การย่อยสลายโมเลกุลของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยกระบวนการฉายรังสีแกมมา
ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ / ยูเรีย

นางสาวขวัญชนก จันทร์สว่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0436-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MOLECULAR DEGRADATION OF AGRICULTURAL WASTE BY THE GAMMA-RAY IRRADIATION AND SODIUM HYDROXIDE / UREA TREATMENT PROCESS

Miss Kwuanchanok Chansawang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0436-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การย่อยสลายโมเลกุลของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยกระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ / ยูเรีย
โดย	นางสาวขวัญชนก จันทร์สว่าง
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขวัญชนก จันทร์สว่าง : การย่อยสลายโมเลกุลของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยกระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ / ยูเรีย. (MOLECULAR DEGRADATION OF AGRICULTURAL WASTE BY THE GAMMA-RAY IRRADIATION AND SODIUM HYDROXIDE / UREA TREATMENT PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล, 97 หน้า. ISBN 974-03-0436-2.

การศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ / ยูเรีย ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการปล่อยให้ย่อยสลายต่าง ๆ กัน ในการย่อยสลายโมเลกุลของฟางข้าว กากอ้อย และเถาถั่วลิสง โดยการวิเคราะห์หาค่า NDF, ADF, ADL เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เปรียบเทียบกับกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารเคมี ผลการทดลองที่ได้ พบว่า การฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารเคมี ทำให้ปริมาณ NDF ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในฟางข้าว กากอ้อย และเถาถั่วลิสง ลดลงได้มากกว่ากระบวนการย่อยสลายด้วยสารเคมีเพียงอย่างเดียว ยกเว้น ฟางข้าวและกากอ้อย ที่ฉีดพ่นด้วย 20%NaOH เป็นปริมาณ 30% และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 1-3 วัน เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นยังพบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลทำให้ปริมาณ NDF ลดลงได้มากกว่าการใช้สารละลายยูเรีย ซึ่งผลของปริมาณ NDF ที่ลดลงในฟางข้าว กากอ้อย และเถาถั่วลิสง เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 50-52%, 48-49% และ 46% ตามลำดับ และเมื่อใช้สารละลายยูเรียเท่ากับ 25%, 19% และ 14-17% ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่อนิสิต .....…
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....…..
ปีการศึกษา 2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....……

##4170240021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEY WORD: DEGRADATION / CELLULOSE / HEMICELLULOSE / LIGNIN / AGRICULTURAL WASTE
MISS KWUANCHANOK CHANSAWANG : MOLECULAR DEGRADATION OF AGRICULTURAL WASTE BY THE GAMMA-RAY IRRADIATION AND SODIUM HYDROXIDE / UREA TREATMENT PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.SIRIWATTANA BANCHORNDHEVAKUL, 97 PP. ISBN 974-03-0436-2.

Molecular degradation of rice straw, sugar cane bagasse, and peanut straw by gamma irradiation with chemicals (sodium hydroxide or urea) treatment at various concentrations and degrading times were studied. The results showed that combination effect of gamma irradiation with chemical treatment on these materials could reduce the NDF contents to lower level than chemical treatment only, except for rice straw and sugar cane bagasse with 30%NaOH of 20% sodium hydroxide treatment and 1-3 days degradation. The results also indicated that sodium hydroxide solution had higher effect in NDF reduction than urea solution. NDF reduction in rice straw, sugar cane bagasse, and peanut straw were 50-52%, 48-49% and 46%, respectively, for sodium hydroxide solution treatment, and were 25%, 19% and 14-17%, respectively, for urea solution treatment.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Nuclear Technology	Student's signature…….....
Field of study Nuclear Technology	Advisor's signature……..…
Academic year 2001	Co-advisor's signature……..

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ นักวิชาการ เจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี และไร่ฝึกคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณคุณวารุณี พานิชผล หัวหน้ากองวิเคราะห์อาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในช่วงแรกของการทดลอง

ขอขอบคุณคุณแพรวพรรณ ชูช่วย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์ชัยนาท ที่ได้ให้ความกรุณารับวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยของการทดลองที่เหลือทั้งหมด

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องฉายรังสีแกมมา BSV-06 เพื่อฉายรังสีวัสดุ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์ฉายรังสีอาหารและผลิตผลทางการเกษตร สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการฉายรังสีวัสดุบางส่วน

ขอขอบคุณ คุณศิริรัตน์ พีระมนตรี กองการวัด สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการวัดปริมาณรังสี

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ และห้องปฏิบัติการชีวเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ตู้เขี่ยเชื้อ

ขอขอบคุณทุก ๆ ท่านในภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี โดยเฉพาะเพื่อนนิสิตที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจอย่างดีมาโดยตลอด

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ พี่ ๆ เพื่อนรักทั้งหลาย และผู้มีส่วนร่วมทุก ๆ ท่าน ซึ่งให้การสนับสนุนในทุกเรื่องและเป็นกำลังใจอย่างดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 4

1.4 ขั้นตอนการวิจัย..... 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้..... 5

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2 การฉายรังสีโพลิเมอร์..... 8

2.1 การปรับปรุงคุณสมบัติโพลิเมอร์..... 8

2.2 การย่อยสลายโมเลกุล..... 10

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น..... 12

2.4 กระบวนการที่ใช้ประโยชน์จากการย่อยสลายโพลิเมอร์..... 15

3 ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 17

3.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 17

3.2 ส่วนประกอบหลักในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 18

3.3 กรรมวิธีในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 22

3.4 การวิเคราะห์หาเยื่อใยในพืชอาหารสัตว์..... 26

4 การทดลอง..... 29

4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 29

4.2 วัสดุ..... 29

4.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ..... 29

4.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย..... 30

หน้า

5 ผลการวิจัย..... 33
5.1 ผลการทดลองหาปริมาณรังสีที่จะใช้ในการทดลอง..... 33
5.2 ผลการทดลองหากระบวนการที่เหมาะสมและปลอดเชื้อรา..... 33
5.3 ผลการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด..... 35
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 90
6.1 สรุปผลการวิจัย..... 91
6.2 ข้อเสนอแนะ..... 92
รายการอ้างอิง..... 93
ภาคผนวก..... 95
ประวัติผู้เขียน..... 97

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 ประสิทธิภาพของการใช้กรรมวิธีต่าง ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้ IVDMD..... 3

2.1 โพลิเมอร์ที่เกิด Cross-Linking และ Degradation ได้..... 9

2.2 ค่า G(S) ของโพลิเมอร์ที่ถูกฉายรังสีที่อุณหภูมิห้อง สภาวะไร้ออกซิเจน.....12

2.3 ก๊าซที่ถูกปล่อยออกมาขณะฉายรังสีโพลิเมอร์.....12

5.1 ปริมาณเยื่อใยในกากอ้อย เมื่อนำไปฉายรังสีแกมมาปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 kGy..... 33

5.2 ปริมาณเยื่อใยในฟางข้าว เมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ..... 34

5.3 ปริมาณเยื่อใยในฟางข้าว เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการหมักด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์..... 36

5.4 ปริมาณเยื่อใยในฟางข้าว เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการหมักด้วยสารละลายยูเรีย..... 45

5.5 ปริมาณเยื่อใยในกากอ้อย เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการหมักด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์..... 55

5.6 ปริมาณเยื่อใยในกากอ้อย เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการหมักด้วยสารละลายยูเรีย..... 64

5.7 ปริมาณเยื่อใยในเถาถั่วลิสง เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการหมักด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์..... 73

5.8 ปริมาณเยื่อใยในเถาถั่วลิสง เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการหมักด้วยสารละลายยูเรีย..... 82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างอะตอมหลักของโพลิเมอร์..... 8

2.2 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อโพลิเมอร์ถูกฉายรังสี..... 11

3.1 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส..... 19

3.2 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส..... 20

3.3 สูตรโครงสร้างของสารประกอบหลักเริ่มต้น (precursors) ของลิกนิน..... 22

3.4 วิธีการวิเคราะห์หาเยื่อใยในพืชอาหารสัตว์ โดยวิธีของ Van Soest..... 28

5.1 ปริมาณลิกนินในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ..... 34

5.2 ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ..... 34

5.3 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ..... 35

5.4 ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสี
ร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน..... 37

5.5 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสี
ร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน..... 40

5.6 ปริมาณลิกนินในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสี
ร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน..... 42

5.7 ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อย
ให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย
7, 14 และ 21 วัน..... 46

5.8 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อย
ให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย
7, 14 และ 21 วัน..... 49

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

5.9 ปริมาณลิกนินในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อย
ให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย
7, 14 และ 21 วัน 51

5.10ปริมาณเซลลูโลสในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสี
ร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน..... 56

5.11ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสี
ร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน..... 59

5.12ปริมาณลิกนินในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสี
ร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน..... 61

5.13ปริมาณเซลลูโลสในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อย
ให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย
7, 14 และ 21 วัน..... 65

5.14ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อย
ให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย
7, 14 และ 21 วัน..... 67

5.15ปริมาณลิกนินในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อย
ให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย
7, 14 และ 21 วัน 70

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.16ปริมาณเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสี
ร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน..... 74

5.17ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสี
ร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน..... 77

5.18ปริมาณลิกนินในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสี
ร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน..... 79

5.19ปริมาณเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อย
ให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย
7, 14 และ 21 วัน..... 83

5.20ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อย
ให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย
7, 14 และ 21 วัน..... 85

5.21ปริมาณลิกนินในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลาย
ด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อย
ให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย
7, 14 และ 21 วัน 87

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ประเทศไทยของเราเป็นประเทศเกษตรกรรม มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว กากอ้อย ซังข้าวโพด เปลือกข้าวโพด กากสับปะรด จุกสับปะรด ใบมันสำปะหลัง เถามัน เยื่อใยจากปาล์มน้ำมัน ใยฝ้าย ฯลฯ เหลืออยู่เป็นจำนวนมาก แต่การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากโครงสร้างหลักของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประกอบด้วย เซลลูโลส 40 - 60 % เฮมิเซลลูโลส 20 - 30 % และลิกนิน 15 - 30 % (เมธา, 2533) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ย่อยสลายได้ยาก แนวทางหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากสารคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ ได้แก่ การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลไซโลส

โดยปกติแล้วเกษตรกรจะนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้ มาใช้เลี้ยงสัตว์ในช่วงฤดูที่ขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ ซึ่งพบว่าวัสดุเหลือทิ้งบางชนิด เช่น กากถั่วเหลือง ต้นถั่วลิสง มีค่าโปรตีน 8 - 33 % ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ แต่วัสดุเหลือทิ้งบางชนิด เช่น ฟางข้าว มีค่าโปรตีน 4% เยื่อใย (NDF - Neutral Detergent Fiber) 13% จัดเป็นวัสดุที่มีคุณค่าทางอาหารต่ำ และมีปริมาณเยื่อใยสูง ไม่สามารถใช้เป็นอาหารที่เพิ่มน้ำหนักตัวสัตว์ได้ จึงควรนำมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารก่อนที่จะนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ (วลัยกานต์, 2541) หรือการนำซังข้าวโพดหวานไปใช้เลี้ยงโคนม ซังข้าวโพดมีความชื้นสูง ถ้าเก็บไว้หลายวันจะเกิดเชื้อราได้ง่าย เมื่อสัตว์กินเข้าไปมาก ๆ อาจสะสมพิษจากเชื้อราในร่างกาย เป็นอันตรายต่อสัตว์ได้

วิธีการในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์นั้น มีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีทางกายภาพ โดยการสับหรือบดวัสดุเพื่อลดขนาด แต่มีผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงโดยวิธีนี้ไม่ได้ทำให้สัตว์กินอาหารจำพวกนี้ได้มากขึ้น นอกจากนั้นการย่อยได้ยังลดลงอีกด้วย วิธีทางกายภาพอื่น ๆ ได้แก่ การอบภายใต้ไอน้ำและความดันที่เหมาะสม วิธีทางเคมี โดยการนำสารเคมี เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ยูเรีย มาหมักวัสดุ และวิธีทางชีวภาพ ได้แก่การนำเอาเอนไซม์ หรือเชื้อรามาหมักวัสดุ (เมธา, 2533) จากการทดลองเกี่ยวกับการย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสโดยใช้เชื้อราพบว่า เชื้อราจำพวก white-rot หลายชนิด สามารถแยกลิกนิน (Lignin) ออกจาก เนื้อไม้ หรือฟางข้าวได้ ส่วนเชื้อราจำพวก brown-rot ประเภท Basidiomycetes สามารถย่อยสลายเซลลูโลส

และเฮมิเซลลูโลสได้ แต่ถูกจำกัดโดยลิกนิน (Tanesaka, 1993) และอีกวิธีหนึ่งที่ได้มีการทดลองก็คือการใช้รังสีช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสอันเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมาจากการศึกษาว่ารังสีแกมมาสามารถทำให้โพลิเมอร์หลายชนิดเกิดการย่อยสลาย (Degradation) ได้ โดยปริมาณรังสีที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้นั้น มีค่าประมาณ 0.2 - 0.6 MGy ได้มีการทดลองเปรียบเทียบการใช้วิธีต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้ IVDMD (*In vitro* dry matter digestibility) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 (เมธา, 2533)

จากตารางแสดงให้เห็นว่า การฉายรังสีแกมมา จะให้ค่าความสามารถในการย่อยได้สูงที่สุด แต่ต้องใช้ความแรงรังสีแกมมาสูงถึง 250 Mrad หรือเท่ากับ 2.5 MGy ดังนั้นเราควรหากระบวนการเสริมวิธีดังกล่าวเพื่อลดค่าความแรงรังสี โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายลดลง ซึ่งเป็นแนวทางในการทำวิจัยครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.1 ประสิทธิภาพของการใช้กรรมวิธีต่าง ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้ IVDMD[1] (1)

Treatment	Level	Barley straw	Pea straw	Crop residue Sunflower hulls	Sugarcane bagasse	Pine sawdust
Untreated	-	38	42	17	33	12
Gamma irradiation	250 Mrad	61	61	49	57	68
Steaming	170° C - 1 h.	59	62	31	52	20
Sodium hydroxide	6 g / 100 g	56	55	21	56	17
Ammonium hydroxide	5.2 g / 100 g	48	50	17	35	15
Anhydrous ammonia	3.5 g - 10 d	56	47	23	41	12
Urea-ammonia	8 g / 100 g - 4 wk	52	45	21	46	-
Calcium hydroxide	10 g / 100 g	48	36	19	44	-
Sodium chlorite	3.0 / 100 g	42	42	22	44	10
Sodium chlorite + ammonia	3.0 g / 100 g 3.5 g / 100 g	61	43	24	47	15
Sulphur dioxide	120°C - 3 h.	47	48	26	44	20
Steaming + NaOH	170°C - 1 h. & 6 g / 100 g	54	43	30	48	25
White rot fungi		46	48	27	39	-

IVDMD (*In vitro* dry matter digestibility) คือค่าความสามารถการย่อยได้ที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ โดยคำนวณจากปริมาณวัตถุแห้งที่หายไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางชนิดให้เล็กลง โดยการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลาย สำหรับนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ที่มีประสิทธิภาพการย่อยได้สูงขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ฟางข้าว กากอ้อย และเถาถั่วลิสง

2. ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ในการฉายรังสี คือ ^{60}Co

3. หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปล่อยให้ย่อยสลาย ได้แก่ ชนิดของสารที่ใช้ ความเข้มข้น และระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย

4. เปรียบเทียบความสามารถในการย่อยได้ โดยใช้ค่า NDF , ADF และ ADL

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวกับงานวิจัย

2. เตรียมวัสดุที่จะใช้ในงานวิจัย โดยอบที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 3 - 5 วัน แล้วบดให้มีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร

3. นำวัสดุไปวิเคราะห์หาค่า NDF , ADF และ ADL

4. ทดลองหาชนิดของสารที่ใช้ ความเข้มข้น และระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย

5. ทำการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด เพื่อย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

6. นำวัสดุที่ผ่านกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายไปวิเคราะห์หาค่า NDF , ADF และ ADL

7. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

8. เรียบเรียงผลงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้

ได้กระบวนการย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เหมาะสมและปลอดภัย เพื่อนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ที่มีประสิทธิภาพการย่อยได้สูงขึ้น

