมาณธาตุอาหารรับรอง หมายถึง ปริมาณขั้นต่ำของธาตุอาหารในผลึกว่ามีอยู่ในปุ๋ยเคมีที่ผลิต โดยคิดเป็นจำนวนร้อยละของน้ำหนักสุทธิของปุ๋ยเคมี ดังนี้

1. ไนโตรเจนในปุ๋ยบอกโดยร้อยละโดยน้ำหนักของไนโตรเจนทั้งหมด
2. ฟอสฟอรัสในปุ๋ยบอกโดยร้อยละโดยน้ำหนักของกรดฟอสฟอริกที่เป็นประโยชน์ หรือที่ประกาศของทางราชการเรียกว่า ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์
3. โพแทสเซียมในปุ๋ยบอกโดยร้อยละโดยน้ำหนักของโพแทสเซียม (K_2O) ที่ละลายน้ำได้

3.1.2.2 หน้าที่และความสำคัญต่อพืช

ในที่นี้จะกล่าวถึงหน้าที่และความสำคัญต่อพืชสำหรับธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่านั้น

ธาตุอาหารไนโตรเจน

หน้าที่และความสำคัญต่อต้นพืช

1. ทำให้พืชตั้งตัวได้เร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโตและมีความแข็งแรง
2. ส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบและลำต้น ทำให้มีสีเขียวเข้ม
3. เพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่พืชที่ใช้เป็นพืชอาหาร เช่น ข้าวหรือหญ้าเลี้ยงสัตว์

4. ควบคุมการออกดอกออกผลของพืช
5. ช่วยเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น โดยเฉพาะพืชที่ให้ผลและเมล็ด

หากพืชขาดธาตุไนโตรเจนจะแสดงอาการ คือ

1. พืชจะสูญเสียสีเขียว โดยเฉพาะที่ใบจะเห็นใบเป็นสีเหลืองผิดปกติจากใบล่างขึ้นไปสู่ยอด
2. ลำต้นจะพอม กิ่งก้านลีบเล็ก และมีใบน้อย
3. พืชบางชนิดอาจจะมีลำต้นสีเหลือง หรืออาจจะมีสีชมพูเจือปนด้วย
4. ใบพืชที่มีสีเหลือง ปลายใบและขอบใบจะค่อย ๆ แห้งและลุกลามเข้ามาเรื่อย ๆ จนใบร่วงจากลำต้นก่อนกำหนด
5. พืชจะไม่เติบโต หรือโตช้ามาก

แต่ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป

1. ทำให้พืชแก่ช้ำกว่าปกติ
2. มีความต้านทานโรคน้อยลง ต้นอวบนำ ล้มง่าย
3. ทำให้ผลผลิตต่ำลง

ธาตุอาหารฟอสฟอรัส

หน้าที่และความสำคัญต่อต้นพืช

1. ช่วยให้รากดึงดูด โปแทสเซียมเข้ามาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น
2. ช่วยแก้ผลเสียที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป
3. ส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากฝอย และรากแขนงในระยะแรกของการเจริญเติบโต
4. ช่วยเร่งให้พืชแก่เร็ว ช่วยในการออกดอกและสร้างเมล็ดของพืช
5. เพิ่มความต้านทานต่อโรคบางชนิด ทำให้ผลผลิตของพืชมีคุณภาพดี
6. ทำให้ลำต้นของพืชจำพวกข้าวแข็งขึ้น ไม่ล้มง่าย

หากต้นพืชขาดธาตุฟอสฟอรัสจะแสดงอาการคือ

1. พืชจะชะงักการเจริญเติบโตต้นแคระแกรน พืชบางชนิดอาจจะมีลำต้นบิดเป็นเกลียว เนื้อไม้จะแข็งแต่เปราะและหักง่าย
2. รากจะเจริญเติบโตและแพร่กระจายลงไปดินช้ากว่าที่ควร ดอกและผลที่ออกมาจะไม่สมบูรณ์ หรือบางครั้งอาจหลุดร่วงไป หรืออาจจะมีขนาดเล็ก

3. พืชจำพวกลำต้นอวบน้ำ หรือลำต้นอ่อน ๆ จะล้มง่าย
4. ใบแก่จะเปลี่ยนสี หรือพืชบางชนิดใบจะเป็นสีม่วง
5. อาการขาดธาตุฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นกับใบล่าง ๆ ของลำต้นขึ้นไปหายอด

ธาตุอาหารโปแทสเซียม

หน้าที่และความสำคัญที่มีต่อพืช

1. ส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ทำให้รากดูดน้ำได้ดีขึ้น
2. มีความจำเป็นต่อการสร้างเนื้อของผลไม้มให้มีคุณภาพดี
3. ทำให้พืชมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของดินฟ้าอากาศ เช่น มีแสงน้อย อากาศหนาวหรือมีฝนตกชุก
4. ทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคต่าง ๆ
5. ช่วยป้องกันผลเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับพืชเนื่องจากการที่ได้รับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากเกินไป
6. ช่วยเพิ่มคุณภาพของพืชผักและผลไม้ โดยทำให้พืชมีสีสรร ขนาด ความหวาน และการคงทนต่อสภาวะแวดล้อมได้

หากพืชขาดธาตุโปแทสเซียมจะแสดงอาการ คือ

1. ขอบใบมีสีเหลืองจากนั้นจะกลายเป็นสีน้ำตาลโดยเริ่มต้นจากปลายใบเข้าสู่กลางใบ ส่วนที่เป็นสีน้ำตาลจะแห้งเหี่ยวไป จะเกิดจากใบล่างก่อน แล้วจึงค่อย ๆ ลามขึ้นข้างบน พืชที่เห็นชัดคือข้าวโพด
2. ทำให้ผลผลิตตกต่ำ พืชพวกธัญพืชจะทำให้เมล็ดลีบมีน้ำหนักเบา พืชหัวจะมีแป้งน้อยและน้ำมาก ข้าวโพดจะมีเมล็ดไม่เต็มฝัก ฝักจะเล็กมีรูปร่างผิดปกติ ใบยาสูบมีคุณภาพต่ำ ติดไฟยาก กลิ่นไม่ดี พืชจำพวกฝ้ายใบจะมีสีน้ำตาลปนแดง สมอฝ้ายที่เกิดขึ้นจะไม่อ้าเต็มที่มีเมื่อแก่

3.1.3 หลักพิจารณาการใช้ปุ๋ยเคมี

การใช้ปุ๋ยนั้นก็เพื่อเพิ่มธาตุอาหารแก่พืชนั่นเอง แต่การใช้ปุ๋ยเพื่อให้ได้ผลผลิตพืชที่สูงและมีกำไรจากการขายผลผลิตหักค่าปุ๋ยแล้วมีกำไรสูงสุดนั้นก็มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวเนื่องที่ต้องใช้ประกอบการพิจารณา คือ

1. ลักษณะของพืชที่ปลูก

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารที่ต่างกันทั้งปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหาร แม้ว่าเป็นพืชชนิดเดียวกันก็ตาม พืชยังต้องการปริมาณและสัดส่วนธาตุอาหารไปสร้างส่วนต่าง ๆ ของลำต้นที่แตกต่างกันออกไปเช่นกัน จึงอยู่การใช้ปุ๋ยสูตรหนึ่งสูตรใดกับพืชทุกชนิดนั้นใช้ได้แต่ก็ไม่เกิดผลเท่าที่ควร ซึ่งบางพืชต้องการไนโตรเจนมาก ขณะเดียวกันในบางพืชหากได้รับธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะออกดอกติดผลน้อยเหล่านี้เป็นต้น นอกจากนี้ดินบางแห่งแม้ปลูกพืชชนิดเดียวกันก็จริงแต่ปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินไม่เท่ากัน ย่อมใช้ปุ๋ยสูตรเดียวกันในปริมาณที่เท่ากันย่อมได้ผลผลิตที่แตกต่างกัน

2. ดิน

การเกิดดิน คือการผุพังของหินชนิดต่าง ๆ รวมกับเศษซากพืชและซากสัตว์ที่สลายตัวเป็นอินทรีย์วัตถุอยู่ในดินนั้น ๆ มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้เนื้อดินที่แตกต่างกันยังดูดซับเอาปุ๋ยได้ไม่เหมือนกันอีกด้วย

ดินในที่ราบลุ่มภาคกลางมักเป็นดินเหนียว ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือภาคใต้เป็นดินร่วนปนทราย

ดินบางแห่งเป็นดินเค็มหรือดินด่าง บางแห่งเป็นดินเปรี้ยว (ดินกรด) จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์สภาพดินก่อนใส่ปุ๋ยเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้การใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด

3. ชนิดและปริมาณของปุ๋ย

ปุ๋ยเคมีมีมากมายหลายชนิดหลายสูตรที่ให้ปริมาณและสัดส่วนที่ไม่เหมือนกัน คุณสมบัติของปุ๋ยมีทั้งที่เป็นกรดและเป็นด่าง ปุ๋ยบางอย่างสลายตัวให้พืชดูดได้ช้า บางชนิดก็สลายตัวได้เร็ว ในพืชที่ต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงคั้งนั้นปุ๋ยเคมีที่ใช้ต้องมีธาตุทั้งสองที่สูงด้วย แต่ถ้าดินมีปริมาณธาตุอาหารธาตุหนึ่งธาตุใดสูงเพียงพอแล้ว ก็ไม่ควรใช้ปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารนั้น ๆ สูง และปุ๋ยที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดซึ่งไม่เหมาะกับดินเปรี้ยว เพราะทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดินที่เป็นกรดควรใช้ปุ๋ยที่ละลายช้าเพราะกรดช่วยทำลายได้

พืชที่อายุสั้นต้องใช้ปุ๋ยที่ละลายได้ดีเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทันที แต่สำหรับพืชที่มีอายุยาวนาน เช่น ไม้ผล ควรใช้ปุ๋ยที่ละลายให้พืชใช้ได้ในระยะยาวเพียงพอตามที่พืชต้องการ

4. ระยะเวลาการใส่ปุ๋ย

เนื่องจากพืชในระยะต่าง ๆ เริ่มออกไปจนถึงให้ผลผลิตที่เกี่ยวเกี่ยวได้นั้นมีความต้องการธาตุอาหารไม่เหมือนกันต้องเลือกเวลาจังหวะที่เหมาะสมที่พืชต้องการเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดและป้องกันการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนสูญเสียไปจากดินได้ง่ายถ้าใส่ครั้งเดียวจนหมดเพราะพืชดูดไปใช้ได้เพียงจำกัด ปุ๋ยส่วนเกินสูญเสียไปในรูปต่าง ๆ เช่น เปลี่ยนเป็นก๊าซระเหยไปในอากาศ

5. วิธีใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยที่ใส่ลงดินนั้นพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีทั้งหมด ดังนั้นปุ๋ยมีโอกาสสูญเสียได้หลายทาง อาจถูกเม็ดดินตรึงไว้หรือถูกชะล้างโดยน้ำ หรือระเหยไปในอากาศ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไม่ว่าจะโดยวิธีหว่าน การใส่เป็นแถบทาง ใส่เฉพาะที่ หรือใส่ปุ๋ยฉีดเข้าทางใบก็ตาม จำเป็นต้องใส่ให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด สะดวกและง่ายต่อการปฏิบัติทั้งไม่เป็นอันตรายต่อพืชอันเนื่องมาจากความเข้มข้นของปุ๋ย

3.1.4 หลักการให้ปุ๋ยสำหรับไม้ผล

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ซึ่งเป็นปุ๋ยที่ใช้กับไม้ผล เช่น มะม่วง ทุเรียน ฯลฯ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการการให้ปุ๋ยสำหรับไม้ผล ซึ่งมีหลักการการให้ปุ๋ยดังนี้

ต้นไม้ผลต้องการธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม โดยต้องการธาตุไนโตรเจนสูงในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น กิ่งใบ

เมื่อผ่านช่วงการเจริญเติบโตมาอย่างสมบูรณ์แล้ว ต้นไม้ผลจะเข้าช่วงพักตัวระยะหนึ่งเพื่อลำต้นและใบสะสมอาหารพวกแป้งและน้ำตาล เมื่อสะสมแป้งและน้ำตาลเต็มที่แล้วสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในธรรมชาติกระตุ้นให้มันสร้างตาออกขึ้นมา ซึ่งช่วงพักตัวนี้ตั้งแต่ปลายฝน-ช่วงกลางฤดูหนาว การพักตัวคือการหยุดหรือชะลอการเจริญเติบโตทางลำต้น กิ่ง ใบ ช่วงขณะหนึ่งในสภาพธรรมชาติที่ต้นไม้พักตัวคืออากาศที่หนาวชื้น ความชื้นในดินต่ำ (ดินแห้ง) หรือต้นไม้อยู่ในสภาพที่ดูแลเอาธาตุไนโตรเจนได้น้อย เหล่านี้เป็นต้น แต่ถ้าเราช่วยเสริมธรรมชาติให้เกิดการพักตัวที่เต็มที่ก็อาจโดยการหยุดรดน้ำในช่วงดังกล่าว อย่าใส่ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนสูง หรือโดยการใส่ปุ๋ยเคมีสูตรตัวท้ายสูง ๆ เช่นสูตร 8-24-24 เป็นต้น เพื่อให้ธาตุโปแทสเซียมลดบทบาทธาตุไนโตรเจนที่ต้นไม้ผลจะได้รับ การออกดอกก็จะจะเป็นไปตามปกติหรืออาจออกก่อนฤดูกาลได้

หลักการให้ปุ๋ยดังกล่าวนี้ใช้ได้กับไม้ผลเกือบทุกชนิด เช่น ทุเรียน เงาะ ลำไย ลิ้นจี่ มะม่วง หรือแม้แต่พืชตระกูลส้มก็ใช้ได้

อย่างไรก็ตามต้นไม้ผลจะออกดอกได้ต้องผ่านช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น กิ่งใบ มาเป็นอย่างดีแล้วก่อนพักตัว ไม่มีการถูกทำลายด้วยโรคและแมลง

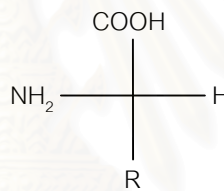
3.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรตีนและโปรตีนจากกากถั่วเหลือง

สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้น 2 ส่วน คือ ความรู้เบื้องต้นโดยทั่วไปเกี่ยวกับโปรตีน และความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรตีนจากกากถั่วเหลือง

3.2.1 ความรู้เบื้องต้นโดยทั่วไปเกี่ยวกับโปรตีน

คำว่า โปรตีน นั้นทับศัพท์มาจาก **Protein** ในภาษาอังกฤษ ซึ่งมีความหมายว่าสำคัญที่สุด โปรตีนเป็นโพลิเมอร์จำพวกโพลิอิมิดของ α - อะมิโนคาร์บอกซิลิกแอซิดหรืออะมิโนแอซิด สายโพลิเมอร์ดังกล่าวเรียกว่า โพลีเปปไทด์ และพันธะอิมิดที่ต่อเชื่อม α - อะมิโนคาร์บอกซิลิกแอซิดแต่ละตัวนั้นเรียกว่า พันธะเปปไทด์

Amino acid



รูปที่ 3.1 α - amino acid

3.2.1.1 ประเภทของโปรตีน

โปรตีนเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีอยู่จำนวนมาก การแบ่งประเภทของโปรตีนตามโครงสร้างเพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ จึงมีการแบ่งประเภทโปรตีนด้วยวิธีอื่นๆ เช่นการแบ่งประเภทจากแหล่งที่มา (เช่น โปรตีนพืช โปรตีนสัตว์ โปรตีนแบคทีเรีย โปรตีนไวรัส) หรืออาจแบ่งตามบริเวณที่พบในอวัยวะต่าง ๆ เช่น พลาสมาโปรตีน (Plasma proteins) โปรตีนกล้ามเนื้อ (Muscle proteins) โปรตีนจากนม (Milk proteins) โปรตีนจากไข่ (Egg proteins) นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งตามหน้าที่ทางชีววิทยา เช่น เอนไซม์โปรตีน (Enzyme protein) โปรตีนโครงสร้าง (Structural protein) โปรตีนพาหะ (Carrier protein) โปรตีนสะสม (Storage protein)

การแบ่งประเภทของโปรตีนในระยะแรก จะแบ่งตามการละลายและโครงสร้างของโมเลกุล คือ

1. **กลอบบูลาร์โปรตีน (Globular protein)** มีคุณสมบัติละลายน้ำหรือสารละลายเกลือเจือจาง โครงสร้างโมเลกุลของ Globular protein ประกอบด้วย chain ของกรดอะมิโนขดไปมา เป็นก้อนกลมโดยการยึดเหนี่ยวด้วย H-bonding และ Disulfide bond

2. **ไฟบรัสโปรตีน (Fibrous protein)** ไม่ละลายน้ำหรือสารละลายเกลือ มีโครงสร้างเป็นเส้นสาย ทนกรด ด่าง และเอนไซม์โปรตีเอส

ในระยะต่อมา การแบ่งโปรตีนตามสารที่เป็นองค์ประกอบ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. **โปรตีนอย่างง่าย (Simple protein)** คือ โปรตีนที่เมื่อไฮโดรไลซ์ทั้งหมดแล้วจะได้กรดอะมิโนเท่านั้น

2. **คอนจูเกตโปรตีน (Conjugated protein)** เมื่อไฮโดรไลซ์ทั้งหมดแล้วจะได้กรดอะมิโนและสารอื่น

3.2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีน

1. กรดอะมิโน – หน่วยย่อยพื้นฐานของโปรตีน

โปรตีนทุกชนิดเมื่อถูกย่อยสลายด้วยกรดจะได้กรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ผสมกัน ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนเป็นโพลิเมอร์สายเดี่ยว (Linear polymer) โดยมีกรดอะมิโนเป็นหน่วยย่อย (monomer) แม้ว่ากรดอะมิโนในโลกมีจำนวนมากมาย แต่ที่พบในโปรตีนโดยทั่วไปแล้วมีเพียง 20 ชนิดเท่านั้น และเป็นที่ทราบแน่ชัดว่าทั้งหมดเป็นกรดอะมิโน L- α -amino acids

2. โพลีเปปไทด์

หมู่คาร์บอกซิลในคาร์บอนอะตอมตำแหน่งแรกของกรดอะมิโนตัวหนึ่งทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนอีกตัวหนึ่งเกิดพันธะโคเวเลนต์ขึ้นและมีชื่อเรียกว่าพันธะเปปไทด์ โปรตีนเกิดจากการเชื่อมต่อกันของกรดอะมิโนด้วยพันธะเปปไทด์เป็นสายยาวซึ่งในบางครั้งเรียกว่าโพลีเปปไทด์ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนโดยทั่วไปมีความแตกต่างกันที่ชนิดและสัดส่วนของกรดอะมิโนในสายโปรตีนแต่ละชนิด

3.2.1.3 คุณสมบัติของโปรตีน

มักขึ้นกับชนิดและกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ โปรตีนโดยทั่วไปมีคุณสมบัติร่วมบางประการเหมือนกัน และมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน

1. ขนาด

จำนวนกรดอะมิโนเป็นตัวกำหนดความยาวของสายโปรตีนแต่ละชนิด โปรตีนบางชนิดอาจประกอบขึ้นด้วยโพลีเปปไทด์มากกว่า 1 สาย โปรตีนที่มีจำนวนกรดอะมิโนมาก (สายยาว) มักมีน้ำหนักโมเลกุลมาก แต่ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของกรดอะมิโนด้วย

2. ประจุ

โมเลกุลของโปรตีนมีประจุจำนวนมาก (polyvalent) เกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวของหมู่แอมโซนิก ประจุเหล่านี้มีความสำคัญต่อคุณสมบัติในการละลายและเกิดโครงสร้างสามมิติของโมเลกุลโปรตีน

3. การละลาย

โปรตีนโดยทั่วไปละลายน้ำได้ดี โดยเฉพาะในสารละลายต่าง แต่มักตกตะกอนในสารละลายกรด และตัวทำละลายอินทรีย์ pH และความเข้มข้นของเกลือในสารละลายมีผลอย่างมากต่อการละลายน้ำของโปรตีนแต่ละชนิด

4. ปฏิกิริยาเคมี

หมู่กรด (-COOH) หมู่อะมิโน (-NH₂) และหมู่แอมโซนิกของกรดอะมิโนในสายโปรตีนทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่าง ๆ ได้

สารเคมีหลายชนิดรวมทั้งโลหะหนัก สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนและทำให้เปลี่ยนแปลงจนไม่สามารถทำหน้าที่ทางชีวภาพตามปกติได้ สารเคมีเหล่านี้จัดได้ว่าเป็นสารพิษ

5. คุณสมบัติทางชีวภาพ

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งของโปรตีน เป็นผลให้สามารถทำหน้าที่ต่าง ๆ ช่วยให้มีชีวิตสามารถดำรงอยู่ได้ เช่น มีคุณสมบัติเป็นเอนไซม์ช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมี ฯลฯ คุณสมบัติทางชีวภาพนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างสามมิติของโมเลกุลโปรตีนเป็นอย่างมาก

3.2.1.4 โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีน

แม้ว่าโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์เป็นสายเดี่ยว แต่โครงสร้างโมเลกุลที่แท้จริงของโปรตีนในธรรมชาติมีรูปร่างลักษณะ 3 มิติ ซึ่งแตกต่างกันระหว่างโปรตีนแต่ละชนิด รูปร่าง 3 มิติที่แตกต่างกันนี้เป็นผลให้โปรตีนแต่ละชนิดทำหน้าที่เฉพาะอย่างได้อย่างจำเพาะ

โครงสร้างของโปรตีนจากสายยาวจนเกิดเป็นรูปร่าง 3 มิติ เนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากหมู่ที่บนพันธะเปปไทด์และหมู่แขนงข้างของกรดอะมิโนในสายโปรตีน รวมทั้งต่อสภาวะแวดล้อมในสารละลายซึ่งมีได้หลายลักษณะ (รูปที่ 3.2)

เราอาจแบ่งการเกิดโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนได้เป็น 4 ระดับ

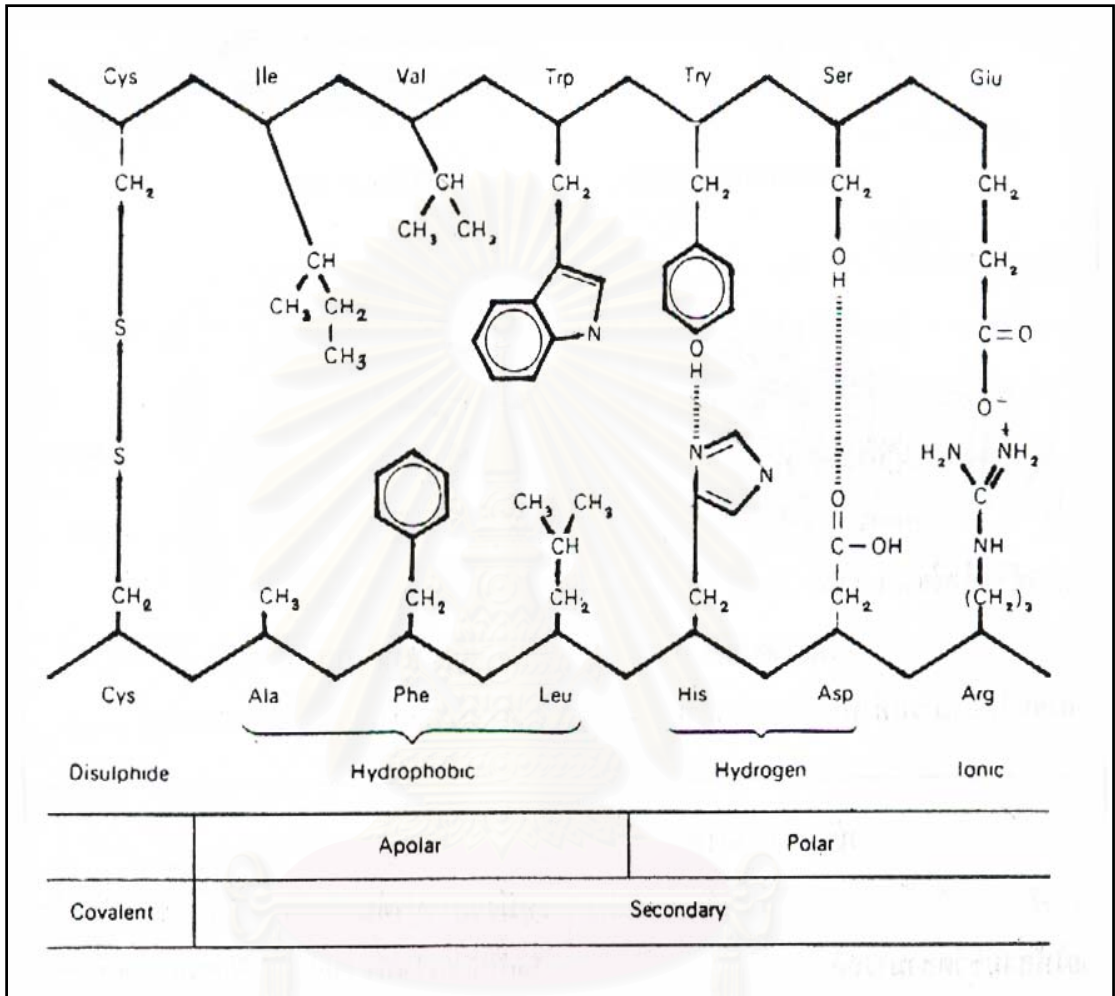
1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure) หมายถึงลำดับของกรดอะมิโนที่เรียงกันโปรตีนต่างชนิดมีโครงสร้างปฐมภูมิต่างกัน

2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure) บางส่วนของสายยาวสามารถขดเป็นระเบียบเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนของหมู่ $-CO$ และ $-NH_2$ ของสารโปรตีน โครงสร้างระดับนี้พบอยู่ 2 แบบ คือ เกลียว (α -helix) และแผ่นพับ (β -pleated sheet) โครงสร้างระดับนี้จะเกิดเป็นแบบใด มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนในส่วนนั้นของสายโปรตีน

3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure) นอกจากบริเวณที่เป็นเกลียวและแผ่นแล้ว ส่วนอื่นของสายโปรตีนยังสามารถขดเป็นลักษณะอื่นได้อีก เป็นผลให้โครงสร้างของโปรตีนซึ่งเริ่มจากสายยาวกลายเป็นลักษณะ 3 มิติ โครงสร้างตติยภูมิประกอบด้วยส่วนที่เป็นระเบียบของโครงสร้างทุติยภูมิรวมกับส่วนที่ไร้ระเบียบ (รูปที่ 3.3)

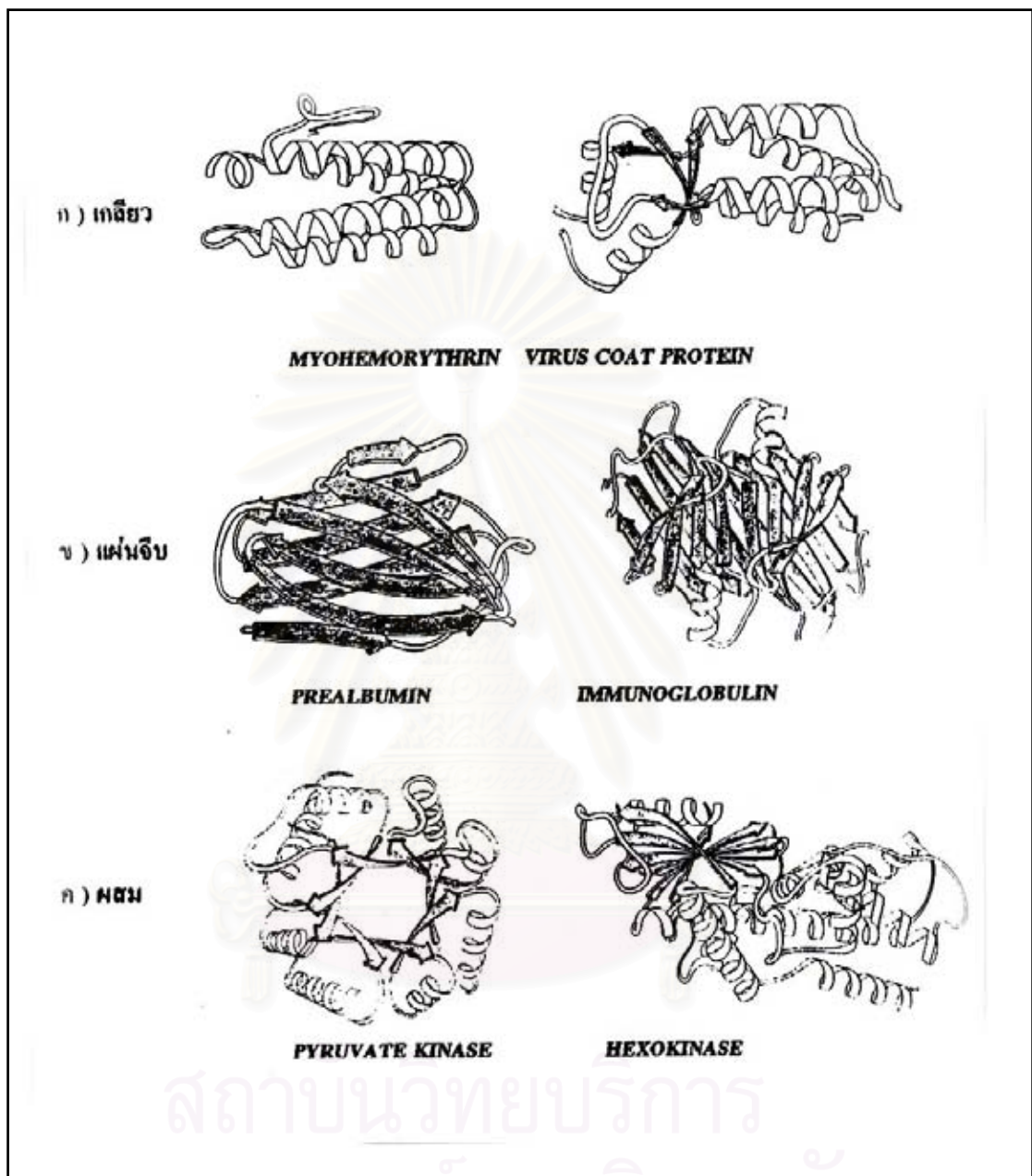
โปรตีนบางชนิดมีโครงสร้างตติยภูมิเป็นลักษณะก้อนขี้กกลม (Globular proteins) บางชนิดเป็นลักษณะค่อนข้างยาว (Fibrous proteins) แตกต่างกันไป รูปร่างต่าง ๆ นี้อาจเปลี่ยนแปลงได้โดยเกิดการ Derivative (ถูกความร้อน , เกิดปฏิกิริยา) บางชนิดกลับคืนสภาพได้เรียก Renature บางชนิดไม่สามารถกลับคืนสภาพได้

4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure) เป็นโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนที่เกิดจากหลายสายมาประกอบกัน แต่ละสายเรียกว่าหน่วยย่อย (Subunit) ซึ่งมีโครงสร้างตติยภูมิของตนเอง การรวมตัวของหน่วยย่อยเป็นโครงสร้างจตุรภูมินี้ช่วยให้โปรตีนมี Activity ในการทำงานที่สลับซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.2 แรงยึดเหนี่ยวโครงสร้างโมเลกุลในโปรตีน



รูปที่ 3.3 ภาพวาดแสดงโมเลกุลโปรตีนที่มีส่วนที่เป็นเกลียวและแผ่นพับ

3.2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรตีนจากกากถั่วเหลือง

3.2.2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลือง

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีนและไขมันจากพืชที่มากที่สุดแหล่งหนึ่งและพบว่าในเนื้อถั่วเหลืองโดยเฉพาะส่วนของใบเลี้ยงมีปริมาณโปรตีนและไขมันรวมกันอยู่ในราว 60% ของน้ำหนักถั่วทั้งหมด และ 30% เป็นพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งรวมถึงพวกน้ำตาลที่มีโมเลกุลต่าง ๆ คือ Starchyose มีประมาณ 3.8% น้ำตาล Raffinose มีประมาณ 1.1% และน้ำตาลซูโครสมีประมาณ 5.0% ส่วนที่เหลือเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น ๆ นอกจากนั้นยังมีสารอาหารประเภท Phosphatides, sterols Ash ซึ่งเป็นพวกแร่ธาตุ และวิตามิน เป็นต้น และสำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวเพียงสารอาหารโปรตีนในถั่วเหลือง (Soybean Protein) เท่านั้น

โดยทั่วไปเมื่อบริโภคถั่วเหลืองเรามักจะคิดถึงสารอาหารโปรตีนที่เราจะได้จากถั่วเหลืองเป็นอันดับแรก ทั้งนี้เพราะโปรตีนเป็นสารอาหารหลักในถั่วเหลืองนั่นเอง และเพื่อก่อให้เกิดความเข้าใจดีขึ้นจึงควรที่จะกล่าวถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโปรตีนในถั่วเหลือง ด้วยเหตุผลที่ว่าโปรตีนหลายชนิดรวมทั้งโปรตีนถั่วเหลืองนั้นจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงโดยสภาวะการต่าง ๆ (Treatments) ทั้งทางกายภาพ เช่น แสงแดด ความร้อน และทางเคมี เช่น สภาวะความเป็นกรดด่าง ปริมาณอนุมูลอิสระหรือสารเคมีอื่น ๆ เป็นต้น ยังผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ทำให้การละลายตัวลดลง ขนาดของโมเลกุลโปรตีนเปลี่ยนไป และมีความหนืด เป็นต้น

1. ชนิดของโปรตีน โปรตีนในถั่วเหลืองจะถูกสะสมอยู่ในเซลล์ของเนื้อถั่วเหลือง โดยสะสมกันเป็นที่เรียกว่า Protein bodies หรือ Storage Proteins ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-20 ไมครอน แต่ส่วนใหญ่มีขนาด 5-8 ไมครอน และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 200,000 – 600,000 ในสภาวะธรรมชาติ โมเลกุลของโปรตีนขนาดใหญ่เหล่านี้ยังสามารถจับตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ได้อีกด้วยการเชื่อมกันของ disulfide linkage polymer และโปรตีนที่แยกมาได้เพื่อทำผลิตภัณฑ์นั้นจะเป็นชนิดของโปรตีนที่เปลี่ยนสภาพโดยการเกิดปฏิกิริยาที่ซับซ้อนรวมกันอยู่โดยที่อย่างน้อย 7 ชนิดของโปรตีนจะจับกันเป็น subunits ซึ่งอาจถูกทำให้โมเลกุลเปลี่ยนขนาดไปโดยสภาวะต่าง ๆ