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Ibrahim, M.N.M. and Pearce, G.R. (1980) ทำการวิจัยเรื่อง Effect of gamma irradiation on the composition and *in vitro* digestibility of crop composition and *in vitro* digestibility of crop by-products เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าวบาร์เลย์ เถาถั่ว กากอ้อย เปลือกเมล็ดดอกทานตะวัน และขี้เลื่อยไม้สน ไปฉายรังสีแกมมาที่ระดับปริมาณรังสี 10, 100, 200 และ 250 Mrad เพื่อดูค่าการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ผลการวิจัยพบว่า ที่ปริมาณรังสี 10 Mrad ไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลง แต่ที่ปริมาณรังสี 100, 200 และ 250 Mrad มีผลทำให้ค่าของ NDF, ADF และ ADL ลดลงมากขึ้นตามลำดับปริมาณรังสี และได้มีการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ระหว่างตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฉายรังสีกับตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 250 Mrad พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้เพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่าง ดังนี้ ฟางข้าวบาร์เลย์เพิ่มจาก 40% เป็น 61% เถาถั่วเพิ่มจาก 42% เป็น 61% กากอ้อยเพิ่มจาก 33% เป็น 57% เปลือกเมล็ดดอกทานตะวันเพิ่มจาก 17% เป็น 49% และขี้เลื่อยไม้สนเพิ่มจาก 6% เป็น 45%

2. Jayasuriya, M.C.N. and Perera, H.G.D. (1982) ทำการวิจัยเรื่อง Urea-ammonia treatment of rice straw to improve its nutritive value for ruminants เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการนำฟางข้าวไปหมักด้วยยูเรียที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 2-10% และใช้ระยะเวลาการหมักตั้งแต่ 1-6 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นจะให้ค่าโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นได้มีการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้เพิ่มขึ้น ส่วนระยะเวลาในการหมักหลังจาก 3 สัปดาห์ไปแล้วไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้

3. Al-Masri, M.R. and Zarkawi, M. (1994) ทำการวิจัยเรื่อง Effect of gamma irradiation on chemical compositions of some agricultural residues เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบของรังสีแกมมา ที่มีต่อปริมาณเยื่อใยในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยวัสดุที่ใช้ได้แก่ ใยฝ้าย ฟางข้าวสาลี ฟางข้าวบาร์เลย์ เถาถั่วแดง ต้นข้าวโพด และซังข้าวโพด ปริมาณรังสีที่ใช้คือ 0, 10, 50 และ 100 kGy ภายใต้อุณหภูมิและความชื้นปกติ แล้ววิเคราะห์หาค่า total

nitrogen (N), crude fiber (CF), neutral-detergent fiber (NDF), acid-detergent fiber (ADF) และ acid-detergent lignin (ADL) ผลการวิจัยพบว่า รังสีแกมมาไม่มีผลต่อ N ในขณะเดียวกันปริมาณรังสี 100 kGy จะลด CF ในใยฝ้ายได้ถึง 30% ฟางข้าวสาลีและต้นข้าวโพด 21% ฟางข้าวบาร์เลย์ เถาถั่วแดง และต้นข้าวโพด 16% : ลด NDF ในใยฝ้าย ฟางข้าวสาลีและฟางข้าวบาร์เลย์ 6% ต้นข้าวโพด 11% และซังข้าวโพด 9% : ลด ADF ในใยฝ้าย 8% ต้นข้าวโพดและซังข้าวโพด 7% ฟางข้าวสาลีและฟางข้าวบาร์เลย์ 6% และลด ADL ในใยฝ้าย 8% ฟางข้าวสาลี 21% ฟางข้าวบาร์เลย์และต้นข้าวโพด 18% และซังข้าวโพด 30% ส่วนในเถาถั่วแดง พบว่าปริมาณรังสี 100 kGy ไม่มีผลต่อ NDF, ADF และ ADL

4. Al-Masri, M.R. and Zarkawi, M. (1994) ทำการวิจัยเรื่อง Effect of gamma irradiation on cell-wall constituents of some agricultural residues เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบของรังสีแกมมาปริมาณรังสี 150 kGy ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยวัสดุที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ใยฝ้าย เถาถั่วแดง กิ่งแอปเปิ้ลที่มาจากการตัดเล็ม และกากมะกอก และวิเคราะห์หาค่า crude fiber (CF), neutral-detergent fiber (NDF), acid-detergent fiber (ADF) และ acid-detergent lignin (ADL) ผลการวิจัยพบว่า CF ลดลงในวัสดุทุกชนิด โดยมี %ลดลงอยู่ในช่วง 17-29% : NDF ลดลงในวัสดุทุกชนิด มี %ลดลงอยู่ในช่วง 3-13% : ADF ลดลงเฉพาะในใยฝ้าย 8% ส่วน ADL ลดลงเฉพาะในใยฝ้าย 8% และในกากมะกอก 5%

5. Al-Masri, M.R. (1999) ทำการวิจัยเรื่อง *In vitro* digestible energy of some agricultural residues as influenced by gamma radiation and sodium hydroxide เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับปรุงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยวิธีการฉายรังสี การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ (IVOMD) พลังงานการย่อยได้ (IVDE) เป็นตัวเปรียบเทียบ โดยวัสดุที่ใช้ได้แก่ ฟางข้าวสาลี เปลือกเมล็ดฝ้าย เปลือกถั่วลิสง เปลือกถั่วเหลือง กากมะกอก และกากเมล็ดดอก ทานตะวัน นำไปฉายรังสีปริมาณ 0, 100, 150 และ 200 kGy ที่อุณหภูมิและความชื้นปกติแล้วนำ ไปฉีดพ่นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำไปวางในที่ความชื้นต่ำเป็นเวลา 3 วัน แล้ว จึงวิเคราะห์หาค่า IVOMD และ IVDE ผลการวิจัยพบว่า เงื่อนไขที่เพิ่มค่า IVOMD และ IVDE ได้ มากที่สุด คือ การใช้ปริมาณรังสี 200 kGy ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 g ในน้ำ 25 ml

6. Al-Masri, M.R. Guenther, K.D. (1999) ทำการวิจัยเรื่อง Changes in digestibility and cell-wall constituents of some agricultural by-products due to gamma

irradiation and urea treatments เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการนำ ฟางข้าวสาลี เปลือกเมล็ดฝ้าย เปลือกถั่วเหลือง กากเมล็ดดอกทานตะวัน กากมะกอก และเปลือกถั่วลิสง มาฉายรังสีแกมมาจาก ^{137}Cs ที่ความแรงรังสีในช่วง 50-200 kGy แล้วนำไปฉีดพ่นด้วยยูเรียเก็บไว้เป็นเวลา 21 วัน จากนั้นนำไปวางไว้บริเวณที่มีความชื้นต่ำเป็นเวลา 3 วัน ผลการวิจัยพบว่า %การลดลงของ NDF, ADF และ ADL มีค่าอยู่ในช่วง 10-18 %, 9-15 % และ 2-22 % ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การฉายรังสีโพลิเมอร์

2.1 การปรับปรุงคุณสมบัติโพลิเมอร์ (Polymer modification)

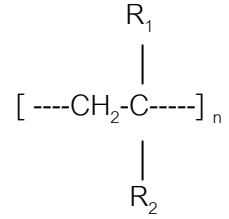
เมื่อโพลิเมอร์ถูกฉายรังสี (irradiation) ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดที่เกิดขึ้นคือการเชื่อม โยงระหว่างสายโซ่ของโมเลกุล (cross-linking) ซึ่งถือเป็นปฏิกิริยาแรกที่ถูกประยุกต์เพื่อนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม ส่วนปฏิกิริยาอื่นที่เกิดขึ้น ได้แก่ การย่อยสลายโมเลกุล (degradation) ซึ่งมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น การปรับปรุงฟางแห้งเพื่อนำไปใช้เป็นอาหารปศุสัตว์ การย่อยสลาย polytetrafluoroethylene (Teflon) และการปรับปรุง butyl rubber เช่น isobutylene-isoprene copolymer

นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่น ๆ เกิดขึ้นภายหลังโพลิเมอร์ถูกฉายรังสี ได้แก่ การเกิดก๊าซ (gas formation) เช่น H_2 , CH_4 , CO การเปลี่ยนแปลงพันธะเคมี (change in unsaturation) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้เป็นวง (cyclization) และ การรวมตัวกับออกซิเจน (oxidation)

cross-linking และ degradation เป็นกระบวนการทางเคมี-รังสีที่ไม่สมดุล เพราะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของโพลิเมอร์ โดย cross-linking จะเพิ่มมวลโมเลกุล ในขณะที่ degradation จะลดมวลโมเลกุล

ตามกฎแล้วทั้งสองปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันทีทันใด โดยสัดส่วนของอัตราการเกิดจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของโพลิเมอร์ สภาพทางกายภาพและเงื่อนไขในการฉายรังสี แล้วโพลิเมอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาใดปฏิกิริยาหนึ่งชัดเจน

ในกรณีที่โพลิเมอร์มีโครงสร้างซึ่งมีอะตอมของคาร์บอนเป็นสายโซ่หลัก และมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างอะตอมหลักของโพลิเมอร์

ถ้า R_1 เป็นอะตอมของไฮโดรเจน (H-atom) และ R_2 เป็นอะตอมชนิดอื่น เมื่อโพลิเมอร์ถูกฉายรังสีจะเกิด cross-linking ขึ้น

แต่ถ้า R_1 และ R_2 ไม่ใช่อะตอมของไฮโดรเจน เมื่อโพลิเมอร์ถูกฉายรังสีจะเกิด degradation ขึ้น

ตัวอย่างของการเกิดผลเนื่องจากรังสีในแต่ละโครงสร้างของโพลิเมอร์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 โพลิเมอร์ที่เกิด Cross-Linking และ Degradation ได้ (Wood and Alexei, 1994)

Polymer	Structural Unit	Predominant Radiation Induced Change
Polyethylene	---CH_2---CH_2---	Cross-linking
Polypropylene	---CH_2---$CH(CH_3)$---	Cross-linking
Poly (vinyl fluoride)	---CH_2---CHF---	Cross-linking
Poly (vinyl chloride)	---CH_2---CHCl---	Cross-linking
Polyvinyl alcohol	---CH_2---CH(OH)---	Degradation
Polystyrene	---CH_2---$CH(C_6H_5)$---	Cross-linking
Polyisobutylene	---$CH_2C(CH_3)_2$---	Degradation
Polytetrafluoroethylene	---CF_2---CF_2---	Degradation
Polytrifluorochloroethylene	---CF_2---CFCl---	Degradation
Polymethacrylamide	---CH_2---$C(CH_3)(CONH_2)$---	Degradation
Polymethacrylic acid	---CH_2---$C(CH_3)(CO_2H)$---	Degradation
Polymethacrylonitrile	---CH_2---$C(CH_3)(CN)$---	Degradation
Poly(methyl methacrylate)	---$CH_2C(CH_3)(CO_2CH_3)$---	Degradation
Polyethylene oxide	---CH_2---CH_2---O---	Cross-linking
Natural rubber	---$CH_2C(CH_3)$=$CHCH_2$---	Cross-linking
Polyamides	---CO---NH---	Cross-linking
Cellulose	---$C_6H_7O_2(OH)_3$---	Degradation
Celulose acetate	---$C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCOCH_3)_x$---	Degradation
Cellulose nitrate	---$C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(ONO_2)_x$---	Degradation

2.2 การย่อยสลายโมเลกุล (Degradation)

ผลของ degradation ที่มีต่อโพลิเมอร์คือจะเกิดการลดขนาดโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ โดยสุดท้ายจะได้เป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์โพลิเมอร์ (monomer)

จากที่กล่าวไปแล้วว่า โพลิเมอร์ที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นสายโซ่หลักที่จะเกิด degradation ภายหลังได้รับรังสี มักจะมีโครงสร้างเป็นแบบ $-CH_2CR_1R_2CH_2-$ เมื่อ R_1 และ R_2 ไม่ใช่อะตอมของไฮโดรเจน และตำแหน่งที่มักจะเกิดการตัดขาดคือตำแหน่งพันธะ C-C

โดยกลไกในการทำงานของรังสีที่ทำให้โพลิเมอร์เกิด degradation อธิบายได้ดังนี้ (รูปที่ 2.2)

กระบวนการที่ 1 รังสีจะถ่ายเทพลังงานให้แก่โมเลกุลของโพลิเมอร์ ทำให้โมเลกุลนั้นเกิดการแตกตัว (ionization) เป็นอิออนบวกและลบ หรือถูกกระตุ้นให้อยู่ในสภาวะกระตุ้น (excitation) คือโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงกว่าระดับพลังงานสภาวะพื้นฐาน (ground state)

กระบวนการที่ 2 โมเลกุลที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นอาจจะถูกตัดขาดที่สายโซ่หลักทำให้อนุมูลอิสระ (free radical) เกิดการแตกตัวออกมา

กระบวนการที่ 3 หรืออาจจะเกิดรอยร้าวขึ้น และอาจจะมีการปล่อยก๊าซออกมาในขณะที่อะตอมของ H แตกตัวออกจากสายโซ่หลัก

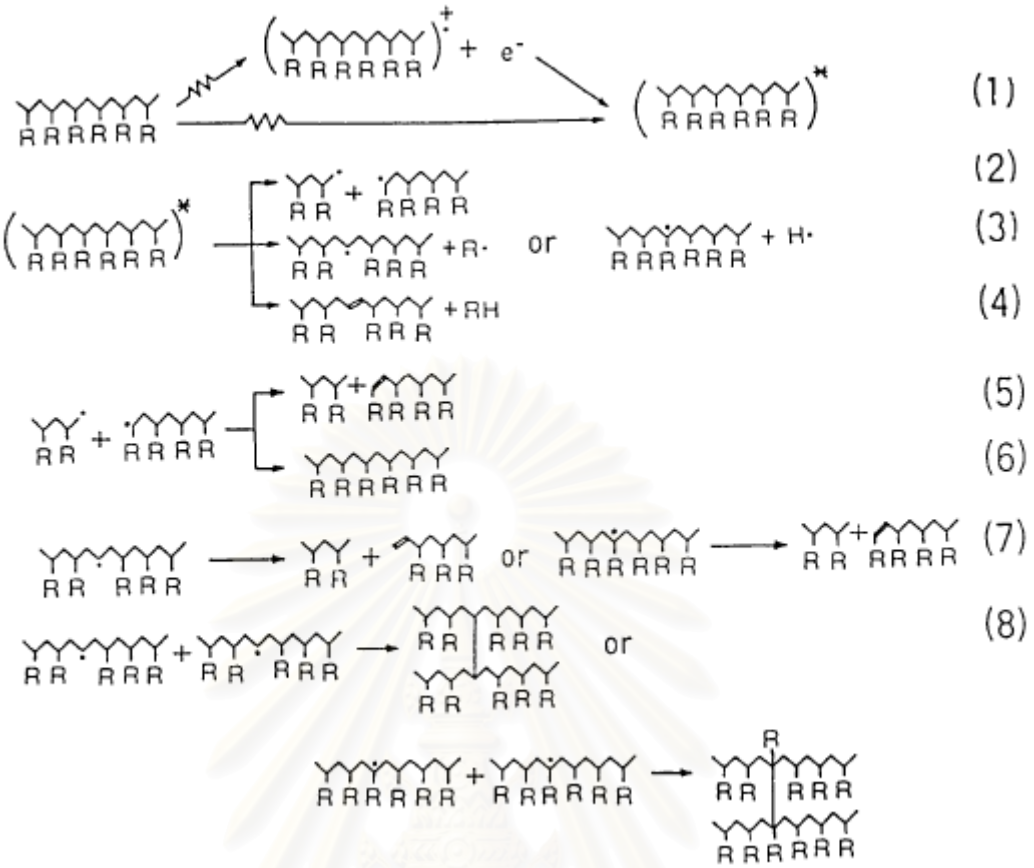
กระบวนการที่ 4 หรืออาจจะปล่อยอะตอมของ RH แล้วเกิดเป็นพันธะคู่ขึ้นในสายโซ่หลัก

กระบวนการที่ 5 อนุมูลอิสระจากกระบวนการที่ 2 จะพยายามเข้าสู่เสถียรที่ไม่ได้สัดส่วนโดยแยกออกเป็น 2 ส่วน

กระบวนการที่ 6 หรืออาจจะรวมตัวกลับเป็นโมเลกุลเริ่มต้น (recombination)

กระบวนการที่ 7 โมเลกุลจากกระบวนการที่ 3 ที่เกิดรอยร้าวจะเกิดการตัดขาดของสายโซ่หลัก และสร้างพันธะคู่ขึ้นที่ปลายของสายโซ่

กระบวนการที่ 8 หรือโมเลกุลที่เกิดรอยร้าวอาจจะเชื่อมโยงโมเลกุลขึ้นใหม่ (cross-linking)



รูปที่ 2.2 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อโพลิเมอร์ถูกฉายรังสี

ค่าที่ใช้แสดงความสามารถของรังสีที่จะเหนี่ยวนำให้เกิด degradation ในโพลิ-เมอร์ คือ G(S) (radiation chemical yield of degradation , หน่วย scission/100 eV) ซึ่งสามารถหาได้จากการวัดค่ามวลโมเลกุล (molecular mass) ของโพลิเมอร์ ก่อนและหลังการฉายรังสี แล้วใช้สมการหาค่า G(S) ดังนี้ (Wood and Alexei, 1994)

$$G(S) = \frac{9.65\times10^{3}}{D}\left(\frac{1}{\overline{M_n}} - \frac{1}{\overline{M_{n,0}}}\right)$$

เมื่อ $\overline{M_{n,0}}$ คือจำนวนมวลโมเลกุลเฉลี่ยของโพลิเมอร์ก่อนการฉายรังสี

$\overline{M_n}$ คือจำนวนมวลโมเลกุลเฉลี่ยของโพลิเมอร์หลังการฉายรังสี

D คือปริมาณรังสีดูดกลืน หน่วย MGy

ตัวแปรที่มีผลต่อค่า G(S) ได้แก่ องศาของความเป็นผลึก (degree of crystallinity) อุณหภูมิ-ความดันระหว่างการฉายรังสี และ LET (Linear Energy Transfer)

ค่า G(S) ของโพลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ที่ถูกรังสีเหนี่ยวนำให้เกิด degradation แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่า G(S) ของโพลิเมอร์ที่ถูกฉายรังสีที่อุณหภูมิห้อง สภาวะไร้ออกซิเจน (Wood and Alexei, 1994)

Polymer	G(S)
Polyethylene	0.4-0.5
Polypropylene, isotactic	0.3-0.6
Polypropylene, atactic	0.3-1.8
Polyisobutylene	2.8-5.0
Poly(methyl methacrylate)	1.1-1.7
Poly(ethyl methacrylate)	1.06-1.65
Polytetrafluoroethylene	3-5
Natural rubber	0.13
Isobutylene-isoprene copolymer (butyl rubber)	2.9-3.7
Polystyrene	~0.01-0.02
Cellulose (from wood)	7.0

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น

2.3.1 การปล่อยก๊าซ (evolution of gas)

ในระหว่างการฉายรังสีโพลิเมอร์ จะมีก๊าซถูกปล่อยออกมา ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ก๊าซที่ถูกปล่อยออกมาขณะฉายรังสีโพลิเมอร์ (ต้นกำเนิดรังสี γ หรือ fast electron, อุณหภูมิห้องและไร้ออกซิเจน) (Wood and Alexei, 1994)

Polymer	Product	G(product) (Molecules/100 eV)
Polyethylene	H_2	3.0-3.7
Polyisopropylene	H_2	2.3-2.8
	CH_4	0.07-0.1
Polyisobutylene	H_2	1.3-1.6
	CH_4	0.5-0.6
Poly(vinyl chloride)	HCl	2.74
	H_2	0.15

	CH_4	0.002
Poly(vinyl acetate)	H_2	0.64
	CH_4	0.34
	CO	0.18
	CO_2	0.06
Poly(methyl methacrylate)	H_2	0.23
	CH_4	0.59
	CO	0.47
	CO_2	0.35
Polystyrene	H_2	0.022-0.026
	CH_4	$\sim 1 \times 10^{-5}$
Cellulose (from wood)	H_2	3.2
	CH_4	0.1
	CO	0.9
	CO_2	6.0

2.3.2 การรวมตัวกับออกซิเจน (oxidation)

ปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจนจะเกิดขึ้นระหว่างการฉายรังสี หรือหลังการฉายรังสี ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำโพลิเมอร์ที่ฉายรังสีแล้วด้วยความร้อน

ผลที่เกิดขึ้น ได้แก่ peroxy radicals ($RO_2\bullet$) , hydro peroxides (RO_2H) และ peroxides (ROOR) โดยมีหลักการเกิดดังนี้

เมื่อ radical เริ่มรวมตัวกับออกซิเจน

$$R\bullet + O_2 \longrightarrow RO_2\bullet$$

peroxy radicals จะเริ่มรวมตัวกับอะตอมของไฮโดรเจนจากโมเลกุลของโพลิเมอร์อื่น

$$RO_2\bullet + RH \longrightarrow RO_2H + R\bullet$$

ปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นการรวมตัวกันของ peroxy radicals เกิดเป็น peroxide

$$2RO_2\bullet \longrightarrow ROOR + O_2$$

ซึ่งเมื่อให้ความร้อนแก่โพลิเมอร์ ทั้ง RO_2H และ ROOR จะสลายตัวให้อนุมูลอิสระ

ผลของออกซิเจนที่มีต่อการเกิด degradation ในโพลิเมอร์ต่าง ๆ จะไม่เหมือนกัน เช่น ออกซิเจนจะช่วยให้ polyethylene เกิด degradation ได้ง่ายขึ้น แต่กลับทำให้ poly(methyl methacrylate) เกิด degradation ได้ช้าลง มีการรายงานค่า G(S) จากการฉายรังสี PMMA ในสูญญากาศและในอากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.54 และ 0.73 scission/100 eV ตามลำดับ สำหรับเซลลูโลส (cellulose) จะให้ผลการเกิด degradation ที่เหมือนกัน ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลของออกซิเจนไม่มีกฎแน่นอน โดยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโพลิเมอร์แต่ละชนิด

อัตราการเกิดปฏิกิริยา oxidation จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจนในโพลิ-เมอร์ ซึ่งหาได้จากความสามารถในการละลาย ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ ปริมาณออกซิเจนในวัสดุ และอัตราการเข้า-ออกของออกซิเจน ประสิทธิภาพของกระบวนการเหล่านี้จะได้รับผลจากลักษณะโครงสร้างทั้งภายในและภายนอกของโพลิเมอร์ ย่านโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ ความหนาของตัวอย่าง ความดันของออกซิเจน อัตราเร็วของรังสี และอุณหภูมิขณะฉายรังสี

อัตราการเกิดปฏิกิริยา oxidation จะเพิ่มขึ้นถ้าความหนาของโพลิเมอร์ลดลงและมีความพรุนมากขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการที่ออกซิเจนเข้าสู่วัสดุได้ดี ดังนั้นโพลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มจะถูก oxidized ได้เร็วกว่าโพลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นเม็ด แผ่นหนา หรือแท่ง การที่ออกซิเจนไม่มีผลต่อการเกิด degradation ในเซลลูโลส ก็เนื่องมาจากโครงสร้างที่แข็งและมีความเป็นผลึกสูง จึงจำกัดการเข้าสู่โมเลกุลของออกซิเจน

2.3.3 LET (Linear Energy Transfer)

LET คือ จำนวนพลังงานที่สูญเสียไป ต่อระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้

มีการทดลองว่า LET มีส่วนต่อการเกิดกระบวนการ cross-linking และ degradation ในโพลิเมอร์ โดยจะแบ่งโพลิเมอร์ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือกลุ่มที่ LET มีผลและไม่มีผลต่อการเกิดกระบวนการทั้งสอง ในกลุ่มที่ LET ไม่มีผลต่อการเกิดกระบวนการทั้งสอง ได้แก่ polyethylene, ethylene-propylene copolymer, poly(vinyl chloride), poly(vinyl fluoride), polyvinyl alcohol, polytetrafluoroethylene, polytrifluorochloroethylene, propylene-tetrafluoroethylene copolymer, poly-caproamide, cellulose และ cellulose diacetate ส่วนกลุ่มที่ LET มีผลต่อการเกิดกระบวนการ ได้แก่ poly(methyl methacrylate), polymethacrylonitrile, polycarbonate และ cellulose nitrate

2.4 กระบวนการที่ใช้ประโยชน์จากการย่อยสลายโพลิเมอร์ (polymer degradation)

มีการใช้ประโยชน์จากการย่อยสลายโพลิเมอร์มากมาย ที่สำคัญที่สุดคือการย่อยสลายกากจากการเกษตรและอุตสาหกรรม เพื่อนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์และสารปรุงแต่งอาหาร นอกจากนั้นก็ยังมีการพัฒนาในด้านอื่น ๆ อีก

2.4.1 อาหารสัตว์จากกากเซลลูโลส

กากจากการเกษตรและอุตสาหกรรมโดยมากจะประกอบด้วยเซลลูโลส ยกตัวอย่างเช่น ฟางข้าว เปลือกเมล็ดฝ้าย เปลือกเมล็ดดอกทานตะวัน ซังข้าวโพด ขี้เลื่อย กากเหล่านี้จะประกอบด้วยสัดส่วนของโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) จำนวนมาก เช่น ฟางข้าว มีถึง 60-70% ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเซลลูโลส ที่มีโครงสร้างเป็นผลึกซับซ้อน โดยเฉพาะมีลิกนิน (lignin) ห่อหุ้มอยู่ ทำให้สัตว์ย่อยได้ลำบาก จึงมีการปรับปรุงความสามารถในการย่อยได้ด้วยการฉายรังสี ซึ่งพบว่า สามารถใช้ปริมาณรังสี 0.2-0.6 MGy เพื่อปรับปรุงฟางข้าวและใช้ทดแทนเป็นอาหารของวัว แกะ และสัตว์ปีก ได้ 5-10% โดยปราศจากผลกระทบต่อตัวสัตว์ จะเห็นได้ว่าปริมาณรังสีที่ใช้ปรับปรุงจะอยู่ในช่วง 0.1-1 MGy ซึ่งเป็นปริมาณที่สูง แต่อาจจะลดปริมาณรังสีลงได้ถ้ามีการใช้ความร้อนช่วยก่อนหรือหลังการฉายรังสี

2.4.2 การใช้ประโยชน์จากเยื่อกระดาษและกากเซลลูโลสชนิดอื่น

มีการผลิตกลูโคสจากการฉายรังสีเยื่อกระดาษและกากเซลลูโลส โดยใช้ปริมาณรังสี 10 kGy ร่วมกับการใช้กรด (acid hydrolysis) ที่อุณหภูมิสูง (232°C) ซึ่งปริมาณกลูโคสที่ได้จะสูงกว่าการไม่ใช้รังสี 10% และได้มีการทดลองใช้อิเล็กตรอนเป็นต้นกำเนิดรังสี เพื่อฉายรังสีกากเซลลูโลสจำพวกเนื้อไม้ พบว่าให้ปริมาณกลูโคสเพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปบด พบว่าสามารถลดเวลาในการบดลงได้

2.4.3 การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์

เป็นการยากที่จะกำหนดค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยการโพลิเมอไรเซชัน (polymerization) วิธีหนึ่งที่ง่ายก็คือการใช้รังสีพลังงานสูงย่อยสลายโพลิเมอร์ โดยมีการใช้ในเชิงการค้ากับ polyethylene oxide และ cellulose

2.4.4 การย่อยสลาย polytetrafluoroethylene (Teflon)

มีการใช้รังสีเหนี่ยวนำให้เกิดการสลายตัวใน polytetrafluoroethylene เพื่อเปลี่ยนจากเศษวัสดุให้กลายเป็นฝุ่นผง และให้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ เพื่อใช้ในการผลิตสารประกอบ

perfluoro โดยปริมาณรังสีที่ใช้จะต้องมีค่าสูงกว่า 0.5 MGy เพื่อทำให้เกิดความร้อนสูงประมาณ 360°C สำหรับคุณสมบัติของ Teflon คือสามารถรวมตัวเข้ากับวัสดุอื่นได้ดี และเป็นตัวหล่อลื่นที่ดี เพราะมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ และมีแรงตึงผิวต่ำ

2.4.5 การปรับปรุงเศษของยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว

โดยทั่วไป butyl rubber ที่ถูกวัลคาไนซ์แล้วจะมีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น และเมื่อหมดอายุแล้ว คุณสมบัติของยางก็จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่เราสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการใช้รังสีเหนี่ยวนำให้เกิดการย่อยสลาย ซึ่งสายโซ่ที่ถูกตัดคือสายโซ่ของ isobutylene กระบวนการที่เกิดขึ้นประกอบด้วยการทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกวัลคาไนซ์เสียรูปทรง แล้วนำไปฉายรังสี โดยปริมาณรังสีที่ใช้ประมาณ 0.1 MGy จากนั้นก็นำไปบด เพื่อนำไปใช้ในการผสมเพื่อผลิตยางชนิดอื่นได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

3.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

แนวทางหนึ่งในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งมีอยู่ในปริมาณมาก กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์คือการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะ เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นวิธีการปรับปรุงก็จะต่างกันไปด้วย วัสดุที่น่าสนใจมีดังนี้

3.1.1 ฟางข้าว

ส่วนของต้นข้าวที่ตัดออกจากต้นพร้อมเมล็ด เรียกว่า “รวงข้าว” เมื่อแยกเอาเมล็ดออกแล้วที่เหลือเรียกว่า “ฟางข้าว” ซึ่งประกอบด้วยส่วนยอดของลำต้น ใบ และกาบใบติดอยู่ด้วย ฟางข้าวจะมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ข้าว ความสมบูรณ์ของดิน การให้ปุ๋ย การเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา เป็นต้น

ในแต่ละปีจะมีฟางข้าวอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ฟางข้าวเป็นวัสดุที่มีคุณค่าทางโภชนะค่อนข้างต่ำ คือมีโปรตีนประมาณ 2.5-4.5 % และฟางที่สัตว์กินเข้าไปนั้นสัตว์สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้เพียง 40-50 % เท่านั้น จึงควรมีการนำมาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะก่อนที่จะนำไปเป็นอาหารสัตว์

3.1.2 กากอ้อย

กากอ้อย เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้จากต้นอ้อย โดยต้นอ้อยจะต้องผ่านการทำความสะอาดและตัดใบทิ้งก่อนนำเข้าสู่โรงงานเพื่อหีบน้ำอ้อย หลังจากหีบน้ำอ้อยออกแล้วจะเหลือแต่ส่วนกากใยเรียกว่า “กากอ้อย” ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ด้วยกันคือ

1. ขุยอ้อย
2. เนื้ออ้อย
3. เปลือกอ้อย

องค์ประกอบทั้ง 3 ส่วนนี้ จะมีลักษณะที่แตกต่างกันมากทั้งด้านกายภาพและเคมี โดยแต่ละส่วนจะกระจายตัวอยู่ที่ส่วนต่าง ๆ ของต้นอ้อย ดังนี้

1. ส่วนกลางของต้นอ้อย (center portion) จะประกอบด้วยส่วนขุยอ้อย หรือ parenchyma cell ประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักต้นอ้อยอบแห้ง (ไม่รวมน้ำอ้อย) ซึ่งขุยอ้อยนี้จะไม่มีลักษณะของเส้นใย ส่วนใหญ่อยู่ตรงกลางของลำต้นมีทิศทางขนานไปกับความยาวของลำต้น แต่ขุยอ้อยบางส่วนจะมีทิศทางตามภาคตัดขวางของลำต้น โดยมีมัดเส้นใยเดี่ยวฝังอยู่ในส่วนขุยอ้อยนี้ บริเวณตรงกลางของต้นอ้อย มีมัดเส้นใยกระจายอยู่สูงถึง ร้อยละ 15 ของน้ำหนักต้นอ้อยอบแห้ง (ไม่รวมน้ำตาล) เส้นใยที่พบมีทั้งแบบผนังเซลล์บาง ลูเมนกว้าง และเส้นใยสั้นผนังหนา นอกจากนี้ยังพบ vessel element ที่มีผนังเซลล์หนาด้วย