ในการเรียกชื่อของโปรตีนนั้นปัจจุบันยังไม่มีระบบการเรียกชื่อที่ใช้กัน แต่เนื่องจากได้มีนักวิจัยค้นคว้าและกำหนดชื่อเรียกกันตามลักษณะต่าง ๆ เช่น ในบรรทัดฐานของ Sedimentation Coefficients ซึ่งค่าของ Sedimentation properties จะขึ้นอยู่กับสภาพของ buffer condition, pH และปัจจัยอื่น ๆ เช่น ionic strength ในส่วนของ Protein bodies นั้น โปรตีนส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่ชื่อว่า Globulin ซึ่งเป็นโปรตีนที่สามารถแยกออกมาใช้ได้และประกอบด้วย 2S, 7S, 11S และ 15S fractions โดยที่มีปริมาณ fraction ของ 2S น้อย ส่วนโปรตีนที่มีชื่อว่า Trypsin inhibitors (ซึ่งเป็น

โปรตีนที่ทำหน้าที่ได้ functional หรือ biological active proteins, enzymes) จะมี fraction ของ 2S อยู่มากในส่วนของโปรตีนที่สกัดออกมาด้วยน้ำนั้นมักจะมีอยู่ในส่วนของ cytoplasm ของเซลล์มากกว่าใน Protein bodies

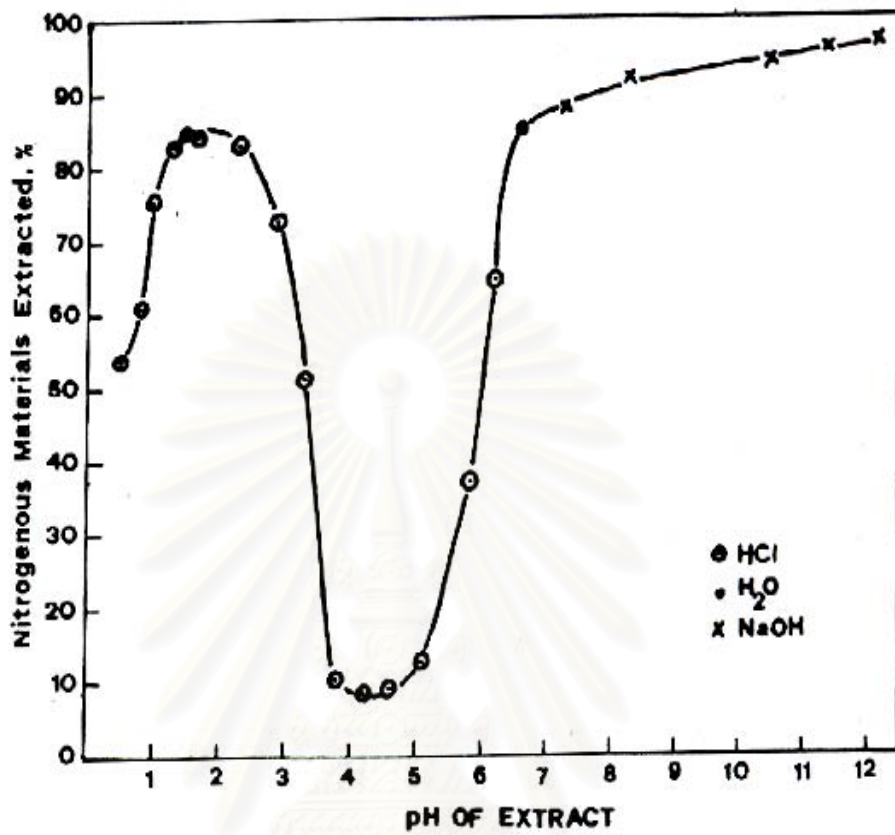
จากการแยกเอาส่วนของ Protein bodies โดยใช้ถั่วเหลืองที่สกัดไขมันออกแล้วที่ความละเอียด 350 mesh แล้วนำมาละลายน้ำเชื่อม และปรับ pH ให้อยู่ที่ 5 ซึ่งเป็น pH ที่มีค่าการละลายตัวต่ำสุดของโปรตีนส่วนใหญ่ และเพื่อป้องกันการกระจายตัวของ Protein bodies จากนั้นจึงนำไปเหวี่ยงซึ่งจะได้เป็นตะกอน 2 band คือ light fraction ตะกอนจะก่อตัวที่ความหนาแน่นต่ำกว่า 1.30 และ heavy fraction ความหนาแน่นที่ 1.32 ตามลำดับ

ในส่วนที่เรียกว่า Protein fraction ของถั่วเหลืองนั้นได้มีผู้แบ่ง fraction ต่าง ๆ เป็นชนิดของโปรตีน โดยแยกเป็นขนาดของโมเลกุล จำนวนเป็นร้อยละและกำหนดชื่อตามหน้าที่ของชนิดของโปรตีนนั้น ๆ ดังในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณและชนิดของโปรตีน โดยการใช้ Ultracentrifuge แยกจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ละลายน้ำได้

Fraction	% ของทั้งหมด	ชนิดของโปรตีน	น้ำหนักโมเลกุล
2S	22	- Trypsin Inhibitors - Cytochrome C	8,000 – 21,500 12,000
7S	37	- Hemagglutinins - Lipoxigenases - β -Amylase - 7S-Globulin	110,000 102,000 61,700 180,000 – 210,000
11S	31	- 11S-Globulin	350,000
15S	11	-	600,000

2. การละลายของโปรตีน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าโปรตีนในถั่วเหลืองส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภท Globulin ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นชัดอันหนึ่งคือ จะไม่ละลายน้ำในสภาวะที่มี pH อยู่ในช่วงที่เรียกว่า Isoelectric points ซึ่งเป็นจุดที่มี pH ประมาณ 4.2 - 4.6 ดังในรูปที่ 3.4 แต่จะยังละลายได้ในกรณีที่เติมเกลือของ Sodium หรือ Calcium Chloride ลงไป ถ้า pH สูงหรือต่ำกว่าจุด Isoelectric pH, Globulin ก็จะสามารถละลายได้ในสภาวะที่ไม่มีเกลืออยู่ และจากการทดลองโดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันออกแล้วนำมาละลายที่ pH 6.5 พบว่าประมาณ 85% ของ Nitrogenous component (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีน) จะละลายได้ และเมื่อใส่ด่างลงไปจะพบว่าค่าการละลายจะ



รูปที่ 3.4 คุณสมบัติการละลายตัวของโปรตีนของถั่วเหลืองในสภาวะของ pH ต่าง ๆ

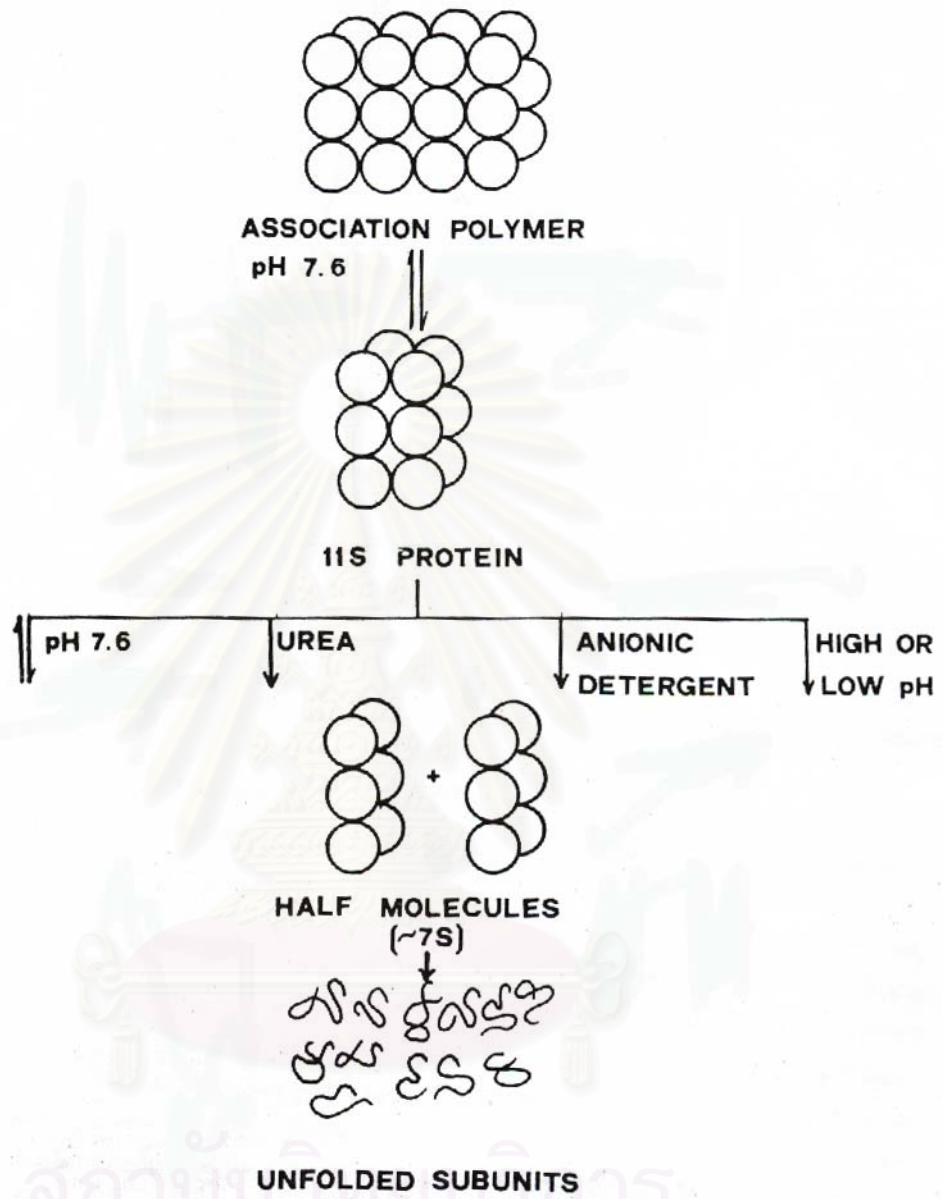
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพิ่มขึ้นอีก 5 – 10% แต่ถ้าใส่กรดลงไปค่าการละลายจะลดลงทันที และการละลายมีค่าต่ำสุดที่ pH 4.2 – 4.6 ซึ่งเป็นช่วงของ Isoelectric region และโปรตีนที่ไม่ละลายที่จุดนี้จะสามารถนำไปเตรียมโปรตีนสกัดที่เรียกว่า Protein Isolate เมื่อเพิ่มปริมาณกรดลงไปอีกจนเลยจุด Isoelectric pH จะพบว่าโปรตีนกลับละลายได้อีก

โปรตีนถั่วเหลืองหรือ Globulin นี้สามารถที่จะเปลี่ยนคุณสมบัติการไม่ละลายน้ำที่จุด Isoelectric point ได้โดยการใช้ Enzyme pepsin เอนไซม์นี้จะตัดขนาดของโมเลกุลให้เล็กลง ซึ่งในการทำให้เป็น Modified globulin ก็จะมีประโยชน์ในการนำไปใช้ในอาหารที่มีกรดรวมอยู่ด้วยเป็นต้น

3. ขนาดโมเลกุลของโปรตีน ขนาดของโมเลกุลของโปรตีนที่พบในถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ย ดังในตารางที่ 3.2 ซึ่งแต่ละ fraction ของ protein มีชื่อคือ 2, 7, 11 และ 15 S ซึ่งขึ้นอยู่กับ Sedimentation rates และแต่ละ fraction บอกถึงชนิดของโปรตีนด้วย เช่น 2S fraction จะมีประมาณ 22% ของโปรตีนทั้งหมด และประกอบไปด้วยโปรตีนประเภท Trypsin inhibitors, Cytochrome C. และโปรตีนอื่น ๆ 7S-fraction มีปริมาณถึง 37% ของโปรตีนทั้งหมด และมี 4 ชนิดของโปรตีน ได้แก่ Hemagglutinins, Lipoxigenases, β -amylase และ 7S-Globulin ซึ่งโปรตีน Lipoxigenases เป็นโปรตีนที่น่าสนใจสำหรับนักวิทยาศาสตร์การอาหาร ทั้งนี้เพราะมันสามารถสับคาบกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวสูง อันจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น 7S-Globulin Protein เป็นโปรตีนประเภท Glycoprotein และมีปริมาณมากประมาณครึ่งหนึ่งของ 7S-fraction ส่วนโปรตีนของ 11S-fraction ซึ่งมีประมาณ 31% ของโปรตีนทั้งหมดนั้นเป็นชนิดเดียวของ 11S-Globulin Protein และใน 15S-fraction ยังไม่มีการแยกมาศึกษาอีกมากนัก ซึ่งก็พบว่ามีความขนาดของโมเลกุลสูงถึง 600,000

โปรตีนในถั่วเหลืองส่วนใหญ่จึงเป็นประเภท 7S และ 11S-Globulin Protein ซึ่งมีบทบาทในการนำมาใช้ในปัจจุบันั้นมันมีคุณสมบัติอย่างหนึ่งคือการที่โมเลกุลของโปรตีนทั้งสองสามารถเชื่อมกันด้วย Disulfide-linked polymer และทำให้เกิดตะกอนขึ้นได้โดยการเชื่อมโยงกันมากขึ้นเป็น polymerization ในขณะที่ทำการสกัดโปรตีนบริสุทธิ์ การเชื่อมกันของโมเลกุลเป็น disulfide polymers นอกจากจะทำให้การละลายของโปรตีนลดลงแล้วยังทำให้เกิดลักษณะขุ่น (Turbidity) และมีความหนืดเพิ่มขึ้นในลักษณะของสารละลายโปรตีน การแยก Disulfide linked protein อาจทำได้โดยใช้สารประเภท Mercaptoethanol, Cysteine, Sodium sulfite เป็นต้น ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลของ 11S Protein อันเนื่องมาจากสาเหตุด้าน pH และความเข้มข้นของ ions นั้นแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.5



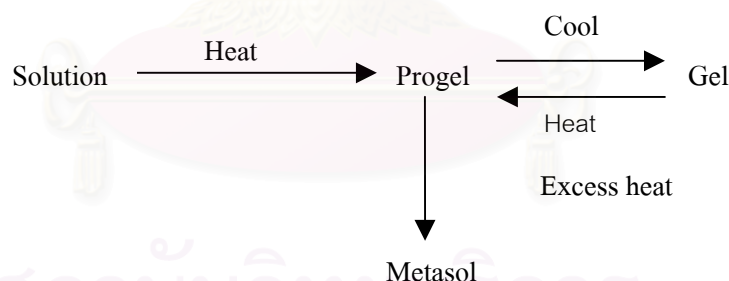
รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง Quaternary Structure ของ 11S Protein ในอู่เกลือ

4. การเปลี่ยนจากสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Denaturation) เนื่องจากโปรตีนในถั่วเหลืองเป็นโปรตีนที่ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน (Denature protein) ก็คือ ผลจากการใช้ความร้อนและผลจากที่เปลี่ยนแปลงของ pH ที่รุนแรงโดยมีรายละเอียดดังนี้

ก) การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน (Heat Denaturation) จากการศึกษาพบว่า โปรตีนจะมีการละลายได้ในน้ำลดลงอย่างรวดเร็วจากการที่ถูกความร้อน โดยจะลดลงจาก 80% เหลือเพียง 20 – 25% ในการให้ความร้อนเพียง 10 นาที

การให้ความร้อนกับสารละลายของโปรตีนถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้นสูงประมาณ 7% ก็จะทำให้มีค่าของความหนืด (Viscosity) เพิ่มขึ้น และทำให้เกิดเป็นวุ้นแข็ง (Gel) ได้ ซึ่งการให้ความร้อนนี้จะใช้เพียง 10 – 30 นาที ที่อุณหภูมิ $70^{\circ} - 100^{\circ}\text{C}$ แต่ถ้าให้ความร้อนสูงขึ้นเป็น 125°C เจลนี้ก็จะเปลี่ยนสภาพกลับเป็นสารละลายได้อีก หรือการใช้สารเพิ่มการละลายเช่น Cysteine, Sodium sulfite ก็จะช่วยลดความหนืดและป้องกันการเกิดเป็นเจลได้ ทั้งนี้เจลของโปรตีนเกิดจากการเชื่อมกันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนที่เรียกว่า Disulfide bonds และ Sulfhydryl-disulfide interchange ก็จะช่วยให้เกิดความอยู่ตัวของ Protein network รวมทั้ง Intramolecular disulfide bonding

คุณสมบัติในการเปลี่ยนสภาพของโปรตีนเป็นเจลอันเนื่องมาจากความร้อน อาจแสดงเป็น diagram คือ



ในการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดเป็นเจลของโปรตีนประเภท acid precipitated globulins พบว่า ความร้อนจะทำให้ Solution เปลี่ยนสภาพโดยไม่กลับเป็น Progel ซึ่งเมื่อทำให้เย็นลงก็จะกลายเป็น Gel ซึ่งเจลนี้จะเปลี่ยนสภาพเป็น Progel ได้โดยการให้ความร้อนใหม่ และระหว่างการให้ความร้อนใหม่เพื่อทำให้ gel เป็น progel นี้ ความหนืดจะเพิ่มตามอุณหภูมิที่ให้อุ่นกระทั่งถึงจุดสูงสุด และเมื่อถึงจุดนี้แล้วความหนืดจะเริ่มลดลงเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่กลับไม่ได้เป็น Metasol ซึ่งจะไม่กลับเป็นเจลอีกเมื่อเย็นลง ทั้งนี้เพราะสารที่เป็นพวก Disulfide-Cleaving Agents จะเปลี่ยน Progel เป็น Metasol

ข) การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกรด-ด่าง การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างอย่างรุนแรงจะมีผลให้โปรตีนประเภท globulins ในถั่วเหลืองเปลี่ยนสภาพไป (denature) กล่าวคือ ถ้าค่าของ pH สูง เช่น pH 12 จะทำให้เปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลย่อยของ 7S, 11S และ globulin อื่น ๆ และปฏิกิริยาจะไม่กลับที่เดิมเมื่อปรับสภาวะของ pH ให้เป็นกลาง และถ้าค่าของ pH ต่ำลง (เช่น pH 3.8 – 2.0, 0.6 ionic strength) ก็จะทำให้เกิดการแตกตัวของ Quaternary Structure เป็น subunits และปฏิกิริยาไม่สามารถกลับที่เดิมได้เช่นกัน

ค) การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนเนื่องจากตัวทำละลาย ตัวทำละลายต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนชื่อ globulins ได้แก่ methanol, ethanol, Isopropanol, butanol และ Acetone เป็นต้น ตัวทำละลายเหล่านี้ถ้าอยู่ในรูปของสารละลายในน้ำจะมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าตัวทำละลายที่อยู่ในรูปของสารบริสุทธิ์

5. การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองมาใช้ วิธีที่จะนำเอาส่วนของโปรตีนในถั่วเหลืองออกมาใช้นั้นจะขึ้นกับคุณสมบัติของโปรตีนในถั่วเหลืองเอง และความต้องการด้านคุณสมบัติของโปรตีนเป็นหลัก วิธีการที่นำมาใช้กันอยู่มีวิธีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ก. การใช้วิธีการตกตะกอนที่จุด Isoelectric pH: จากคุณสมบัติของโปรตีนในถั่วเหลือง คือสามารถละลายได้ในน้ำที่มีสภาวะความเป็นกลาง และค่อนข้างไปในทางด่าง และละลายได้ในสภาวะที่มีสภาพเป็นกรด pH 1-3 แต่จะไม่ละลายที่สภาวะความเป็นกรดและด่าง (pH) ที่ 4.2-4.6 ซึ่งเรียกจุดนี้ว่า Isoelectric pH ที่ pH ช่วงนี้โปรตีนในถั่วเหลืองส่วนใหญ่จะแยกตัวออกจากน้ำ ทำให้เราสามารถแยกเอาส่วนของโปรตีนนี้ออกมาได้ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วถ้าเป็นโปรตีนที่เรียกว่า Globulins โปรตีนบางส่วนที่ยังสามารถละลายได้อยู่ในสภาวะที่ pH 4.2-4.6 เรียกว่า Whey Protein ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นส่วนของ Globulin ที่แตกตัวออกไปจับกับสาร Phytate หรือจับกับสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ๆ อื่น ๆ โปรตีนถั่วเหลืองที่แยกออกมาโดยวิธีนี้จะสามารถสกัดเอาโปรตีนออกมาได้ถึง 90% ส่วนอีก 10% จะอยู่ในรูปของ Whey Protein

ข. การแยกโดยใช้อนุมูลอิสระ (Metal cations) อนุมูลโลหะที่ใช้กันอย่างกว้างขวางโดยทั่วไปคือ แคลเซียม และแมกนีเซียม

ค. การใช้ความเย็นในการแยกโปรตีน (Cryoprecipitation) เป็นวิธีการที่ง่ายและละอุนนุ่มนวลแบบหนึ่งในการแยกเอาโปรตีนถั่วเหลืองออกมาจากสารละลายโปรตีน (Protein solution) ขึ้นตอนจะเริ่มจากการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 25-40°C โดยใช้อัตราส่วนของน้ำไม่มาก

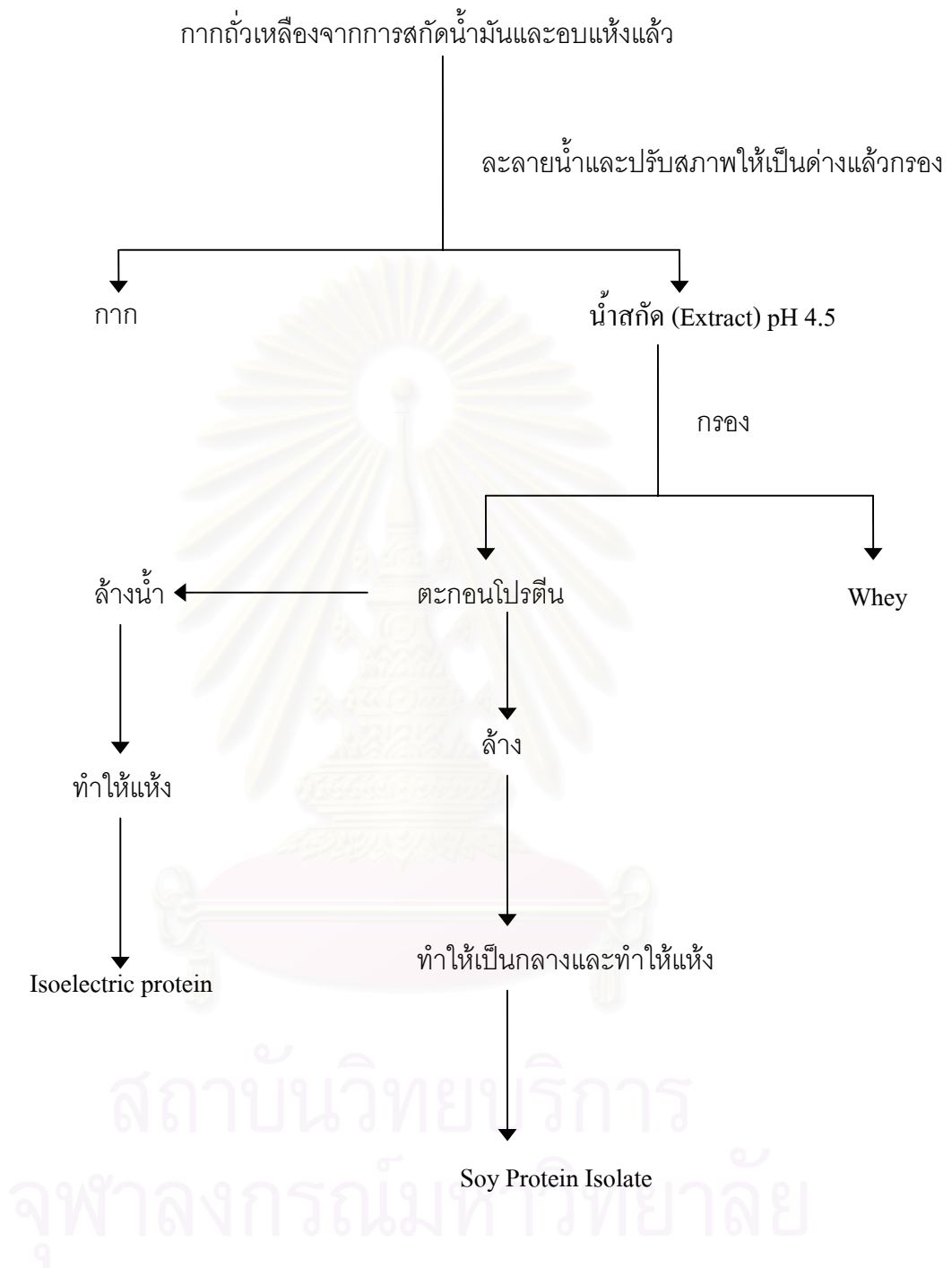
น้ำ แล้วเอาสารละลายโปรตีนนี้ไปทำให้เย็นลงที่ 0°C โปรตีนจะมีลักษณะนุ่มและตกตะกอนออกมาซึ่งเมื่อนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงที่อุณหภูมิเย็นก็จะได้โปรตีนแยกออกมา วิธีนี้สามารถแยกเอาโปรตีนออกมาได้ถึง 70-88%

3.2.2.2 การทำ Soy Protein Isolate (SPI)

การทำ Soy Protein Isolate (SPI) เป็นการทำให้โปรตีนให้มีความบริสุทธิ์โดยการกำจัดพวก Water Insoluble Polysaccharides และ water soluble sugar รวมทั้งสาร Minor constituents อื่น ๆ ขั้นตอนการผลิตจะเริ่มจากการใช้แป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีไขมันและมีค่าของการละลายโปรตีนสูงมาละลายน้ำ และปรับให้อยู่ในสภาวะที่เป็นด่างเล็กน้อย (pH 7-9) ด้วยด่างที่เจือจาง โดยรักษาอุณหภูมิที่ 50-55°C จากนั้นก็นำมาผ่านการแยกเอาส่วนที่ไม่ละลายออกไปโดยใช้การกรอง (ส่วนที่เป็นกาก residue จะได้แก่สารพวก Water Insoluble Polysaccharides และบางส่วนของโปรตีน) จากนั้นก็นำเอาส่วนที่เป็น filtrate มาปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 4.5 (Isoelectric region) ด้วยกรด (food grade acid) ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่ก็จะตกตะกอน จากนั้นก็กรองเอาตะกอนออกและล้างตะกอนด้วยน้ำ ถ้าเอาไปอบแห้งเลยในช่วงนี้จะได้เป็น Isoelectric Protein แต่ถ้านำเอาตะกอนที่ล้างแล้วไปละลายน้ำ และปรับสภาพให้เป็นกลาง (Neutralize) ก่อน แล้วจึงนำไปทำให้แห้งโดยการ Spray drying ก็จะได้เป็น SPI ขั้นตอนการทำจะแสดงในรูปที่ 3.6

Soy Protein Isolate ที่มีขายโดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบดังนี้

- Protein	92-94 %
- Moisture	4-7 %
- Crude fiber	0.1-0.2%
- Ash	2-3.8 %
- NSI	85-95
- pH (1:10 aqueous dispersion)	6.8-7.1



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำ Soy Protein Isolate

3.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการทำ Film Coating

การทำ Film Coating เป็นการเคลือบอนุภาควิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมทางด้านเภสัชกรรม เกษตรกรรม และทางด้านอาหาร ฯลฯ โดยใช้สารบางชนิดมาเคลือบอนุภาค (core particles) ให้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ติดอยู่บน core particle ซึ่งน้ำหนักของอนุภาคที่เคลือบได้จะเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ข้อดีของการทำ Film Coating

1. ประหยัดเวลาในการเคลือบ ทำให้ประหยัดต้นทุนในการผลิตทั้งนี้เพราะว่าจะประหยัดเวลาที่ใช้ในการเคลือบ ประหยัดแรงงานของคนงานตลอดจนพลังงานที่ใช้ในการเคลือบ
2. ปริมาตรและน้ำหนักของอนุภาคที่เคลือบเสร็จแล้วจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดความประหยัดภาชนะที่ทำการบรรจุ ค่าขนส่ง ตลอดจนเนื้อที่ที่จะต้องใช้ในการเก็บผลิตภัณฑ์
3. สามารถป้องกัน core particle จากสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น แสงแดด ตลอดจนอากาศ ไม่ให้เกิดการเสื่อมคุณภาพ
4. สามารถควบคุมการปลดปล่อยของสารที่มีอยู่ใน core particle ได้
5. สามารถทำการลบลกัสน์ รส ที่ไม่พึงปรารถนาของ core particle ได้

3.3.1 ส่วนประกอบของสารเคลือบที่ใช้ทำ Film Coating

1. Film Formers

Film Formers มีอยู่ด้วยกันหลายตัว ในระยะแรก ๆ นั้นใช้สารที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ Shellac, waxes ต่อมามีการนำเอาพวก Cellulose derivatives และ Resin มาใช้ทำการเคลือบ

Film Formers ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

- สามารถละลายได้ดีใน Organic Solvent ได้หลายชนิด เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้ Solvent ได้อย่างกว้างขวาง
- สามารถที่จะทำให้ได้ Film ที่เรียบและเป็นมัน
- มีความคงทนต่อความร้อน แสง ความชื้น ในบรรยากาศตลอดจนไม่เกิดปฏิกิริยาใด ๆ กับตัว core particle ที่นำมาทำ Film Coating
- สามารถที่จะใช้ร่วมกับสารอื่นที่จะเป็นที่จะต้องใส่
- จะต้องเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ เป็นสารที่ Inert

2. Solvents

เป็นตัวช่วยให้ Film Former แพร่กระจายไปได้สม่ำเสมอไปทั่ว core particle และเมื่อ Solvent ระเหยไปแล้วจะเหลือไว้แต่ Film ของสารที่ใช้ทำการเคลือบติดอยู่กับผิวของ core particle คุณสมบัติของ Film จะแตกต่างกันออกไปเมื่อใช้ Solvents ต่างกัน

ในบางครั้ง Film Formers จะไม่ละลายใน Solvent แต่จะพองตัวใน Solvent เท่านั้น ซึ่งไม่สามารถจะทำเคลือบได้ จึงต้องใช้ Solvent อีกอย่างหนึ่งเพื่อช่วยทำให้ Film Former ละลายได้

การเลือกใช้ Solvents จะต้องพิจารณาถึง Drying rate ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อขบวนการเคลือบตลอดจนคุณสมบัติของ Film ด้วย ถ้าหากว่า Solvent ระเหยเร็วเกินไปจะทำให้ได้ Film ที่เหนียวมากและผิวที่ได้จะไม่เรียบ แต่ถ้า Solvents ระเหยช้าเกินไปจะทำให้ Film ที่จับกับ core particle หลุดร่อนออกมาได้

ภายหลังจากการทำเคลือบเสร็จแล้ว จะต้องมีการกำจัดเอา Solvents ออกจากอนุภาคที่ได้ให้หมดเพื่อให้ได้ Film ที่แข็งแรง Solvent บางอย่างกำจัดออกยาก เช่น Methanol และ Solvent บางอย่างมีกลิ่นที่ไม่ดี เช่น Isopropanol การที่จะเลือกใช้จึงยังต้องคำนึงถึงความไม่เป็นพิษ เป็นภัย ไม่ติดไฟได้ง่าย ราคาถูก ตลอดจนไม่ทำให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษ Solvents ที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำ, Ethanol, Methanol, Isopropanol, Chloroform, Acetone, Methyl ether ketone, Methylene Chloride และ Ethyl Acetate เป็นต้น

3. Plasticizer

เป็นตัวที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติของ Film ให้มี Flexability เหนียว ทนทานมากขึ้น Plasticizers มีทั้งชนิด **Internal plasticizer** ที่เป็นการปรับปรุงให้โพลิเมอร์นั้นมี Functional group หรือ Side chain ตามต้องการเพื่อให้ได้ Film ที่ต้องการ และชนิด **External plasticizer** ซึ่งโดยมากจะเป็นของเหลวที่เติมลงในสารเคลือบ Plasticizer ที่เติมลงไปนี้จะระเหยได้ยาก พร้อมทั้งยังช่วยเพิ่ม Flexability ของ Film ที่เกิดขึ้นด้วย

การเลือกใช้ Plasticizer จะต้องคำนึงถึงความหนืดของ Plasticizer เพราะจะทำให้ความหนืดของสารเคลือบเพิ่มมากขึ้น สารที่ใช้จะต้องไม่มีอิทธิพลต่อ Permeability และ ความสามารถในการละลายของ Film Formers และ Plasticizer ที่ใช้จะต้องผสมเข้ากับสารอื่นได้เป็นอย่างดี ไม่เป็นพิษ ไม่มีรส และกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาตลอดจนต้องมีความคงทนด้วย

สารที่ใช้เป็น Plasticizer จะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- **Water soluble plasticizers** เป็นพวก di , tri และ polyhydric alcohol เช่น Glycerin , Propylene Glycol และ Polyethylene Glycol เป็นต้น
- **Water insoluble plasticizer** เป็นพวก Vegetable oil เช่น Caster oil , Mineral oil และพวก Phthalate ester เช่น Diethyl Phthalate

4. Colorants

เพื่อให้อนุภาคที่ต้องการเคลือบมีสีสวยงามตามต้องการ ดังนั้นจึงมีการเติมสีจำพวก Pigment ลงไปเพื่อให้อนุภาคที่เคลือบแล้วมีสีตามต้องการ

5. Additives อื่นๆ

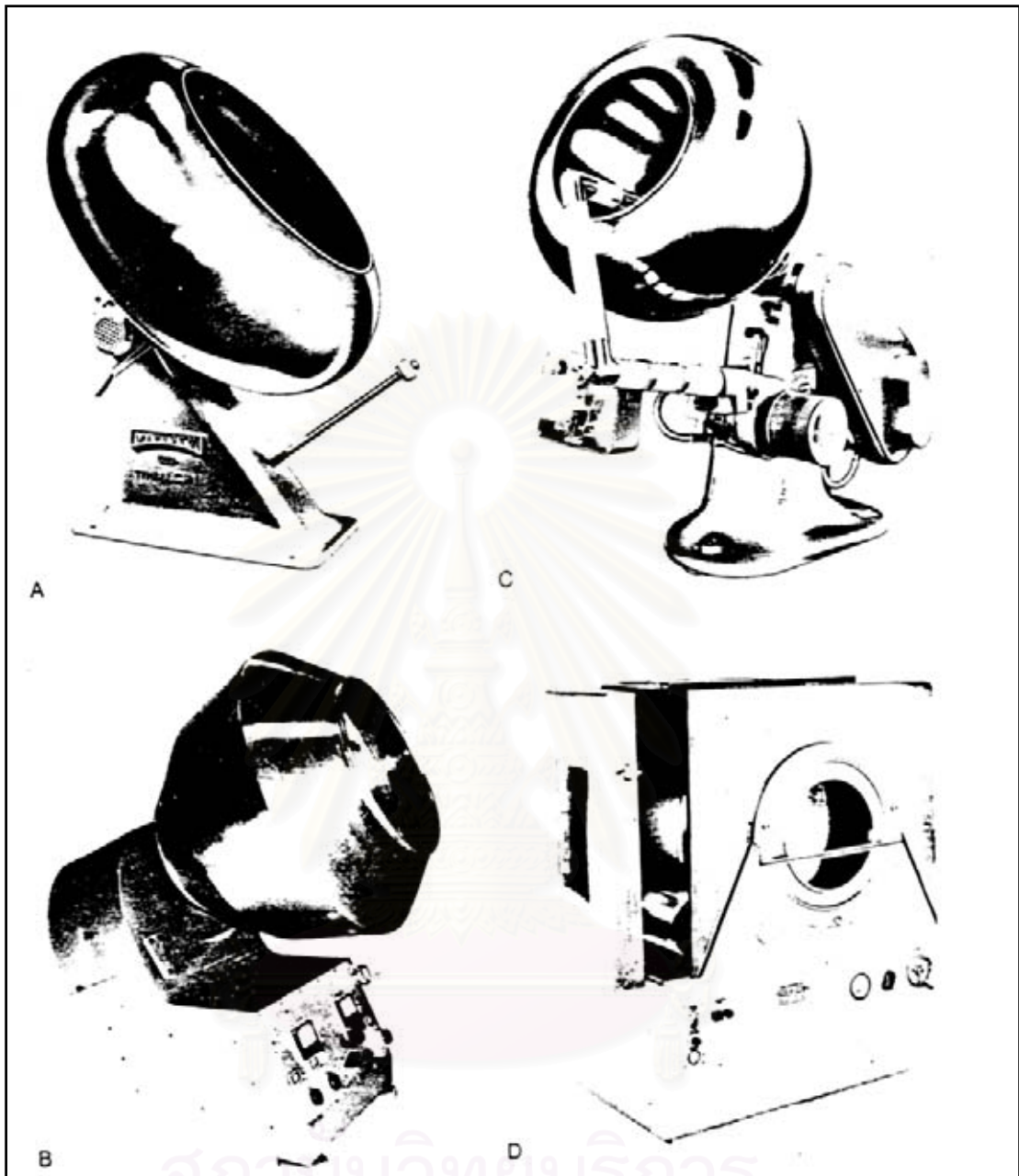
Additives ที่ใส่ลงในสารเคลือบนั้นจะใส่เพื่อต้องการเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มเคลือบตามที่ต้องการ เช่น Surfactant ใส่เพื่อให้ Film Former กระจายตัวได้ดียิ่งขึ้น และสาร Crosslink Agents ใส่เพื่อให้ Film ที่ได้มีความคงทนมากขึ้น

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้เคลือบในการทำ Film Coating

1. หม้อเคลือบ (Coating Pan) เป็นเครื่องมือที่ใช้ทั่วไปและมีใช้กันอย่างกว้างขวาง (ดังในรูปที่ 3.7) สามารถจำแนกย่อยได้เป็น

- **Conventional coating pan** เป็นเครื่องมือที่ประกอบด้วยหม้อโลหะทำด้วย Stainless steel หรือทองแดง เป็นรูปทรงกลมหรือรูป dough-nut shaped ติดตั้งอยู่กับแกนของ motor ซึ่งเอียง 25 ถึง 40 องศากับพื้นราบ motor นี้จะปรับความเร็วได้หลาย ๆ speed

ขนาดของ Coating Pan จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กัน เช่น 12 นิ้ว 16 นิ้ว 18 นิ้ว ไปจนถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 นิ้ว การเลือกใช้ขนาดของ Coating Pan จะขึ้นกับปริมาณของอนุภาคที่จะทำการเคลือบว่ามีน้ำหนักเท่าใด โดยถ้ามีปริมาณน้อยจะเลือกใช้ Coating Pan ที่มีขนาดเล็ก และถ้ามีปริมาณมากจะใช้ Coating Pan ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ตามลำดับ



สถานวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

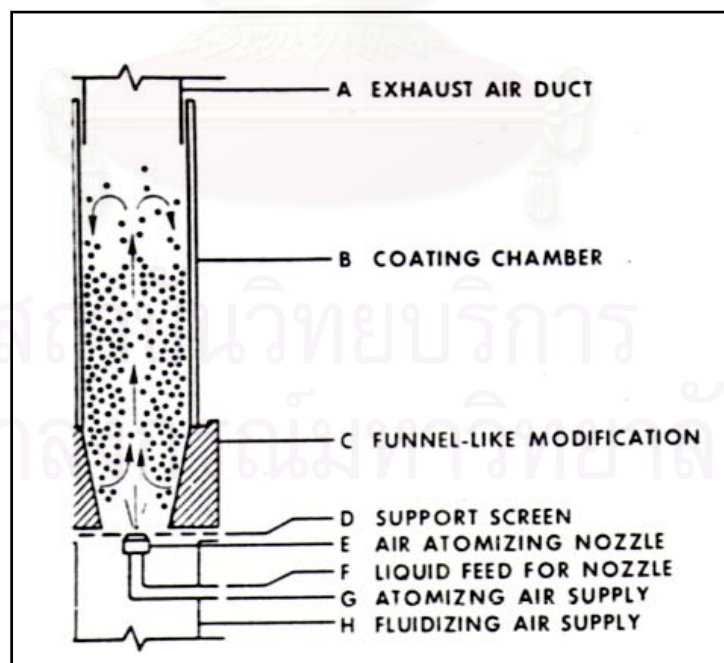
รูปที่ 3.7 Coating Pans ในรูปแบบต่าง ๆ

- **Baffle system coating pan** เป็นหม้อเคลือบแบบเดียวกับ Conventional coating pan แต่มีการออกแบบเอาแผ่น โลหะซึ่งเรียกว่า Baffle ติดไว้เพื่อช่วยในการคนเม็ดอนุภาคให้ทั่วถึง แต่มีข้อเสียที่ว่าเม็ดอนุภาคอาจจะชนกับ Baffle ที่ติดไว้ ทำให้เม็ดอนุภาคแตกได้ง่ายถ้าการติดตั้ง Baffle ไม่เหมาะสม

- **Side-Vented Exhaust coating pan** หม้อเคลือบชนิดนี้จะมีการใช้ spray apply coating solution โคน Coating pan ชนิดนี้จะมีรูพรุน (Perforated perimeter) อยู่รอบตรงกลางที่ด้านข้างของ pan จะมีการเป่าลมร้อนไปยังอนุภาคผ่านรูพรุนเหล่านี้ และฝุ่นผงก็จะออกมาตามรูพรุนเหล่านี้

2. Fluidized bed (Air suspension) System

เป็นการทำฟิล์มเคลือบที่ใช้ระบบ Fluidized bed เข้ามาช่วย โดยอนุภาคที่ทำการเคลือบจะอยู่ใน Coating chamber แล้วทำการ spray สารเคลือบเข้าไปภายใน chamber อนุภาคที่ทำการเคลือบจะลอยตัวอยู่ในอากาศก็จะถูก Film ที่ Solvent ระเหยไปเกาะจับบนผิวของอนุภาคได้ ดังในรูปที่ 3.8



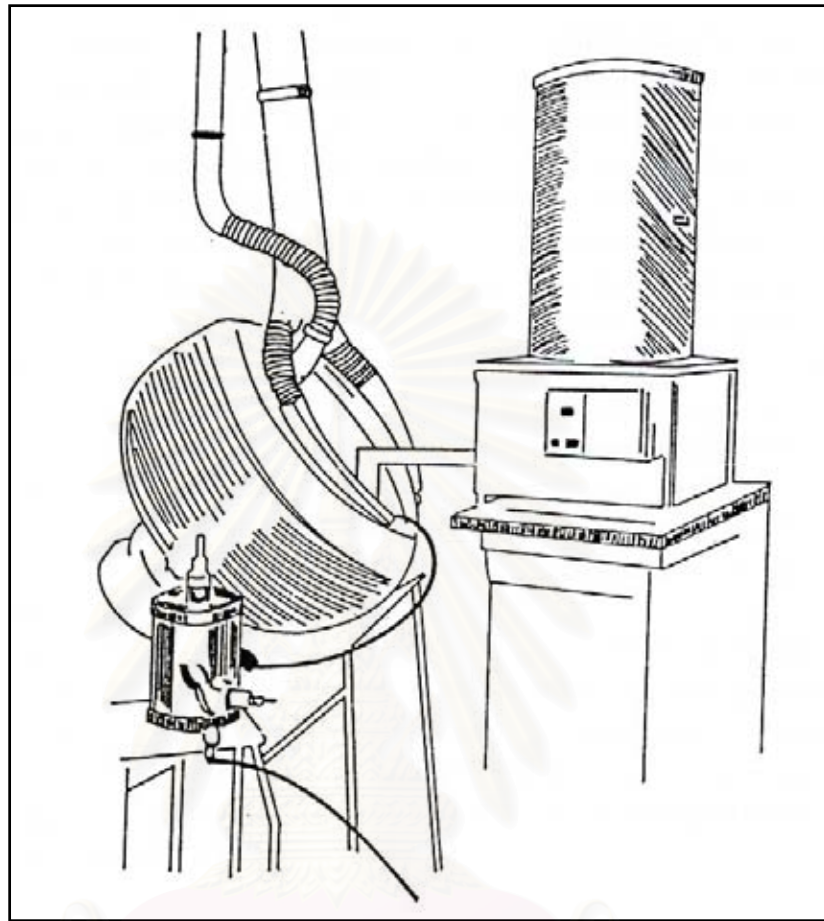
รูปที่ 3.8 Diagram ของระบบ Fluidized coater

3.3.3 กรรมวิธีในการทำการเคลือบวิธี Film Coating โดยใช้ Coating Pan

การทำการเคลือบโดยใช้ Coating pan ไม่ว่าจะเป็น Conventional coating pan หรือ Coating pan แบบอื่น ๆ จะมีเทคนิคและวิธีการเคลือบดังนี้

1. นำเม็ดอนุภาคที่ต้องการเคลือบใส่ Coating pan เปิดเครื่องให้เม็ดอนุภาคกลิ้งใน Coating pan เปิด exhaust system
2. ใส่น้ำเคลือบให้เปียกทั่วเม็ดอนุภาค ใช้มือช่วยคนให้ทั่ว อาจจะเป่าลมหรือไม่เป่าลมก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเร็วในการระเหยของ Solvent
3. ปล่อยให้เม็ดอนุภาคกลิ้งต่อไปจนกว่าอนุภาคจะแห้งสนิท
4. ทำการเคลือบครั้งต่อไปจนกว่าจะได้รับความหนาตามต้องการ ระวังอย่าให้อนุภาคกลิ้งใน pan นานเกินไปเพราะจะทำให้ Film กะเทาะได้

ต่อมาได้มีการทำระบบการเคลือบเพิ่มเติมโดยใช้ระบบฉีดพ่นสารเคลือบลงไปใน pan เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากการใช้ hand operate ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งระบบของการฉีดพ่นมี 2 แบบ คือ ระบบ Pneumatic system ซึ่งเป็นการใช้อากาศในการช่วยพ่นสารเคลือบให้ออกมาเป็นละอองเล็ก ๆ โดยอากาศที่ใช้พ่นจะต้องมีความดัน 10-100 psig. และ ระบบ Hydraulic system ซึ่งเป็นการใช้แรงดัน 250-3000 psig. ให้น้ำสารเคลือบไหลผ่าน orifice ของ spray nozzle จะได้เป็นละอองฝอยเล็ก ๆ



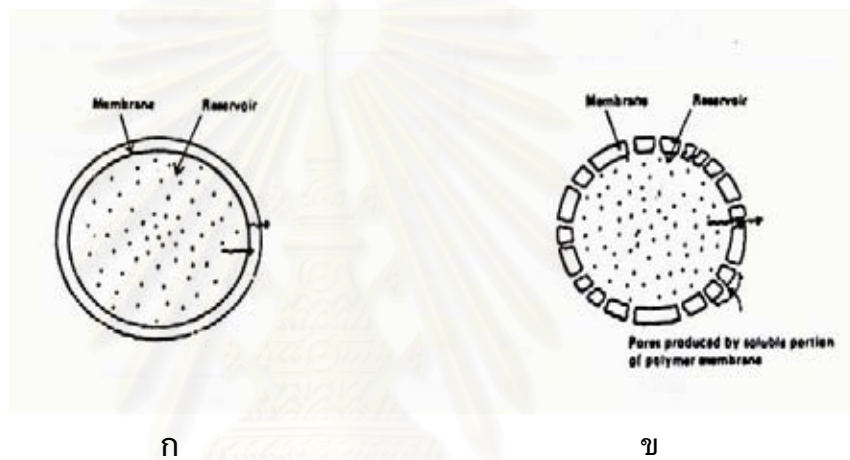
รูปที่ 3.9 การกลั่นโดยใช้ระบบการฉีดพ่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 กลไกการปลดปล่อยสารของอนุภาคใน Film Coating

3.4.1 ระบบที่ควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้หลักการแพร่ผ่านเมมเบรน

ระบบการปลดปล่อยโดยใช้หลักการแพร่ผ่านเมมเบรนในลักษณะนี้ สารที่อยู่ใน core particle จะถูกเคลือบหรือหุ้มด้วยเมมเบรนโพลิเมอร์ สารโพลิเมอร์นี้เองจะทำหน้าที่ควบคุมอัตราเร็วในการปลดปล่อย โดยเมมเบรนโพลิเมอร์นี้อาจทำมาจากสารโพลิเมอร์เดี่ยว ๆ หรือส่วนผสมของสารโพลิเมอร์หลายชนิดและไม่มีรูพรุน หรือทำมาจากเมมเบรนที่มีรูพรุนเล็ก ๆ โพลิเมอร์อาจเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำเลย หรือละลายน้ำได้บ้างเพื่อให้เกิดช่องที่สารจะซึมออกไปได้ดังในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การควบคุมการปลดปล่อยด้วยหลักการแพร่ผ่านเมมเบรน

- . เมมเบรนเป็นโพลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ
- . เมมเบรนเป็นโพลิเมอร์ที่ละลายน้ำบางส่วน

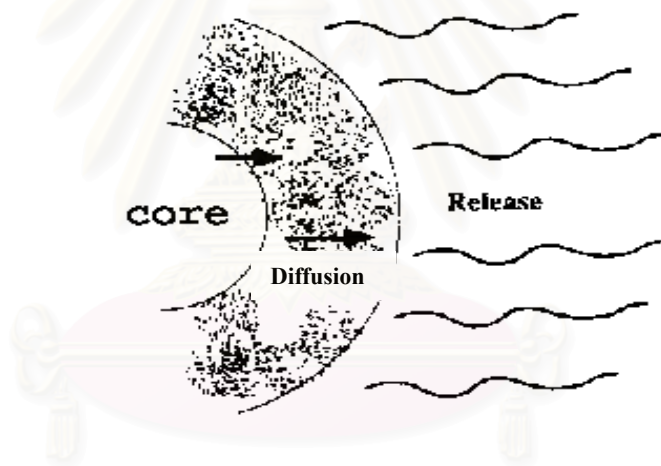
โดยทั่วไประบบหรือกลไกในการปลดปล่อยสารของอนุภาคที่ทำการเคลือบโดยอาศัยระบบที่ควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้หลักการแพร่ผ่านเมมเบรนนั้นสามารถเป็นไปได้ในหลายรูปแบบ คือ

1. Solution / diffusion through continuous plasticized polymer phase
2. Solution / diffusion through plasticizer channels
3. Diffusion through aqueous pores

ซึ่งกลไกในการปลดปล่อยที่เกิดขึ้นอาจเกิดโดยอาศัยกลไกในการปลดปล่อยเพียงกลไกเดียว หรืออาจเกิดกลไกการปลดปล่อยหลายกลไกร่วมกันก็ได้ ซึ่งกลไกการปลดปล่อยแต่ละกลไกมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. Solution / diffusion through continuous plasticized polymer phase

กลไกในการปลดปล่อยนี้จะเกิดขึ้นในโพลิเมอร์ที่มีเฟสอย่างต่อเนื่อง โดยสาร Plasticizer และสาร Additive อื่น ๆ จะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งฟิล์มโพลิเมอร์นี้จะมีช่องเปิดที่เกิดจากการเชื่อมโยง (Cross-linked) ในสายโซ่โพลิเมอร์นั้น ซึ่งโดยปกติแล้วโมเลกุลของสารในอนุภาคจะผ่านออกมาโดยอาศัยการแพร่ผ่านช่องเปิดนี้ ช่องเปิดจะต้องเป็ยกเพื่อให้โมเลกุลของสารสามารถแพร่ได้ ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดจากผลของสาร Plasticizer และ Additive โดย Additive ที่ใส่เข้าไปนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการเชื่อมโยงกันระหว่างสายโซ่ในโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้น



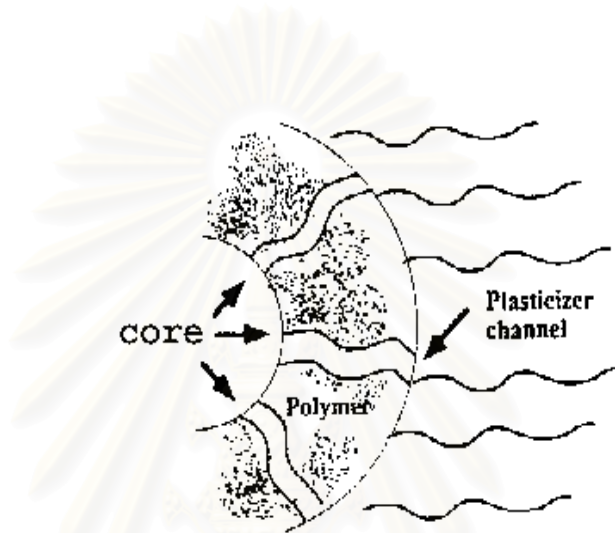
รูปที่ 3.11 กลไกการปลดปล่อยของสารแบบ

Solution / diffusion through continuous plasticized polymer phase

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. Solution / diffusion through plasticizer channels

เมื่อสารPlasticizer กระจายตัวอยู่ใน Film อย่างไม่สม่ำเสมอ และถ้าหาก Plasticizer มีความเข้มข้นสูงอาจทำให้มีความเป็นไปได้ที่ Plasticizer จะฟอร์มตัวกันจนเกิดเป็น Plasticizer channels ซึ่งถ้าสารในcore particle มีความสามารถในการละลายใน Plasticizer ได้ดีกว่าในน้ำจะทำให้เกิดความเป็นไปได้ที่สารใน core particle จะผ่านออกมาทางช่องของ Plasticizer channels นี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



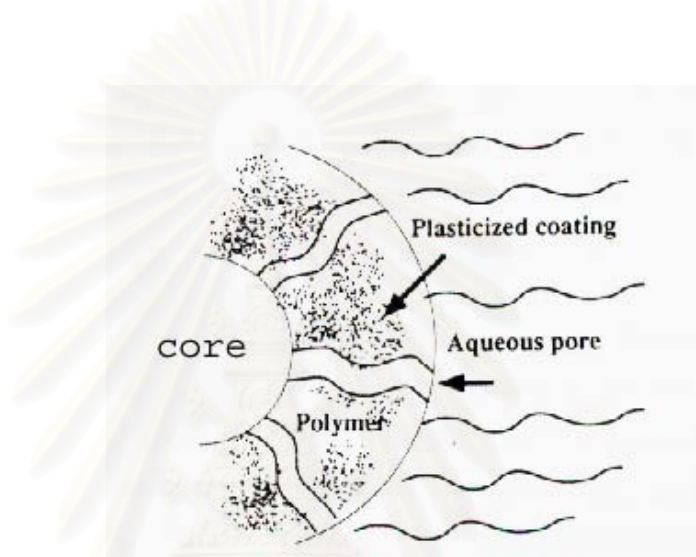
รูปที่ 3.12 กลไกการปลดปล่อยของสารแบบ

Solution / diffusion through plasticizer channels

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. Diffusion through aqueous pores

กลไกการปลดปล่อยในลักษณะนี้ การเคลือบจะไม่สม่ำเสมอและไม่ต่อเนื่อง แต่จะเกิดรู (pore) เป็นช่วง ๆ ดังนั้นเมื่ออนุภาคสัมผัสกับน้ำจึงส่งผลให้เกิดการแพร่ของสารใน core particle ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งกลไกหรือความสามารถในการปลดปล่อยจะขึ้นกับขนาดของ pore และในบางครั้งการปลดปล่อยจะสามารถเกิดได้จากการแพร่ของโมเลกุลของสารเพียงอย่างเดียวไปจนถึงการเกิด convection ส่วนช่องว่างหรือ pore นี้บางครั้งอาจเกิดเนื่องจากการแตกของฟิล์มเคลือบซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเกาะติดและเกิดการกะเทาะในระหว่างทำการเคลือบ



รูปที่ 3.13 กลไกการปลดปล่อยของสารแบบ

Diffusion through aqueous pores

3.4.2 ระบบที่ควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้หลักการการละลายของเมมเบรน

ในระบบนี้สารจะถูกปลดปล่อยออกโดยการละลายออกมาอย่างช้า ๆ ทำให้เกิดการปลดปล่อยออกได้นานขึ้น การลดอัตราการละลายอาจทำได้โดยการเคลือบอนุภาคด้วยสารที่ละลายช้า ให้มีความหนาต่าง ๆ กัน เมื่อผิวที่ถูกเคลือบละลายหมดสารที่อยู่ใน core particle ก็จะถูกปลดปล่อยออกมา การเคลือบผิวให้มีความหนาต่าง ๆ ก็จะทำให้สารถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ อย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การควบคุมอัตราการปลดปล่อยของสารจึงขึ้นกับความหนา และความเร็วช้าในการละลายของสารเคลือบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

อุปกรณ์การทดลอง และวิธีการทดลอง

4.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|---------------------------|---|
| 1. ปู๋ยเคมี | - ปู๋ยเคมีชนิดไม่เคลือบสูตร 8-24-24
จากบริษัทปุ๋ยแห่งชาติ |
| 2. โปรตีนจากกากถั่วเหลือง | - Soy Protein Isolate (SPI) ชนิด Supro EX 33
จากบริษัท Abbra |
| 3. ตัวทำละลาย | - น้ำกลั่น |
| 4. Plasticizer | - Glycerin
- Mineral Oil (Carnation 70) |
| 5. Crosslinking Agent | - สารละลาย Formaldehyde |
| 6. Colorant | - สี Yellow sunset F C F |

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ชุดอุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการเคมี

เป็นอุปกรณ์ที่มีสำหรับใช้ทำการทดลองทั่วไปในห้องปฏิบัติการเคมี ได้แก่

- ตู้อบให้ความร้อน
- เครื่องชั่ง
- ตู้อบไล่ความชื้น
- เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เช่น บีกเกอร์ ปีเปต
- ฯลฯ

หม้อเคลือบ (Coating Pan)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลือบปฏึก ซึ่งเป็นหม้อเคลือบชนิด Conventional coating pan เป็นเครื่องที่ใช้สาธิตในการเคลือบเม็ดยา (คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) มีขนาดเล็ก ทำจาก Stainless steel ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 หม้อเคลือบ (Coating Pan)

Water Bath

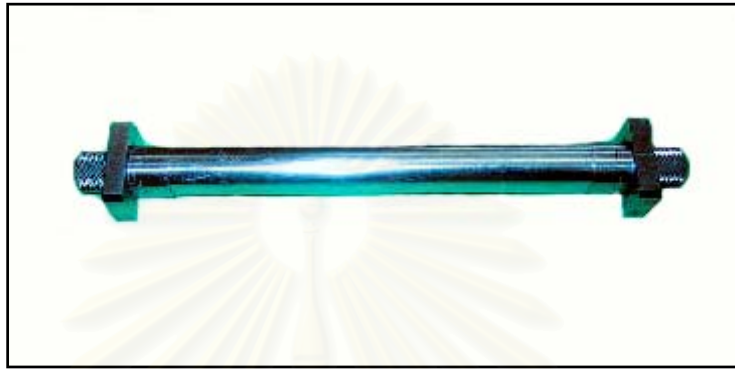
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Water Bath

ที่ปาดฟิล์ม (Doctor blade)

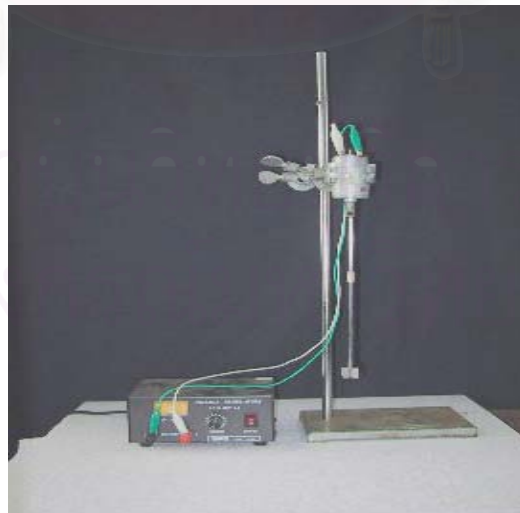
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำแผ่นฟิล์ม ควบคุมความหนาของแผ่นฟิล์มให้มีความหนา-บางเท่ากันทั้งแผ่นได้ สามารถตั้งค่าความหนาได้ตั้งแต่ 0.1 mm – 1.0 mm วัสดุทำจาก Stainless steel ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ที่ปาดฟิล์ม

ชุดกวนผสมสารเคลือบ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกวนผสมสารเคลือบเพื่อให้สารเคลือบผสมเข้ากันได้ดี สามารถปรับความเร็วในการกวนได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ชุดกวนผสมสารเคลือบ

Micrometer

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดความหนาของแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้น สามารถวัดความหนาของแผ่นฟิล์มได้ถึง 25 mm (เป็นรุ่น 52-248-001 MIC 0-25 mm/FRCTN) เป็นวัสดุทำจาก Stainless steel ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 Micrometer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 วิธีการทดลองในงานวิจัยนี้

การทดลองงานวิจัยนี้จะแบ่งหัวข้อตามการทดลองต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ การเตรียมสารเคลือบ การทำฟิล์มจากสารเคลือบ การวัดการแพร่ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์มที่ทำขึ้น การเคลือบปุ๋ย และสุดท้ายคือการวัดการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 การเตรียมสารเคลือบ (Coating Agents)

ในการเตรียมสารเคลือบจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. นำโปรตีนจากกากถั่วเหลือง (SPI) ใสลงในน้ำกลั่นจากนั้นคนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
2. เติม Plasticizer ลงในสารละลายในข้อ 1 แล้วคนให้เข้ากัน
3. นำส่วนผสมที่ได้ในข้อ 2 ใสลงในเครื่องปั่น โดยใช้เวลาในการปั่นประมาณ 20 วินาที
4. เติมสารละลาย Formaldehyde (ในกรณีที่ต้องการทดลอง) ลงในส่วนผสมที่ได้ในข้อ 3 จากนั้นคนให้เข้ากัน ประมาณ 20 นาที
5. นำส่วนผสมทั้งหมดที่ได้วางใน Water Bath ที่อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นทำการกวนส่วนผสมทั้งหมดโดยใช้เวลานาน 10 นาที

4.3.2 การทำฟิล์มจากสารเคลือบ

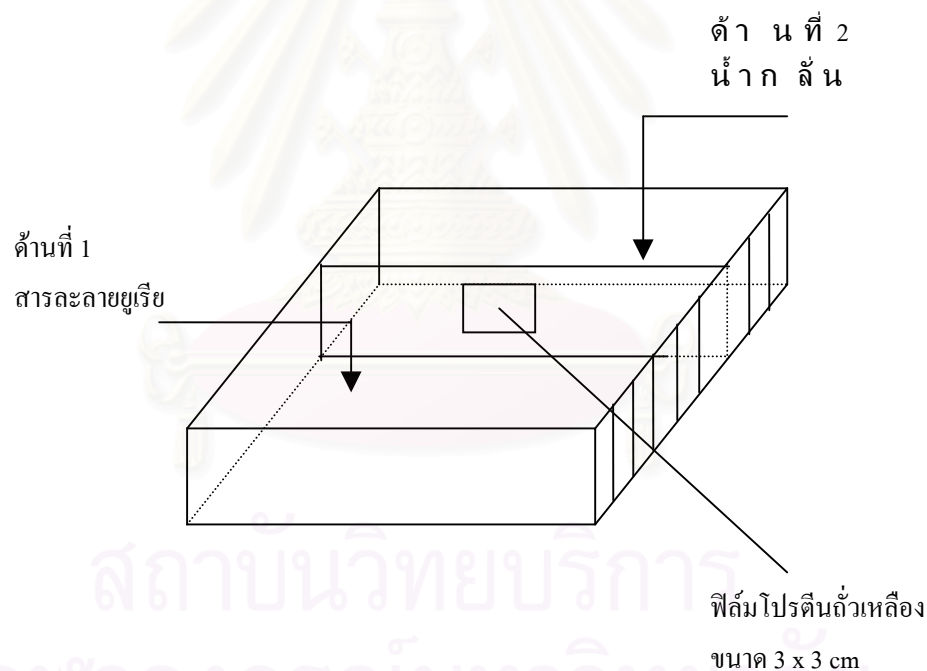
วัตถุประสงค์ในการทำฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองนั้นจะทำการขึ้นเพื่อสังเกตดูถึงความเป็นไปได้ของสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากถั่วเหลืองว่าสามารถเกิดฟิล์มได้หรือไม่อีกทั้งยังต้องการสังเกตลักษณะของฟิล์มที่เกิดขึ้นด้วย โดยมีขั้นตอนการทำฟิล์มดังต่อไปนี้

1. ปรับระดับของที่ปาดฟิล์มในระยะที่สามารถปาดฟิล์มให้มีความหนา 1.0 มม.
2. วางที่ปาดฟิล์มบนกระดาษที่สะอาดและแห้งลงบนพื้นราบที่เรียบและไม่เอียง
3. เทสารเคลือบลงบนกระดาษ ใช้มือจับบริเวณด้านข้างทั้งสองด้านของที่ปาดฟิล์มจากนั้นค่อย ๆ เลื่อนมือทั้งสองข้างไปตามแนวกระดาษ
4. เมื่อฟิล์มที่เกิดบนกระดาษแห้ง (ใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง) ให้ตัดส่วนขอบของฟิล์มที่เกิดบนกระดาษ จากนั้นค่อย ๆ ลอกฟิล์มออกจากกระดาษ จะได้แผ่นฟิล์มที่เกิดจากสารเคลือบ

4.3.3 การวัดการแพร่ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์มที่ทำขึ้น

การทดลองในขั้นตอนนี้ทำขึ้นเพื่อคุณลักษณะและแนวโน้มของการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มโปรตีนที่ทำขึ้น โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้ในหัวข้อที่ 4.3.2 มาวางลงในภาชนะดังรูปที่ 4.6
2. เมื่อถึงเวลาที่กำหนดในแต่ละเวลาแล้วให้สังเกตและจดบันทึกลักษณะของแผ่นฟิล์ม จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างยูเรียที่แพร่ผ่านแผ่นฟิล์มโดยใช้ปิเปตดูดสารละลายที่อยู่ในด้านที่ 2 (ในรูป 4.6) ปริมาณตัวอย่างละ 5 ml
3. หาความเข้มข้นของยูเรียจากตัวอย่างที่เก็บในข้อ 2 โดยใช้เทคนิควิธีของเครื่อง UV-Spectrophotometer
4. Plot กราฟความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของยูเรียเทียบกับเวลา จะได้แนวโน้มของการแพร่ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์มที่ทำขึ้น



รูปที่ 4.6 ชุดทดลองการวัดการแพร่ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์ม

4.3.4 การเคลือบปุ๋ย

สำหรับการเคลือบปุ๋ยนั้นจะใช้หลักการและอุปกรณ์ในการเคลือบคือ หม้อเคลือบ (Coating Pans) ซึ่งมีขั้นตอนการเคลือบปุ๋ยดังต่อไปนี้

1. ชั่งปุ๋ยปริมาณ 300 กรัม ใส่ลงใน Coating Pans จากนั้นเปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงานให้ปุ๋ยกลิ้งใน Coating Pan
2. ค่อย ๆ ตัก หรือ เทสารเคลือบลงบนปุ๋ย (ถ้าปริมาณของสารเคลือบที่เทมากเกินไปจะทำให้ปุ๋ยจับตัวกันเป็นก้อน) จากนั้นใช้มือค่อย ๆ คลุกปุ๋ยเพื่อให้สารเคลือบกระจายลงบนปุ๋ยอย่างทั่วถึง
3. เปิด-ปิดสวิตช์ลมร้อนสลับไปมาเป็นเวลานานประมาณอย่างละ 3-4 นาที จนกระทั่งปุ๋ยที่อยู่ในหม้อเคลือบแห้งและไม่จับตัวกันเป็นก้อน จะได้ปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบแล้ว 1 ครั้ง
4. ทำดังเช่นขั้นตอนที่ 2 และ 3 ซ้ำจนกระทั่งได้จำนวนครั้งในการเคลือบตามที่ต้องการ

4.3.5 การวัดการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย

วิธีการวัดการปลดปล่อยธาตุอาหารของพืชในปุ๋ยจะใช้วิธีแช่ปุ๋ยให้อยู่ในน้ำตลอดเวลา ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ชั่งปุ๋ยที่ต้องการวัดการปลดปล่อยธาตุอาหารแบ่งเป็นชุด แต่ละชุดให้มีปริมาณสุทธิของเนื้อปุ๋ยตามที่กำหนด โดยจำนวนชุดของปุ๋ยจะขึ้นกับเวลาที่ต้องการวัดการปลดปล่อย
2. นำปุ๋ยที่เตรียมไว้จากข้อ 1 ใส่ลงในแต่ละภาชนะที่บรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 250 ml จำนวนตามเวลาที่ต้องการวัดการปลดปล่อย
3. เมื่อถึงเวลาที่กำหนดในแต่ละเวลาแล้วให้สังเกตลักษณะของปุ๋ยที่อยู่ในภาชนะ กรองปุ๋ยในแต่ละภาชนะออก จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างสารละลายที่กรองได้โดยค่อย ๆ กวนสารละลายแล้วใช้ปิเปตดูดสารละลายปริมาตร 20 ml ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอดจำนวน 3 หลอด เพื่อนำไปวัดปริมาณธาตุอาหาร N, P และ K ตามลำดับ โดยการหาค่า N จะหาโดยใช้เทคนิควิธีการของ Kjeldahl Method ส่วนการหาค่า K จะใช้เทคนิควิธีการหาโดยใช้เครื่อง Atomic Adsorption (AA) และการหาค่า P จะใช้เทคนิควิธีการหาโดยใช้เครื่อง ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)
4. ดูแนวโน้มการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยแต่ละธาตุ โดยการ Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารที่วัดได้เทียบกับเวลาที่ใช้ในการปลดปล่อย โดยค่า N จะแสดงผลในรูปของ Total Nitrogen ส่วนค่า P และ K จะแสดงผลในรูปของ P_2O_5 และ K_2O ตามลำดับ