2. ส่วนเนื้ออ้อยหรือแกนอ้อย ส่วนนี้ของต้นอ้อยประกอบด้วยส่วนที่เป็นมัดเส้นใยคุณภาพดีประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักต้นอ้อยอบแห้ง ซึ่งรวมกันแน่นที่แกนของต้นอ้อย ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ลำต้น เพราะว่ามีโครงสร้างที่แข็งแรง มัดเส้นใยของต้นอ้อยนี้เรียงตัวขนานกับลำต้นของอ้อย ยกเว้นมัดเส้นใยซึ่งอยู่ที่ส่วนข้อของต้นอ้อย เส้นใยในชั้นของแกนนี้มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยที่อยู่ในส่วนขุยอ้อย และมีความต้านทานต่อปฏิกิริยาเคมีดีกว่า จากการที่มัดเส้นใยนี้ขนานกับลำต้นทำให้สามารถแยกจากกันได้ง่ายเมื่อเทียบกับส่วนขุยอ้อย ที่ส่วนแกนของต้นอ้อยมีเส้นใยรวมกันอยู่อย่างหนาแน่น โดยเส้นใยแต่ละเส้นจะเชื่อมติดกันตามความยาวของเส้นใย

3. ส่วนเปลือกอ้อย เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของต้นอ้อย เป็นส่วนซึ่งบางที่สุด แต่มีความหนาแน่นสูงมากประกอบด้วยไขมันและวัสดุอื่นๆ ส่วนเปลือกอ้อยนี้มีประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

กากอ้อยสามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ แต่จะต้องนำไปปรับปรุงคุณภาพก่อน เพราะมีคุณค่าทางโภชนะต่ำมาก คือมีโปรตีนประมาณ 2-3% และมีพลังงานรวมที่ย่อยได้ 30%

3.1.3 เถาถั่วลิสง

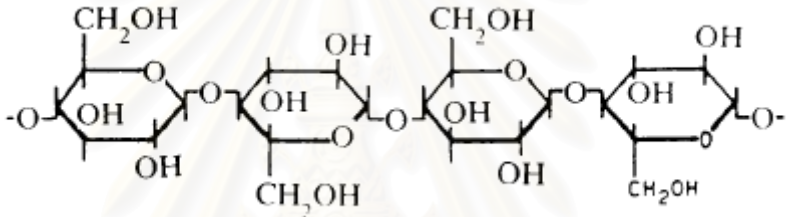
ภายหลังจากหมดอายุการเก็บเกี่ยวฝักแล้ว ต้นถั่วลิสงจะถูกถอนทิ้ง ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้มีคุณค่าทางโภชนะสูงมาก เป็นแหล่งโปรตีนที่ดี คือสูงถึง 12.7% ดังนั้นจึงควรนำมาปรับปรุงเพื่อใช้ให้เป็นอาหารสัตว์

3.2 ส่วนประกอบหลักในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ส่วนประกอบหลัก ๆ ในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

3.2.1 **โครงสร้างของเซลลูโลส** (cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของพืชส่วนใหญ่จากการศึกษาปริมาณของเซลลูโลสในฟางข้าวพบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่าง 30 - 40 % (โดยน้ำหนัก) ของส่วนประกอบทั้งหมด เซลลูโลสประกอบด้วยหน่วยย่อยของ D-anhydroglucopyranose มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวแบบเส้นตรง (linear) ด้วยพันธะ β-1,4 glycosidic จำนวนหน่วยย่อยในโมเลกุลเซลลูโลสจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับชนิดของพืชคือตั้งแต่ 15 หน่วยย่อย จนถึง 14,000 หน่วยย่อย (Cowling and Kirk, 1926) และมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 2.0×10^5 ถึง 2.0×10^6 ดาลตัน โครงสร้างของเซลลูโลสแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส (เมธา, 2533)

แต่ละโมเลกุลในสายเซลลูโลสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยเกิดระหว่าง hydroxyl group ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 กับออกซิเจนใน ring ของโมเลกุลในหน่วยถัดไป และพบพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นระหว่างสายของเซลลูโลส ทำให้เส้นสายของเซลลูโลสที่ขนานกัน ยึดเกาะเข้าด้วยกัน โดยพันธะไฮโดรเจนดังกล่าวเกิดระหว่าง hydroxyl group ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 กับออกซิเจนที่เชื่อมต่อกับโมเลกุลของหน่วยย่อยของเส้นสายเซลลูโลสอีกเส้นสายหนึ่ง พันธะไฮโดรเจนที่กล่าวมา มีส่วนช่วยทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสซับซ้อน มั่นคงและยากต่อการย่อยสลายมากยิ่งขึ้น

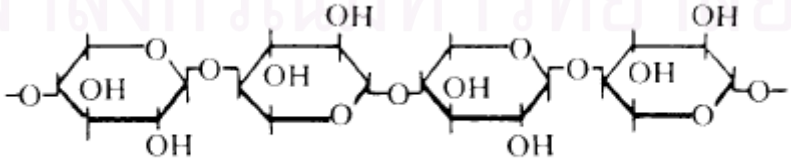
เซลลูโลสพบทั่วไปในธรรมชาติโดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ cell wall ของพืช ในใบพืชจะมีเซลลูโลสอยู่ 10% ของน้ำหนัก ในเนื้อไม้ชนิดต่าง ๆ จะมีเซลลูโลสประกอบอยู่ 50-60% ในฝ้ายมีเซลลูโลส 90-98% ดังนั้นถ้าต้องการจะหาเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ก็หาได้จากฝ้าย โดยขจัดเอาสิ่งอื่น ๆ ที่ปนออกมาก่อน เช่น waxes, fats และสารที่คล้ายเพกติน (pectin) โดย waxes และ fats ใช้ alcohol และ ether ขจัดออกได้ ส่วนตัวสุดท้ายใช้วิธีต้มด้วย NaOH 1% ซึ่งวิธีนี้ใช้ในการทำผ้าพันแผลตามโรงพยาบาลต่าง ๆ สำหรับกระดาษนั้นเป็นเซลลูโลสที่มาจากต้นไม้ ซึ่งเรา

เรียกว่าเป็น lignocellulose เพราะมีเซลลูโลสอยู่ร่วมกับลิกนิน ในสภาพวัตถุแห้ง (dry matter) ไม้จะประกอบด้วย เซลลูโลส 40-50% เฮมิเซลลูโลส 15-25% ลิกนิน 30% นอกจากนั้นเป็นสารอื่น ๆ เช่น แร่ธาตุ เกลือ น้ำตาล ไขมัน โปรตีน และเรซินอีก 5% ในการทำกระดาษจะต้องแยกเอาลิกนินออกก่อน โดยเอาไม้ ชิ้นเล็ก ๆ ไปต้มในด่างและกรด ลิกนินที่แยกออกมาได้นำมาใช้เป็นตัวเชื่อมแผ่นไม้ให้ติดกัน และใช้ฉาบวัสดุเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ดังนั้น ลิกนินจึงเป็นผลิตผลพลอยได้ของโรงงานกระดาษ

คุณสมบัติทั่วไปของเซลลูโลส ก็คือ ด่างและกรดอ่อนจะทำปฏิกิริยาได้เพียงเล็กน้อย แต่จะถูก hydrolyzes ด้วยกรดแก่ ขั้นสุดท้ายได้กลูโคส สามารถละลายได้ด้วย ammoniacal copper solution แต่เอนไซม์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่สามารถย่อยได้ ต้องอาศัยน้ำย่อยของจุลินทรีย์ เพราะเหตุนี้สัตว์กระเพาะเดี่ยวจึงกินหญ้าได้น้อย เพราะหญ้าประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ เซลลูโลสมีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งทำให้ hydrolyzes ได้ยากง่ายต่างกัน บางชนิดจะไม่มีรูปแบบที่แน่นอนแต่โปร่ง เอนไซม์เข้าย่อยได้ง่าย เรียกว่า amorphore form ส่วนชนิดที่เรียงตัวแน่นเป็นรูปร่างคล้ายการตกผลึก เอนไซม์จะเข้าย่อยได้ยากเรียก crystalline form สำหรับในสัตว์เคี้ยวเอื้องอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์เป็นตัวหมัก ทำให้เกิดกรดหลายตัวซึ่งมีทั้ง acetic acid, propionic acid และ butyric acid นอกจากนั้นยังมี carbondioxide และ methane เกิดขึ้นพร้อมกันด้วย

3.2.2 **โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส** (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส จะมีสูตรโครงสร้างแกนกลาง (back bone) เช่น β-1,4 linked xylopyranosyl units โดยจับกันแบบเส้นตรง (linear) ซึ่งมีน้ำตาลไซโลส (xylose) จับกันเป็นแกนกลาง และมี L-arabinose จับกับแขน 1,3 และ D-glucurounic acid ซึ่งส่วนใหญ่จับที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (C-2 atom) แต่ก็ปรากฏว่าอาจจับที่ตำแหน่งที่ 1,3 linkages ก็ได้ โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (เมธา, 2533)

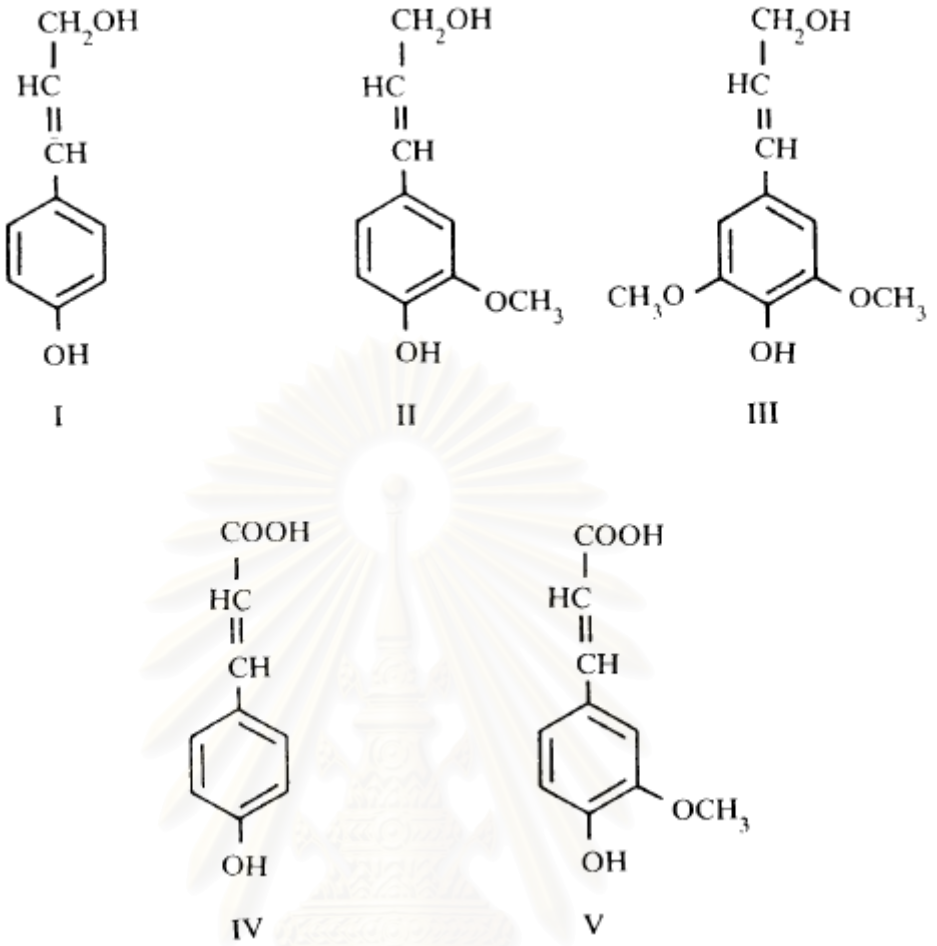
เฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนหนึ่งของ cell wall พบในต้นพืชอ่อนที่กำลังเจริญเติบโต และพบในผิวนอกที่หุ้มเมล็ดถั่วแบบ peas เช่น ถั่วลิสง และถั่วแบบ beans เช่น ถั่วเหลือง และในพืชผักอื่น ๆ ที่สามารถย่อยได้ง่ายกว่าพวกเซลลูโลส ในต้นไม้หรือฝ้ายเฮมิเซลลูโลสถูกย่อยโดยกรดเจือจาง ได้ hexose, pentose และบ่อยครั้งที่ได้ uronic acid ออกมาด้วย ชื่อของเฮมิเซลลูโลสจึงมาจากคุณสมบัติที่คล้ายกับเซลลูโลส แต่ย่อยง่ายกว่า คือจะไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในด่าง ภายในเนื้อไม้จะประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส 15-25% และในพวกตอซังของข้าว ข้าวโพด หรือถั่ว หรือเปลือกหุ้มเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ มีอยู่ประมาณ 25-40% เฮมิเซลลูโลสจึงเป็นอาหารส่วนที่สัตว์สามารถย่อย และนำไปใช้ประโยชน์ได้

3.2.3 **โครงสร้างของลิกนิน** (Lignin)

ลิกนินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ โดยเฉพาะในฟางธัญพืชชนิดต่าง ๆ โดยทั่วไปจะประกอบด้วย phenylprogane units และเชื่อว่าสารประกอบหลักเริ่มต้น (precursors) ที่สำคัญมี 3 ตัว คือ p-coumaryl alcohol (I), coniferyl alcohol (II) และ sinapyl alcohol (III) โดยผ่านขบวนการย่อยที่ซับซ้อนที่เรียกว่า complex enzymatic dehydrogenation นอกจากนั้นยังพบว่า p-coumaric acid (IV) และ ferulic acid (V) จะเป็นส่วนหนึ่งของลิกนินโดยจับยึดด้วย phenolic group ด้วย ether bond ของลิกนิน โครงสร้างของลิกนินแสดงในรูปที่ 3.3

ลิกนินไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต แต่เป็นส่วนของ cell wall ซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอน แล้วแต่โครงสร้างของวัตถุนั้น ๆ พวกพืชที่อายุน้อยจะมี primary wall ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิ-เซลลูโลส พอพืชมีอายุมากขึ้นจะเกิด secondary wall ซึ่งมีลิกนินเข้ามาประกอบอีกส่วน จึงเป็นสารที่อยู่ร่วมกับคาร์โบไฮเดรต

ลิกนินเป็นสารที่ทนต่อสารเคมี และจะทำหน้าที่เคลือบ cell wall ของพืช (lignification) การเคลือบจะเคลือบในพืชที่มีอายุเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และการเคลือบของลิกนินนี้เอง จะเป็นสาเหตุให้เอนไซม์ต่าง ๆ เข้าไปย่อยพวกเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้น้อยหรือได้ยาก เป็นเหตุให้พืชอาหารสัตว์ชนิดนั้น ๆ ไม่ถูกย่อย หรือสัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง ซึ่งจะเกิดปัญหานี้ในพืชที่อายุมาก การเคลือบของลิกนินจะมีได้ทุก ๆ ส่วนของพืช คือ ใบ ราก ลำต้น กิ่งก้านต่าง ๆ แม้กระทั่งผิวหรือเปลือกของผลไม้



I = p-coumaryl alcohol

II = coniferryl alcohol

III = sinapyl alcohol

IV = p-coumaric acid

V = feruric acid

รูปที่ 3.3 สูตรโครงสร้างของสารประกอบหลักเริ่มต้น (precursors) ของลิกนิน (เมธา, 2533)

3.3 กรรมวิธีในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ในประเทศแถบเอเชียมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอยู่เป็นจำนวนมาก ได้แก่ ฟางข้าว กากอ้อย ยอดอ้อย แกลบ ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง กากสับปะรด ใบมันสำปะหลัง เถามัน เยื่อใยจากปาล์มน้ำมัน ฯลฯ จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและการทดลองในสัตว์ (บางส่วน) พบว่า วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิดมีคุณค่าทางโภชนะสูง สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ แต่วัสดุบางอย่าง เช่น กากอ้อย ฟางข้าว ถ้าหากนำมาปรับปรุงด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสมก็อาจจะทำให้การใช้ประโยชน์มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สามารถทำได้หลายวิธีคือ