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ที่จะนำเสนอในบทนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทดลองในส่วนของการทำฟิล์มจากสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง และผลการทดลองในส่วนของการทำปุ๋ยเคมีชนิดปลดปล่อยช้าที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง

5.1 ผลการทดลองในส่วนของการทำฟิล์มจากสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง

5.1.1 ผลของความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolate; SPI) ในสารเคลือบ โดยสารเคลือบที่เตรียมขึ้นจะมีส่วนประกอบที่คงที่คือ น้ำกลั่น และสารPlasticizer (ในที่นี้คือ Glycerin) ในปริมาณ 100 ml และ 5 ml ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองจะเปลี่ยนแปลงที่ 8, 10, 12 และ 15 (กรัม / น้ำ 100 ml) ตามลำดับ ซึ่งผลจากการสังเกตถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มและการแพร่ของยูเรียผ่านชั้นฟิล์มที่สร้างขึ้นจะแสดงในตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 ตามลำดับ

จากผลการสังเกตถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มจะพบว่าปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนมีผลต่อการเกิดฟิล์มพอลิเมอร์ ถ้าความเข้มข้นของโปรตีนในสารเคลือบน้อยเกินไปจะทำให้โมเลกุลของโปรตีนไม่สามารถเกิดการยึดเหนี่ยวกันได้ เนื่องจากปริมาณของตัวทำละลายที่มีมากจะแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเป็นผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีน้อย ในทางกลับกันถ้าความเข้มข้นของโปรตีนในสารเคลือบมีมากเกินไปจะทำให้ตัวทำละลายมีไม่เพียงพอที่จะละลายตัวถูกละลายทำให้โปรตีนจับตัวเป็นก้อนของแข็งไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้

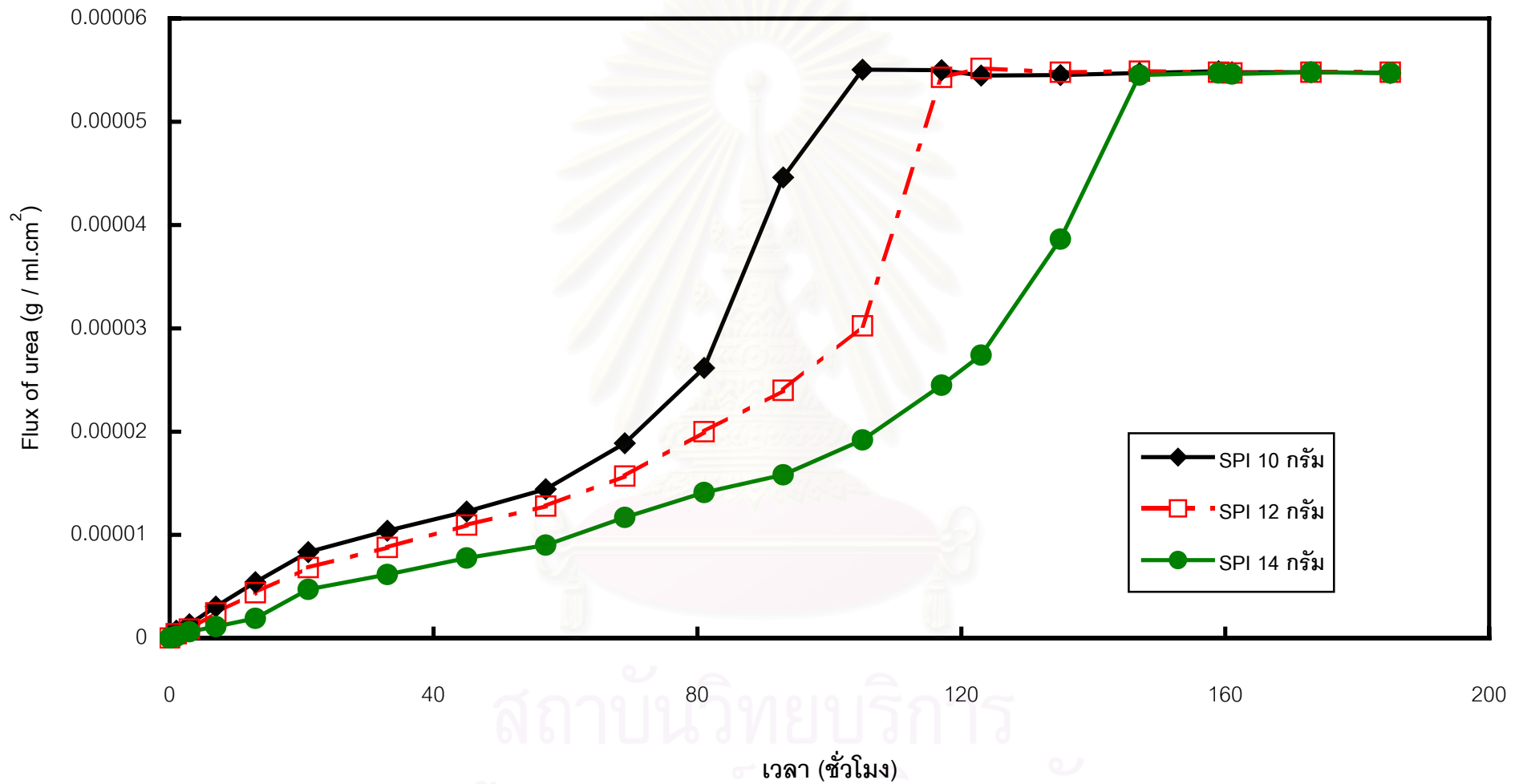
เมื่อพิจารณาจากกราฟของการแพร่ (รูปที่ 5.1) จะพบว่าความสามารถในการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มจะแปรผกผันกับความเข้มข้นของโปรตีนในสารเคลือบ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของโปรตีนมีเพิ่มขึ้น โมเลกุลของโปรตีนจะอยู่ชิดกันมากขึ้น ทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลมีน้อย เนื้อฟิล์มมีความแน่นมากขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของยูเรียมีค่าลดต่ำลง

ตารางที่ 5.1 ผลของความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น

SPI (กรัม / น้ำ 100 ml)	ลักษณะของฟิล์มที่เกิดขึ้น	ความคงทนของฟิล์ม (วัน)
8	- ไม่สามารถลอกฟิล์มออกจากกระจกได้ เนื่องจากฟิล์มที่ได้มีลักษณะเปื่อย เป็น เมือกยุ่ย	-
10	- สามารถลอกฟิล์มออกจากกระจกได้ง่าย - ฟิล์มที่ได้มีลักษณะค่อนข้างเหนียว	3
12	- สามารถลอกฟิล์มออกจากกระจกได้ง่าย - ฟิล์มที่ได้มีความเหนียวไม่มาก	4
14	- สามารถลอกฟิล์มออกจากกระจกได้ยาก - ฟิล์มที่ได้ค่อนข้างแข็งกระด้าง	5
15	- ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้เนื่องจาก โปรตีนจับตัวเป็นก้อน	-

5.1.2 ผลของปริมาณสาร Plasticizer ในสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร Plasticizer (ในการทดลองนี้ใช้ Glycerin เป็นสาร Plasticizer) ในสารเคลือบโดยสารเคลือบที่เตรียมขึ้นจะมีส่วนประกอบที่คงที่คือ น้ำกลั่น และ โปรตีนจากกากถั่วเหลืองในปริมาณ 100 ml และ 12 กรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณของ Glycerin จะเปลี่ยนแปลงที่ 0, 2.5, 5 และ 10 ml ตามลำดับ ซึ่งผลจากการสังเกตถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มและการแพร่ของยูเรียผ่านชั้นฟิล์มที่ทำขึ้นจะแสดงในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 ตามลำดับ



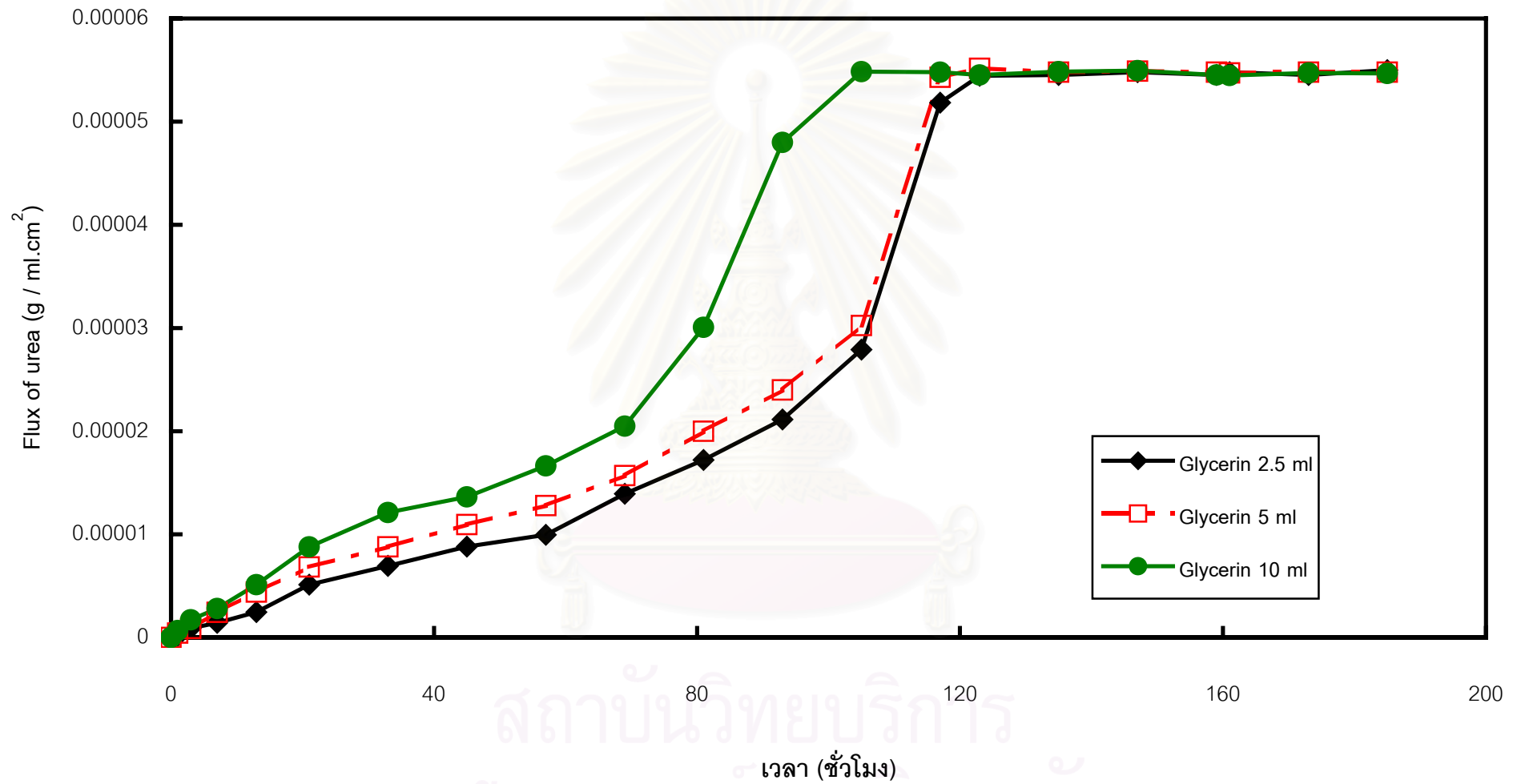
รูปที่ 5.1 ผลเปรียบเทียบ Flux ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์มโปรตีนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง

ตารางที่ 5.2 ผลของปริมาณสาร Plasticizer ในสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น

ปริมาณ Glycerin (ml)	ลักษณะของฟิล์มที่เกิดขึ้น	ความคงทนของฟิล์ม (วัน)
0	- ไม่สามารถลอกฟิล์มออกจากกระจกได้ เนื่องจากฟิล์มแห้งเกาะบนผิวของกระจก	-
2.5	- สามารถลอกฟิล์มออกจากกระจกได้ค่อนข้างง่าย - ฟิล์มที่ได้มีลักษณะค่อนข้างหยาบกระด้างเมื่อใช้มือสัมผัส	4
5	- สามารถลอกฟิล์มออกจากกระจกได้ง่าย - ฟิล์มที่ได้มีความเหนียวไม่มากนัก	4
10	- สามารถลอกฟิล์มออกจากกระจกได้ง่าย - ฟิล์มที่ได้มีความเหนียวมากขึ้น	3

จากผลสังเกตถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มจะพบว่าสาร Plasticizer ในสารเคลือบมีผลต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น โดยถ้ามีปริมาณของ Glycerin เพิ่มมากขึ้นจะทำให้สามารถลอกฟิล์มได้ง่ายและฟิล์มที่ได้มีความเหนียวและยืดหยุ่นมากขึ้น ในทางกลับกันเมื่อไม่มีสาร Plasticizer จะทำให้ฟิล์มมีความแข็งกระด้าง ไม่สามารถลอกฟิล์มได้ ซึ่งอธิบายได้ว่าสาร Plasticizer มีส่วนช่วยในการทำให้ฟิล์มเกิดความยืดหยุ่น (มีความเป็นพลาสติกมากขึ้น) เนื่องจากโมเลกุลของสาร Plasticizer จะเข้าไปแทรกกระหว่างช่องว่างโมเลกุลของโพรตีน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีผลน้อยลง โมเลกุลเคลื่อนที่ได้สะดวกมากขึ้น

เมื่อพิจารณาจากกราฟของการแพร่ (รูปที่ 5.2) จะพบว่าความสามารถการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มจะมากขึ้นเมื่อมีปริมาณของ Glycerin ในสารเคลือบมากขึ้น ซึ่งเกิดเนื่องจาก Glycerin เป็นสาร Plasticizer ที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ทำให้เมื่อนำฟิล์มที่มี Glycerin เป็นสาร Plasticizer แห้งลง น้ำจะเข้าไปละลาย Glycerin ดังนั้นเนื้อฟิล์มจึงมีรูพรุนที่เกิดเนื่องจากการละลายของ Glycerin จึงเป็นผลทำให้ความสามารถในการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มมีมากขึ้น



รูปที่ 5.2 ผลเปรียบเทียบ Flux ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์ม โปรตีนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Glycerin ในสารเคลือบ

5.1.3 ผลของสาร Crosslinking Agent ในสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยการศึกษาถึงผลของสาร Crosslinking Agent ที่มีในสารเคลือบ (ในการทดลองนี้ใช้สารละลาย Formaldehyde สาร Crosslinking Agent) โดยสารเคลือบที่เตรียมขึ้นจะมีส่วนประกอบที่คงที่คือน้ำกลั่น 100 ml โพรตีนจากกากถั่วเหลือง 10 กรัม และ Glycerin 5 ml ตามลำดับ ส่วนปริมาณของสารละลาย Formaldehyde จะเปลี่ยนแปลงที่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ตามลำดับ ซึ่งผลจากการสังเกตถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มจะแสดงดังในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลของสาร Crosslinking Agents ในสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น

ปริมาณ Formaldehyde (ml)	ลักษณะของฟิล์มที่เกิดขึ้น	ความคงทนของฟิล์ม (วัน)
0	ผิวฟิล์มค่อนข้างเรียบ	4
1	ผิวฟิล์มขรุขระเล็กน้อย	21
2	ผิวฟิล์มขรุขระเล็กน้อย	22
3	ผิวฟิล์มขรุขระเล็กน้อย	26
4	ผิวฟิล์มขรุขระเล็กน้อย	23
5	ผิวฟิล์มขรุขระเล็กน้อย	21

จากผลสังเกตถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพบว่าสารละลาย Formaldehyde ที่มีอยู่ในสารเคลือบจะมีผลต่อฟิล์มที่เกิดขึ้นโดยสารละลาย Formaldehyde จะเป็นสาร Crosslink ระหว่างพันธะที่มีอยู่โปรตีน ซึ่งมีผลทำให้โครงสร้างของโปรตีนมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้นจึงทำให้ฟิล์มที่เกิดขึ้นมีความคงทนต่อการเปื่อยยุ่ย (ฉีกขาด) ได้มากขึ้น แต่จากผลการทดลองจะพบว่าที่ปริมาณสาร Crosslinking Agent มากเกินไปจะทำให้อายุหรือความคงทนต่อการเปื่อยยุ่ย (ฉีกขาด) ของฟิล์มลดลงซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องมาจากเกิดการ Crosslink ในโครงสร้างของโปรตีนมากเกินไป จึงทำให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแต่มีความเปราะมาก ดังนั้นความคงทนของฟิล์มจึงมีค่าลดลง

สำหรับผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มระหว่างฟิล์มที่มีการเติมสาร Crosslinking Agent (สารละลาย Formaldehyde) ในสารเคลือบเกี่ยวกับแรงกระทำ ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบแรงกระทำในแผ่นฟิล์ม

ชนิดของฟิล์ม	Extension at break (mm)	Modulus of Elasticity (N/mm ²)
ไม่มีการเติมสาร Crosslinking Agent ในสารเคลือบ	35.6598	23.7231
เติมสาร Crosslinking Agent ในสารเคลือบ 3	7.0113	31.6697

จากตารางที่ 5.4 จะพบว่าค่า Extension at break หรือค่าระยะยืดสูงสุดที่แผ่นฟิล์มทนได้ก่อนจะขาดของแผ่นฟิล์มที่ไม่มีการเติมสาร Crosslink Agent จะมีค่ามากกว่าแผ่นฟิล์มที่มีการเติมสาร Crosslink Agent นั้นเป็นผลเนื่องจากสาร Crosslinking Agent ที่เติมเข้าไปจะไปสร้างพันธะเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ในโมเลกุลของโปรตีน ดังนั้นเมื่อฟิล์มถูกแรงกระทำให้ยืดตัวออก พันธะที่เชื่อมโยงอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนจะยึดสายโซ่โพลิเมอร์ไว้ทำให้ฟิล์มเกิดการยืดตัวได้น้อยกว่าฟิล์มที่ไม่มีการเติมสาร Crosslinking Agent ส่วนค่า Modulus Elasticity ของฟิล์มที่มีการเติมสาร Crosslinking Agent ในสารเคลือบจะมีค่ามากกว่าฟิล์มที่ไม่มีการเติมสาร Crosslinking Agent นั้นเนื่องจากโครงสร้างของฟิล์มที่มีการเติมสาร Crosslinking Agent นั้นมีความแข็งแรงมากกว่าทำให้ต้องใช้แรงกระทำมากยิ่งขึ้น

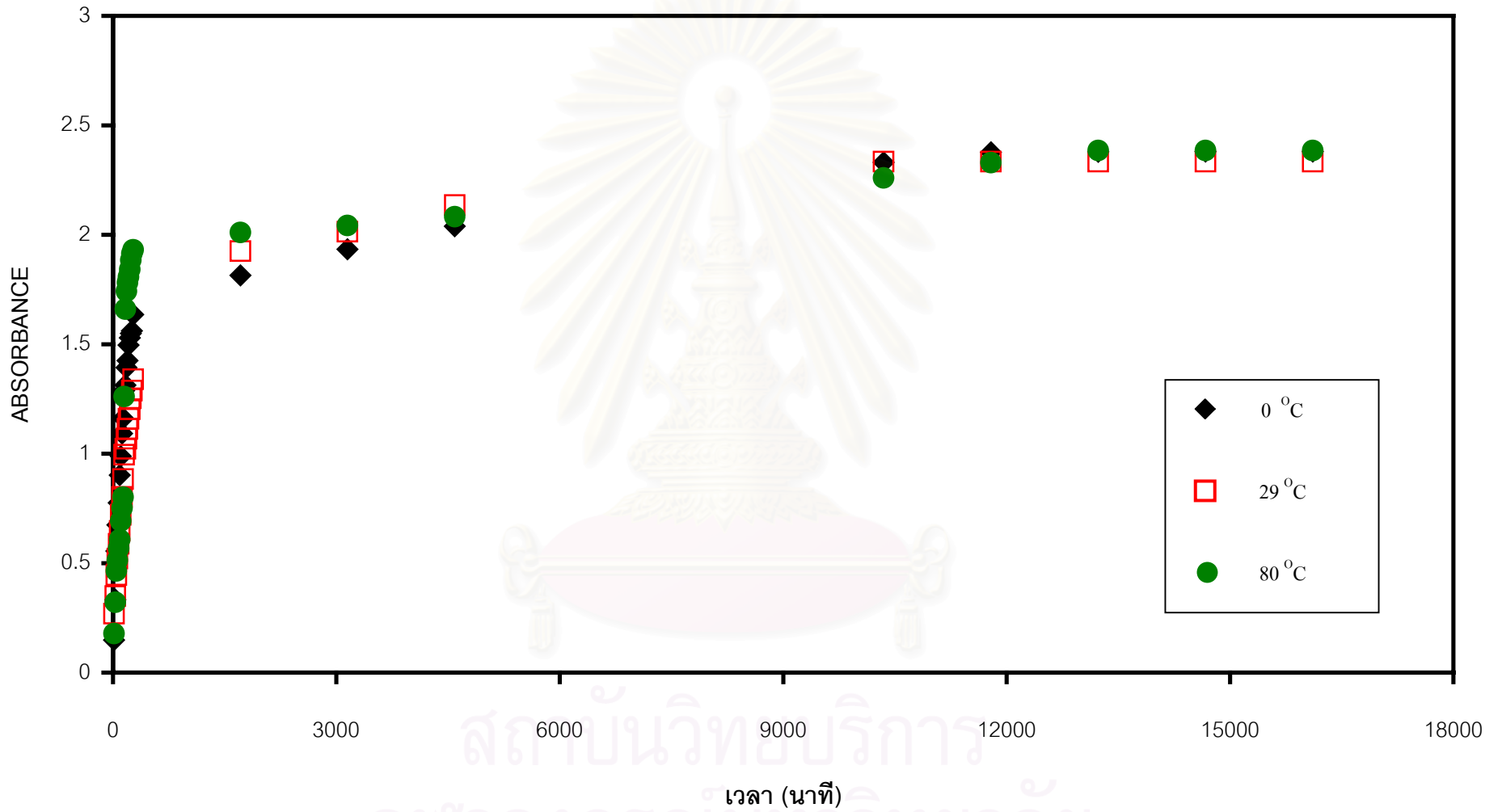
5.1.4 ผลของอุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในขณะที่ทำการเตรียมสารเคลือบ โดยสารเคลือบที่เตรียมขึ้นจะมีส่วนประกอบที่คงที่คือ น้ำกลั่น 100 ml โปรตีนจากกากถั่วเหลือง 10 กรัม Glycerin 5 ml และสารละลาย Formaldehyde 3 ml สำหรับอุณหภูมิในขณะที่ทำการเตรียมสารเคลือบจะเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 0, 29 (อุณหภูมิห้อง), 80 และ 95 °C ตามลำดับ ซึ่งผลจากการสังเกตถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มและการแพร่ของยูเรียผ่านชั้นฟิล์มที่ทำขึ้นจะแสดงในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 ผลของอุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบต่อฟิล์มที่เกิดขึ้น

อุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบ (°C)	ลักษณะของฟิล์มที่เกิดขึ้น
0	ผิวของฟิล์มมีลักษณะค่อนข้างเรียบ
29	ผิวของฟิล์มมีลักษณะค่อนข้างเรียบ
80	ผิวของฟิล์มมีลักษณะขรุขระเล็กน้อย
95	ผิวของฟิล์มมีรอยย่น มีการจับตัวเป็นก้อนเล็กน้อย

จากผลสังเกตถึงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มและการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบ พบว่าความสามารถในการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารเคลือบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนลักษณะทางกายภาพของฟิล์มจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบมากขึ้นผิวของฟิล์มจะมีลักษณะขรุขระมากขึ้นเนื่องจากความร้อนน่าจะมีส่วนช่วยเพิ่มการเกิดการ Crosslink ของพันธะที่มีอยู่ในโปรตีนมากขึ้น จนกระทั่งความร้อนที่ให้มากเกินไปจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (Denaturation) จึงเกิดการจับรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนโปรตีน



รูปที่ 5.3 ผลเปรียบเทียบการแพร่ของยูเรียผ่านแผ่นฟิล์มโปรตีนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบ

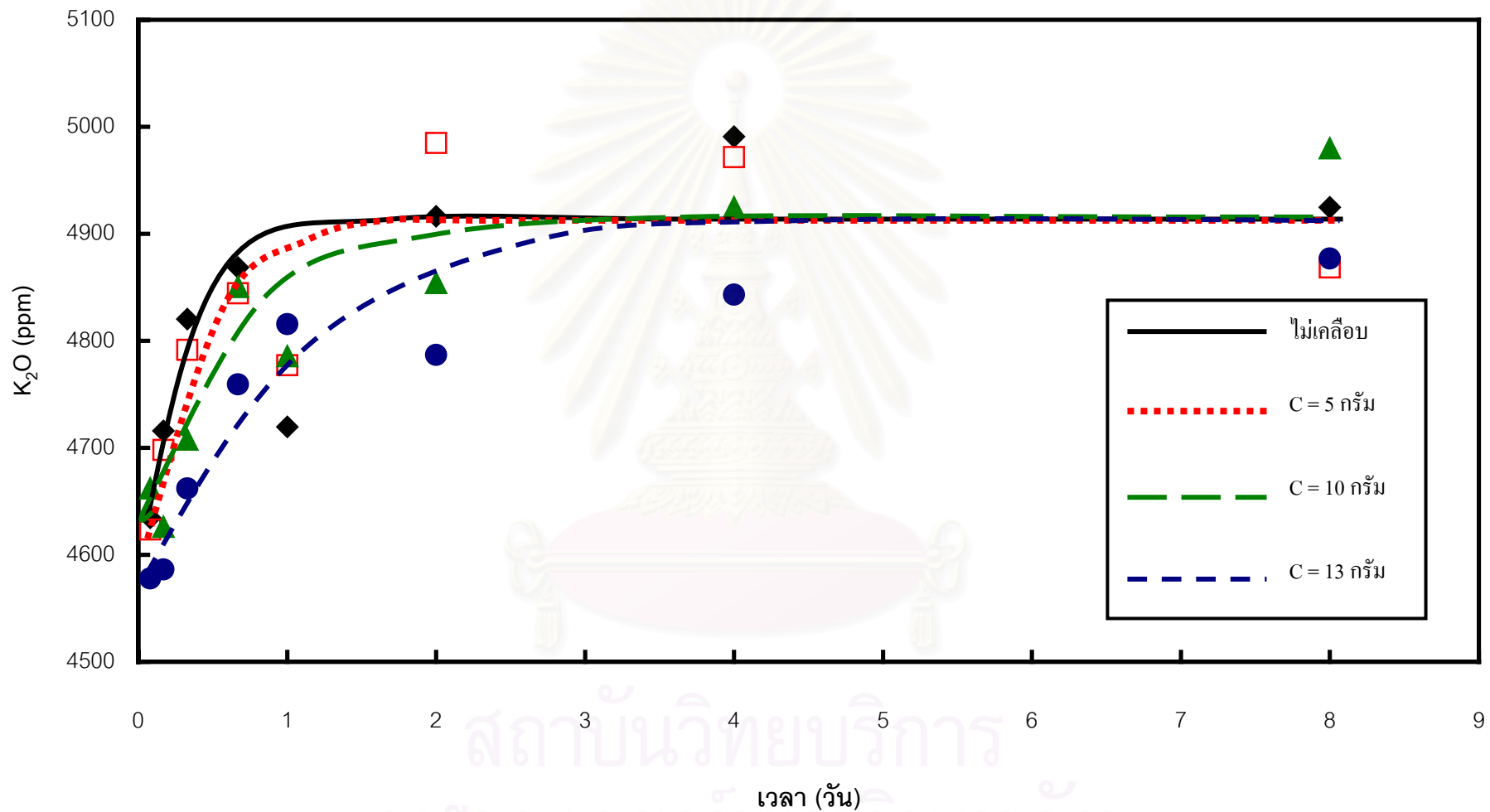
5.2 ผลการทดลองในส่วนของการทำปุ๋ยเคมีชนิดปลดปล่อยช้าที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง

5.2.1 ผลของความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสารเคลือบต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย

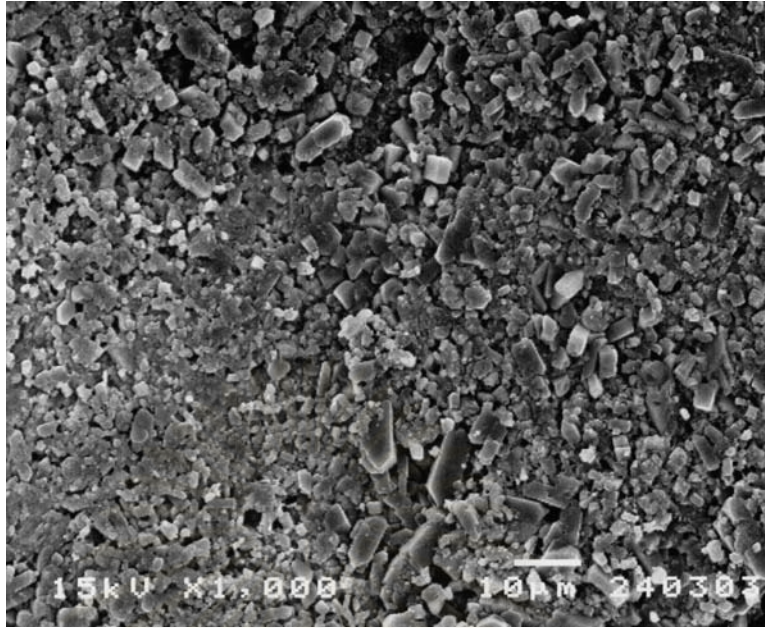
ในการทดลองนี้จะทดลองใช้สารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมาเคลือบปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolate; SPI) ในสารเคลือบ โดยสารเคลือบที่เตรียมขึ้นจะมีส่วนประกอบที่คงที่คือ น้ำกลั่น และสารPlasticizer (ในที่นี้คือ Glycerin) ในปริมาณ 100 ml และ 5 ml ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองจะเปลี่ยนแปลงที่ 5, 10 และ 13 (กรัม / น้ำ 100 ml) ตามลำดับ ซึ่งผลการปลดปล่อยธาตุอาหาร (ธาตุอาหาร K) ในปุ๋ยสูตร 8-24-24 ที่มีปริมาณเนื้อปุ๋ยสุทธิ 5 กรัม ในน้ำ 250 ml จะแสดงในรูปที่ 5.4

จากกราฟการปลดปล่อยธาตุอาหาร K (K_2O) เทียบกับเวลา ในรูปที่ 5.4 จะพบว่า การปลดปล่อยธาตุอาหาร K ในปุ๋ยที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองต่าง ๆ นั้นพบว่าความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารจะมีแนวโน้มที่ช้าลงเมื่อความเข้มข้นของโปรตีนในสารเคลือบมีมาก เนื่องจากเมื่อมีความเข้มข้นของโปรตีนมากขึ้น โมเลกุลของโปรตีนจะอยู่ชิดกันมาก ช่องว่างระหว่างโมเลกุลมีน้อย เนื้อฟิล์มที่เคลือบปุ๋ยมีความแน่นมากขึ้น (ดังแสดงจากภาพถ่าย SEM ในรูปที่ 5.5 และ 5.6) จึงทำให้โอกาสในการแพร่ผ่านของน้ำที่จะผ่านเข้าไปละลายธาตุอาหารในปุ๋ยมีลดลง ดังนั้นการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาจึงมีแนวโน้มที่ช้าลง

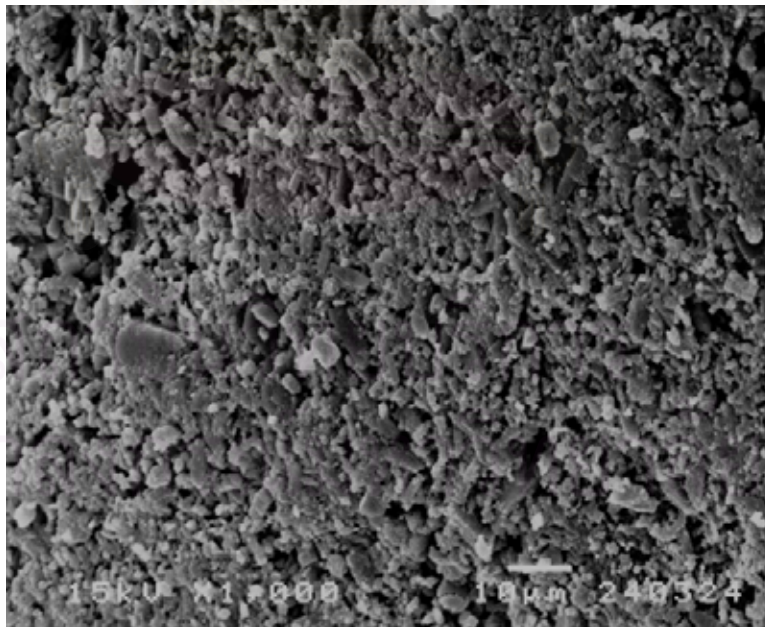
แต่สำหรับปัญหาในอีกด้านหนึ่งที่เกิดจากการใช้ Glycerin เป็นสาร Plasticizer จะพบว่า Glycerin เป็นสาร Plasticizer ที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อแช่ปุ๋ย น้ำจะเข้าไปละลาย Glycerin ในฟิล์มที่เคลือบปุ๋ยทำให้เกิดรูพรุนที่ฟิล์มเคลือบ เป็นผลทำให้โอกาสที่น้ำจากภายนอกสามารถเข้าไปละลายธาตุอาหาร และธาตุอาหารแพร่ผ่านช่องว่างของฟิล์มออกมาได้ง่ายจึงเป็นสาเหตุให้ความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มี Glycerin เป็นสาร Plasticizer นั้นได้ผลไม่ดีเท่าใดนัก ดังนั้นจึงควรทดลองหาสาร Plasticizer ชนิดอื่นที่ไม่ละลายน้ำมาใช้เป็นสาร Plasticizer ในสารเคลือบเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้น