1. วิธีทางกายภาพ (physical treatment)
2. วิธีทางเคมี (chemical treatment)
3. วิธีทางกายภาพ-เคมี (physico-chemical treatment)
4. วิธีทางชีวภาพ (biological treatment)

3.3.1 การใช้วิธีทางกายภาพ

วิธีทางกายภาพที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ การแช่น้ำ การสับ การบด การอัดเม็ด การต้ม การนึ่ง การฉายรังสี

การสับหรือการบดเป็นการลดขนาดของวัสดุฯ ซึ่งมีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น แต่การย่อยอาจลดลงหรือไม่เปลี่ยนแปลง Chaturvedi et.al. (1973) พบว่าการสับฟางและแช่น้ำค้างคืนทำให้สัตว์สามารถกินฟางได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการทดลองของ Devendra (1982) และ Castillo et. Al. (1982) รายงานว่า การสับและการแช่น้ำไม่ได้ทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการย่อยได้ยังลดลงด้วย

การใช้ไอน้ำความดันสูง มีหลักการคือ การทำให้วัสดุฯ ซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบนั้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง แล้วลดความดันลงทันที ทำให้น้ำระเหยอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้เส้นใยแยกจากกัน Mes-Martree (1983) ใช้วิธีนี้กับฟางข้าวบาร์เลย์ ฟางข้าวสาลี ต้นข้าวโพด และต้น alfalfa ก่อนจะนำไปย่อยสลายด้วยเอนไซม์จากเชื้อ *Trichoder harizaamun E58* พบว่า จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ดี

การฉายรังสี เป็นการถ่ายเทพลังงานของรังสีไปสู่โครงสร้างโมเลกุลของวัสดุฯ ซึ่งโดยมากจะประกอบด้วยโมเลกุลโพลีแซคคาไรด์ และพลังงานที่มากพอจะทำให้เกิดการย่อยสลายโมเลกุล จากโมเลกุลโพลีแซคคาไรด์เป็นโมโนแซคคาไรด์ McManus et.al. (1972) พบว่า ปริมาณรังสีตั้งแต่ 250 kGy ขึ้นไป จะสามารถนำไปปรับปรุงอาหารหยาบคุณภาพต่ำหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อนำไปใช้เลี้ยงแกะได้ และ Yu et.al. (1975) รายงานว่าส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell-wall constituents, NDF) ในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จะละลายได้ 50% ถ้าใช้ปริมาณรังสี 100 MGy

3.3.2 การใช้วิธีทางเคมี

ตั้งแต่ปี ค.ศ.1900 เป็นต้นมา ได้มีการศึกษาถึงประโยชน์ของการใช้สารเคมีมากมายทั้งในด้านการเพิ่มการย่อยได้ของอาหารหยาบคุณภาพต่ำหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประสิทธิภาพของการใช้รวมถึงระยะเวลาของการทำปฏิกิริยา ความสะดวกในการใช้ และราคาของสารเคมีที่เลือกใช้ ซึ่งพบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้รับความสนใจมากที่สุด ส่วนสารเคมีชนิดอื่นที่นำมาใช้ทดลอง ได้แก่ ammonia (anhydrous, aqueous, urea-ammonia), calcium hydroxide, sodium chloride, sodium chlorite, chlorine gas และ sulphur dioxide จุดประสงค์ของการใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มการย่อยได้ และเพิ่มปริมาณอาหารที่สัตว์สามารถกินได้

การศึกษาวิจัยที่ใช้สารเคมีประเภทด่างเพื่อปรับปรุงคุณภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มีดังนี้

3.3.2.1 การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

Ibrahim (1981) ได้รายงานผลการทดลองให้อาหารที่ได้จากการปรับปรุงฟางข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสัตว์ พบว่า การย่อยได้และปริมาณฟางข้าวที่สัตว์กินได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการใช้ความเข้มข้นระหว่าง 3-6 g NaOH / 100 g DM. ที่เป็นเช่นนี้เพราะด่างช่วยให้ลิกนินละลายได้มากขึ้น

วิธีของ Beckmann นั้น ใช้ฟางแช่ในสารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1.0-1.5% เป็นเวลา 18-20 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำ 40-50 ลิตร / ฟาง 1 กิโลกรัม จะได้ฟางที่สัตว์สามารถย่อยได้ดี การใช้ไม่เป็นอันตราย เพราะด่างที่ใช้เจือจางมาก แต่ข้อเสียคือ ฟางที่ได้มีความชื้นสูง และการชะล้างสารละลายลงในแม่น้ำอาจทำให้เกิดมลพิษได้

Rexen et.al (1976) ใช้วิธีการปรับปรุงฟางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 12% ที่อุณหภูมิ 80° C เป็นเวลา 30 นาที และทำการอัดบีบด้วยความดัน 25 ก.ก./ ซ.ม.^{2} เพื่อกำจัดด่างที่ไม่ต้องการทิ้งไป นำฟางที่ได้มาทำให้เป็นกลางด้วยก๊าซร้อน (CO_2 และ SO_2) วิธีนี้จะทำให้ฟางที่ได้มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูง แต่จะมีความเข้มข้นของโซเดียมในฟางสูงกว่า

Piatkowski (1977) ได้เสนอวิธีแช่ฟางในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วน 1 ก.ก./ 20 ลิตร ที่มีความเข้มข้น 1.5% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชะล้างด้วยน้ำ 4 ลิตร ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย แต่จะมีการสูญเสียวัตถุแห้งสูงมาก

3.3.2.2 **การใช้** anhydrous ammonia / ammonium hydroxide / urea-ammonia

Sunstol (1978) รายงานว่า การใช้สารประกอบพวกไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ หรือยูเรีย มีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับด่างชนิดอื่น คือ สารประกอบพวกนี้จะเป็นแหล่งที่ให้ NPN (Non Protein Nitrogen คือ สารที่โครงสร้างมี N ประกอบอยู่ แต่ไม่ใช่โปรตีน) ด้วย แต่ระยะเวลาในการหมักจะนานกว่า Verma (1981) กล่าวว่า pH ความชื้น และอุณหภูมิ มีความสำคัญสัมพันธ์ในการหมักฟางด้วยยูเรีย เพื่อที่จะได้ฟางหมักที่มีคุณภาพดี

Wanapat et.al (1985, 1986) รายงานว่าการปรับปรุงวัสดุฯด้วยสารประกอบไนโตรเจน จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่ได้เพิ่มขึ้น ส่วนกรรมวิธีที่ใช้สารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์นั้น จะไม่ทำให้ค่าของไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงไป

3.3.3 **การใช้วิธีการทางกายภาพ-เคมี**

เป็นการปรับปรุงโดยใช้วิธีการทางกายภาพร่วมกับวิธีการทางเคมี เช่น การบดร่วมกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ การบดร่วมกับการใช้ยูเรีย การนึ่งร่วมกับการใช้สารเคมี และการฉายรังสีร่วมกับการใช้สารเคมีจำพวกด่าง

Kojima et.al. (1983) รายงานว่า เมื่อนำฟางข้าวและแกลบไปฉายรังสี (48 Mrad) แล้วนำไปปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (% glucose yield) เพิ่มขึ้นจากเดิมมากกว่า 20%

Al-Masri (1994, 1999) ได้ทำการทดลองทั้งการฉายรังสีวัสดุฯ ร่วมกับการหมักด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรีย ซึ่งผลที่ได้คือสามารถลดปริมาณเยื่อใยในวัสดุลงได้ และสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้

นอกจากนั้น Al-Masri (1999) ยังรายงานว่าภายหลังจากการฉายรังสีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ด่างจะเข้าทำปฏิกิริยากับโครงสร้างโมเลกุลได้ดีขึ้น คือจะลดปริมาณของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ได้มากขึ้น อันเนื่องมาจากรังสีจะทำลายโครงสร้างที่ซับซ้อนของ lignocellulose จึงทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่โครงสร้างได้ง่ายขึ้น

3.3.4 **การใช้วิธีทางชีวภาพ**

รายงานการทดลองด้านนี้มีอยู่จำกัดมาก การใช้น้ำย่อยบริสุทธิ์สามารถที่จะเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบคุณภาพต่ำหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ แต่ราคาแพง

มาก และไม่สะดวกต่อการนำมาใช้ในทางปฏิบัติ เช่น การใช้เชื้อราจำพวก white rot fungi สามารถย่อยสลายส่วนประกอบของเยื่อใย เช่น เซลลูโลส ลิกนิน เป็นต้น

Seal (1981) รายงานว่า *Coprinus cinereus* สามารถย่อยสลายฟางข้าวบาร์เลย์ ทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้นเป็น 60% ที่อุณหภูมิ 35° C โดยใช้เวลา 10 วัน

Vijchulata and Sanpote (1982) พบว่าฟางข้าวที่ใช้เพาะเห็ดโดยเชื้อรา *Volvariella volvacea* เมื่อนำมาเลี้ยงแกะแล้วแกะสามารถย่อยสิ่งแห้ง โปรตีน และเยื่อใยได้เพิ่มขึ้น

Flegel et.al. (1985) ทดลองใช้เชื้อรา *Pleurotus florida*, *Chrysosporium sp.* และ *Coprinus sp*. ในการย่อยฟางข้าว พบว่าการย่อยได้และค่าของโปรตีนหยาบสูงขึ้น

วิชัย ศุภลักษณ์ และ เกษม สร้อยทอง (2538) รายงานว่า การใช้เชื้อรา *Volvariella volvacea* ในการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าว จะทำให้ค่าวัตถุแห้ง โปรตีนรวม เยื่อใย ฟอสฟอรัส มีค่าเพิ่มขึ้น และเชื้อชนิดนี้สามารถย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้ดี ส่วนลิก-นินย่อยสลายได้น้อย เนื่องจากลิกนินเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนมาก

3.4 การวิเคราะห์หาเยื่อใยในพืชอาหารสัตว์

เยื่อใย (fiber) เป็นสารประกอบพวกอินทรีย์วัตถุที่ปราศจากไขมัน จัดอยู่ในพวกคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ประเภทที่สัตว์ย่อยได้ยากหรือย่อยไม่ได้เลย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์

คาร์โบไฮเดรต เป็นโภชนะที่มีมากกว่าโภชนะกลุ่มอื่น ๆ ในพืช คือ มีอยู่ประมาณ 50-80 % ของวัตถุแห้ง (dry matter) สูตรโครงสร้างประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน โดยอัตราส่วนระหว่าง H : O เป็น 2 : 1 เท่ากับในโมเลกุลของน้ำ คาร์โบไฮเดรตแบ่งตามลักษณะและหน้าที่ได้เป็น 2 ประเภท คือ

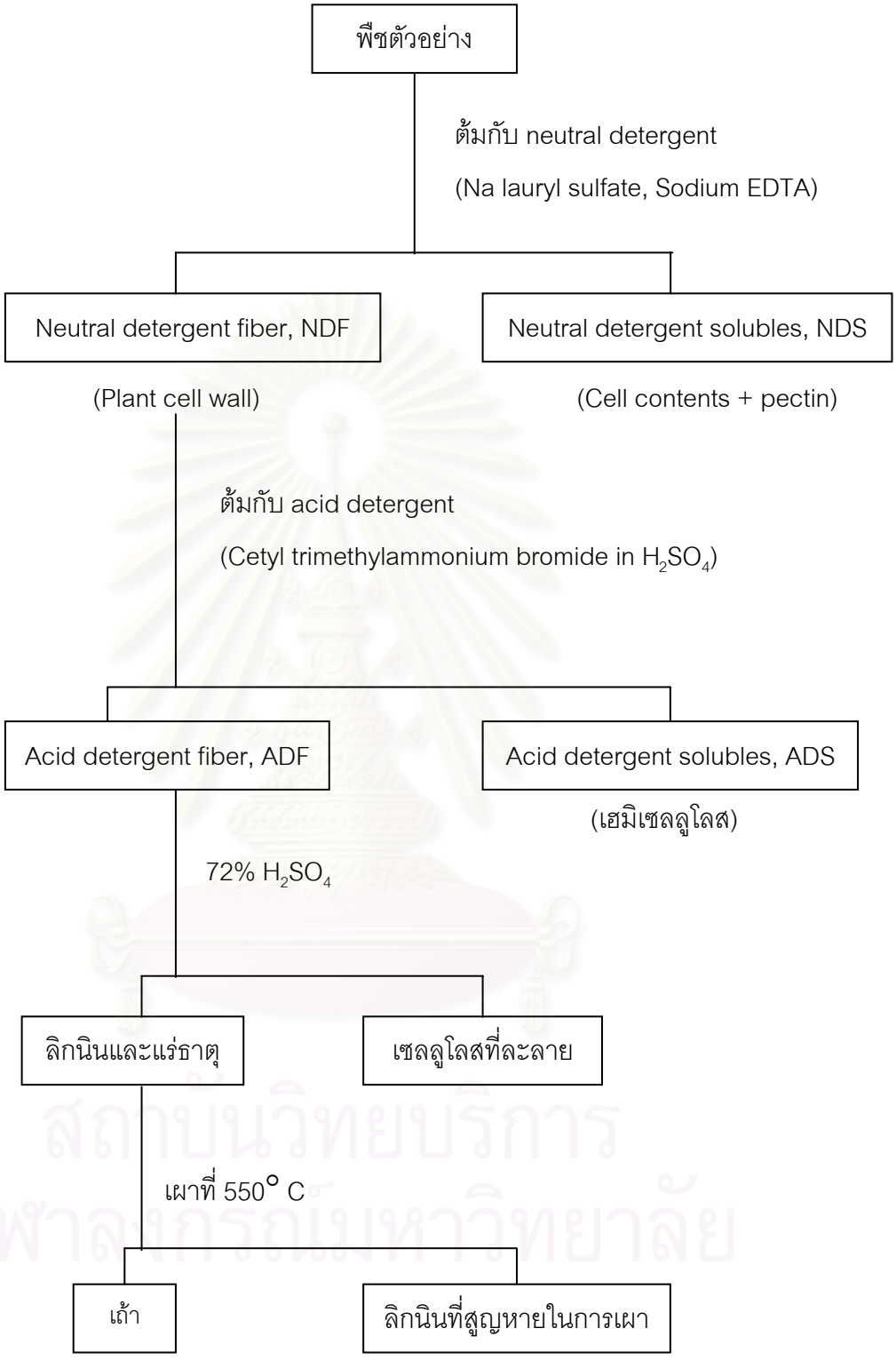
1. Structural carbohydrate ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์พืช ทำให้พืชคงรูปร่างอยู่ได้ คาร์โบไฮเดรตประเภทนี้คือเยื่อใยชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน คิวติน ซิลิกา ฯลฯ โดยมีเซลลูโลสอยู่ประมาณ 95% เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ประมาณ 3% ของเยื่อใยทั้งหมด

2. Non-structural Carbohydrate อยู่ในรูปเป็นอาหารสะสมของพืช ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล

พืชทุกชนิดจะมีคาร์โบไฮเดรตทั้ง 2 ประเภทนี้ประกอบอยู่ แต่จะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืช เช่น เมล็ดจะมีปริมาณแป้งมาก แต่ใบหรือลำต้นจะมีเยื่อใยมาก เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น การสะสมเยื่อใยก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ในขณะเดียวกันปริมาณโปรตีนและการย่อยได้ของวัตถุแห้งจะลดต่ำลง นอกจากนี้ พืชที่ปลูกในเขตร้อน จะมีปริมาณเยื่อใยสูงกว่าพืชที่ปลูกในเขตอบอุ่น หรือเขตหนาว ปริมาณเยื่อใยในอาหารสัตว์จะเป็นตัวบ่งชี้คุณค่าทางโภชนะของอาหารสำหรับสัตว์แต่ละประเภท

Van Soest ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์เยื่อใยในพืชอาหารสัตว์ เพื่อหาปริมาณของสารเยื่อใยที่มีอยู่ โดยแบ่งส่วนประกอบของพืชอาหารสัตว์ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ กลุ่มแรกเป็นส่วนประกอบภายในเซลล์ (cell content) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ได้มาก กลุ่มหลังเป็นพวกผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งเป็นส่วนที่ประกอบไปด้วยสารเยื่อใยชนิดต่าง ๆ ที่สามารถวิเคราะห์แยกชนิดได้ตามความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งมีส่วนที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตปะปนอยู่ด้วย