รูปที่ 5.4 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร K ของปุ๋ยเคลือบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง



รูปที่ 5.5 ภาพถ่าย SEM ของปุยที่เคลือบด้วยสารเคลือบ
ที่มีความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเหลือง 5 กรัม (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 5.6 ภาพถ่าย SEM ของปุยที่เคลือบด้วยสารเคลือบ
ที่มีความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเหลือง 13 กรัม (กำลังขยาย 1000 เท่า)

5.2.2 ผลของจำนวนครั้งในการเคลือบปุ๋ยต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองเคลือบปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 โดยใช้สารเคลือบที่มี Mineral Oil เป็นสาร Plasticizer เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากการละลายของ Plasticizer (ดังที่กล่าวในหัวข้อ 5.2.1) โดยจะใช้สารเคลือบที่มีองค์ประกอบที่คงที่ คือ ความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolate; SPI) 9 %(w) น้ำกลั่น 80.5 %(w) สาร Plasticizer (ในที่นี้คือ Mineral Oil) 7 %(w) สารละลาย Formaldehyde 3 %(w) และสี Yellow sunset 0.5 %(w) ซึ่งผลการปลดปล่อยธาตุอาหาร (ธาตุอาหาร K) ในปุ๋ยสูตร 8-24-24 ที่มีปริมาณเนื้อปุ๋ยสุทธิ 1 กรัม ในน้ำ 250 ml ตามจำนวนครั้งในการเคลือบปุ๋ยเทียบกับเวลาจะแสดงในรูปที่ 5.7

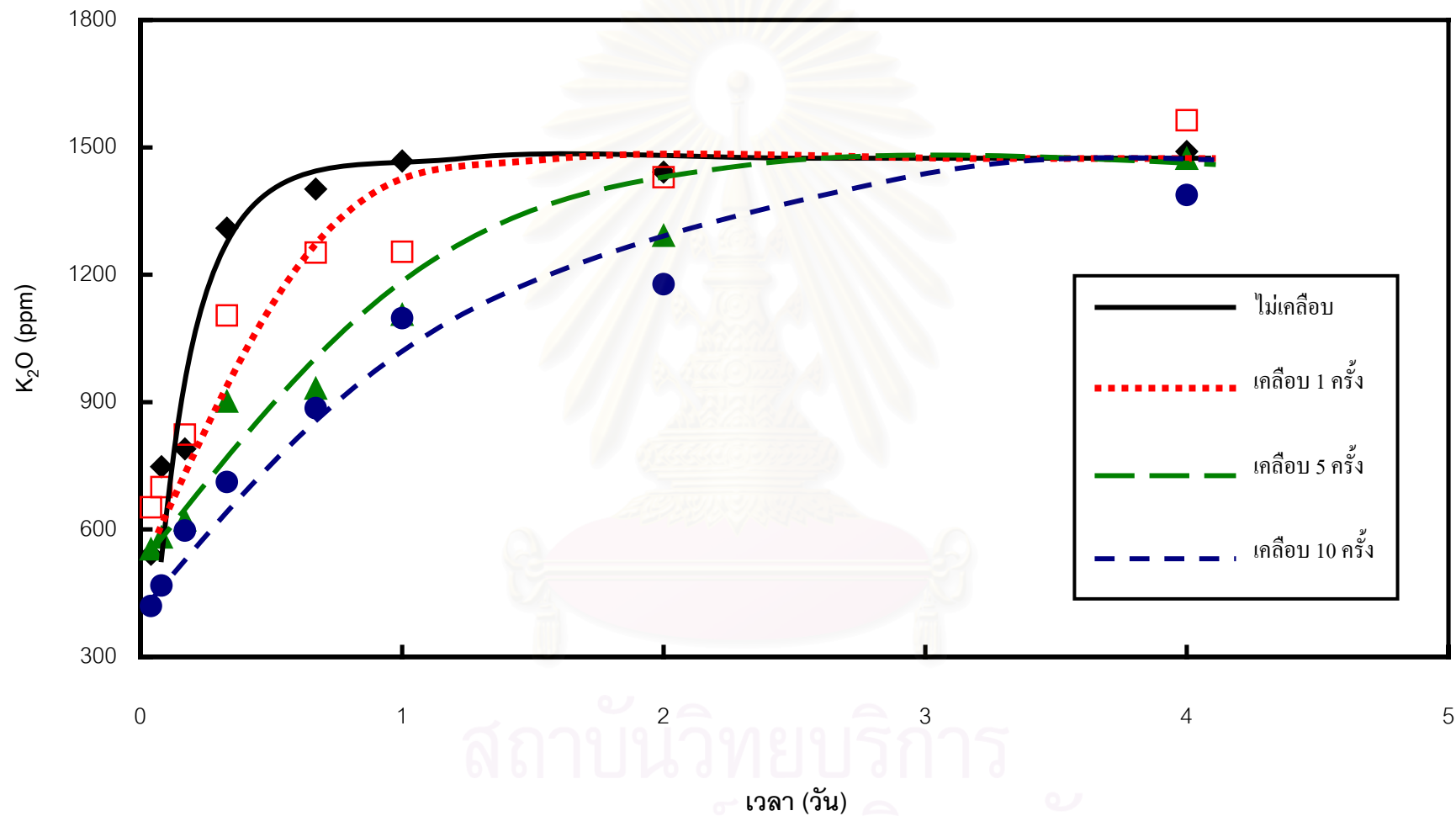
จากกราฟการปลดปล่อยธาตุอาหาร K (K_2O) เทียบกับเวลา ในรูปที่ 5.7 จะพบว่าแนวโน้มของความสามารถการปลดปล่อยธาตุอาหาร K จะช้าลงเมื่อจำนวนครั้งในการเคลือบปุ๋ยมีมากขึ้น เนื่องจากเมื่อจำนวนครั้งในการเคลือบเพิ่มมากขึ้น ความสม่ำเสมอของผิวฟิล์มที่หุ้มปุ๋ยจะมีความสม่ำเสมอมากขึ้น และความหนาของชั้นฟิล์มที่เคลือบจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้โอกาสที่น้ำจะผ่านเข้าไปละลายธาตุอาหารในปุ๋ยมีน้อยลง ดังนั้นจึงทำให้ความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยมีแนวโน้มที่ช้าลงเช่นกัน

5.2.3 เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเหลืองในสารเคลือบที่มีต่อความสามารถในการเคลือบปุ๋ย

ในการเปรียบเทียบความสามารถในการเคลือบปุ๋ยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในการทดลองนี้จะใช้ค่า % Yield และค่า % Agglomerate ของปุ๋ยที่เกาะติดกันเป็นค่าเปรียบเทียบ โดยความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเหลืองจะเปลี่ยนแปลงที่ 7 และ 9 % (w) ตามลำดับ ซึ่งผลการเปรียบเทียบได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสารเคลือบต่อความสามารถในการเคลือบปุ๋ย

ความเข้มข้นของโปรตีนในสารเคลือบ (%w)	% Yield	% Agglomerate
7	76.15	2.38
9	90.22	9.88



รูปที่ 5.7 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร K ของปุ๋ยเคลือบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนครั้งในการเคลือบ

จาก % Agglomerate ที่แสดงในตารางที่ 5.6 พบว่า % Agglomerate ของการเคลือบปุ๋ยโดยใช้ความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสารเคลือบ 9 %(w) มีค่ามากกว่าการเคลือบปุ๋ยโดยใช้ความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสารเคลือบ 7 %(w) เนื่องจากเมื่อมีความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมากทำให้สารเคลือบมีความหนืดค่อนข้างมาก การคลุกปุ๋ยเพื่อให้สารเคลือบกระจายทั่วถึงเมื่อเทสารเคลือบลงบนปุ๋ยในขณะเคลือบจะเป็นไปด้วยความลำบาก และผิวของปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบจะมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งยังเกิดการเกาะตัวติดกันของเม็ดปุ๋ยเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงควรที่จะใช้สารเคลือบที่มีความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเหลืองในปริมาณที่ไม่สูงมากแต่ควรให้จำนวนครั้งในการเคลือบเพิ่มมากขึ้น

5.2.4 ผลการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีเมื่อมีการ Activate ด้วยสารละลาย Formaldehyde บนปุ๋ยที่เคยผ่านการเคลือบแล้ว

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาถึงผลของการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยที่มีการ Activate สารเคลือบที่ผิวของปุ๋ยที่เคยผ่านการเคลือบแล้ว โดยสารที่ใช้ในการ Activate คือ สารละลาย Formaldehyde วิธีการทำคือ นำปุ๋ยที่เคยผ่านการเคลือบแล้วมาจุ่มลงในสารละลาย Formaldehyde เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นนำปุ๋ยที่ได้ไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 °C จนกว่าปุ๋ยจะแห้งสนิท (ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง)

ผลของการปลดปล่อยธาตุอาหาร N, P และ K ในปุ๋ยที่มีการ Activate ด้วยสารละลาย Formaldehyde บนปุ๋ยเคมีที่ผ่านการเคลือบแล้วโดยใช้สารเคลือบที่มีความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลือง 7 %(w) และใช้ปริมาณเนื้อปุ๋ยในการวัดการปลดปล่อยสุทธิ 1 กรัมในน้ำ 250 ml จะแสดงไว้ในรูปที่ 5.8 – 5.10 ตามลำดับ

จากผลของการปลดปล่อยธาตุอาหาร N (รูปที่ 5.8) พบว่าความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหาร N ในปุ๋ยที่มีการ Activate จะมีแนวโน้มในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ช้ากว่าปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง และช้ากว่าปุ๋ยที่ไม่มีการเคลือบ โดยจะใช้เวลาเริ่มการปลดปล่อยธาตุอาหารจนกระทั่งเข้าสู่จุดสมดุล (ปลดปล่อยหมด) ในระยะเวลาประมาณ 9 วัน 6 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ ซึ่งจากภาพถ่าย SEM (รูปที่ 5.11-5.20) จะสามารถอธิบายถึงสิ่งที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

จากภาพถ่าย SEM จะพบว่าลักษณะของปุ๋ยที่มีการเคลือบด้วยสารเคลือบ 15 ครั้ง (รูปที่ 5.12) จะมีผิวที่ค่อนข้างเรียบ และมีขนาดใหญ่กว่าปุ๋ยที่ไม่ผ่านการเคลือบ (รูปที่ 5.11) ซึ่งขนาดที่เพิ่มและความเรียบที่ผิวหน้าจะเกิดจากฟิล์มของสารเคลือบที่เคลือบอยู่บนเม็ดปุ๋ย ซึ่งเมื่อดูจากรูปที่ 5.14 จะเห็นว่ามีการเคลือบเคลือบอยู่บนเม็ดปุ๋ย และจากรูปที่ 5.17 จะเห็นเป็นชั้นของฟิล์มเคลือบเคลือบซ้อนทับกันอยู่บนบนเม็ดปุ๋ยเป็นชั้น ๆ ทำให้โอกาสของน้ำที่จะผ่านเข้าไปละลายธาตุอาหารในปุ๋ย และธาตุอาหารแพร่ผ่านฟิล์มเคลือบออกมามีน้อยลง จึงเป็นเหตุผลที่ชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยที่

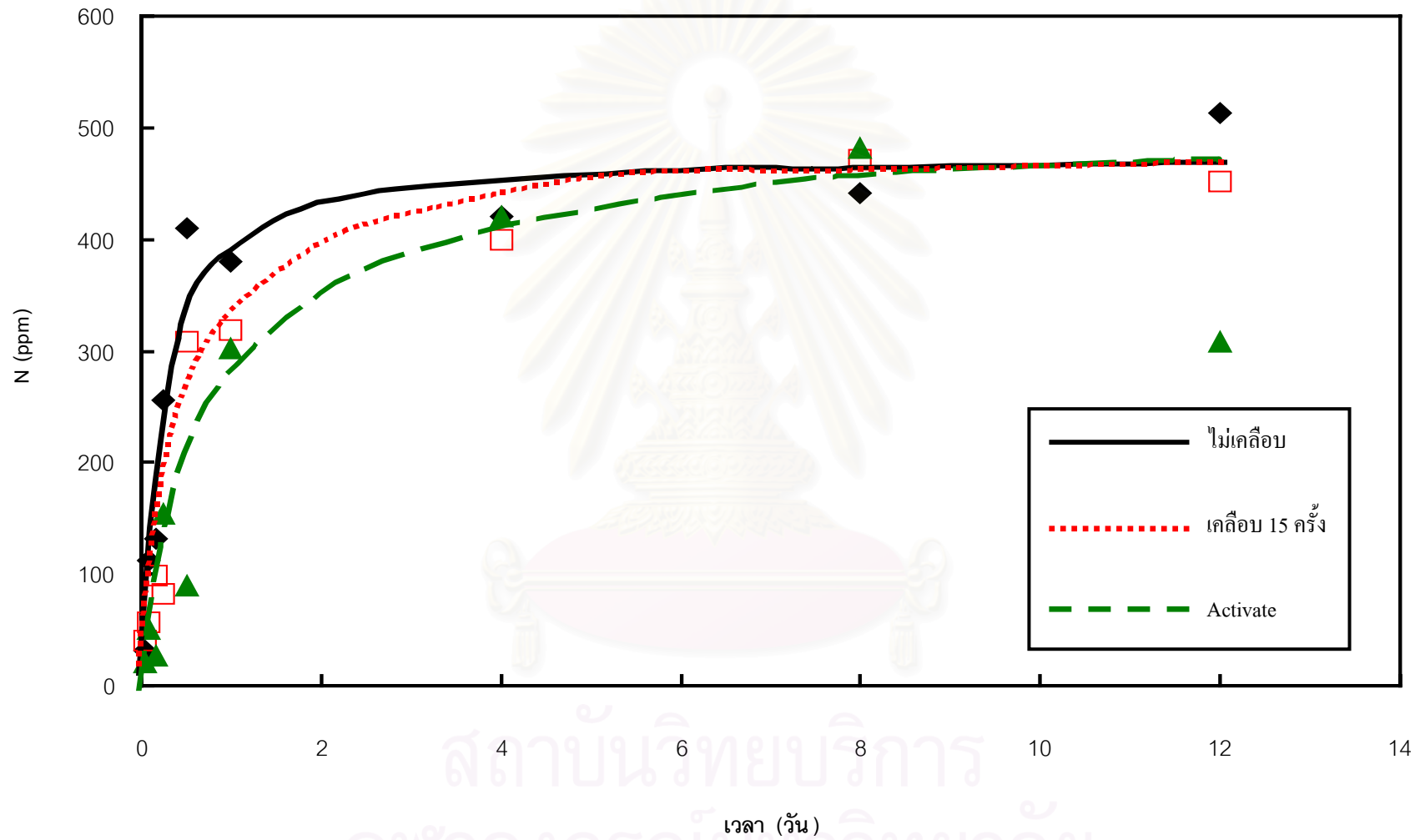
ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ช้ากว่าปุ๋ยที่ไม่มีการเคลือบ

เมื่อพิจารณาจากภาพ SEM ของปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบ 15 ครั้ง (รูปที่ 5.17 และ 5.19) เปรียบเทียบกับภาพปุ๋ยที่มีการ Activate หลังจากผ่านการเคลือบแล้ว (รูปที่ 5.15, 5.18 และ 5.20) จะพบว่า ผิวเคลือบของปุ๋ยที่มีการ Activate จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึกที่อัดตัวกันแน่น ส่วนผิวเคลือบของปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบ 15 ครั้งจะมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นแบบ Amorphous เรียงซ้อนทับกันและเกิดรูพรุนที่ฟิล์มเคลือบจำนวนมาก ซึ่งจากความรู้เบื้องต้นในเรื่องโปรตีนจะเห็นว่าโครงสร้างของโปรตีนที่เป็นผลึกจะมีความสามารถในการละลายน้ำน้อยกว่าโครงสร้างของโปรตีนที่เป็นแบบ Amorphous ดังนั้นโอกาสที่น้ำจะเข้าไปละลายธาตุอาหารในปุ๋ยที่มีการ Activate จึงน้อยกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการ Activate ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ปุ๋ยที่มีการ Activate หลังจากที่มีการเคลือบแล้วมีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ช้ากว่าปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบแต่ไม่มีการ Activate

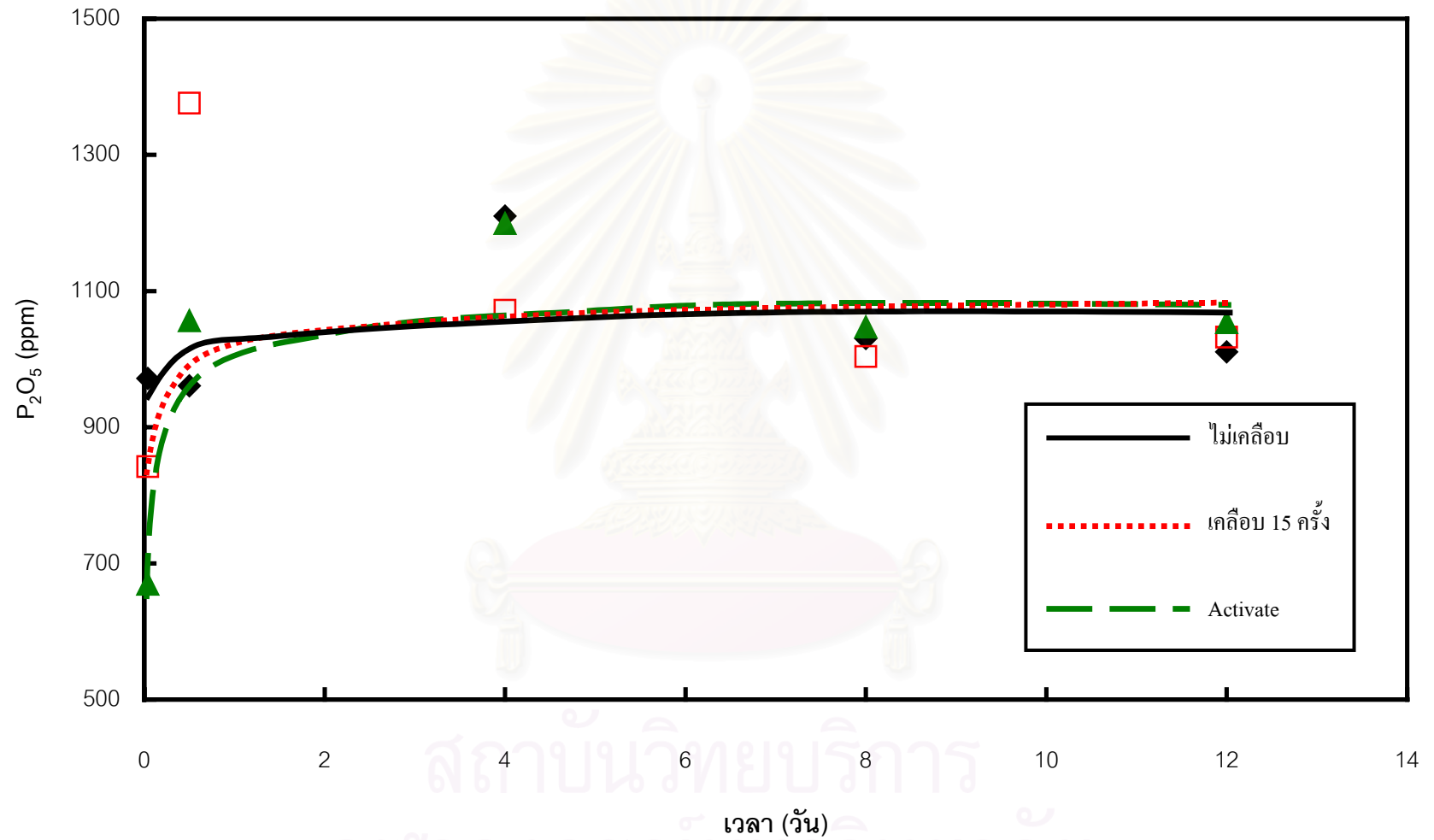
สำหรับผลการปลดปล่อยธาตุอาหาร P และ K (ในรูปที่ 5.9 และ 5.10) จะเห็นว่าปุ๋ยที่มีการ Activate และปุ๋ยที่มีการเคลือบ 15 ครั้งจะมีแนวโน้มการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ช้ากว่าอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปุ๋ยที่ไม่ผ่านการเคลือบ



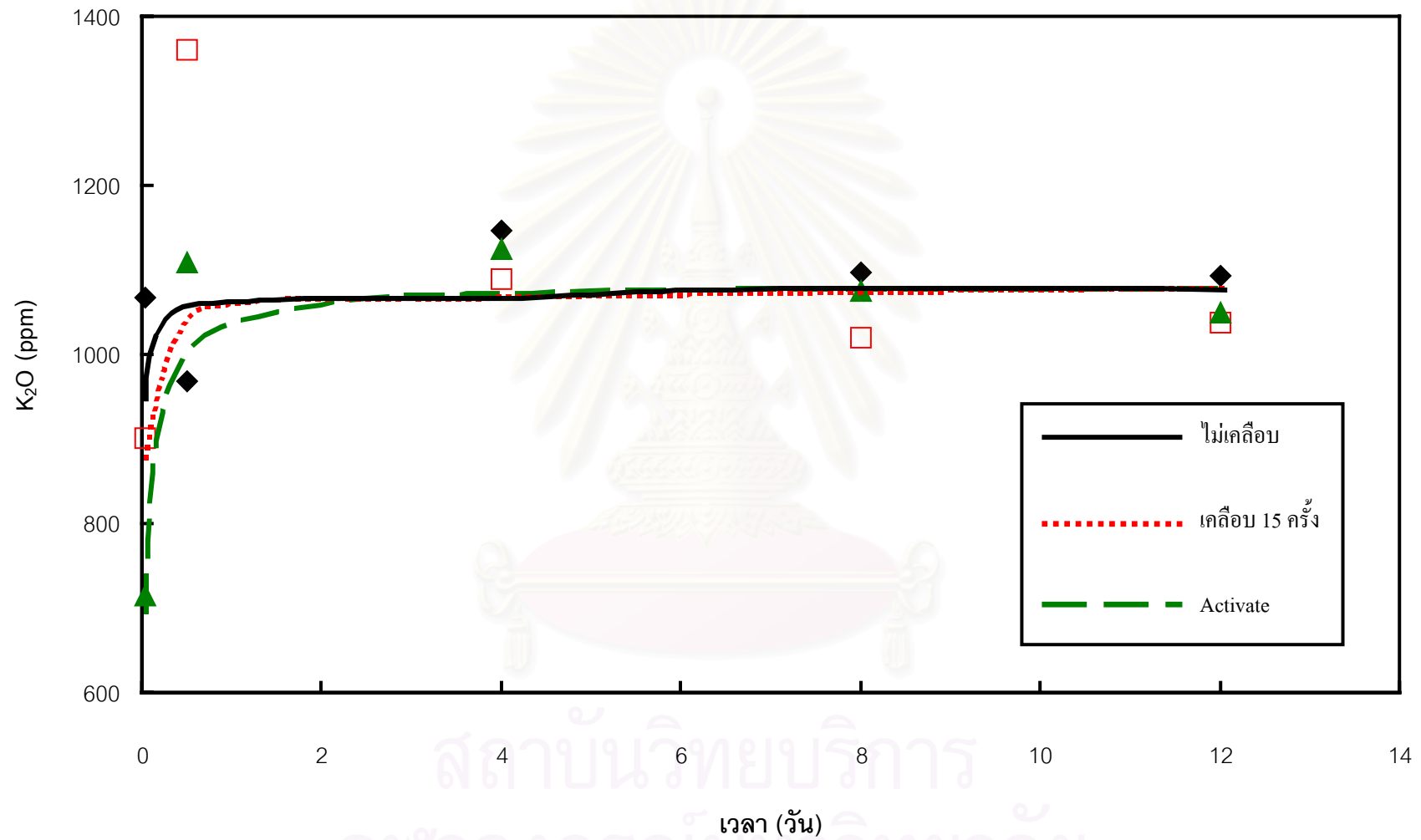
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



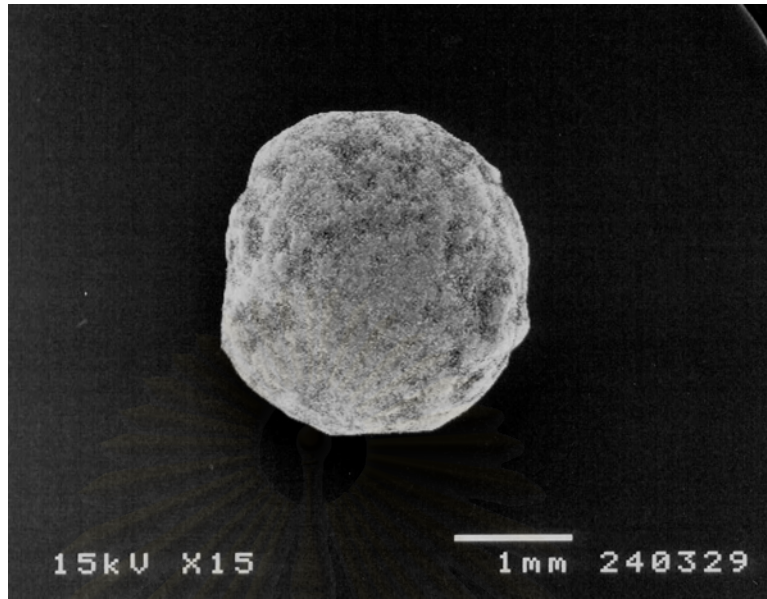
รูปที่ 5.8 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร N ในปุ๋ยที่มีการ Activate หลังจากผ่านการเคลือบแล้ว



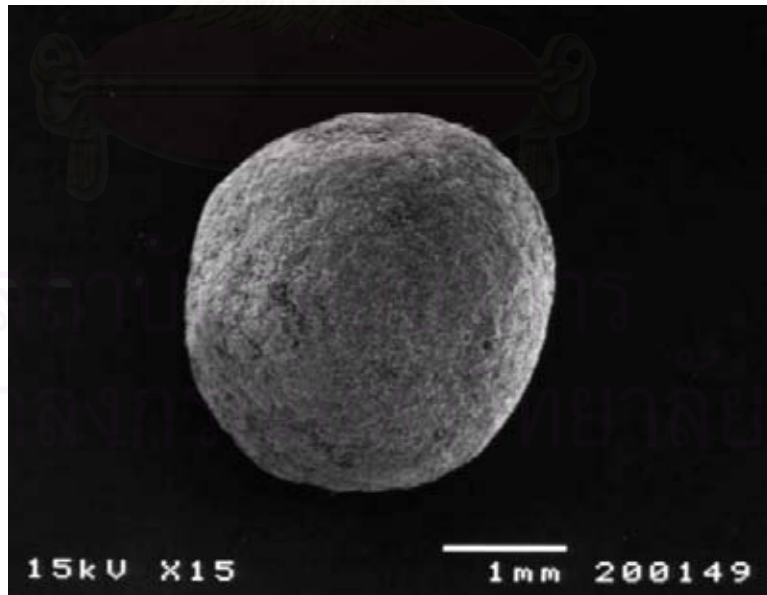
รูปที่ 5.9 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร P ในปุ๋ยที่มีการ Activate หลังจากผ่านการเคลือบแล้ว



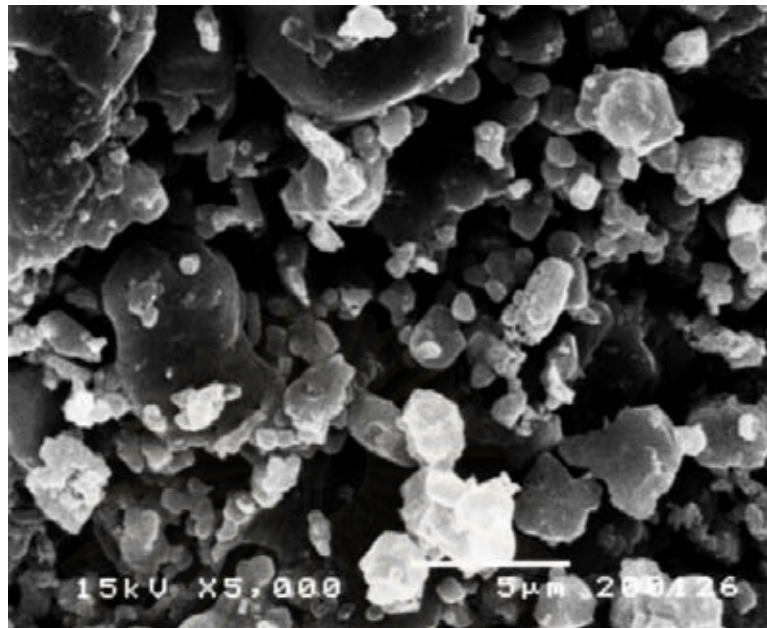
รูปที่ 5.10 ผลเปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหาร K ในปุ๋ยที่มีการ Activate หลังจากผ่านการเคลือบแล้ว



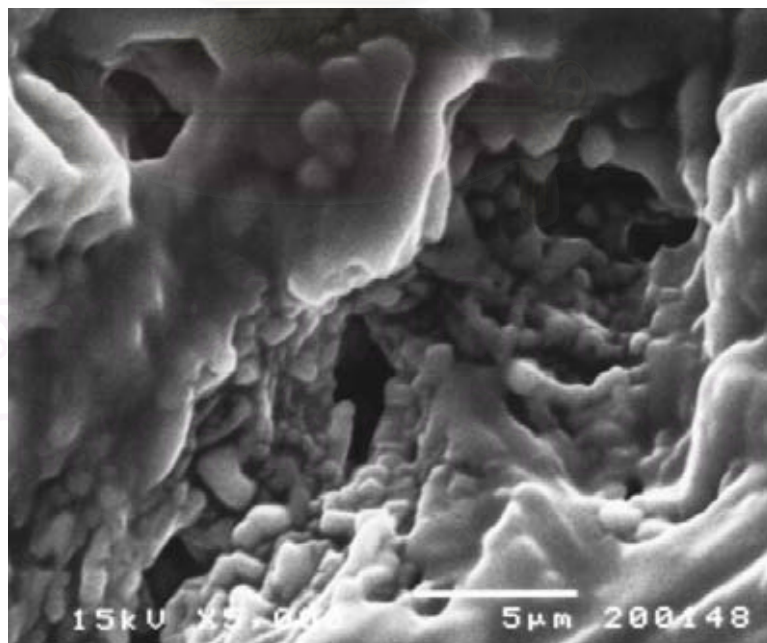
รูปที่ 5.11 ภาพถ่าย SEM ของปุ๋ยชนิดที่ไม่มีสารเคลือบ (กำลังขยาย 15 เท่า)



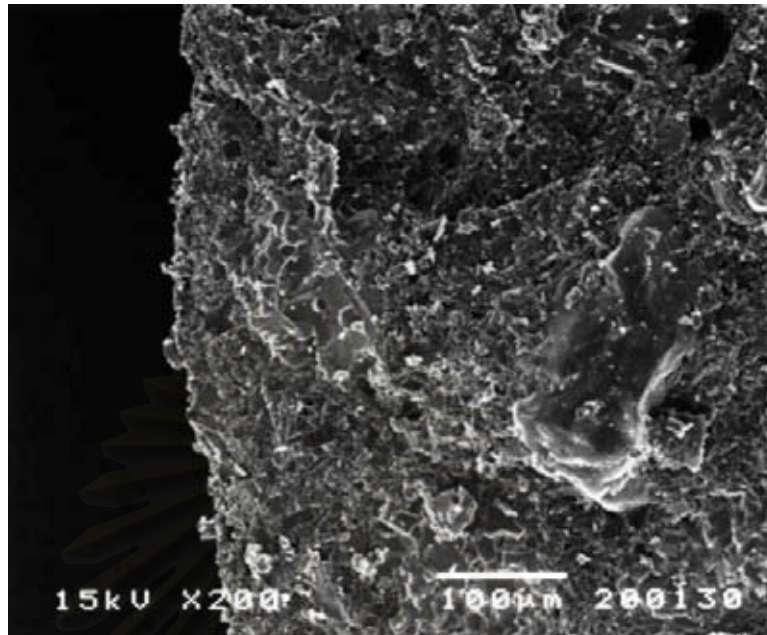
รูปที่ 5.12 ภาพถ่าย SEM ของปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 15 เท่า)



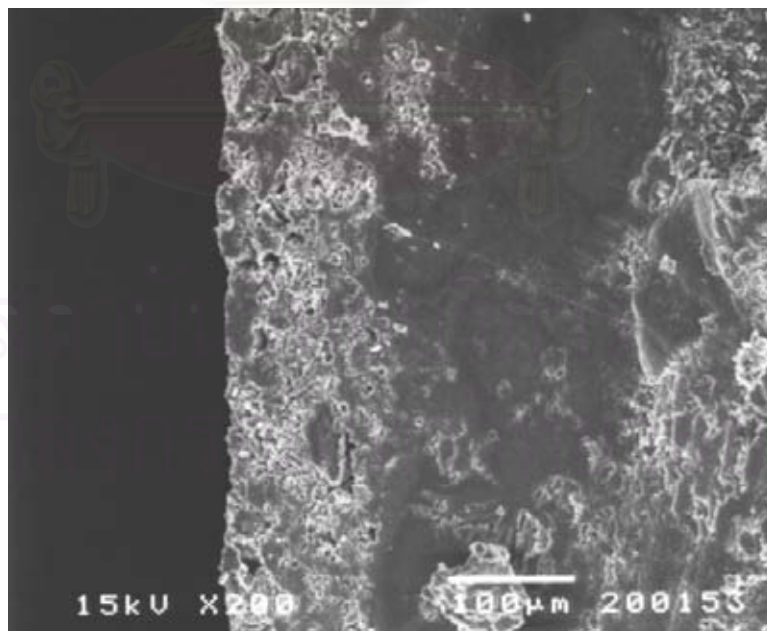
รูปที่ 5.13 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปุ๋ยชนิดที่ไม่มีการเคลือบ (กำลังขยาย 5000 เท่า)



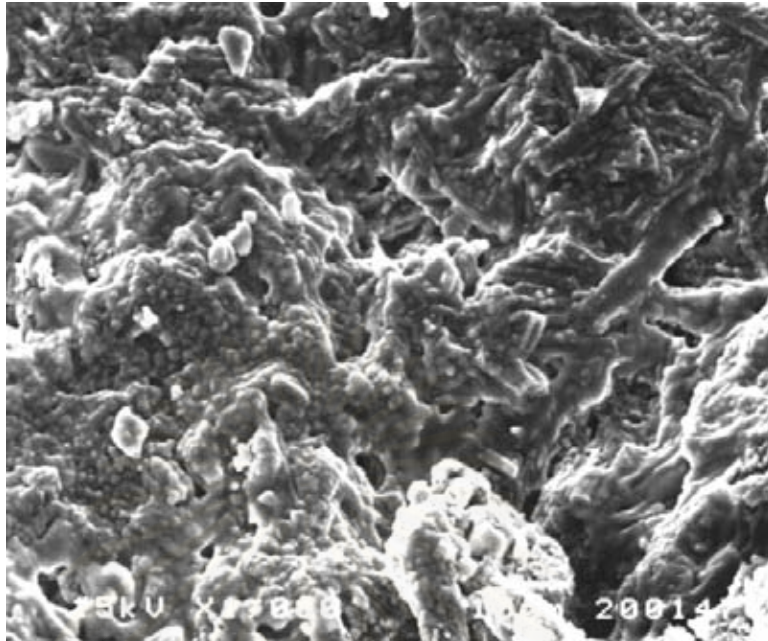
รูปที่ 5.14 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปุ๋ยชนิดที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 5000 เท่า)



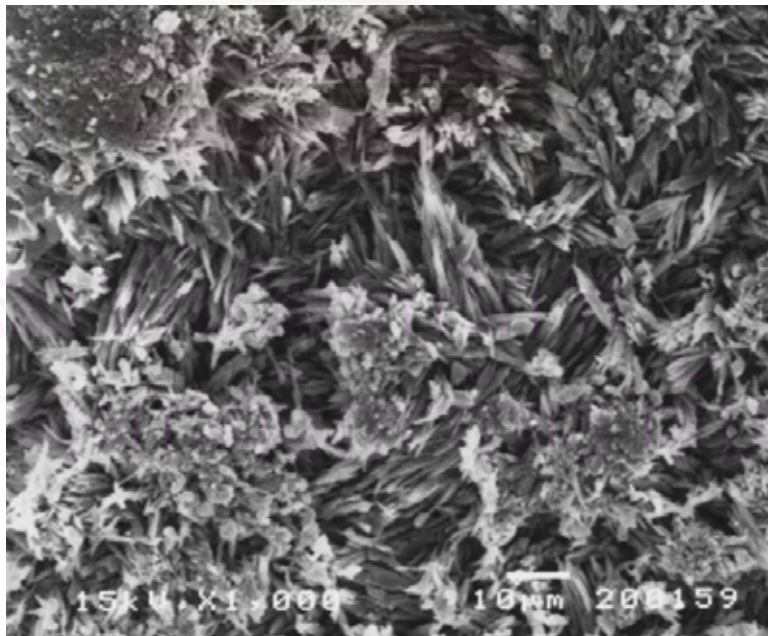
รูปที่ 5.15 ภาพถ่าย SEM ตัดขวางของน้ผึ้งชนิดที่ไม่มีเคลือบ (กำลังขยาย 200 เท่า)



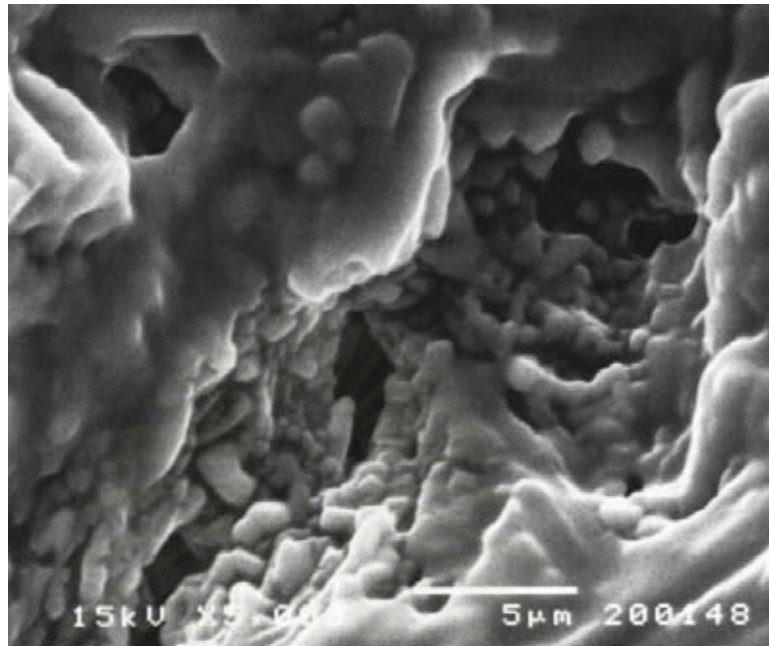
รูปที่ 5.16 ภาพถ่าย SEM ตัดขวางของน้ผึ้งชนิดที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 200 เท่า)



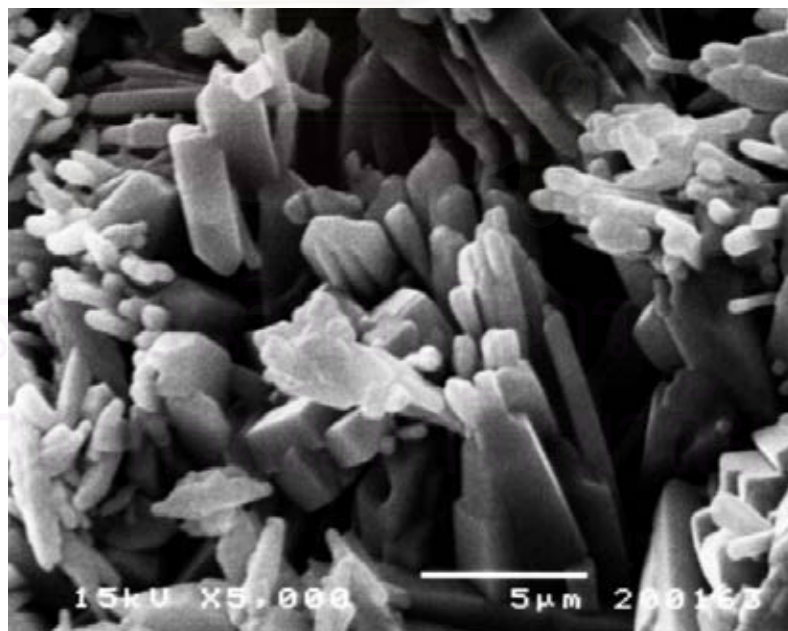
รูปที่ 5.17 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปุ๋ยชนิดที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 5.18 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปุ๋ยเคลือบที่ผ่านการ Activate (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 5.19 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปุ๋ยชนิดที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้ง (กำลังขยาย 5000 เท่า)



รูปที่ 5.20 ภาพถ่าย SEM ที่ผิวของปุ๋ยเคลือบที่ผ่านการ Activate (กำลังขยาย 5000 เท่า)

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตปุ๋ยเคมีให้มีความสามารถในการชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหาร โดยเคลือบปุ๋ยเคมีด้วยสารเคลือบที่มีโปรตีนจากกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักในสารเคลือบ ในส่วนแรกของงานวิจัยนี้จึงได้เริ่มจากการทำแผ่นฟิล์มจากสารเคลือบจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง และในส่วนของงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงการเคลือบปุ๋ยเคมีด้วยสารเคลือบจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง จากผลการทำวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

การทำแผ่นฟิล์มจากสารเคลือบทำขึ้นมาสำหรับประเมินแนวโน้มถึงคุณลักษณะ ความคงทน และความสามารถในการแพร่ผ่านธาตุอาหารของฟิล์มจากสารเคลือบ โดยศึกษาถึงผลของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในฟิล์มมีผลต่อความสามารถในการแพร่ผ่านของยูเรีย โดยฟิล์มที่มีความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมากจะทำให้แนวโน้มของการแพร่ผ่านของยูเรียช้าลงตามลำดับ แต่ถ้าความเข้มข้นของโปรตีนมากเกินไปจะส่งผลต่อสารเคลือบและฟิล์มที่เกิดขึ้น โดยจะเกิดการจับตัวเป็นก้อนของโปรตีนทำให้ฟิล์มที่ได้มีผิวที่ไม่เรียบ ไม่ต่อเนื่องจนถึงทำให้ไม่สามารถใช้สารเคลือบขึ้นเป็นแผ่นฟิล์มได้

2. สารละลาย Formaldehyde ที่เติมเข้าไปในสารเคลือบจะมีผลทำให้ฟิล์มที่ได้จากสารเคลือบมีความแข็งแรงคงทนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสารละลาย Formaldehyde จะเข้าไปเชื่อมโยงพันธะในโมเลกุลของโปรตีนทำให้โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนมีความแข็งแรงมากขึ้น

3. แผ่นฟิล์มที่ได้จากสารเคลือบที่เตรียมที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มที่ทำขึ้น

สำหรับการศึกษาถึงการเคลือบปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ด้วยสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลืองนั้น สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สูตรของสารเคลือบที่เหมาะสมที่จะใช้เคลือบปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วย โปรตีนจากกากถั่วเหลือง (SPI), น้ำกลั่น, Mineral Oil, สารละลาย Formaldehyde และสี ในอัตราส่วน 7%, 82.5%, 7%, 3% และ 0.5% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบ 15 ครั้งจะมีแนวโน้มของการปลดปล่อยช้าลงกว่าปุ๋ยที่ไม่ได้ทำการเคลือบคือปลดปล่อยหมดในระยะเวลาประมาณ 6 วัน จากเดิมที่ปลดปล่อยหมดภายในระยะเวลาประมาณ 3 วัน

2. สาร Plasticizer ที่ใช้ควรเป็นสารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากฟิล์มเคลือบที่เกิดจากสาร Plasticizer ที่ละลายน้ำได้เช่น Glycerin จะทำให้ฟิล์มเกิดรูพรุนขึ้นเนื่องจากการละลายของ Glycerin ในขณะที่ทำการแช่ปุ๋ยลงในน้ำ ทำให้ไม่สามารถช่วยให้เกิดการชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย ในทางกลับกันถ้าใช้สาร Plasticizer ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น Mineral Oil จะทำให้ฟิล์มที่เกิดขึ้นสามารถช่วยชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยได้นานขึ้น

3. เมื่อความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสารเคลือบเพิ่มมากขึ้น และจำนวนครั้งในการเคลือบปุ๋ยเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ฟิล์มเคลือบมีเนื้อฟิล์มที่แน่นและมีความหนาเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีแนวโน้มที่จะยืดระยะเวลาในการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยได้นานขึ้น

4. เมื่อเคลือบปุ๋ยโดยใช้สารเคลือบที่มีความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองมากเกินไป จะทำให้เกิดการเกาะรวมตัวกัน (Agglomerate) ของเม็ดปุ๋ย ดังนั้นในการเคลือบจึงควรใช้สารเคลือบที่มีความเข้มข้นของโปรตีนไม่มากเกินไป แต่ให้เคลือบโดยให้จำนวนครั้งในการเคลือบเพิ่มมากขึ้น

5. ปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบที่ทำจากโปรตีนจากกากถั่วเหลือง แล้วนำมา Activate ด้วยสารละลาย Formaldehyde จะทำให้โครงสร้างของฟิล์มเคลือบเปลี่ยนไป กล่าวคือฟิล์มเคลือบของปุ๋ยที่ทำการ Activate จะมีโครงสร้างที่เป็นผลึกอัดตัวกันแน่น รูพรุนมีขนาดเล็ก (ดังรูปที่ 5.18) ส่วนฟิล์มเคลือบที่ไม่มีการ Activate จะมีโครงสร้างที่เป็นแบบ Amorphous ซ่อนทับกันอยู่เท่านั้น (ดังรูปที่ 5.17) ดังนั้นโอกาสที่น้ำจะละลายฟิล์มเคลือบของปุ๋ยที่มีการ Activate จะมีน้อยกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการ Activate จึงส่งผลให้ปุ๋ยที่มีการ Activate มีแนวโน้มการปลดปล่อยธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุอาหาร N ของปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ที่มีปริมาณเนื้อปุ๋ยสุทธิ 1 กรัมในน้ำ 250 ml จะมีระยะเวลาในการปลดปล่อยได้นานกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการ Activate และนานกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการ

เคลือบ กล่าวคือ จะปลดปล่อยหมดในระยะเวลา 9 วัน 6 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ ส่วนการปลดปล่อยธาตุอาหาร P และ K นั้นยังไม่เห็นความแตกต่างของแนวโน้มการปลดปล่อยธาตุอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญเท่าใดนัก

6. การใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองมาเคลือบปุ๋ยให้มีความสามารถในการชะลอการปลดปล่อยนั้นมีความเหมาะสมในด้านการเพิ่มมูลค่าของกากถั่วเหลือง เนื่องจากกากถั่วเหลืองเป็นวัสดุที่เหลือใช้ในทางการเกษตรอีกทั้งยังเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ แต่ในด้านของประสิทธิภาพการใช้งานนั้นจำเป็นต้องพัฒนาให้เกิดผลที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

1. ควรพัฒนาสูตรของสารเคลือบให้มีความเหมาะสม และสามารถทำให้เกิดฟิล์มที่สามารถช่วยชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหารได้นานมากยิ่งขึ้น เช่น เปลี่ยนสารที่เป็น Solvent จากน้ำเป็นสารอื่น เนื่องจากปุ๋ยเคมีสามารถละลายน้ำได้ง่ายมาก ดังนั้นถ้าใช้ Solvent ที่ไม่ละลายปุ๋ยเคมีน่าจะทำให้ผลการเคลือบดีมากขึ้น
2. ควรทดลองหาสารที่ใช้เป็นสาร Crosslink Agent ที่ไม่เป็นอันตรายแทนสารละลาย Formaldehyde เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากอันตรายของสาร Formaldehyde

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ย. เอกสารประชุมเชิงวิชาการ กองเกษตรเคมี กรมวิชาการ เกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , 2540.

กวี ดำรงสิริพร. การใช้ยางสกิมผลิตปุ๋ยยูเรียชนิดควบคุมการปลดปล่อยยูเรีย. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

กัณฑ์ณิษฐ์ ธนศิริวัฒนา. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายโอนปุ๋ยยูเรียผ่านชั้น เคลือบยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

ณรงค์ สาริตสุด. การผลิตยาออกฤทธิ์นาน. ในรายงานการประชุมทางวิชาการ Advances in Industrial Pharmaceutical Technology, หน้า 232-275. ครั้งที่ 5, 2538 ณ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชนิด คูสำราญ. เคมีและโครงสร้างโมเลกุลสามมิติของโปรตีน. ในรายงานการประชุมทางวิชาการ วิทยาการก้าวหน้าของโปรตีน, หน้า 5-12. 2-4 พ.ค. 2538 ณ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นลินี ว่องมงคลฤทธิ์. ปุ๋ยเคมี. กรุงเทพมหานคร, 2540.

บุญยืน สาริกะภูติ. โปรตีน. เชียงใหม่: ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2522.

ปฐพีชล วายุอัคคี. ดินและปุ๋ย. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ผลิตตำราเกษตรเพื่อชนบท, 2541

ประดิษฐ์ มีสุข. เคมีอินทรีย์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 6. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2544

ประทีป กระแสสินธุ์ และ วิศิษฐ์ โชติตกุล. ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาในโตรเจนประเภทละลายเป็น
ประโยชน์เข้ากับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตต่อผลผลิตและปริมาณไนโตรเจนที่ต้นข้าวดูดขึ้น
มาในสภาพน้ำขังและการระบายน้ำ. เอกสารงานวิจัย ศูนย์เกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ฉบับที่ 6, 2514.

แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.
กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์, 2539.

ขงยุทธ โอสธสภา. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, 2528.

วารา บุษปธารง. เครื่องต้มไฮโดรไลเซตจากกากถั่ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร ภาควิชา
เทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

วีระศักดิ์ สหชัยเสรี. โปรตีนเทคโนโลยี. เชียงใหม่: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่, 2544.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. พิมพ์
ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: โรงพิมพ์ บ. สยามออฟเซ็ท จำกัด, 2527.

สมชาย จอมดวง. การผลิตและทดสอบลักษณะผลิตภัณฑ์โปรตีนจากถั่วเขียวและถั่วเหลือง. วิทยา
นิพนธ์ปริญญาโทบริหาร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2528.

สุทธิ ภมรสมิต และ ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. ชีวเคมีพื้นฐาน. มหาสารคาม: ภาควิชาเคมี คณะวิทยา
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม, 2518.

โสภณ เรืองสำราญ, อมร เพชรสม, ศุภสร พัฒนอักษร และ สุรัชย์ พรภคกุล. อินทรีย์เคมี 2. พิมพ์ครั้งที่
ที่ 2. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

อำพร ไมตรีเวช. การทำเพลเลทและระบบลอยตัวในอากาศ. ในรายงานการประชุมทางวิชาการ
Advances in Industrial Pharmaceutical Technology, หน้า 172-177. ครั้งที่ 5, 2538 ณ คณะ
เภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ภาษาอังกฤษ

A.G. Ozturk, S.S. Ozturk, B.O. Palsson, T.A. Wheatley and J.B. Dressman. Mechanism of Release form Pellets Coated with an Ethylcellulose-based Film. Journal of Controlled Release 14 (1990): 203-213.

A.H. Brandenburg, C.L. Weller, and R.F. Testin. Edible Film and Coatings from Soy Protein. Journal of Food Science 58, No.5 (1993): 1086-1089.

Chen, F.S. Abrasion resistant topcoats for control release coatings. United States Patent 5628813, (13 May 1997).

Hepburn, C., and Arizal, R. Slow-release fertilizers based on natural rubber. British Polymer Journal. (1988) : 487-491.

Hudson, A.P. Abrasion resistant coatings for fertilizer. United States Patent 5466274, (14 November 1995).

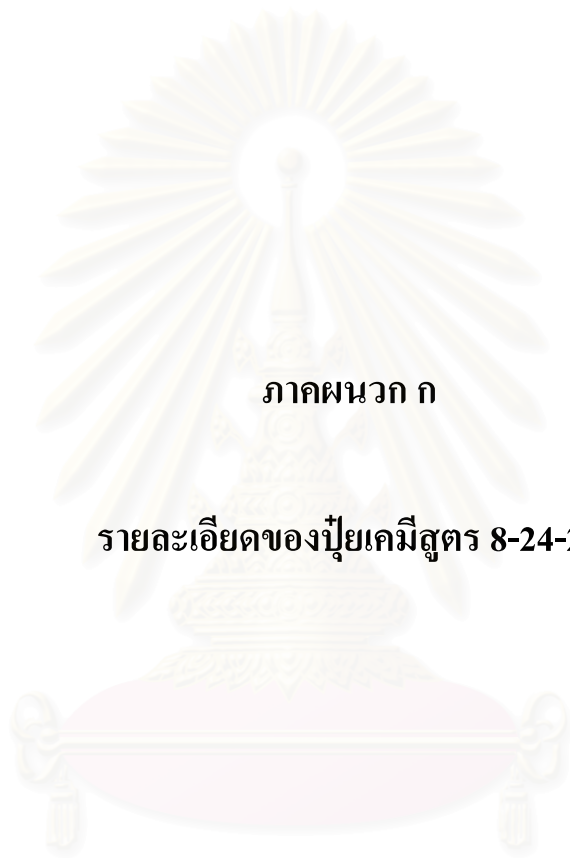
John E. Kinsella. Functional Properties of Soy Proteins. J. Am. Oil Chemists' Soc 56 (March 1979): 242-258.

J.S. Natario del Pino, I.J. Arteaga Padron, M.M. Gonzalez Martin & J.E. Garcia Hernandez. Phosphorus and potassium release from phillipsite-based slow-release fertilizer. Journal of Controlled Release 34 (1995): 25-29.

James A. Seitz, Shashi P. Mehta, and James L. Yeager., Tablet Coating. In Leon Lachman et al (eds), The Theory and Practice of Industrial Pharmacy. 3rd Ed. , pp. 346-373. Philadelphia: Lea&Febiger, 1986.

MC.Garcia, J.A.Diez, A.Vallejo, L.Garcia, and MC.Cartagena. Use of Kraft Pine Lignin in Controlled-Release Fertilizer Formulations. Ind. Eng. Chem. Res 35, No.1 (1996): 245-249.

- M.E. Engelsjord, O. Fostad & B.R. Singh. Effects of temperature on nutrient from slow-release fertilizers. Nutrient Cycling in Agroecosystems 46 (1997): 179-187.
- S.M. Lu and S.F. Lee. Slow release of urea through latex film. Journal of Controlled Release 18 (1992): 171-180.
- Sirichaiwat C. A Study Of Preparation Of Controlled Release Urea Fertilizer By Using Natural Rubber Latex. Master's Thesis, Department of Polymer Science, Faculty of Graduate Studies, Mahidol University, 1996.
- Teerasut P. Development Of The Encapsulation Of Urea Fertilizer By Using Natural Rubber Latex. Masyer's Thesis, Department of Polymer Science, Faculty of Graduate Studies, Mahidol University, 1998.
- U. Kalapathy, N.S. Hettiarachchy, D. Myers, and K.C. Rhee. Alkali-Modified Soy Protein: Effect of Salts and Disulfide Bond Cleavage on Adhesion and Viscosity. JAOCs 73, No. 8 (1996): 1063-1066.
- Uri Shavit, Avi Shaviv, Gil Shalit & Dan Zaslavsky. Release characteristics of a new controlled release fertilizer. Journal of Controlled Release 43 (1997): 131-138.
- Valkanas, G.N. Controlled release fertilizer. United States Patent 5137563, (11 August 1992).
- V.M. Ghorpade, H. Li, A. Gennadios, and M.A. Hanna. Chemical Modified Soy Protein Films. American Society of Agricultural Engineers 38 No.6 (1995): 1805-1808.



ภาคผนวก ก

รายละเอียดของบัญชีเลขที่ 8-24-24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดของปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24

การใช้งาน

ปุ๋ยสำหรับเร่งการออกดอกและผล

ผลิตโดย

บริษัท ปุ๋ยแห่งชาติ (มหาชน) จำกัด

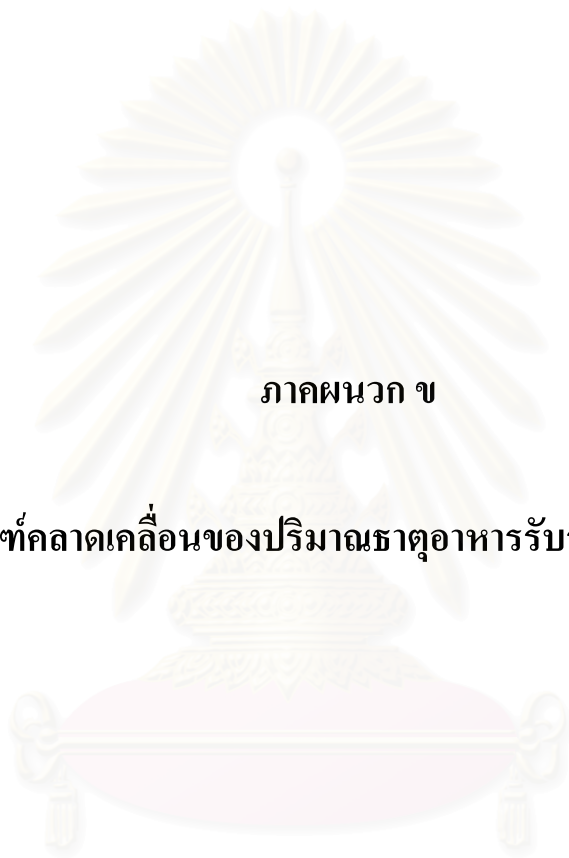
ปริมาณธาตุอาหารรับรอง

ธาตุอาหาร	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)
ไนโตรเจนทั้งหมด (N)	8
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5)	24
โปแทสเซียมที่ละลายน้ำ (K_2O)	24

อัตราการใช้

ไม้ผล ใช้เร่งการออกดอก เพิ่มขนาดและความหวานของผล เช่น มะม่วง ขนุน ชมพู ฝรั่ง น้อยหน่า มังคุด ฯลฯ อายุ 3 ปีขึ้นไป ใช้ 0.5 – 1 kg / ต้น โรยรอบทรงพุ่ม ใส่ก่อนการออกดอก ประมาณ 1 เดือน

ไม้ดอก ไม้กระถาง ใช้เร่งการออกดอกและเร่งสี เพิ่มขนาดของดอก เช่น เฟื่องฟ้า โป๊ยเซียน มะลิ กุหลาบ ใช้ 1 ช้อนชา ต่อกระถาง 10 นิ้ว หรือต้นสูงประมาณ 2 ฟุต โรยรอบ ๆ กระถาง ใส่เดือนละครั้ง



ภาคผนวก ข

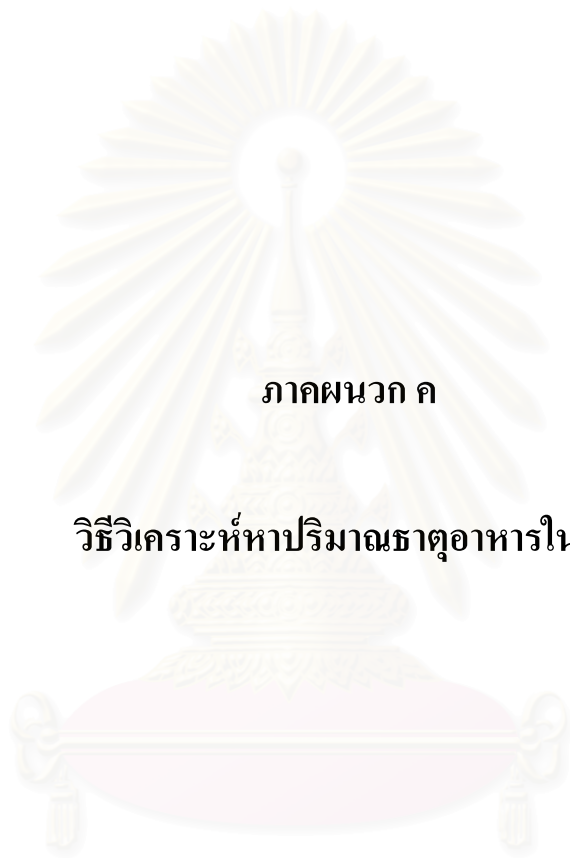
เกณฑ์ตลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารรับรองในปุ๋ยเคมี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกณฑ์ตลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารรับรองในปุ๋ยเคมี

ธาตุอาหารหลัก	ปริมาณธาตุอาหารรับรอง ร้อยละโดยน้ำหนัก	เกณฑ์ตลาดเคลื่อนร้อยละของน้ำหนัก		เกณฑ์ตลาดเคลื่อนขั้นสูง ร้อยละโดยน้ำหนัก
		ปุ๋ยเชิงเดี่ยว และ ปุ๋ยเชิงประกอบ	ปุ๋ยเชิงผสม	
ไนโตรเจน (N)	น้อยกว่า 8.0	0.4	0.4	2
	8.0 - 16.0	0.5	0.6	3
	16.1 – 24.0	0.6	0.8	4
	มากกว่า 24.0	0.8	1.0	5
ฟอสเฟต (P ₂ O ₅)	น้อยกว่า 8.0	0.4	0.4	3
	8.0 - 16.0	0.5	0.6	4
	16.1 – 24.0	0.6	0.8	5
	มากกว่า 24.0	0.8	1.0	6
โพแทสเซียม (K ₂ O)	น้อยกว่า 8.0	0.5	0.5	2
	8.0 - 16.0	0.7	0.8	2
	16.1 – 24.0	0.8	1.0	4
	มากกว่า 24.0	1.0	1.2	5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

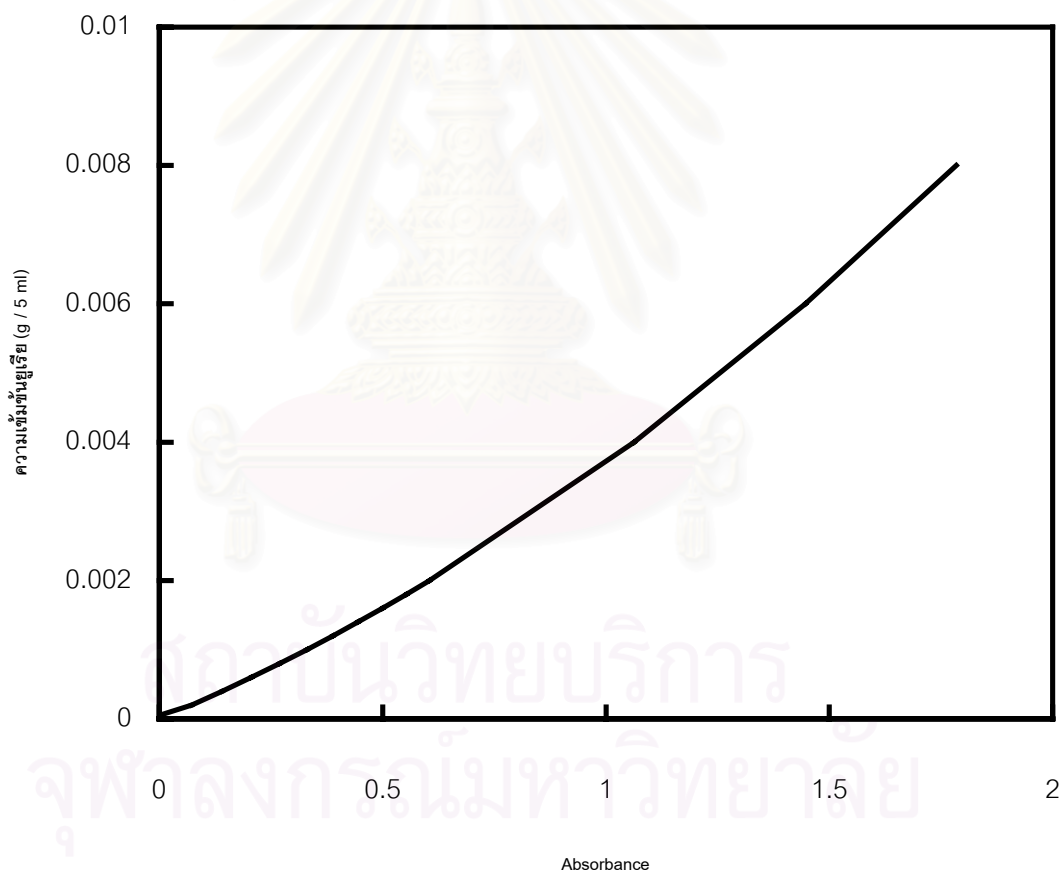
วิธีวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.1 การหาปริมาณ Urea โดยเทคนิค UV-Spectrophotometer

การวิเคราะห์หาปริมาณของ Urea โดยใช้เทคนิค UV-Spectrophotometer ในการทดลองนี้ จะวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร นำค่า Absorbance ที่วัดได้ ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐาน Urea ที่ความเข้มข้น ต่าง ๆ กับค่าความเข้มข้นของ Urea

ในขั้นตอนของการวัดค่า Absorbance นั้น จะต้องทำการเตรียมสารละลาย dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) โดยชั่ง DMBA 16.00 กรัม ละลายด้วย 95% เอทานอลจนมี ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร แล้วเติม concentrated HCl 100 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้นี้สามารถเก็บไว้ ได้นาน 1 เดือน



รูปที่ ค.1 Standard Curve ของ Urea เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer

ค.2 การหาปริมาณไนโตรเจน (N) โดยวิธี Kjeldahl Method

การหาปริมาณไนโตรเจน (N) โดยวิธีของ Kjeldahl เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการหาปริมาณ N ในปุ๋ย โดยอาศัยหลักการย่อยสลายสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบโดยใช้กรดซัลฟูริกและตัวเร่งปฏิกิริยาให้ได้ Ammonium sulfate, Carbon dioxide และน้ำ จากนั้นทำการหาปริมาณแอมโมเนียที่ได้โดยการจับด้วยกรด และทำ Back Titration ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนที่มีทั้งหมดได้

สำหรับขั้นตอนการหาปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยโดยใช้วิธีของ Kjeldahl Method มีดังนี้

1. นำสารตัวอย่างใส่ในหลอดย่อย เติมสาร catalyst ใส่แต่ละหลอดย่อย
2. เติมกรด Sulfuric แล้วค่อย ๆ คน
3. นำไปอุ่นที่ Preheated digester แล้วนำไปย่อยด้วยเครื่อง Digester ย่อยประมาณ 3-5 นาที ที่ Air flow สูงสุดจนเกิดควันขึ้น แล้วลดความเร็ว Air flow
4. ย่อยต่อไปจนได้สารละลายใส แล้วเอาหลอดย่อยออก ทิ้งไว้ให้เย็น
5. เติมน้ำเพื่อเจือจางลงในหลอดย่อยประมาณ 75 ml
6. นำกรด Boric มาใส่ใน Receiver flask ติดตั้งบนเครื่องกลั่นเพื่อจับสารละลายแอมโมเนียที่เกิดขึ้น
7. นำหลอดย่อยมาต่อกับเครื่องกลั่น เริ่มกลั่น กลั่นจนแอมโมเนียหมด
8. เอาหลอดย่อยออก นำสารละลายใน Receiver flask ไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานของกรด HCl จนได้สารละลายสีเทา

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสามารถคำนวณได้จาก

$$\%N = 14.01 [\text{HCl (ml)} - \text{HCl จาก blank (ml)}] \times \text{molarity ของ HCl} / [\text{นน. sample} \times 10]$$

ค.3 การหาปริมาณโปแทสเซียม (K) โดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