หลักการในการวิเคราะห์ก็คือ เมื่อต้มพืชตัวอย่างด้วยสารละลาย detergent ที่เป็นกลาง (neutral detergent) ส่วนที่เป็นส่วนประกอบภายในเซลล์ และเพคติน จะละลายออกมา เรียกว่า neutral detergent solubles (NDS) ส่วนที่เหลืออยู่เป็นส่วนที่ไม่ละลาย คือ ผนังเซลล์ ที่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เรียกว่า neutral detergent fiber (NDF) ต่อ จากนั้นนำไปต้มในสารละลาย detergent ที่เป็นกรด (acid detergent) จะ hydrolyzes เฮมิ-เซลลูโลส ที่อยู่เป็นอิสระและที่อยู่รวมกับลิกนินออกมา เรียกส่วนนี้ว่า acid detergent solubles (ADS) ส่วนที่เหลืออยู่ คือ เซลลูโลสและลิกนิน เรียกว่า acid detergent fiber (ADF) โดยจะถูกนำ ไปย่อยด้วยกรดกำมะถัน ซึ่งจะละลายเซลลูโลสออกมา ส่วนที่เหลือคือลิกนินและเถ้า ซึ่งเมื่อนำไป เผาก็สามารถทราบค่าของลิกนิน ซึ่งเรียกว่า ADL (acid detergent lignin) ได้ จากหลักการข้างต้น นี้ สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วิธีการวิเคราะห์หาเยื่อใยในพืชตัวอย่าง โดยวิธีของ Van Soest (ศรีสกุล และรณชัย, 2539)

บทที่ 4
การทดลอง

4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
2. ยูเรีย (Urea, NH_2CONH_2 หรือ CH_4N_2O)
3. น้ำแข็งแห้ง (Dry ice, CO_2)

4.2 วัสดุ

1. ฟางข้าว
2. กากอ้อย
3. เถาถั่วลิสง

4.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องฉายรังสีแบบอุตสาหกรรม 450 kCi (Nordian International Co., Ltd., Canada)
2. เครื่องฉายรังสี BSV-06 ของ Institute of Isotope Co., Ltd., Hungary ความแรงรังสี 8.2 kCi รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.
3. ตู้อบ
4. เครื่องบดพืช
5. ตู้เขี่ยเชื้อ
6. ขวดแก้วขนาด 8 ออนซ์ พร้อมฝาปิด
7. Flask ขนาด 250 ml
8. บีกเกอร์ขนาด 100 ml
9. กระบอกตวง
10. แท่งแก้วคนสาร
11. ช้อนตักสาร
12. เครื่องชั่งน้ำหนัก
13. จุกสำลี
14. แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์
15. ถุงซิป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

16. กล่องโฟม

4.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

4.4.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ ฟางข้าว กากอ้อย และเถาถั่วลิสง โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังต่อไปนี้

4.4.1.1 นำวัสดุทั้งสามชนิดไปอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 5 วัน

4.4.1.2 นำไปบดด้วยเครื่องบดพืช โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 1 มิลลิเมตร

4.4.1.3 เก็บวัสดุไว้ในภาชนะปิด ป้องกันความชื้นจากภายนอก

4.4.2 ทดลองหาปริมาณรังสีที่จะใช้ในการทดลอง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.4.2.1 ชั่งน้ำหนักกากอ้อย 50 g .ใส่ขวดแก้วขนาด 8 ออนซ์ จำนวน 5 ขวด เก็บ 1 ตัวอย่างไว้เป็น control ตัวอย่างที่เหลือนำไปฉายรังสีปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 kGy

4.4.2.2 นำตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์หาค่า NDF, ADF และ ADL แล้วคำนวณหาค่า เซลลูโลส (%CL) และเฮมิเซลลูโลส (%HCL) จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

%CL = ADF – ADL

%HCL = NDF – ADF

%Lignin = ADL

โดยค่าที่ได้ทั้งหมด เป็นค่าที่ได้จากตัวอย่างที่อยู่ในสภาพวัตถุแห้ง (on dry matter basis : on %DM)

4.4.3 ทดลองหากระบวนการที่เหมาะสมและปลอดเชื้อรา โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.4.3.1 ชั่งน้ำหนักฟางข้าว 50 g ใส่ Flask ขนาด 250 ml จำนวน 3 ใบ ไปทำตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) control

2) แช่แข็ง 24 ชั่วโมง แล้วนำไปฉายรังสีปริมาณ 30 kGy ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำไปฉีดพ่นด้วยสารละลายยูเรีย ความเข้มข้น 10% (urea 2.5 g : water 25 ml) ปิดขวดด้วยจุกสำลี เก็บไว้ในถุงซิป โดยขั้นตอนการฉีดพ่นสารละลายจะทำในตู้เขี่ยเชื้อ (laminar flow)

3) แช่แข็ง 24 ชั่วโมง แล้วนำไปฉีดพ่นด้วยสารละลายยูเรีย ความเข้มข้น 10% (urea 2.5 g : water 25 ml) ปิดขวดด้วยจุกสำลี เก็บไว้ในถุงซิป โดยขั้นตอนการฉีดพ่นสารละลายจะทำใน hood จากนั้นนำไปฉายรังสีปริมาณ 30 kGy ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ

4.4.3.2 เก็บตัวอย่างทั้งหมดไว้เป็นเวลา 21 วัน

4.4.3.3 นำตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์หาค่า NDF, ADF และ ADL แล้วคำนวณหาค่า %CL และ %HCL

4.4.4 ทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้แก่ ชนิดของสารที่ใช้ ความเข้มข้น และระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.4.4.1 ชั่งน้ำหนักฟางข้าว กากอ้อย และเถาถั่วลิสง ตัวอย่างละ 50 g ใส่ Flask ขนาด 250 ml วัสดุละ 40 ขวด โดยเก็บวัสดุละ 1 ตัวอย่างไว้เป็น control และอีก 1 ตัวอย่างนำไปฉายรังสีปริมาณ 15 kGy ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ

4.4.4.2 เตรียมสารที่ใช้ในการปล่อยให้ย่อยสลาย โดยจะใช้สารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ และสารละลายยูเรีย ที่มีความเข้มข้นดังต่อไปนี้

1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10% เตรียมโดย ชั่ง NaOH 7.5 g นำมาละลายในน้ำ 75 ml

สารละลายยูเรียความเข้มข้น 10% เตรียมโดย ชั่ง urea 7.5 g นำมาละลายในน้ำ 75 ml

2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 15% เตรียมโดย ชั่ง NaOH 11.25 g นำมาละลายในน้ำ 75 ml

สารละลายยูเรียความเข้มข้น 15% เตรียมโดย ชั่ง urea 11.25 g นำมาละลายในน้ำ 75 ml

3) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 20% เตรียมโดย ชั่ง NaOH 15 g นำมาละลายในน้ำ 75 ml

สารละลายยูเรียความเข้มข้น 20% เตรียมโดย ชั่ง urea 15 g นำมาละลายในน้ำ 75 ml

4.4.4.3 นำตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง (จากทั้ง 3 วัสดุ) ไปฉีดพ่นด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10, 15 และ 20% (คิดเป็นปริมาณ 15, 22.5 และ 30% ของน้ำหนักตัวอย่าง) ในตู้เขี่ยเชื้อ ปิดขวดด้วยจุกสำลี เก็บไว้ในถุงซิป แล้วนำไปปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 วัน

4.4.4.4 นำตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง (จากทั้ง 3 วัสดุ) ไปฉีดพ่นด้วยสารละลายยูเรีย ความเข้มข้น 10, 15 และ 20% (คิดเป็นปริมาณ 15, 22.5 และ 30% ของน้ำหนักตัวอย่าง) ในตู้เขี่ยเชื้อ ปิดขวดด้วยจุกสำลี เก็บไว้ในถุงซิป แล้วนำไปปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน

4.4.4.5 นำตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง (จากทั้ง 3 วัสดุ) ไปฉายรังสีปริมาณ 15 kGy ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำไปฉีดพ่นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10, 15 และ 20% (คิดเป็นปริมาณ 15, 22.5 และ 30% ของน้ำหนักตัวอย่าง) ในตู้เขี่ยเชื้อ ปิดขวดด้วยจุกสำลี เก็บไว้ในถุงซิป แล้วนำไปปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน

4.4.4.6 นำตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง (จากทั้ง 3 วัสดุ) ไปฉายรังสีปริมาณ 15 kGy ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำไปฉีดพ่นด้วยสารละลายยูเรีย ความเข้มข้น 10, 15 และ 20% (คิดเป็นปริมาณ 15, 22.5 และ 30% ของน้ำหนักตัวอย่าง) ในตู้เขี่ยเชื้อ ปิดขวดด้วยจุกสำลี เก็บไว้ในถุงซิป แล้วนำไปปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน

4.4.4.7 นำตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์หาค่า NDF, ADF และ ADL แล้วคำนวณหาค่า %CL และ %HCL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
ผลการวิจัย

5.1 ผลการทดลองหาปริมาณรังสีที่จะใช้ในการทดลอง

การนำกากอ้อยไปฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ (5-30 kGy) ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ปริมาณเยื่อใยในกากอ้อย เมื่อนำไปฉายรังสีแกมมาปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 kGy

ปริมาณรังสี (kGy)	%NDF.	%ADF.	%ADL	%CL	%HCL
0	73.9	46.14	7.82	38.32	27.76
5	73.13	45.24	7.83	37.41	27.89
10	74.07	46.47	8.3	38.17	27.6
20	72.63	45.65	7.87	37.78	26.98
30	72.03	43.55	7.41	36.14	28.48

หมายเหตุ : ค่าในตารางเป็นค่าที่คิดต่อ % วัตถุแห้ง

ผลของปริมาณเยื่อใยในตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่า ในระดับรังสีปริมาณต่ำที่มีค่าตั้งแต่ 5-30 kGy และตัวอย่างที่เป็น control ให้ผลการย่อยสลายโมเลกุลเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่แตกต่างกันมากนัก

จากการศึกษาผลการวิจัยของ Tamikazu Kume และคณะ ซึ่งได้รายงานว่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการพาสเจอไรซ์ (pasteurize) วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ 5-10 kGy แต่ถ้าจะทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total aerobic bacteria) หมดไป ต้องใช้ปริมาณรังสีมากกว่า 15 kGy

จากผลการทดลองและผลการวิจัยข้างต้น จึงเป็นแนวทางในการเลือกใช้ปริมาณรังสีที่จะใช้ในการทดลอง คือที่ 15 kGy

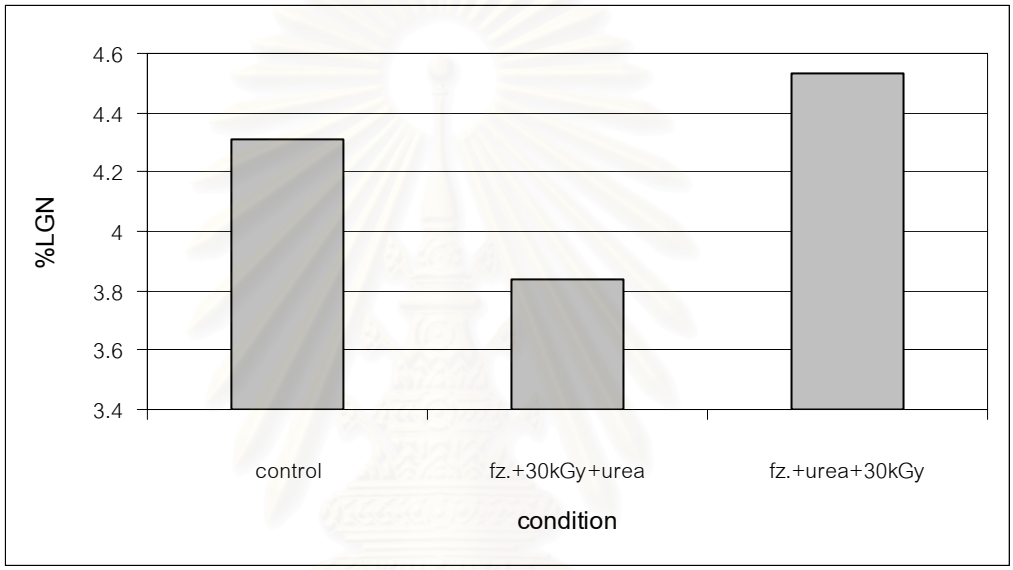
5.2 ผลการทดลองหากระบวนการที่เหมาะสมและปลอดเชื้อรา

การนำฟางข้าวไปทำการทดลองเพื่อหากระบวนการที่เหมาะสม เป็นการหาลำดับระหว่างการฉายรังสีแกมมาและการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารเคมี นอกจากนั้นยังต้องเป็นกระบวนการที่ปลอดเชื้อรา เพราะเชื้อราจะทำให้ผลของปริมาณเยื่อใยที่ได้ผิดพลาด ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.1-5.3

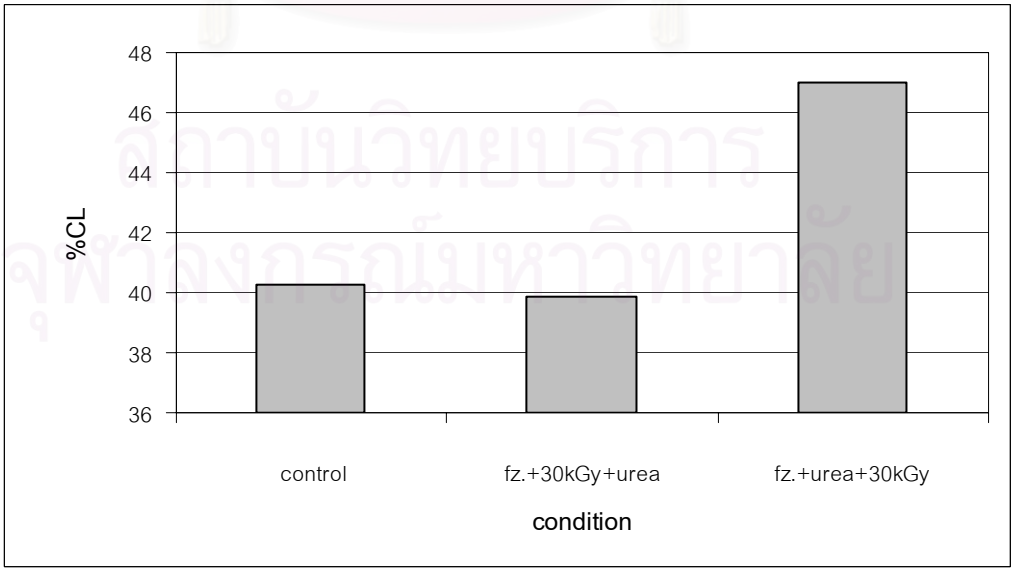
ตารางที่ 5.2 ปริมาณเยื่อใยในฟางข้าว เมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ (% วัตถุแห้ง)

Condition	%NDF	%ADF	%ADL	%CL	%HCL
1	75.69	44.57	4.31	40.26	31.12
2	69.46	43.69	3.84	39.85	25.77
3	83.66	51.51	4.53	46.98	32.15