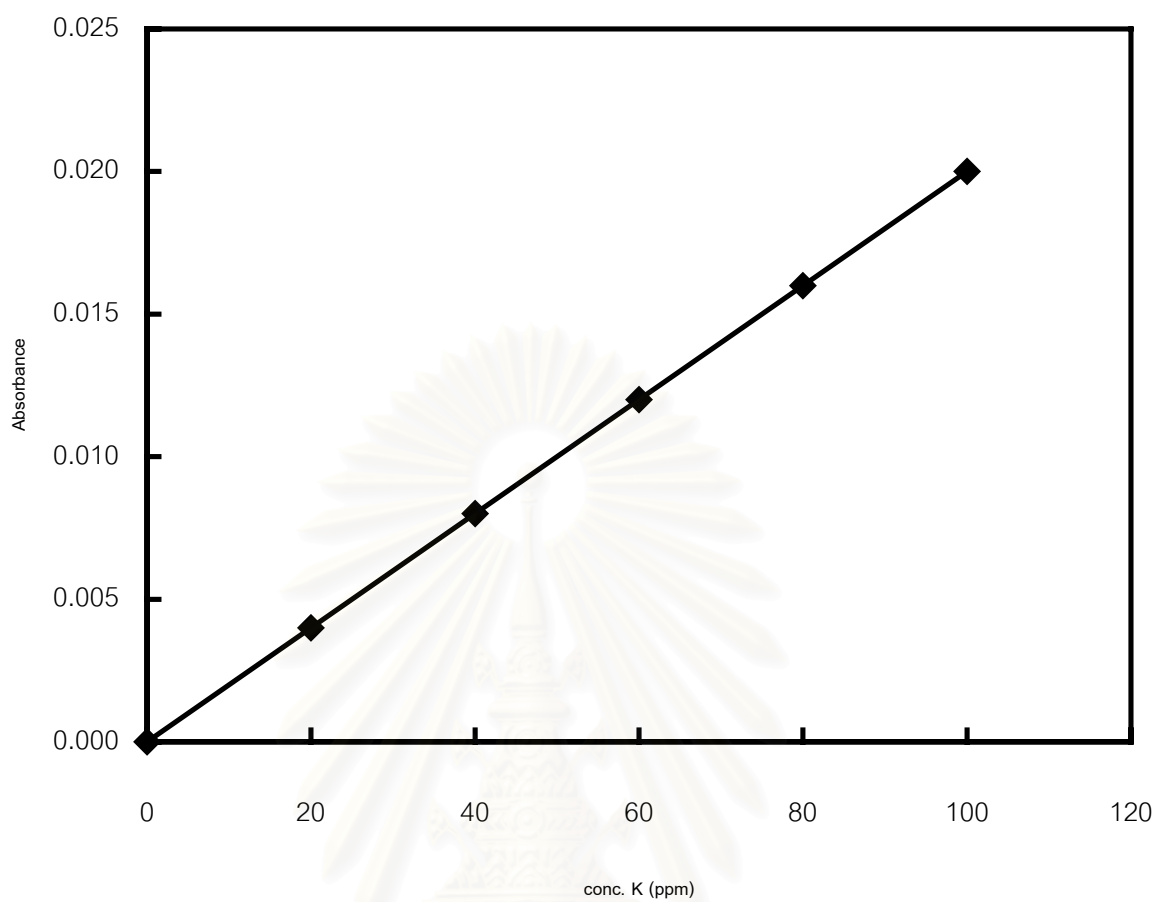
เทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธี AAS นี้เป็นเทคนิควิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์หาปริมาณโปแทสเซียม (K) ในปุ๋ย ซึ่งหลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานเพื่อที่จะทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นแตกต่างกันตามลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

สำหรับขั้นตอนการหาปริมาณโปแทสเซียม (K) ในปุ๋ยโดยใช้วิธี AAS มีดังนี้

1. เตรียมสารตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม (อยู่ในช่วงที่ทำ Standard) โดยถ้าสารตัวอย่างมีความเข้มข้นมากให้ทำการเจือจางก่อน
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานโดยใช้ KCl [A.R.GRADE] 1.907 กรัม ละลายในน้ำและเจือจางจนมีปริมาตร 1 ลิตร (จะได้สารละลายโปแทสเซียมเข้มข้น 1000 ppm) จากนั้นเจือจางสารละลายมาตรฐานให้มีความเข้มข้นของโปแทสเซียมเป็น 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm ตามลำดับ จากนั้นสร้าง Standard Curve โดยปรับตั้งค่า ของเครื่อง ดังนี้

Lamp current	5 mA
Fuel	acetylene
Support	air
Flame stoichiometry	oxidizing
Wavelength	404.4 nm
Slit width	0.5 nm
Optimum working	15-800

3. เติม Cesium nitrate ในทุก ๆ ตัวอย่างเพื่อให้สารตัวอย่างมีความเข้มข้นของ Cesium 1000 $\mu\text{g/ml}$ รวมทั้ง Blank ด้วย
4. ทำการทดสอบหาปริมาณของโปแทสเซียมโดยเครื่อง AAS จากนั้นจึงทำการคำนวณหาปริมาณ K_2O โดยใช้แฟกเตอร์การแปลงหน่วย



รูปที่ ๓.๒ Standard Curve ของ K เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.4 การหาปริมาณโปแทสเซียม (K) และ ฟอสฟอรัส (P) โดยวิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)

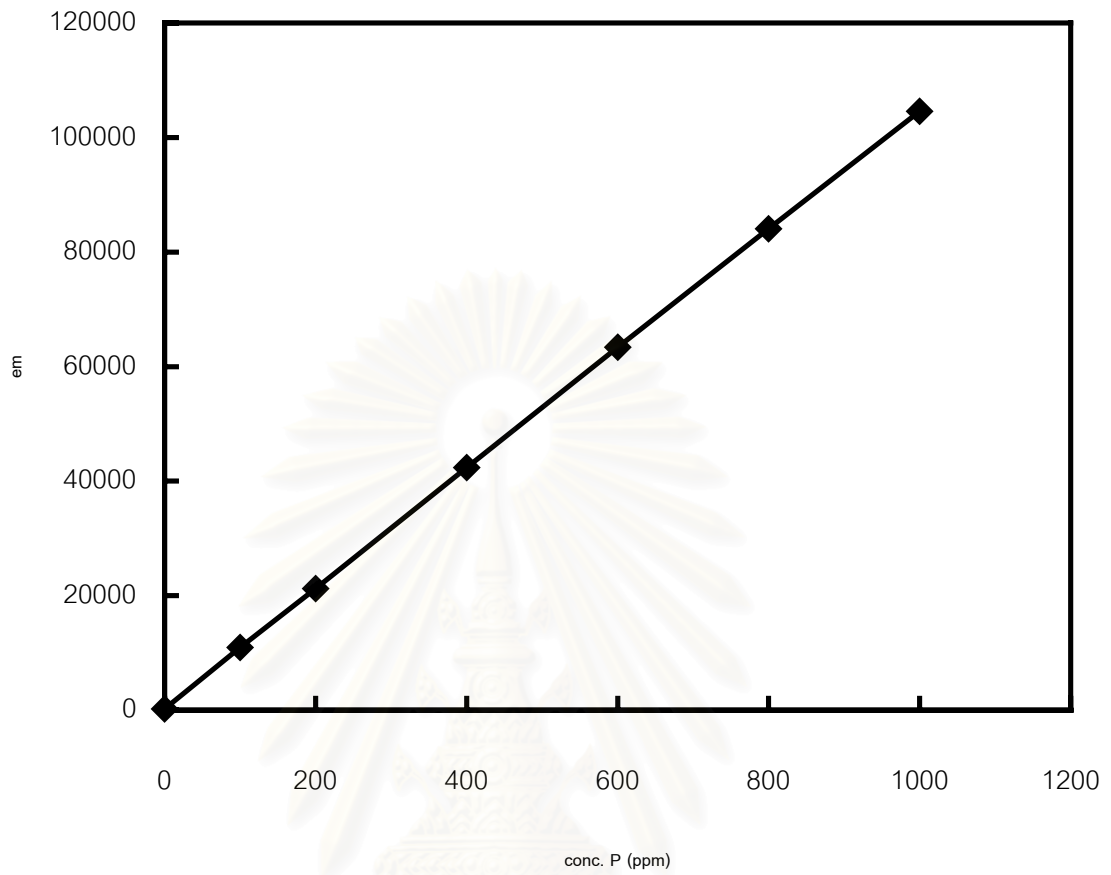
อิมิสชันสเปกโทรสโกปีนั้น เป็นวิธีการวิเคราะห์อีกอย่างหนึ่ง โดยอาศัยหลักการทำให้สารที่วิเคราะห์เปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นด้วยกระบวนการที่เหมาะสม การกระทำเช่นนี้จะทำให้สารที่จะวิเคราะห์นั้นสามารถเปล่งแสง หรือรังสี หรือสเปกตรัมออกมา ซึ่งจะอยู่ในช่วงของยูวี-วิสิเบิล และมีลักษณะเฉพาะตัว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ได้

ลักษณะเฉพาะของ ICP ที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ให้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 10000 K
2. สารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์อยู่ในพลาสมาได้นานพอ ทำให้สารแตกตัวเป็นอะตอมได้ดี
3. Matrix และ interelement effects มีน้อย ทำให้อะตอมอิสระที่เกิดขึ้นมี Life time ยาว
4. การแทรกสอดที่เกิดจากการไอออไนเซชันจะมีผลกระทบน้อย
5. Molecular species มีโอกาสเกิดน้อย หรือไม่เกิดเลย เพราะอุณหภูมิสูง ทำให้ลดการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ และ Self-absorption
6. แก๊สที่ใช้เป็นแก๊สเฉื่อยจึงไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น
7. ไม่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้าเลย

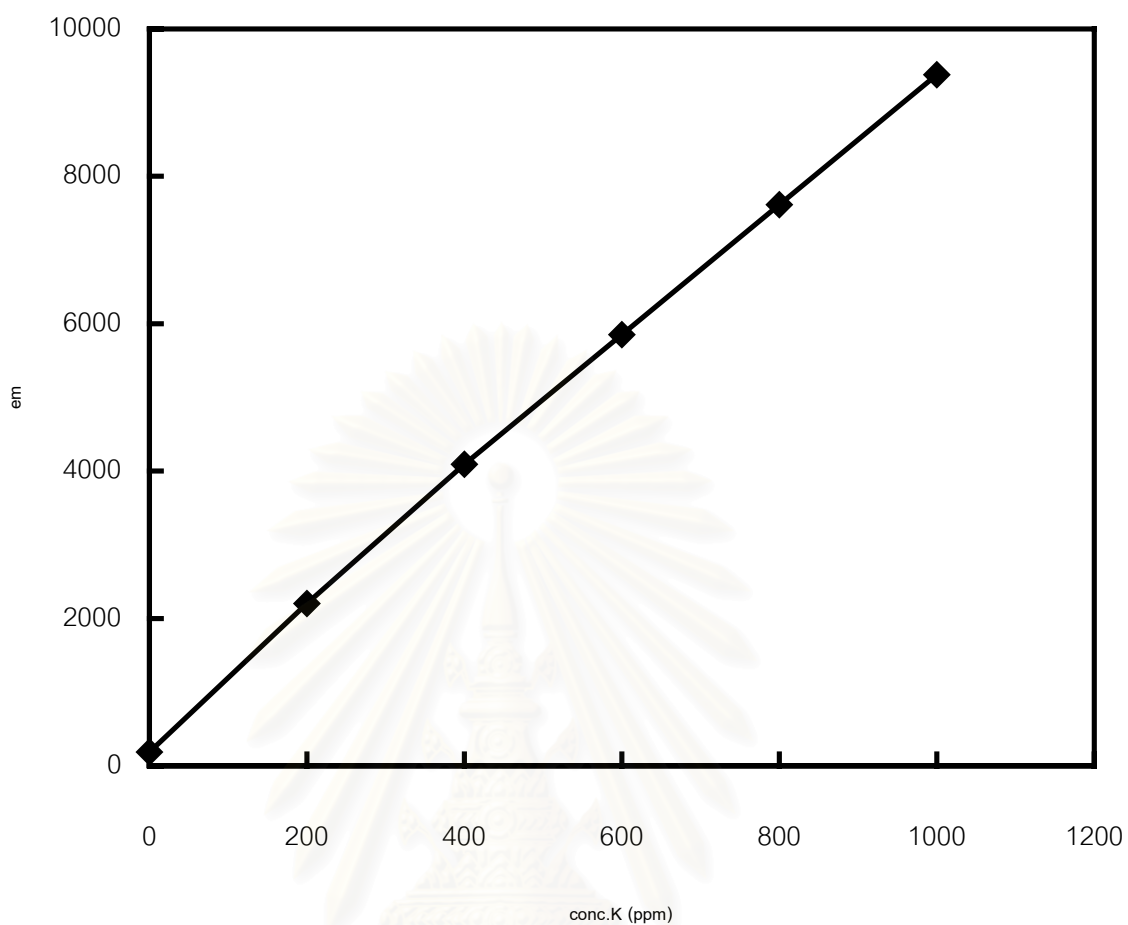
สำหรับการปรับตั้งค่าของเครื่องเพื่อที่จะวัด P และ K จะปรับตั้งดังนี้

	P	K
Wavelength (nm)	213.618	766.490
RF Power (kw)	1.5	1.3
Plasma Flow (L/min)	15	15
Auxiliary Flow (L/min)	1.2	1.0
Nebulizer Flow (L/min)	0.8	1.0
Solution Uptake rate (ml/min)	2	2
Viewing height (mm)	16	15



รูปที่ ค.3 Standard Curve ของ P เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.4 Standard Curve ของ K เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ข้อมูลจากการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.1 การเปรียบเทียบผลการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มโปรตีนเมื่อความเข้มข้นของ SPI ในสารเคลือบต่างกัน

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น SPI (กรัม / น้ำ 100 ml)								
	SPI 10 กรัม			SPI 12 กรัม			SPI 14 กรัม		
	absorbance	conc. (กรัม / 5ml)	conc.(กรัม / ml)	absorbance	conc. (กรัม / 5ml)	conc.(กรัม / ml)	absorbance	conc. (กรัม / 5ml)	conc.(กรัม / ml)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.012	3.2544E-05	6.5088E-06	0.007	1.8949E-05	3.78980E-06	0.003	8.109E-06	1.62180E-06
3	0.022	5.9884E-05	1.1977E-05	0.0145	3.9360E-05	7.87200E-06	0.0105	2.846E-05	5.69200E-06
7	0.05	1.3750E-04	2.7500E-05	0.04	1.0960E-04	2.19200E-05	0.0185	5.029E-05	1.00580E-05
13	0.0875	2.4391E-04	4.8782E-05	0.0715	1.9816E-04	3.96320E-05	0.0315	8.604E-05	1.72080E-05
21	0.1352	3.7531E-04	7.5062E-05	0.1095	3.0764E-04	6.15280E-05	0.0765	0.0002124	4.24800E-05
33	0.1635	4.6818E-04	9.3636E-05	0.139	3.9462E-04	7.89240E-05	0.099	0.0002771	5.54200E-05
45	0.191	5.5218E-04	1.1044E-04	0.1715	4.9246E-04	9.84920E-05	0.1235	0.0003487	6.97400E-05
57	0.222	6.4868E-04	1.2974E-04	0.1985	5.7535E-04	1.15070E-04	0.1425	0.0004051	8.10200E-05
69	0.2845	8.4909E-04	1.6982E-04	0.24	7.0560E-04	1.41120E-04	0.1825	0.0005261	1.05220E-04
81	0.382	1.1773E-03	2.3546E-04	0.3	9.0000E-04	1.80000E-04	0.2175	0.0006346	1.26920E-04
93	0.607	2.0074E-03	4.0147E-04	0.3535	1.0794E-03	2.15882E-04	0.242	0.000712	1.42400E-04
105	0.7235	2.4769E-03	4.9538E-04	0.434	1.3602E-03	2.72032E-04	0.289	0.0008638	1.72760E-04
117	0.723	2.4748E-03	4.9497E-04	0.7155	2.4438E-03	4.88758E-04	0.36	0.0011016	2.20320E-04
123	0.7175	2.4521E-03	4.9041E-04	0.725	2.4831E-03	4.96626E-04	0.398	0.001233	2.46600E-04
135	0.718	2.4541E-03	4.9082E-04	0.721	2.4665E-03	4.93308E-04	0.537	0.0017383	3.47660E-04
147	0.72	2.4624E-03	4.9248E-04	0.722	2.4707E-03	4.94136E-04	0.718	0.0024541	4.90820E-04
159	0.722	2.4707E-03	4.9414E-04	0.721	2.4665E-03	4.93308E-04	0.72	0.0024624	4.92480E-04
161	0.721	2.4665E-03	4.9331E-04	0.72	2.4624E-03	4.92480E-04	0.719	0.0024583	4.91660E-04
173	0.721	2.4665E-03	4.9331E-04	0.721	2.4665E-03	4.93308E-04	0.721	0.0024665	4.93300E-04
185	0.72	2.4624E-03	4.9248E-04	0.721	2.4665E-03	4.93308E-04	0.72	0.0024624	4.92480E-04

ง.2 การเปรียบเทียบผลการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มโปรตีนเมื่อปริมาณ Glycerin ในสารเคลือบต่างกัน

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณ Glycerin (ml)								
	Glycerin 2.5 ml			Glycerin 5 ml			Glycerin 10 ml		
	absorbance	conc. (กรัม / 5ml)	conc.(กรัม / ml)	absorbance	conc. (กรัม / 5ml)	conc.(กรัม / ml)	absorbance	conc. (กรัม / 5ml)	conc.(กรัม / ml)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0025	6.7563E-06	1.3513E-06	0.007	1.8949E-05	3.7898E-06	0.011	2.9821E-05	5.9642E-06
3	0.015	4.0725E-05	8.1450E-06	0.0145	3.9360E-05	7.8720E-06	0.0285	7.7762E-05	1.55524E-05
7	0.0235	6.4002E-05	1.2800E-05	0.04	1.0960E-04	2.1920E-05	0.046	0.00012632	2.52640E-05
13	0.0405	1.1099E-04	2.2198E-05	0.0715	1.9816E-04	3.9632E-05	0.083	0.00023099	4.61980E-05
21	0.083	2.3099E-04	4.6198E-05	0.1095	3.0764E-04	6.1528E-05	0.139	0.00039462	7.89240E-05
33	0.111	3.1202E-04	6.2404E-05	0.139	3.9462E-04	7.8924E-05	0.1885	0.00054448	1.08896E-04
45	0.1395	3.9611E-04	7.9222E-05	0.1715	4.9246E-04	9.8492E-05	0.2105	0.00061266	1.22532E-04
57	0.1565	4.4704E-04	8.9408E-05	0.1985	5.7535E-04	1.1507E-04	0.2535	0.00074871	1.49742E-04
69	0.215	6.2673E-04	1.2535E-04	0.24	7.0560E-04	1.4112E-04	0.3065	0.00092149	1.84298E-04
81	0.2615	7.7443E-04	1.5489E-04	0.3	9.0000E-04	1.8000E-04	0.432	0.00135302	2.70604E-04
93	0.3155	9.5139E-04	1.9028E-04	0.3535	1.0794E-03	2.15882E-04	0.6455	0.00215952	4.31904E-04
105	0.4045	1.2558E-03	2.5115E-04	0.434	1.3602E-03	2.72032E-04	0.7215	0.00246861	4.93722E-04
117	0.6885	2.3330E-03	4.6660E-04	0.7155	2.4438E-03	4.88758E-04	0.721	0.00246654	4.93308E-04
123	0.717	2.4500E-03	4.9000E-04	0.725	2.4831E-03	4.96626E-04	0.718	0.00245412	4.90824E-04
135	0.718	2.4541E-03	4.9082E-04	0.721	2.4665E-03	4.93308E-04	0.7215	0.00246861	4.93722E-04
147	0.721	2.4665E-03	4.9331E-04	0.722	2.4707E-03	4.94136E-04	0.7225	0.00247276	4.94552E-04
159	0.718	2.4541E-03	4.9082E-04	0.721	2.4665E-03	4.93308E-04	0.718	0.00245412	4.90824E-04
161	0.721	2.4665E-03	4.9331E-04	0.72	2.4624E-03	4.92480E-04	0.7175	0.00245206	4.90412E-04
173	0.718	2.4541E-03	4.9082E-04	0.721	2.4665E-03	4.93308E-04	0.72	0.00246240	4.92480E-04
185	0.723	2.4748E-03	4.9497E-04	0.721	2.4665E-03	4.93308E-04	0.7195	0.00246033	4.92066E-04

๖.3 การเปรียบเทียบผลการแพร่ของยูเรียผ่านฟิล์มโปรตีนเมื่ออุณหภูมิในการเตรียมสารเคลือบต่างกัน

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ	ค่าการดูดกลืนแสง (abs)		
		0 °C	29 °C	80 °C
15		0.149	0.27	0.179
30		0.333	0.35	0.321
45		0.556	0.446	0.465
60		0.675	0.521	0.513
75		0.776	0.589	0.567
90		0.902	0.648	0.608
105		0.988	0.721	0.693
120		1.092	0.803	0.752
135		1.162	0.884	0.801
150		1.288	0.995	1.261
165		1.313	1.023	1.661
180		1.394	1.069	1.742
195		1.425	1.114	1.781
210		1.496	1.16	1.807
225		1.53	1.203	1.842
240		1.55	1.253	1.884
255		1.561	1.289	1.914
270		1.636	1.341	1.931
1710		1.815	1.926	2.011
3150		1.934	2.014	2.042
4590		2.039	2.136	2.083
10350		2.331	2.334	2.26
11790		2.377	2.334	2.33
13230		2.38	2.334	2.385
14670		2.381	2.334	2.385
16110		2.381	2.334	2.385

3.4 ตารางแสดงผลภาพลักษณ์ของสารเคลือบที่มีปริมาณขี้ผึ้ง SPI 7%(w)

SPI %	Oil %	water %	Formelin %	สี %	จำนวนชิ้นเคลือบ	ปริมาณสารเคลือบที่ใช้	นน.เปีย (ก่อนเคลือบ)	นน.เปีย (หลังเคลือบ)	นน.เปียที่เพิ่มขึ้น (g)	นน.เปียที่เพิ่มขึ้น (คะแนน)	นน.เปียที่เพิ่มขึ้น (%)	นน.เปียที่เพิ่มขึ้น (คะแนน)	นน.เปียที่เพิ่มขึ้น (%)	นน.เปียที่จะนำไปวัดการปลดปล่อย
7	7	82.5	3	0.5	1	2.68	100	100.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	100.27
					2	2.64	90.20	90.32	0.12	0.89	0.18	0.89	0.4	100.4
					3	2.10	78.83	79.24	0.41	0.8	0.52	0.8	0.92	
					4	1.64	79.20	79.48	0.28	1.08	0.35	1.08	1.27	10.27
					5	1.41	72.48	72.63	0.15	1.23	0.21	1.23	1.48	
					6	2.11	72.63	73.10	0.47	1.70	0.65	1.70	2.13	
					7	1.22	73.10	73.60	0.50	2.20	0.68	2.20	2.18	
					8	1.94	73.60	73.68	0.08	2.28	0.11	2.28	2.92	
					9	1.15	66.12	66.12	0	2.28	0	2.28	2.92	
					10	1.17	66.05	66.68	0.63	2.91	0.96	2.91	3.87	103.87
					11	1.52	60.71	60.79	0.08	2.99	0.13	2.99	4.00	
					12	1.35	60.79	61.02	0.23	3.22	0.38	3.22	4.38	
					13	1.02	60.86	60.95	0.09	3.31	0.15	3.31	4.53	
					14	1.10	60.43	60.69	0.26	3.57	0.43	3.57	4.96	
					15	1.06	60.63	60.70	0.07	3.64	0.12	3.64	5.09	105.09
						รวม		24.65						

หมายเหตุ มีน้ำที่จับตัวเป็นก้อน (Agglomerate) จำนวน 2.26 กรัม

3.5 ตารางแสดงผลการเคลือบปุ๋ยสูตรที่มีความเข้มข้น SPI 9%(w)

SPI %	Oil %	water %	Formalin %	สี %	จำนวน ชิ้นเคลือบ	ปริมาณ สารละลายที่เคลือบ	นมปุ๋ย (ก่อนเคลือบ)	นมปุ๋ย (หลังเคลือบ)	นมปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น (g)	นมปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น (สะสม)	นมปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น (%)	นมปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น (สะสม)	นมปุ๋ยที่จะนำไป วัดการปลดปล่อย
9	7	80.5	3	0.5	1	2.60	100	100.53	0.53	0.53	0.53	0.53	10053
					2	2.28	90.22	90.44	0.22	0.75	0.24	0.77	
					3	2.22	90.36	90.71	0.35	1.10	0.39	1.16	
					4	1.42	80.65	80.73	0.08	1.18	0.10	1.26	
					5	1.72	80.73	80.92	0.19	1.37	0.24	1.50	10150
					6	1.70	70.89	70.95	0.06	1.43	0.08	1.58	
					7	1.41	70.94	71.08	0.14	1.57	0.20	1.78	
					8	1.38	71.03	71.23	0.20	1.77	0.28	2.06	
					9	1.52	71.21	71.33	0.12	1.89	0.17	2.23	
					10	1.10	71.83	71.88	0.05	1.94	0.07	2.30	10230
					11	1.11	61.16	61.24	0.08	2.02	0.13	2.43	
					12	0.93	61.19	61.21	0.02	2.04	0.03	2.46	
					13	1.45	60.76	60.98	0.22	2.26	0.36	2.82	
					14	1.27	60.65	60.78	0.13	2.39	0.21	3.03	
					15	1.08	60.06	60.16	0.09	2.48	0.15	3.18	10318
						รวม	23.19						

หมายเหตุ มีปุ๋ยที่จับตัวเป็นก้อน (Agglomerate) จำนวน 10.96 กรัม

ง.6 การเปรียบเทียบผลการวัดค่าความเค็มของโปรตีนแก้วเหลืองในสารละลายต่างกัน

ผลการทดลอง

Plasticizer ในสารละลายคือ Glycerol

ใช้น้ำหนักสุกหรี 5 กรัม ในน้ำ 250 ml

ชนิดโปรตีน เวลา (วินาที)	ไม่เติม			C=5%			C=10%			C=13%		
	น้ำหนักโปรตีนที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	น้ำหนักโปรตีนที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	น้ำหนักโปรตีนที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	น้ำหนักโปรตีนที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)
	0.08	5.0007	3862	4634.4	5.0864	3853	4623.6	5.1178	3885	4662	5.1369	3815
0.17	5.0004	3930	4716	5.0885	3915	4698	5.1154	3855	4626	5.1343	3822	4586.4
0.33	5.0013	4017	4820.4	5.0856	3993	4791.6	5.1152	3923	4707.6	5.1323	3885	4662
0.67	5.0009	4057	4868.4	5.0877	4037	4844.4	5.1143	4042	4850.4	5.1357	3966	4759.2
1	5.0003	3933	4719.6	5.0876	3981	4777.2	5.1158	3988	4785.6	5.1358	4013	4815.6
2	4.9998	4097	4916.4	5.0853	4154	4984.8	5.1142	4045	4854	5.1371	3989	4786.8
4	5.0006	4159	4990.8	5.0848	4143	4971.6	5.1149	4104	4924.8	5.1354	4036	4843.2
8	5.0008	4104	4924.8	5.0828	4057	4868.4	5.1125	4150	4980	5.1349	4064	4876.8

จ.7 การเปรียบเทียบผลการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ที่จำนวนครั้งในการเคลือบต่างกัน

สถานะการทดลอง

Plasticizer ในสารเคลือบ คือ Mineral oil

ความเข้มข้นของ ISP ในสารเคลือบ 9%

ปุ๋ยน้ำหนักสุทธิ 1 กรัม ในน้ำ 250 ml

ชนิดปุ๋ย เวลา(วัน)	ไม่เคลือบ			เคลือบ 1 ครั้ง			เคลือบ 5 ครั้ง			เคลือบ 10 ครั้ง		
	น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)
	0.04	1.00	451.67	542	1.01	543.33	652	1.01	461.67	554	1.02	350.00
0.08	1.01	623.33	748	1.01	583.33	700	1.01	485.00	582	1.02	390.00	468
0.17	1.01	658.33	790	1.01	686.67	824	1.01	518.33	622	1.02	498.33	598
0.33	1.00	1091.67	1310	1.01	920.00	1104	1.01	751.67	902	1.02	593.33	712
0.67	1.00	1168.33	1402	1.00	1043.33	1252	1.01	776.67	932	1.02	738.33	886
1	1.00	1223.33	1468	1.00	1045.00	1254	1.01	921.67	1106	1.02	915.00	1098
2	1.01	1201.67	1442	1.00	1191.67	1430	1.01	1076.67	1292	1.02	981.67	1178
4	1.00	1241.67	1490	1.00	1303.33	1564	1.01	1228.33	1474	1.02	1156.67	1388

4.8 การเปรียบเทียบผลความดันปล่อยขดอากาศ N ในปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ระหว่างปุ๋ยที่พัฒนาการ Activate กับปุ๋ยที่ไม่มีมีการ Activate

สถานะการทดลอง

Plasticizer ในสารเคลือบ คือ Mineral oil

ความเข้มข้นของ ISP ในสารเคลือบ 7%

ปุ๋ยน้ำหนักสุทธิ 1 กรัม ในน้ำ 250 ml

ชนิดปุ๋ย เวลา (วัน)	ไม่เคลือบ				เคลือบ 15 ครั้ง				Activate หลังจกเคลือบ 15 ครั้ง			
	น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้		N		น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้		N		น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้		N	
	(กรัม)	(%V)	(ppm)	(%V)	(กรัม)	(%V)	(ppm)	(%V)	(กรัม)	(%V)	(ppm)	(%V)
0.04	1.00	0.003	30.78	1.04	0.004	41.03	1.04	0.002	20.51	1.04	0.005	51.29
0.08	1.00	0.011	112.25	1.04	0.005	57.44	1.04	0.003	27.45	1.04	0.015	153.88
0.17	1.00	0.013	132.17	1.04	0.010	98.20	1.04	0.009	89.20	1.04	0.029	302.64
0.25	1.00	0.025	256.43	1.04	0.008	82.06	1.04	0.041	420.62	1.04	0.047	482.17
0.5	1.00	0.040	410.29	1.04	0.030	307.71	1.04	0.050	512.86	1.04	0.030	307.77
1	1.00	0.037	379.52	1.04	0.031	317.98	1.04	0.046	471.84	1.04	0.041	420.62
4	1.00	0.041	420.55	1.04	0.039	400.04	1.04	0.046	471.84	1.04	0.041	420.62
8	1.00	0.043	441.06	1.04	0.046	471.84	1.04	0.046	471.84	1.04	0.047	482.17
12	1.00	0.050	512.86	1.04	0.044	451.32	1.04	0.044	451.32	1.04	0.030	307.77

3.9 การเปรียบเทียบผลการปลดปล่อยธาตุอาหาร K ในปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ระหว่างปุ๋ยที่ผ่านการ Activate กับปุ๋ยที่ไม่มีการ Activate

สภาวะการทดลอง Plasticizer ในสารเคลือบ คือ Mineral oil

ความเข้มข้นของ ISP ในสารเคลือบ 7%

ปุ๋ยน้ำหนักสุทธิ 1 กรัม ในน้ำ 250 ml

ชนิดปุ๋ย เวลา (วัน)	ไม่เคลือบ		เคลือบ 15 ครั้ง			Activate ห้างจากเคลือบ 15 ครั้ง			
	น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	น้ำหนักปุ๋ยที่ใช้ (กรัม)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)
0.04	1.00	889.30	1067.10	1.04	750.70	900.84	1.04	596.20	715.44
0.5	1.00	806.30	967.56	1.04	1133.00	1359.60	1.04	924.40	1109.28
4	1.00	955.70	1146.84	1.04	907.70	1089.24	1.04	937.60	1125.12
8	1.00	914.20	1097.04	1.04	849.10	1018.92	1.04	896.20	1075.44
12	1.00	910.50	1092.60	1.04	865.50	1038.60	1.04	874.70	1049.64



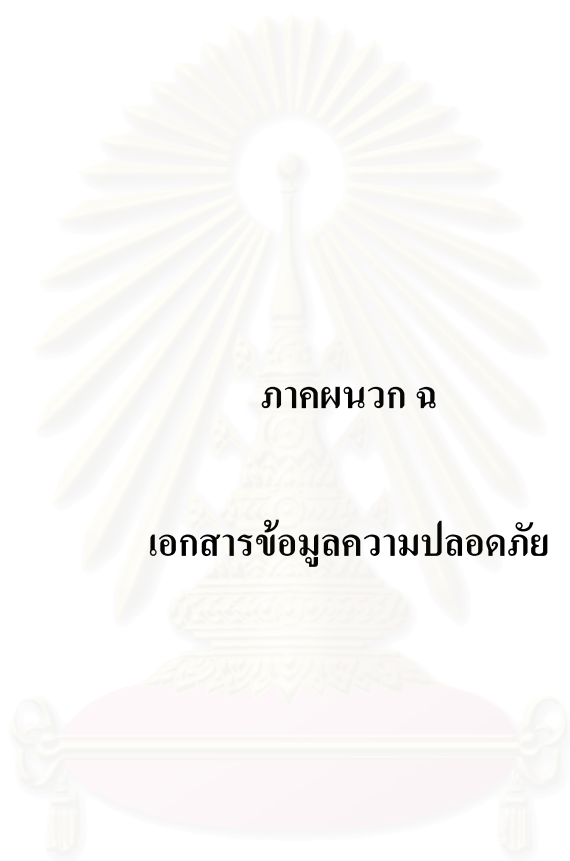
ภาคผนวก จ

แฟกเตอร์การแปลงหน่วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แฟกเตอร์การแปลงหน่วย

N	x	1.22	=	NH ₃
P	x	2.29	=	P ₂ O ₅
P ₂ O ₅	x	0.44	=	P
K	x	1.20	=	K ₂ O
K ₂ O	x	0.83	=	K
Ca	x	1.40	=	CaO
CaO	x	0.71	=	Ca
Mg	x	1.67	=	MgO
MgO	x	0.60	=	Mg
S	x	3.00	=	SO ₄
SO ₄	x	0.33	=	S
HNO ₃	x	0.22	=	N
H ₃ PO ₄	x	0.32	=	P
Ca ₃ (PO ₄) ₂	x	0.20	=	P
KCl	x	0.52	=	K
K ₂ SO ₄	x	0.45	=	K
CaCO ₃	x	0.40	=	Ca
CaSO ₄	x	0.29	=	Ca
MgCO ₃	x	0.28	=	Mg
MgSO ₄	x	0.20	=	Mg
H ₂ SO ₄	x	0.33	=	S
CaSO ₄	x	0.24	=	S



ภาคผนวก ฉ

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย

ตามระเบียบวิธี 91/55/อีอีซี

**MERCK
Schuchardt**

1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

หมายเลขผลิตภัณฑ์: 818708

ชื่อผลิตภัณฑ์: Formaldehyde solution 37% (stabilised with about 10% methanol) for synthesis

ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ผลิต/ผู้ส่ง

บริษัท: บริษัท เมอร์ค จำกัด
ชั้น 9 อาคาร มอนเทอเรย์ 2170 ถนน เพชรบุรีตัดใหม่ บางกะปิ ห้วยขวาง
กรุงเทพ 10320
โทรศัพท์ : (662) 308 - 0218

2. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

ชื่ออื่น

Formalin solution ; Methanal solution ; Methyl aldehyde solution

องค์ประกอบที่เป็นอันตราย:

ชื่อตามระเบียบวิธี Formaldehyde

สัญลักษณ์อันตราย: T

เลขดัชนีอีซี: 605-001-00-5

เลขซีเอส: 50-00-0

ข้อมูลเกี่ยวกับ
อันตราย: 23/24/25-34-40-43

เป็นพิษเมื่อสูดดม, เมื่อถูกผิวหนัง และ
เมื่อกลืนกิน ทำให้เกิดแผลไหม้ อาจก่อให้เกิด
ให้เกิดผลเสียแก่ร่างกาย อาจก่อให้เกิด
อาการแพ้เมื่อถูกผิวหนัง