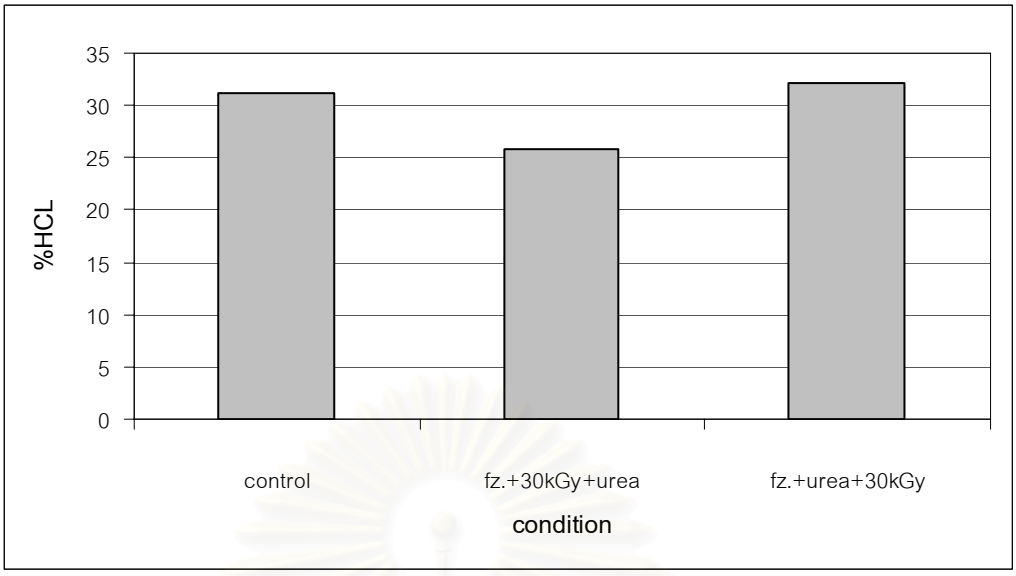
เมื่อ 1=control, 2=แช่แข็ง+30 kGy ที่อุณหภูมิต่ำ+ปล่อยให้ย่อยสลายด้วยยูเรียใน laminar, 3=แช่แข็ง+ปล่อยให้ย่อยสลายด้วยยูเรียใน hood+30 kGy ที่อุณหภูมิต่ำ : ค่าในตารางเป็นค่าที่คิดต่อ % วัตถุแห้ง



รูปที่ 5.1 ปริมาณลิกนินในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ



รูปที่ 5.2 ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ



รูปที่ 5.3 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ

จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.1-5.3 แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็ง 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปฉายรังสีแกมมาภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำก่อน แล้วจึงนำไปปล่อยให้ย่อยสลายต่อด้วยสารละลายยูเรีย จะให้ผลการทดลองที่ดีกว่าตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็ง 24 ชั่วโมงและปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรียก่อนจึงนำไปฉายรังสีแกมมาภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ นั่นคือ ปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ลดลง 10.9%, 1.02% และ 17.22% ตามลำดับ ในขณะที่อีกตัวอย่างมีปริมาณเยื่อใยทั้งสามเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการที่เหมาะสมคือ การฉายรังสีแกมมาก่อนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย

5.3 ผลการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด

การทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด โดยเลือกจากการทดลองใช้กระบวนการฉายรังสี กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการปล่อยให้ย่อยสลาย ได้แก่ สารละลายยูเรีย และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน ผลการทดลองที่ได้แยกตามวัสดุ ดังต่อไปนี้

5.3.1 ฟางข้าว

5.3.1.1 การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

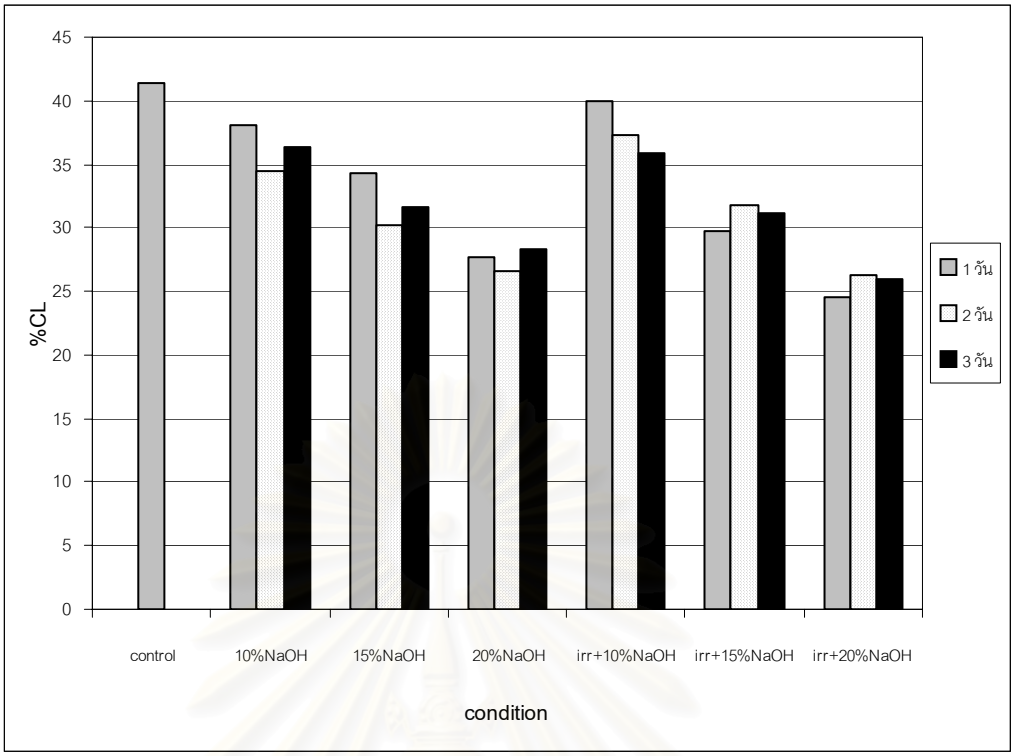
ใช้ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 10%, 15% และ 20% และใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ปริมาณเยื่อใยในฟางข้าว เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

condition	%ADF	%NDF	%ADL	%CL	%HCL
control	45.86	74.83	4.55	41.31	28.97
irr15kGy@low temp.	44.6	74.9	4	40.6	30.3
10%NaOH+1วัน	41.5	53.4	3.5	38	11.9
10%NaOH+2วัน	37.1	43.8	2.7	34.4	6.7
10%NaOH+3วัน	39.2	46	2.9	36.3	6.8
15%NaOH+1วัน	38.9	48.9	4.6	34.3	10
15%NaOH+2วัน	33.2	41	3	30.2	7.8
15%NaOH+3วัน	33.7	43.5	2.1	31.6	9.8
20%NaOH+1วัน	30.7	37.2	3	27.7	6.5
20%NaOH+2วัน	29.5	37	2.9	26.6	7.5
20%NaOH+3วัน	30.6	35.9	2.2	28.4	5.3
irr+10%NaOH+1วัน	45	63.7	7.2	37.8	18.7
irr+10%NaOH+2วัน	42.4	58.7	6.4	36	16.3
irr+10%NaOH+3วัน	48.8	55.8	5	43.8	7
irr+15%NaOH+1วัน	32.2	44.6	2.5	29.7	12.4
irr+15%NaOH+2วัน	36.4	48.9	4.8	31.6	12.5
irr+15%NaOH+3วัน	35.3	46.1	4.1	31.2	10.8
irr+20%NaOH+1วัน	29	48.7	8.6	20.4	19.7
irr+20%NaOH+2วัน	29.6	44.7	2.8	26.8	15.1
irr+20%NaOH+3วัน	28.6	44	2.6	26	15.4

หมายเหตุ : ค่าในตารางเป็นค่าที่คิดต่อ % วัตถุแห้ง

จากตารางที่ 5.3 นำไปเขียนแผนภูมิแท่งแสดงผลปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ของตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วทำการปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 วัน



รูปที่ 5.4 ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.1.1.1 ปริมาณเซลลูโลส

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 8.01% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 16.73% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 12.13%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 16.97% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 26.89% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าการปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 23.51%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 32.95% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 35.61%

แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าการปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 31.25%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลายเท่ากัน ปริมาณเซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้นตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ที่ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน จะมีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงได้มากที่สุด ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่า ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 2 วัน เป็นระยะเวลาที่ NaOH ทำปฏิกิริยาต่อฟางข้าวได้สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lu Zhao Xin และ Minoru Kumakura (1993) ที่ได้ทำการทดลองเพื่อหาระยะเวลาในการปล่อยให้ฟางข้าวย่อยสลายที่ให้ค่า %Glucose yield สูงที่สุด โดยนำฟางข้าวไปฉายรังสีปริมาณ 10 Mrad (100 kGy) แล้วทำการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 4% NaOH เป็นระยะเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้คือ เวลา 48 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่ให้ค่า %Glucose yield สูงที่สุด สำหรับการทดลองนี้ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 2 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 41.31% เป็น 26.6%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 KGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 3.17% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 9.71% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 13.34%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 28.1% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 23.51% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 24.47%

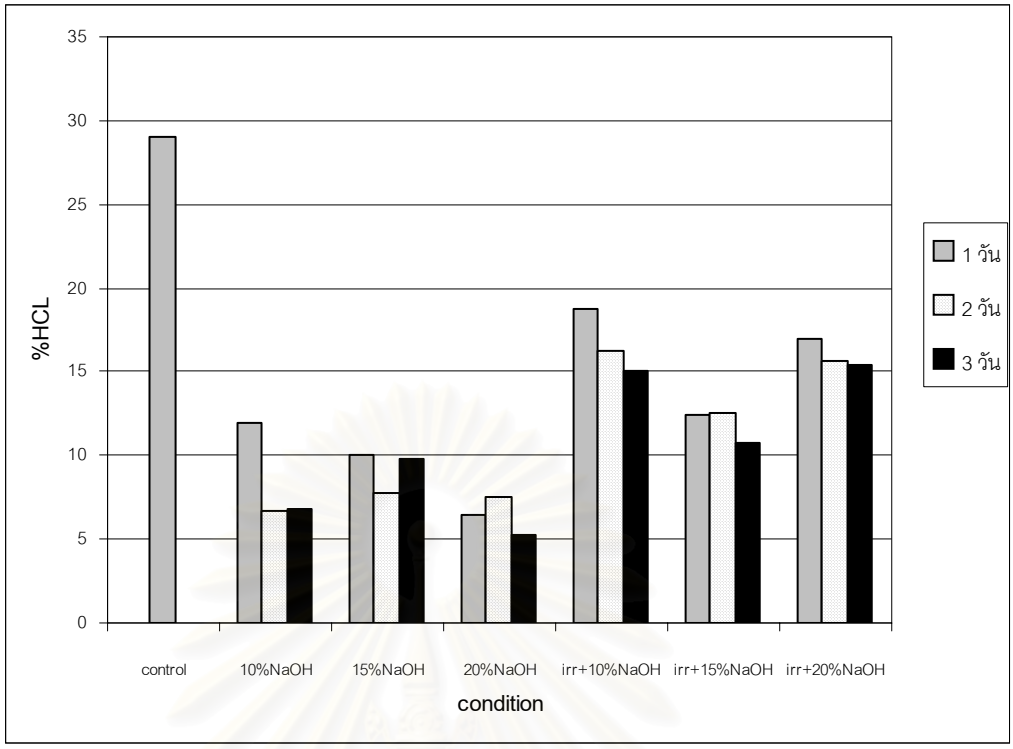
7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลงได้มากถึง 40.45% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 36.58% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 37.06%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเท่ากัน ปริมาณเซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้น ตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า เมื่อใช้ 10% NaOH มีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของ NaOH เป็น 15% และ 20% พบว่า ที่ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน จะมีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงได้มากกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 และ 3 วัน สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 1 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 41.31% เป็น 24.6%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเซลลูโลสลดลง 1.72%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีอย่างเดียวกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH อย่างเดียว พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสในฟางข้าวได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียวเพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลสในฟางข้าวได้ดีกว่าการใช้กระบวนใดกระบวนการหนึ่ง ยกเว้นตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 10% NaOH ที่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 10% NaOH เพียงอย่างเดียว แต่ตัวอย่างที่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงได้มากที่สุดในการทดลองนี้คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% NaOH เป็นเวลา 1 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสบางส่วน ทำให้ NaOH เข้าย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Al Masri (1999) ที่ระบุว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่นำมาฉายรังสีก่อนนำไปปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายด่าง จะทำให้ด่างสามารถเข้าสู่โครงสร้างภายในที่ซับซ้อนของวัสดุฯ ได้ง่ายขึ้น จึงทำให้สามารถย่อยสลายโมเลกุลหลักซึ่งได้แก่เซลลูโลสได้มากขึ้น



รูปที่ 5.5 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสาร-ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเฮมิเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.1.1.2 ปริมาณเฮมิเซลลูโลส

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 58.92% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 76.87% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 76.53%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 65.48% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 73.08% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 66.17%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 77.56% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลง

น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 74.11% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงได้มากถึง 81.71%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลส จะลดลงได้มากขึ้นตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสได้ดีขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาอื่น ปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่ลดลงมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยมีปริมาณเฮมิ-เซลลูโลสลดลงจาก 28.97% เป็น 5.3%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 35.45% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 43.73% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 48.22%

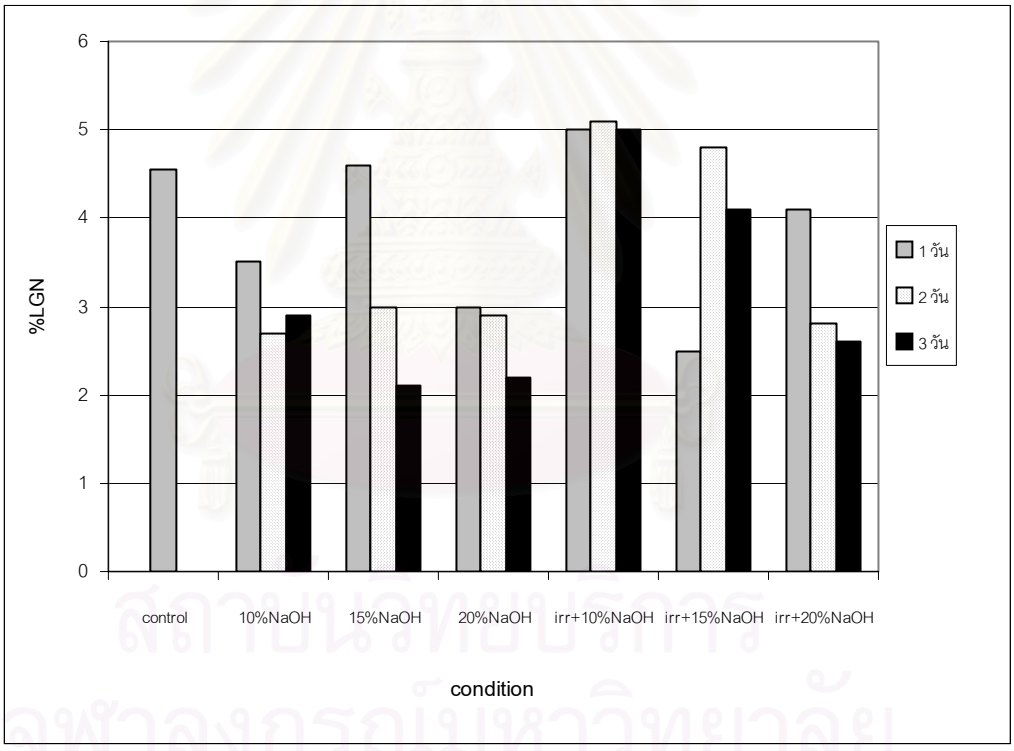
6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 57.2% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 56.85% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 62.72%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 41.32% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 45.81% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 46.84%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 1-2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้นตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 28.97% เป็น 10.8%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเฮมิเซลลูโลส เพิ่มขึ้น 4.59%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสี กับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวได้เลย สาเหตุเพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ ในขณะที่เมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียว จะสามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวได้เป็นอย่างดี และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวได้ดีกว่าการใช้กระบวนอื่น โดยเฉพาะเมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% NaOH เป็นเวลา 3 วัน จะทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงได้มากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เพราะเฮมิเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่สามารถละลายได้ดีในสารละลายด่าง



รูปที่ 5.6 ปริมาณลิกนินในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณลิกนินได้ดังนี้

5.3.1.1.3 ปริมาณลิกนิน

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 23.08% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 40.66% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงน้อยกว่าการปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 36.26%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น 1.1% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 34.07% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 53.85%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 34.07% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 36.26% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 51.65%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเท่ากันค่าความเข้มข้นเดียวกัน ปริมาณลิกนินจะลดลงได้มากขึ้นตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยมีปริมาณลิกนินลดลงจาก 4.55% เป็น 2.1%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น 9.89% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนิน เพิ่มขึ้น 12.09% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น 9.89%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 45.05% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น 1.1% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 9.89%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 9.89% เมื่อปล่อยให้ย่อย

สลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 38.46% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 42.86%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ค่าความเข้มข้น 20% ปริมาณลิกนินจะลดลงได้มากขึ้นตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 1 วัน โดยมีปริมาณลิกนินลดลงจาก 4.55% เป็น 2.5%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณลิกนินลดลง 12.09%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายลิกนินในฟางข้าวได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายลิกนินในฟางข้าวได้ดีกว่าการใช้กระบวนการฉายรังสีเพียงอย่างเดียวหรือการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน

5.3.1.2 การใช้สารละลายยูเรีย

ใช้ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 10%, 15% และ 20% และใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 5.4

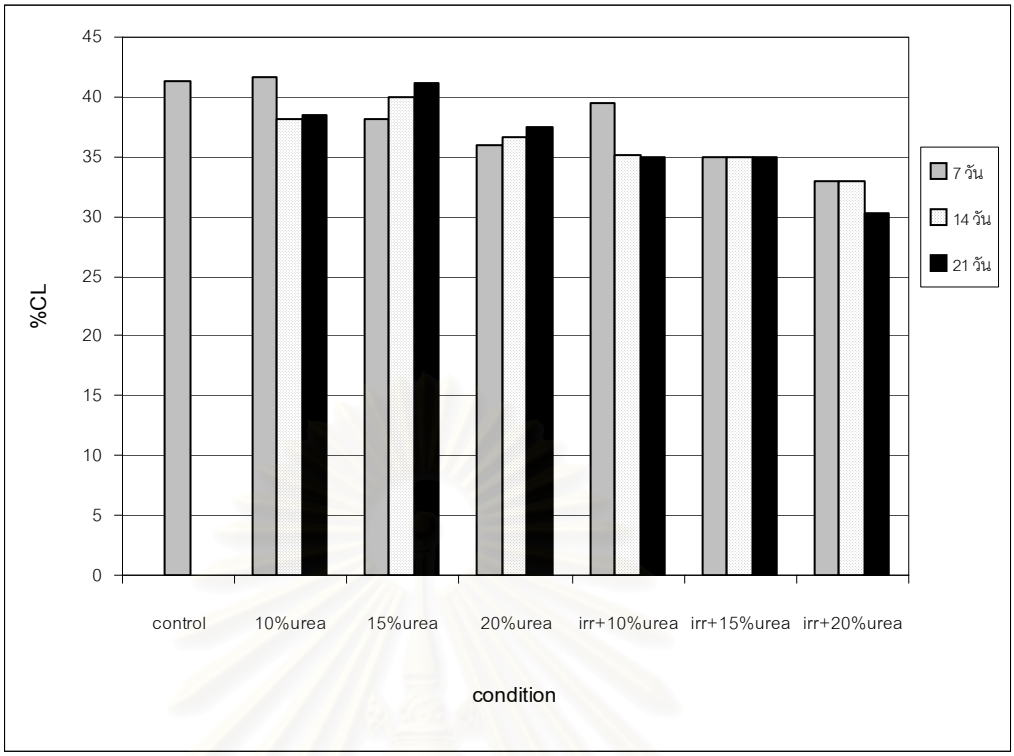
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.4 ปริมาณเยื่อใยในฟางข้าว เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย

condition	%ADF	%NDF	%ADL	%CL	%HCL
control	45.86	74.83	4.55	41.31	28.97
irr15kGy@low temp.	44.6	74.9	4	40.6	30.3
10%urea+7วัน	48.9	75	7.3	41.6	26.1
10%urea+14วัน	44.6	70.5	6.4	38.2	25.9
10%urea+21วัน	43.5	70.6	5	38.5	27.1
15%urea+7วัน	41.8	70.5	3.6	38.2	28.7
15%urea+14วัน	44.7	72.1	4.7	40	27.4
15%urea+21วัน	46.2	74.2	5	41.2	28
20%urea+7วัน	39.6	65.5	3.7	35.9	25.9
20%urea+14วัน	40.3	66.9	3.7	36.6	26.6
20%urea+21วัน	41.3	66.4	3.9	37.4	25.1
irr+10%urea+7วัน	43.1	64.8	3.6	39.5	21.7
irr+10%urea+14วัน	38.6	66.3	3.4	35.2	27.7
irr+10%urea+21วัน	38.2	65.6	3.2	35	27.4
irr+15%urea+7วัน	37.8	59.4	2.8	35	21.6
irr+15%urea+14วัน	38.1	60.7	3.1	35	22.6
irr+15%urea+21วัน	37.3	60.4	2.3	35	23.1
irr+20%urea+7วัน	36.3	59.1	3.3	33	22.8
irr+20%urea+14วัน	35.2	58.8	2.3	32.9	23.6
irr+20%urea+21วัน	32.6	55.5	2.3	30.3	22.9

หมายเหตุ : ค่าในตารางเป็นค่าที่คิดต่อ % วัตถุแห้ง

จากตารางที่ 5.4 นำไปเขียนกราฟแสดงผลปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ของตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วทำการปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน



รูปที่ 5.7 ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสาร-ละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.1.2.1 ปริมาณเซลลูโลส

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 0.7% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 7.53% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าการปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน คือ ลดลง 6.8%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 7.53% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 วันและ 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าการปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 3.17% และ 0.27% ตามลำดับ

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 13.1% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 วันและ 21 วัน ปริมาณ

เซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าการปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 11.4% และ 9.47% ตามลำดับ

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย 15 และ 20% การใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน จะทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงได้มากกว่าการใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 14 และ 21 วัน ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่า ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 7 วัน เป็นระยะเวลาที่ urea ทำปฏิกิริยาต่อฟางข้าวได้สมบูรณ์ สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 41.31% เป็น 35.9%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 KGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 4.38% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 14.79% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 15.27%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea พบว่า เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลงเท่ากันคือ ลดลง 15.27%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 20.12% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 20.36% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 26.65%

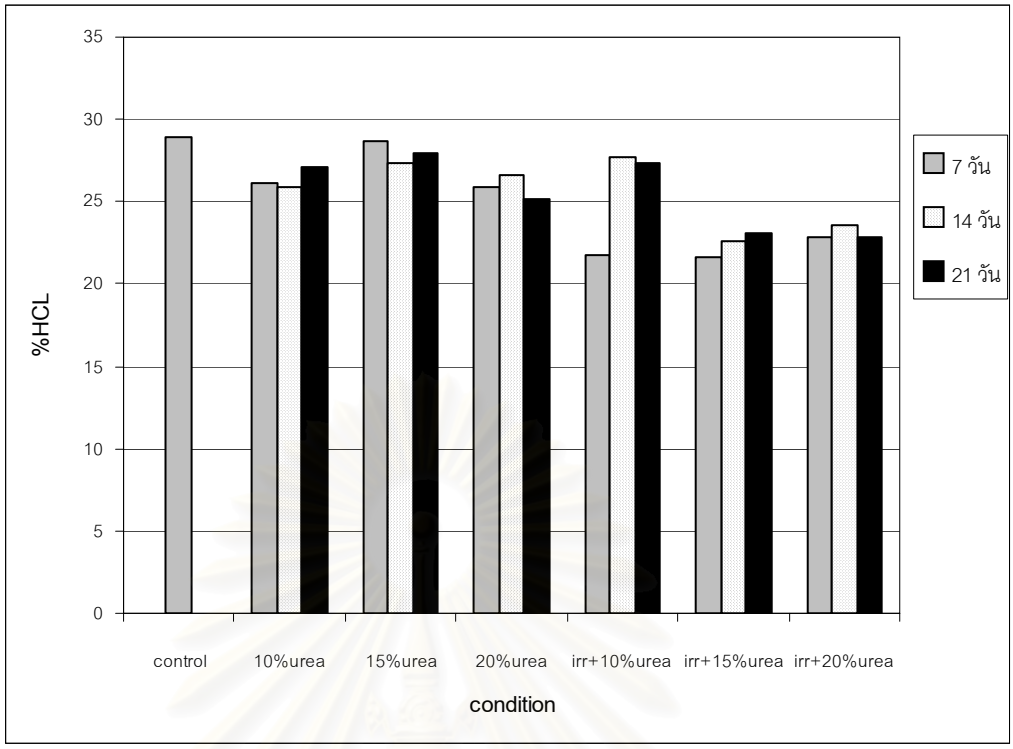
8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเท่ากัน ปริมาณเซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้น ตามค่าความเข้มข้นของ urea ที่มากขึ้น เนื่องจาก urea ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าเมื่อใช้ 10% urea และ 20% urea มีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของ urea เป็น 15% พบว่า ที่ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายทั้งสามช่วง ให้ผลการลดลงของปริมาณเซลลูโลสเท่ากัน สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะ

อุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 41.31% เป็น 30.3%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเซลลูโลสลดลง 1.72%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีอย่างเดียวกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea อย่างเดียว พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสในฟางข้าวได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea เพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลสในฟางข้าวได้ดีกว่าการใช้กระบวนใดกระบวนการหนึ่ง ตัวอย่างที่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงได้มากที่สุดในการทดลองนี้คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea เป็นเวลา 21 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสบางส่วน ทำให้ urea เข้าย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Masri (1999) ที่ระบุว่าการฉายรังสีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรก่อนนำไปปล่อยให้ย่อยสลายด้วยยูเรีย จะทำให้ผลการย่อยสลายวัสดุฯ เหล่านี้ดีกว่าการใช้การฉายรังสี หรือการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยยูเรีย เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นกระบวนการร่วมยังช่วยเพิ่มค่าความสามารถการย่อยได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะในวัสดุฯ อีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.8 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลได้ดังนี้

5.3.1.2.2 ปริมาณเฮมิเซลลูโลส

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 9.91% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 10.6% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน คือ ลดลง 6.45%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 0.93% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 5.42% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน คือ ลดลง 3.35%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 10.6% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลง

น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 8.18% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 13.36%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่มีแนวโน้มทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้ความเข้มข้น 10 และ 15% คือ ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่า ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 14 วัน เป็นระยะเวลาที่ urea ทำปฏิกิริยาต่อฟางข้าวได้สมบูรณ์ สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิ-เซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 28.97% เป็น 25.1%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 25.09% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน พบว่า ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 4.38% และ 5.42% ตามลำดับ

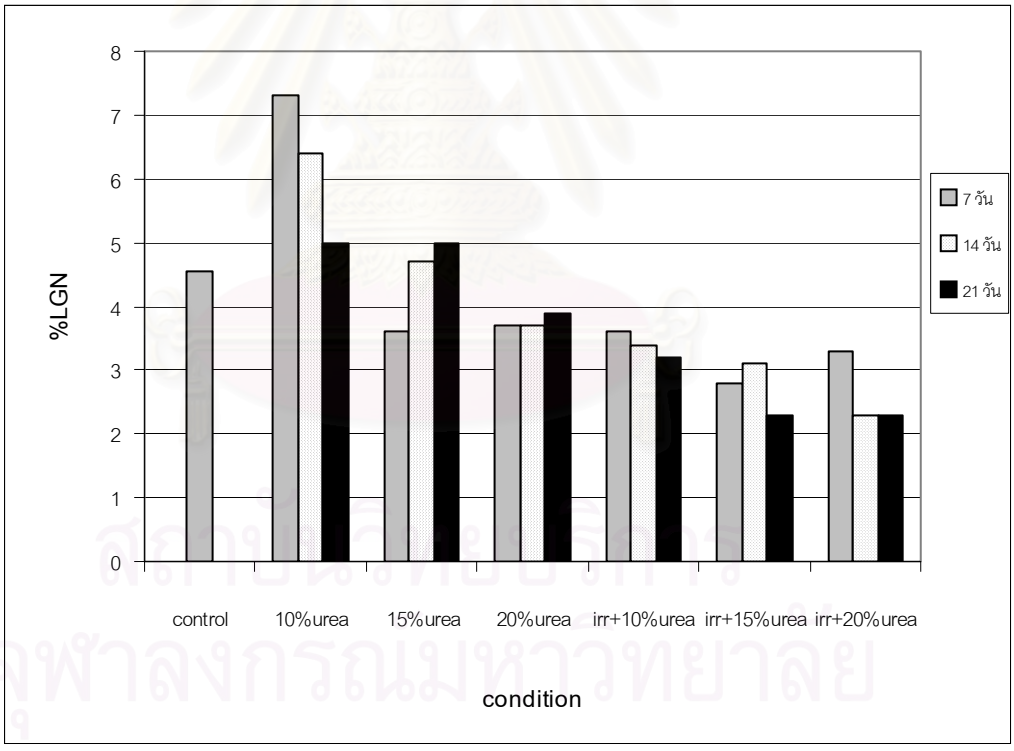
6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 25.44% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน พบว่า ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 21.99% และ 20.26% ตามลำดับ

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 21.3% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน พบว่า ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 18.54% และ 20.95% ตามลำดับ

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเพิ่มขึ้นจาก 7 วัน เป็น 14 และ 21 วัน ไม่ทำให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสดีขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 28.97% เป็น 21.6%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเฮมิเซลลูโลส เพิ่มขึ้น 4.59%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวได้เลย เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ ในขณะที่เมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea เพียงอย่างเดียว จะสามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวได้ดีกว่าการฉายรังสีอย่างเดียว และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อใช้การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวได้ดีกว่าการใช้กระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง โดยเฉพาะเมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% urea เป็นเวลา 14 วัน จะทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงได้มากที่สุด เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสสามารถย่อยสลายได้ดีในสารละลายด่าง



รูปที่ 5.9 ปริมาณลิกนินในฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณลิกนินได้ดังนี้

5.3.1.2.3 ปริมาณลิกนิน

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินกลับเพิ่มขึ้น 60.44% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น 40.66% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณลิกนินยังคงเพิ่มขึ้น 9.89%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 20.88% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน ปริมาณลิก-นินกลับเพิ่มขึ้น 3.3% และ 9.89% ตามลำดับ

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 และ 14 วัน ปริมาณลิกนินลดลงเท่ากัน คือ ลดลง 18.68% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 และ 14 วัน คือ ลดลง 14.29%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายยูเรียเพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้เกิดการย่อยสลายลิกนินได้มากขึ้น เนื่องจาก urea ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายลิกนินได้ดีขึ้น โดยมีระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการปล่อยให้ย่อยสลายคือ 7 วัน สำหรับการทดลองนี้ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 วัน โดยมีปริมาณลิกนินลดลงจาก 4.55% เป็น 3.6%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 20.88% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณลิกนิน ลดลง 25.27% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 29.67%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 38.46% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 31.87% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 49.45%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 27.47% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน ปริมาณลิกนินลดลงเท่ากันคือ ลดลง 49.45%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ค่าความเข้มข้นและระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มทำให้ปริมาณลิกนินลดลงได้มากขึ้น เนื่องจาก urea ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายลิกนินได้ดีขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% urea ปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน และปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea ปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 14 หรือ 21 วัน โดยมีปริมาณลิกนินลดลงจาก 4.55% เป็น 2.3%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณลิกนินลดลง 12.09%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายลิกนินในฟางข้าวได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea เพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายลิกนินในฟางข้าวได้ดีกว่าการใช้กระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของลิกนินบางส่วน ทำให้ urea สามารถย่อยสลายโมเลกุลของลิกนินได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% urea เป็นเวลา 21 วัน หรือ การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea เป็นเวลา 14 หรือ 21 วัน จะทำให้ปริมาณลิกนินในฟางข้าวลดลงได้มากที่สุด

จากเงื่อนไขทั้งหมด พบว่า เงื่อนไขที่ต่างกันมีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลส และลิกนิน แตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นหากจะเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อใช้ย่อยสลายโมเลกุลเหล่านี้ ทำได้โดยการพิจารณาค่า NDF (neutral detergent fiber) ซึ่งหมายถึงผลรวมของปริมาณเยื่อใยทั้งหมด และจากผลการรายงานของ Al-Masri (1999) พบว่า ถ้าปริมาณ NDF ลดลง จะมีผลทำให้ค่าความสามารถการย่อยได้ (IVDMD : *In vitro* dry matter digestibility) เพิ่มขึ้น

ดังนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมคือ เงื่อนไขที่ทำให้ค่า NDF ลดลงมากที่สุด โดยในกรณีของฟางข้าว ผลที่ได้เป็นดังนี้

- เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 1-3 วัน

- เมื่อใช้สารละลายยูเรีย เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน

5.3.2 กากอ้อย

5.3.2.1 การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ใช้ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 10%, 15% และ 20% และใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 5.5