ปริมาณ: $\geq 25 - 50\%$

ชื่อตามระเบียบวิธี methanol

สัญลักษณ์อันตราย: F T

เลขดัชนีอีซี: 603-001-00-X

เลขซีเอส: 67-56-1

ข้อมูลเกี่ยวกับ
อันตราย: 11-23/25

ไวไฟสูง เป็นพิษเมื่อสูดดม, กลืนกิน

ปริมาณ: $\geq 3 - 20\%$

3. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

เป็นพิษเมื่อสูดดม, เมื่อถูกผิวหนัง และเมื่อกลืนกิน ทำให้เกิดแผลไหม้ อาจก่อให้เกิดผลเสียแก่ร่างกาย
อาจก่อให้เกิดอาการแพ้เมื่อถูกผิวหนัง

4. มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อสูดดม: ให้รับอากาศบริสุทธิ์ ถ้าจำเป็นให้ใช้การช่วยหายใจแบบปากต่อปาก หรือใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจ

เมื่อถูกผิวหนัง: ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกทันที

เมื่อเข้าตา: ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำ น้ำส่ง / พบจักษุแพทย์

เมื่อกลืนกิน: ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำปริมาณมาก หลังจากนั้นให้กิน คาร์บอนกัมมันต์ปริมาณ 20-40 กรัมละลายในน้ำ 200-400 มิลลิลิตร น้ำส่งแพทย์ทันที ล้างท้อง ยาระบาย: โซเดียมซัลเฟต (1 ช้อนโต๊ะในน้ำ 0.25 ลิตร) ระบุถึงเมทานอล

5. มาตรการการผจญเพลิง

สารดับไฟที่เหมาะสม:

ผงเคมีดับเพลิง, โฟมดับเพลิง เครื่องดับเพลิง: ผงเคมีดับเพลิง, คาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ

ข้อมูลอันตรายอื่น:

ไอระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ : ลูกไฟติดไฟได้ เกือบห่างจากแหล่งกำเนิดประกายไฟ
ทำปฏิกิริยากับอากาศ ก่อให้เกิดสารผสมที่ระเบิดได้

อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับการผจญเพลิง

ห้ามอยู่บริเวณที่อันตรายโดยปราศจากชุดป้องกันสารเคมีที่เหมาะสม และเครื่องช่วยหายใจ

6. มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ

ข้อควรระวังส่วนบุคคล:

ห้ามสูดดมไอระเหย/ละอองลอย ไม่ควรสัมผัสกับสาร

วิธีทำความสะอาด/ดูดซับ:

ซับด้วยวัสดุดูดซับของเหลว เช่น เคมีชอบดู ส่งไปกำจัด ทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อน

มาตรการปกป้องสิ่งแวดล้อม:

ป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษระบบสุขภาพ, ดิน หรือสิ่งแวดล้อม

หมายเหตุเพิ่มเติม:

การลดอันตราย: ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มากเกินไป

7. การจัดการและการเก็บรักษา

การจัดการ:

ไม่มีข้อบังคับอื่น

การเก็บ:

ปิดให้แน่น เกือบห่างจากแสง บริเวณที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี เกือบห่างจากแหล่งกำเนิดประกายไฟและความร้อน ณ. อุณหภูมิ +15 ถึง +25 องศาเซลเซียส เข้าได้เฉพาะผู้ที่ได้รับอนุญาต

ข้อบังคับสำหรับ ห้องเก็บสารและถังบรรจุ:

ห้ามใช้ถังบรรจุที่เป็นโลหะ

8. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

ตัวแปรควบคุมเฉพาะ

MAK German [ความเข้มข้นสูงสุดในที่ทำงาน]

Formaldehyde .5 มิลลิลิตร ต่อ ลูกบาศก์เมตร หรือ .62 มิลลิกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
Methanol 200 มิลลิลิตร ต่อ ลูกบาศก์เมตร หรือ 270 มิลลิกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล:

การป้องกันระบบหายใจ: จำเป็น เมื่อมีไอระเหย/ละออง
การป้องกันตา: จำเป็น
การป้องกันมือ: จำเป็น

ข้อควรปฏิบัติ

ควรสวมใส่ชุดป้องกันที่เหมาะสมกับบริเวณทำงาน โดยพิจารณาจากความเข้มข้นและปริมาณสารอันตรายที่ใช้ ควรมีการตรวจสอบความทนทานต่อสารเคมีของชุดป้องกันโดยตัวแทนจำหน่าย

เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมีทันที ทาครีมป้องกันผิวหนัง ล้างมือและหน้า หลังจากการใช้สาร ห้ามกินอาหาร/ดื่มในบริเวณทำงาน

9. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะ:	ของเหลว	
สี:	ไม่มีสี	
กลิ่น:	ฉุน	
ค่าพีเอช	(20 °C)	3 - 4
จุดหลอมเหลว		-118 °C
จุดเดือด		96 - 98 °C
อุณหภูมิติดไฟ		ประมาณ 300 °C
จุดวาบไฟ		~ 62 °C
ขอบเขตการระเบิด	ล่าง	7 Vol%
	บน	73 Vol%
ความหนาแน่น	(20 °C)	1.09 g/cm ³
ความสามารถในการละลาย	น้ำ (20 °C)	ละลายได้
	เอทานอล (20 °C)	ละลายได้
ลือกพี [ออกด]		0.00 (ฟอร์มัลดีไฮด์)

10. ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง

การให้ความร้อน

สารที่ต้องหลีกเลี่ยง

ตัวเริ่มปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (ตัวอย่างเช่น โลหะอัลคาไล) , กรด , ไนโตรเจนออกไซด์ , ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , ตัวออกซิไดซ์ , กรดเปอร์ฟอร์มิก

ผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวที่เป็นอันตราย

เมื่อเกิดเพลิงไหม้ : ไอระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์

สารที่ทำให้เสถียร

เมทานอล

ข้อมูลเพิ่มเติม

ดูดความชื้น ; ไวไฟ ; เกิดการรีดิวซ์ได้ ; มีแนวโน้มที่จะเกิดพอลิเมอร์ ; อาจเกิดปฏิกิริยาที่รุนแรง / เป็นอันตรายเมื่อทำปฏิกิริยากับ โลหะชนิดต่างๆ และ อัลลอยด์ชนิดต่างๆ สารเคมีในสภาพที่เป็นไอระเหยหรือแก๊ส เมื่อผสมกับอากาศและได้รับความร้อน ก่อให้เกิดการระเบิดได้

11. ข้อมูลทางพิษวิทยา

พิษเฉียบพลัน

LD₅₀ (oral, rat): 100 mg/kg (Formaldehyde) ;
LD₅₀ (dermal, rabbit): 270 mg/kg (Formaldehyde) ;
LC₅₀ (inhalation, rat): 203 mg/m³ (Formaldehyde) ;

ความเป็นพิษกึ่งเฉียบพลันถึงเรื้อรัง

สำหรับองค์ประกอบเพียงบางส่วน:

ข้อมูลบ่งชี้การเป็นสารก่อมะเร็งมีไม่เพียงพอ

ไม่ส่งผลกระทบต่อพิษต่อทารกในครรภ์ ภายใต้ปริมาณความเข้มข้นที่ยอมรับได้

ข้อมูลเพิ่มเติมทางพิษวิทยา

เมื่อสูดดม: การสูดดมอาจทำให้เกิดอาการบวมน้ำ (edema) ในทางเดินหายใจ
เมื่อสัมผัสผิวหนัง: ระคายเคืองอย่างรุนแรง ก่อให้เกิดอาการแพ้ ระงับอันตรายจากการซึมผ่านผิวหนัง
เมื่อเข้าตา: ระคายเคืองอย่างรุนแรง ไอระเหยก่อให้เกิดการระคายเคืองจมน้ำตาไหล
เมื่อกลืนกิน: ระคายเคืองต่อเยื่อในปาก หลอดลม หลอดอาหารและระบบลำไส้ มีฤทธิ์กัดกร่อน อาจทำให้หลอดอาหารและกระเพาะทะลุ
ผลกระทบต่อระบบในร่างกาย: ง่วงซึม , ตาบอด

ข้อมูลเพิ่มเติม

ควรใช้ผลิตภัณฑ์ด้วยความระมัดระวัง เช่นเดียวกับเมื่อทำงานกับสารเคมี

12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์

การย่อยสลายทางชีวภาพ:

ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย (รีดักชัน: DOC>70%; BOD>60%; BOD₅ to COD>50%)

พฤติกรรมในสิ่งแวดล้อม:

การกระจาย: log P(oct):: 0.00 (Formaldehyde) ;

ไม่ก่อให้เกิดการสะสมทางชีวภาพ (log P(o/w <1).

Evaluation number (FRG) (bacteria): 4.9 (Formaldehyde) ; Evaluation number (FRG) (fish): 4.3 (Formaldehyde) ; Evaluation number (FRG) (mammal): 3 (Formaldehyde) ;

ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:

ผลกระทบต่อชีวภาพ: เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ พิษต่อโปรโตพลาสมา มีฤทธิ์กัดกร่อนแม้ในสภาพที่เจือจาง ผลในการฆ่าเชื้อโรค เป็นพิษต่อปลาและแพลงก์ตอน การสลายตัวของซีโบลบพร่องหรือไม่เกิดขึ้นแม้ในสภาพที่สารละลายเจือจาง

ทำให้แหล่งน้ำดื่มเป็นพิษถ้าปล่อยให้เข้าสู่ดินหรือน้ำในปริมาณมาก
 aquatic organisms LC₅₀: 10 - 100 mg/l /96 h (Formaldehyde) ;
 ความเป็นพิษต่อปลา: L.idus LC₅₀: 108 mg/l (Formaldehyde) ; L.idus LC₁₀₀: 130 mg/l (Formaldehyde) ;
 พิษต่อไรน้ำ: Daphnia magna EC₅₀: 42 mg/l (Formaldehyde) ;
 ความเข้มข้นที่เป็นพิษสูงสุดที่ยอมรับได้: Ps.pudita EC₅: 14 mg/l (Formaldehyde) ; E.sulcatum EC₅: 22 mg/l (Formaldehyde) ;

ข้อมูลอื่นๆเกี่ยวกับระบบนิเวศน์:
 BOD₅: 0.728 g/g (Formaldehyde) ;
 COD: 1.06 g/g (Formaldehyde) ;
 ThOD: 1.068 g/g (Formaldehyde) ;

ห้ามทิ้งลงสู่ระบบน้ำ, น้ำเสีย หรือดิน

13. มาตรการการกำจัด

ผลิตภัณฑ์:

ไม่มีกฎหมายบังคับของอียูว่าด้วยการกำจัดสารเคมีหรือกากเคมีซึ่งมักจะถือว่าเป็นของเสียเฉพาะ ประเทศสมาชิกอียูมีกฎหมายและข้อบังคับในการกำจัดของเสียเฉพาะเหล่านั้น โปรดติดต่อผู้รับผิดชอบหรือบริษัทรับกำจัดของเสียที่ได้รับอนุญาตเพื่อปรึกษาวิธีการกำจัด

บรรจุกักเก็บ:

กำจัดตามระเบียบราชการ ทิ้งห่อที่ปนเปื้อนสารเคมีให้จัดการเช่นเดียวกับตัวสารเคมี สำหรับห่อที่ไม่ปนเปื้อนให้กำจัดเหมือนของเสียตามบ้านหรือนำมาใช้ใหม่ หากไม่มีข้อกำหนดอื่นเป็นพิเศษ ติดต่อบริษัทผู้ผลิตตามที่ระบุในฉลาก

14. ข้อมูลการขนส่ง

ข้อมูลการขนส่งทางบก เอดีอาร์/อาร์ไอดี และจีจีวีเอส/จีจีวีอี [เยอรมัน]

จีจีวีเอส/จีจีวีอี คลาส: 8 ตัวเลขและตัวอักษร: 63c

เอดีอาร์/อาร์ไอดี คลาส 8 ตัวเลขและตัวอักษร: 63c

:

ชื่อผลิตภัณฑ์: 2209 FORMALDEHYDLOESUNG

ข้อมูลการขนส่งทางน้ำ เอดีเอ็น/เอดีเอ็นอาร์

ไม่กำหนด

ข้อมูลการขนส่งทางทะเล ไอเอ็มดีจี

ไอเอ็มดีจี คลาส: 8 เลขยูเอ็น: 2209 ประเภทบรรจุกักเก็บ: III

อีเอ็มเอส: 8-07 เอ็มเอฟเอจี: 300

ชื่อเทคนิคที่ถูกต้อง: FORMALDEHYDE SOLUTION

ข้อมูลการขนส่งทางอากาศ ไอซีเอโอ-ทีไอ และไอเอทีเอ-ดีจีอาร์

ไอซีเอโอ/ไอเอทีเอ คลาส: 8 เลขยูเอ็น: 2209 ประเภทบรรจุกักเก็บ: III

คลาส:

ชื่อเทคนิคที่ถูกต้อง: FORMALDEHYDE SOLUTION

ข้อกำหนดเกี่ยวกับการขนส่งข้างต้นเป็นไปตามรูปแบบสากล และในรูปแบบที่ปฏิบัติในประเทศเยอรมัน [จีจีวีเอส/จีจีวีอี] ซึ่งในบางประเทศอาจไม่มีการกำหนดตามรูปแบบดังกล่าว

15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

การติดฉลากตามระเบียบฉีชี

สัญลักษณ์:	T	เป็นพิษ
ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย:	R 23/24/25-34-40-43	เป็นพิษเมื่อสูดดม, เมื่อถูกผิวหนัง และเมื่อกลืนกิน ทำให้เกิดแผลไหม้ อาจก่อให้เกิดผลเสียแก่ร่างกาย อาจก่อให้เกิดอาการแพ้เมื่อถูกผิวหนัง
ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัย:	S 26-36/37/39-45-51	เมื่อเข้าตา ล้างทันทีด้วยน้ำปริมาณมาก, พบแพทย์ สวมชุดป้องกัน, ถุงมือ และอุปกรณ์ป้องกันตาและหน้าที่เหมาะสม ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ หรือรู้สึกไม่สบาย ควรปรึกษาแพทย์ทันที พร้อมทั้งแสดงฉลากของสารเคมี ใช้แต่ในบริเวณที่อากาศระบายได้ดี
เลขฉีชี:	---	

ระเบียบของเยอรมัน

ระดับมลพิษต่อแหล่งน้ำ 2 (สารก่อมลพิษ ระดับปานกลาง)

16. ข้อมูลอื่น

การเปลี่ยนแปลงจากเอกสารฉบับก่อน

เพิ่มเติมข้อมูลทั่วไป

Copyright 1998-1999 Merck Ltd., Thailand

ลิขสิทธิ์คำแปลภาษาไทย โดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมโรงงานอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

MSDS Number: 40000000517

Revision: 1.9 07/02/2001

Page: 1 of 9

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

Chemical name: White Mineral Oil, NF

Supplier: Crompton Corporation
One American Lane
Greenwich, CT 06831-2559, USA

Emergency telephone number: (24 hours) 732-826-6600
(24 hours) 800-424-9300
724-756-2210
Canada (24 hour emergency #): 416-284-1661

For MSDS, Product Safety, or regulatory inquiries, call: Kenneth Blair 732-826-6600 X295
To request an MSDS, Call: 866-430-2775

Customer Service: Customer Service 877-948-2688

2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

COMPONENT	CAS#	CONCENTRATION
White Mineral Oil	8042-47-5	100.0 %
Vitamin E	59-02-9	5.0 - 10.0 PPM

Note(s): This is not a dangerous substance

3. HAZARDS IDENTIFICATION

APPEARANCE

Physical state: Liquid
Color: Water-white



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

MSDS Number: 40000000517

Revision: 1.9 07/02/2001

Page: 2 of 9

Odor

None

EMERGENCY OVERVIEW

THIS PRODUCT IS AN NF OR USP GRADE WHITE MINERAL OIL. IT IS NOT EXPECTED TO PRESENT ANY UNUSUAL HAZARDS, IN PROPER USE.

POTENTIAL HEALTH EFFECTS

Swallowing

Acute effects

Ingestion is unlikely to have any toxic effects but the product may act as an intestinal lubricant and result in diarrhea and frequent loose stools.

If vomiting occurs, aspiration may cause delayed pulmonary edema and chemical pneumonia.

Skin absorption

Acute effects

Harmful effects are not expected from short periods of contact.

Effects of repeated overexposure

Prolonged or repeated contact may lead to skin irritation by dermatitis or oil acne.

Inhalation

Acute effects

Harmful effects are not expected from static vapor at ambient temperature.

Inhalation of mist or spray may be harmful.

Chronic effects

Aspiration may cause pulmonary edema or aspiration pneumonia.

Oil deposits in the lung may lead to fibrosis and reduced pulmonary function.

Prolonged or repeated inhalation of excessive amounts of oil mist or vapors may cause irritation of the respiratory tract.

Skin contact

Acute effects

No evidence of harmful effects from available information.

Eye contact

Acute effects

No evidence of harmful effects from available information.

POTENTIAL ENVIRONMENTAL EFFECTS

This product is stable in water, and can be mechanically separated from water. The water may be suitable for disposal in a biological waste water treatment plant. White mineral oil will be inherently biodegradable in water under aerobic conditions, and will be ultimately biodegraded by micro-organisms (although the biodegradability of White Mineral Oil will necessarily be limited by its low solubility in water).



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

MSDS Number: 400000000517

Revision: 1.9 07/02/2001

Page: 3 of 9

4. FIRST AID MEASURES

Swallowing

Do not induce vomiting. Treat symptomatically. Not expected to be toxic by ingestion.

Skin

No emergency care anticipated. Wash skin with soap and water. Remove contaminated clothing. Wash clothing before re-use. Obtain medical attention if irritation persists.

Inhalation

Obtain medical attention. Oxygen may be given by qualified personnel if breathing is difficult or cyanosis (blue discoloration of skin) is noted. Give artificial respiration if not breathing. Remove to fresh air if aerosol spray is inhaled. Aspiration may cause pulmonary edema or aspiration pneumonia. Exposed persons should be kept under medical observation for at least 48 hours because delayed effects may occur.

Eye contact

No emergency care anticipated. Flush eyes thoroughly with water for several minutes. Obtain medical attention if discomfort persists.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Flash point: > 120 °C (248 °F)

NFPA CLASSIFICATION

Health: 0	Flammability: 1	Reactivity: 0	Special provisions: -
-----------	-----------------	---------------	-----------------------

Special fire fighting procedures

Use water spray to cool fire-exposed containers and structures. If a rail or tank truck is involved in a fire, ISOLATE for 800 meters (0.5 mile) in all directions. Shut off fuel to fire if it is possible to do so without hazard. If this is impossible, withdraw from the area and let the fire burn out under controlled conditions. Withdraw immediately in case of rising sound from venting safety device or any discoloration of tank due to fire.

Special protective equipment for firefighters

Body covering protective clothing, full "turn-out" gear. Self-contained breathing apparatus with full face-piece operated in positive pressure mode.

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

MSDS Number: 40000000517

Revision: 1.9 07/02/2001

Page: 4 of 9

Extinguishing media**Suitable:** Treat as an oil fire.

Small fires:

- CO2

- dry powder

- foam

Large fires:

- alcohol-type foam or universal-type foams

- water fog

Unsuitable: Oil will float on water and can spread any fire.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal precautions

Wear protective clothing when taking up spill. Eliminate sources of ignition.

Environmental precautions

This product is insoluble in water and will float on the surface. Prevent from entering sewers or drains. Should this product enter sewers or drains, it should be pumped out into an open vessel. Emergency services may need to be called to assist in this operation.

Methods for cleaning up

Floor may be slippery; use care to avoid falling.

Small spills Absorb on inert material such as sand, earth, vermiculite.

7. HANDLING AND STORAGE

HANDLING**Handling precautions**

Never use pressure to empty drums. Keep drums tightly closed to prevent contamination. Residual vapors may explode on ignition; do not puncture, drill, grind, or weld near this container. Electrically bond and ground all containers and equipment before transfer or use of material.

STORAGE**Storage requirements**

Normal precautions common to safe manufacturing practice should be followed in handling and storage. Store in a dry place. Keep out of strong sunlight. Keep away from heat and flame. Keep container tightly closed.



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

MSDS Number: 40000000517

Revision: 1.9 07/02/2001

Page: 5 of 9

Further information on storage
Keep away from strong oxidizing agents.

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

PERSONAL PROTECTION

Respiratory protection

If vapor and/or mist is generated by heating, spraying, etc., wear an organic vapor respirator with a mist filter. No special; respiratory protection is normally required.

Hand protection / protective gloves

Wear oil resistant gloves.

Eye protection

Face shield or chemical splash goggles in case of splashing.

Skin protection

Wear protective clothing, such as long sleeves to minimize skin contact.

Industrial hygiene measures

Remove contaminated clothing and clean it.
Do not eat or drink at work.

ENGINEERING CONTROLS

Ventilation

Local ventilation is needed in the presence of airborne mists.

EXPOSURE LIMITS

Component	Type	Value	Remark
Mineral Oil Mist	TWA (mist), ACGIH	5.0 mg/m ³	If used in way that generates a "mist" observe the limits for Mineral Oil Mist.
	STEL (mist), ACGIH	10.0 mg/m ³	

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

APPEARANCE

Physical state

Liquid

Color

Water-white



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

MSDS Number: 40000000517

Revision: 1.9 07/02/2001

Page: 6 of 9

Odor None

OTHER PROPERTIES

Boiling point > 230 °C at STP unless specified below.

Specific gravity (H₂O=1) < 1

Vapor pressure < 0.008 hPa (0.01 mmHg) at 20 °C

Solubility in water Insoluble

Solubility in organic solvents Soluble

Partitioning coefficient log POW: > 6
This product is soluble in oil.

Flash point > 120 °C (248 °F)
Method: Cleveland open cup ASTM D 92

Percent volatiles Nil

Kinematic viscosity < 30 mm²/s at 40 °C

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability: Stable.

Incompatible materials
Normally unreactive; however avoid contact with:
Strong oxidizing agents.
Sunlight or ultraviolet light.
Heat or high temperature.

Hazardous combustion products
Burning can produce the following combustion products:
Oxides of carbon.
Soot

Hazardous polymerization: Will not occur.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

MSDS Number: 40000000517

Revision: 1.9 07/02/2001

Page: 7 of 9

SWALLOWING

Test results

Acute toxicity:

LD50 - Rat

Result: > 5,000 mg/kg

Remark: Test results are based on analogy with a similar material

SKIN CONTACT

Test results

Skin irritation:

Species: Guinea pigs

Result: Non irritating

EYE CONTACT

Test results

Eye irritation:

Species: Rabbit

Result: No irritation

SENSITIZATION

Test results:

Species: Skin - Guinea pigs

Result: Non-sensitizing

12. ECOLOGICAL INFORMATION

This product is stable in water, and can be mechanically separated from water. The water may be suitable for disposal in a biological waste water treatment plant. White mineral oil will be inherently biodegradable in water under aerobic conditions, and will be ultimately biodegraded by micro-organisms (although the biodegradability of White Mineral Oil will necessarily be limited by its low solubility in water).

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

General:

Incineration is probably the best means of disposal. Dispose of in accordance with appropriate Federal, State, and local regulations.

14. TRANSPORT INFORMATION



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

MSDS Number: 40000000517

Revision: 1.9 07/02/2001

Page: 8 of 9

DOT Classification

This product is not regulated by DOT.

Freight description road: 65 PETROLEUM OIL, N.O.B.I.N

IMDG Classification

This product is not regulated by IMDG.

ICAO Classification

This product is not regulated by ICAO.

15. REGULATORY INFORMATION

Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 (SARA) Title III requires submission of annual reports of release of toxic chemicals that appear in 40CFR372 (for SARA 313). This information must be included in MSDS's that are copied and distributed for this material.

Components present in this product at a level which could require reporting under the statute are:

**** NONE ****

New Jersey Worker and Community Right-To-Know Act (Labeling Requirements)

Chemical name

CAS#

New Jersey TS Number

White Mineral Oil

8042-47-5

EPA Hazard Categories (SARA 311, 312): None

CHEMICAL INVENTORY

Canada: The ingredients of this product are on the DSL.

Europe: The ingredients of this product are on the EINECS inventory.

United States: The ingredients of this product are on the TSCA inventory.

Australia: The ingredients of this product are on the AICS inventory.

Japan: The ingredients of this product are on the ENCS inventory.

FDA



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Product name: CARNATION® White Mineral Oil

MSDS Number: 40000000517

Revision: 1.9 07/02/2001

Page: 9 of 9

Food additive

This product is an NF or USP grade White Mineral Oil which is used for a variety of applications such as food grade lubricants and in the production of cosmetics and pharmaceuticals. It meets the requirements of the US FDA as per 21 CFR 172.878 and 21 CFR 178.3620(a).

16. OTHER INFORMATION

RECOMMENDED USES AND RESTRICTIONS

- Please consult the product and/or application information bulletins for this product.

HMIS RATING

Health: 0	Flammability: 1	Reactivity: 0	PPI: -
-----------	-----------------	---------------	--------

LEGEND

STP	Standard temperature and pressure
W/W	Weight/Weight
0 (HMIS)	Minimal hazard
1 (HMIS)	Slight hazard
2 (HMIS)	Moderate hazard
3 (HMIS)	Serious hazard
4 (HMIS)	Severe hazard
X (HMIS)	Personal protection rating to be supplied by user depending on use conditions

Copyright 2001 Crompton Corporation

The opinions expressed herein are those of qualified experts within Crompton Corporation. We believe that the information contained herein is current as of the date of this Safety Data Sheet. Since the use of this information and of these opinions and the conditions of use of this product are not within the control of Crompton Corporation, it is the user's obligation to determine the conditions of safe use of the products.

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย

ตามระเบียบวิธี 91/55/อีอีซี

**MERCK
Schuchardt**

1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

หมายเลขผลิตภัณฑ์: 818709

ชื่อผลิตภัณฑ์: Glycerol (free of water) for synthesis

ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ผลิต/ผู้ส่ง

บริษัท:

บริษัท เมอร์ค จำกัด

ชั้น 9 อาคาร มอนเทอเรย์ 2170 ถนน เพชรบุรีตัดใหม่ บางกะปิ ห้วยขวาง

กรุงเทพ 10320

โทรศัพท์ : (662) 308 - 0218

2. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

ชื่ออื่น

1,2,3-Propantriol ; Trihydroxypropan ; Protol

เลขรหัสซีไอเอส: 56-81-5

เลขดัชนีอีซี: -

มวลต่อโมล: 92.10

เลขอีไอเอ็นอีซีเอส: 200-289-5

สูตรโมเลกุล: $C_3H_8O_3$

3. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

จากข้อมูลที่มีอยู่ ไม่ต้องการกำหนดประเภท อันตรายของสารเคมี (ประเภทของสารเคมีอันตรายแสดงไว้ในข้อกำหนดของ 67/548/อีอีซี ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ใช้สำหรับประเทศสมาชิก)

4. มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อสูดดม: ให้อากาศบริสุทธิ์ หากรู้สึกไม่สบายควรปรึกษาแพทย์

เมื่อถูกผิวหนัง: ชะล้างออกด้วยน้ำ ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกทันที

เมื่อเข้าตา: ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก

เมื่อกลืนกิน: ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำปริมาณมาก ปรึกษาแพทย์หากรู้สึกไม่สบาย

5. มาตรการการผจญเพลิง

สารดับไฟที่เหมาะสม:

โฟมดับเพลิง , ผงเคมีดับเพลิง , ฟันน้ำ เครื่องดับเพลิง: ผงเคมีดับเพลิง , คาร์บอนไดออกไซด์ , น้ำ

ข้อมูลอันตรายอื่น:

ลูกไฟติดไฟได้ ไอระเหยที่หนักกว่าอากาศ เมื่อผสมกับอากาศ ก่อให้เกิดของผสมที่ระเบิดได้ เมื่อได้รับความร้อนสูง

ในกรณีเพลิงไหม้อาจก่อให้เกิด: อะโครลีน

อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับการผจญเพลิง

ห้ามอยู่บริเวณที่อันตรายโดยปราศจากชุดป้องกันสารเคมีที่เหมาะสม และเครื่องช่วยหายใจ

ข้อมูลอื่น:

ลดอุณหภูมิของถังบรรจุ โดยฉีดพ่นละอองน้ำจากระยะห่างที่ปลอดภัย ใช้น้ำกำจัดไอระเหย ป้องกันไม่ให้น้ำที่ใช้ดับเพลิงแล้วไหลลงสู่แหล่งน้ำบนดินหรือใต้ดิน

6. มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ

ข้อควรระวังส่วนบุคคล:

ห้ามสูดดมไอระเหย/ละอองลอย

วิธีทำความสะอาด/ดูดซับ:

ซับด้วยวัสดุดูดซับของเหลว เช่น เคมีซอร์บ์ ส่งไปกำจัด ทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อน

7. การจัดการและการเก็บรักษา

การจัดการ:

ไม่มีข้อบังคับอื่น

การเก็บ:

ปิดให้แน่น เก็บในที่แห้ง อุณหภูมิที่เก็บรักษา: ไม่มีข้อกำหนด

8. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล:

การป้องกันระบบหายใจ: จำเป็น เมื่อมีไอระเหย/ละออง

การป้องกันตา: จำเป็น

การป้องกันมือ: ไม่จำเป็น

ข้อควรปฏิบัติ เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เป็นสารเคมี ล้างมือหลังการทำงานกับสาร

9. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะ: ของเหลว

สี: ไม่มีสี

กลิ่น: ไม่มีกลิ่น

ค่าพีเอช 100 g/l น้ำ (20 °C) ~ 5

ความหนืด ไดนามิก (20 °C) 1400 mPa*s

จุดหลอมเหลว 18 °C

จุดเดือด 290 °C

อุณหภูมิติดไฟ ~ 429 °C

จุดวาบไฟ 177 °C

ขอบเขตการระเบิด ล่าง 0.9 Vol%

บน

ความดันไอ (20 °C) 0.01 mbar

ความหนาแน่น	(20 °C)	1.26 g/cm ³
ความสามารถในการละลาย	น้ำ (20 °C)	ละลายได้
อุณหภูมิละลายตัว		> 290 °C

10. ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง

การให้ความร้อนสูง

สารที่ต้องหลีกเลี่ยง

ตัวออกซิไดซ์ที่แรง , กรดไนตริก / กรดซัลฟิวริกเข้มข้น , ฟอสฟอรัสออกไซด์ , สารประกอบเปอร์ออกไซด์ , ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ , ฮาโลเจน

ผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวที่เป็นอันตราย

เมื่อเกิดเพลิงไหม้ : อะโครลีน

ข้อมูลเพิ่มเติม

ดูดความชื้น ;

สารเคมีในสภาพที่เป็นไอระเหยหรือแก๊ส เมื่อผสมกับอากาศและได้รับความร้อน ก่อให้เกิดการระเบิดได้

11. ข้อมูลทางพิษวิทยา

พิษเฉียบพลัน

LD₅₀ (oral, rat): 12600 mg/kg ;

LC₅₀ (inhalation, rat): > 570 mg/m³ /1 h ;

ข้อมูลเพิ่มเติมทางพิษวิทยา

เป็นสารที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ

เมื่อสูดดม: ระคายเคืองต่อ ทางเดินหายใจ , ปอด

ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อ ผิวหนัง , เยื่อเมือก

เมื่อกินในปริมาณมาก: อาเจียน , ปวดท้อง , ปวดศีรษะ , ง่วงซึม , ท้องร่วง , ตัวเขียว

12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์

การย่อยสลายทางชีวภาพ:

ความสามารถในการถูกย่อยสลาย:

ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย (รีดักชัน: DOC>70%; BOD>60%; BOD₅ to COD>50%)

พฤติกรรมในสิ่งแวดล้อม:

Evaluation number (FRG) (bacteria): < 2 ; Evaluation number (FRG) (fish): < 2 ; Evaluation number (FRG) (mammal): 1 ;

ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์:

ผลกระทบต่อชีวภาพ: ผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ: ต่ำ

ความเป็นพิษต่อปลา: fish LC₅₀: > 10000 mg/l ; L.idus LC₁₀₀: > 10000 mg/l ;

ความเป็นพิษต่อสาหร่าย: M.aeruginosa EC₀: 2900 mg/l ; Sc.quadricauda EC₀: > 10000 mg/l ;

ความเป็นพิษต่อแบคทีเรีย: Ps.pudita EC₀: > 10000 mg/l ;

aquatic organisms LC₅₀: > 1000 mg/l /96 h ;

ข้อมูลอื่นๆเกี่ยวกับระบบนิเวศน์:

ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม

13. มาตรการการกำจัด

ผลิตภัณฑ์:

ไม่มีกฎข้อบังคับของอีซีชีว่าด้วยการกำจัดสารเคมีหรือกากเคมีซึ่งมักจะถือว่าเป็นของเสียเฉพาะ ประเทศสมาชิกอีซีมีกฎหมายและข้อบังคับในการกำจัดของเสียเฉพาะเหล่านั้น โปรดติดต่อผู้รับผิดชอบหรือบริษัทรับกำจัดของเสียที่ได้รับอนุญาตเพื่อปรึกษาวิธีกำจัด

บรรจุภัณฑ์:

กำจัดตามระเบียบราชการ หีบห่อที่ปนเปื้อนสารเคมีให้จัดการเช่นเดียวกับตัวสารเคมี สำหรับหีบห่อที่ไม่ปนเปื้อนให้กำจัดเหมือนของเสียตามบ้านหรือนำมาใช้ใหม่ หากไม่มีข้อกำหนดอื่นเป็นพิเศษ ติดต่อบริษัทผู้ผลิตตามที่ระบุในฉลาก

14. ข้อมูลการขนส่ง

ไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการขนส่ง

15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

การติดฉลากตามระเบียบอีซี

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย: ---

ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัย: ---

ปลอดภัย:

ระเบียบของเยอรมัน

ระดับมลพิษต่อแหล่งน้ำ 0 (โดยปกติ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ)

16. ข้อมูลอื่น

การเปลี่ยนแปลงจากเอกสารฉบับก่อน

เพิ่มเติมข้อมูลทั่วไป

เพิ่มเติมในหัวข้อ นิเวศน์วิทยา

เพิ่มเติมข้อมูลในหัวข้อ พิษวิทยา

Copyright 1998-1999 Merck Ltd., Thailand

ลิขสิทธิ์คำแปลภาษาไทย โดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐ งามเจตน์ธรรมย์ เกิดเมื่อวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2517 จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสันติราษฎร์วิทยาลัย สำเร็จการศึกษาในชั้นอุดมศึกษาจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปี พ.ศ. 2540 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2542 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย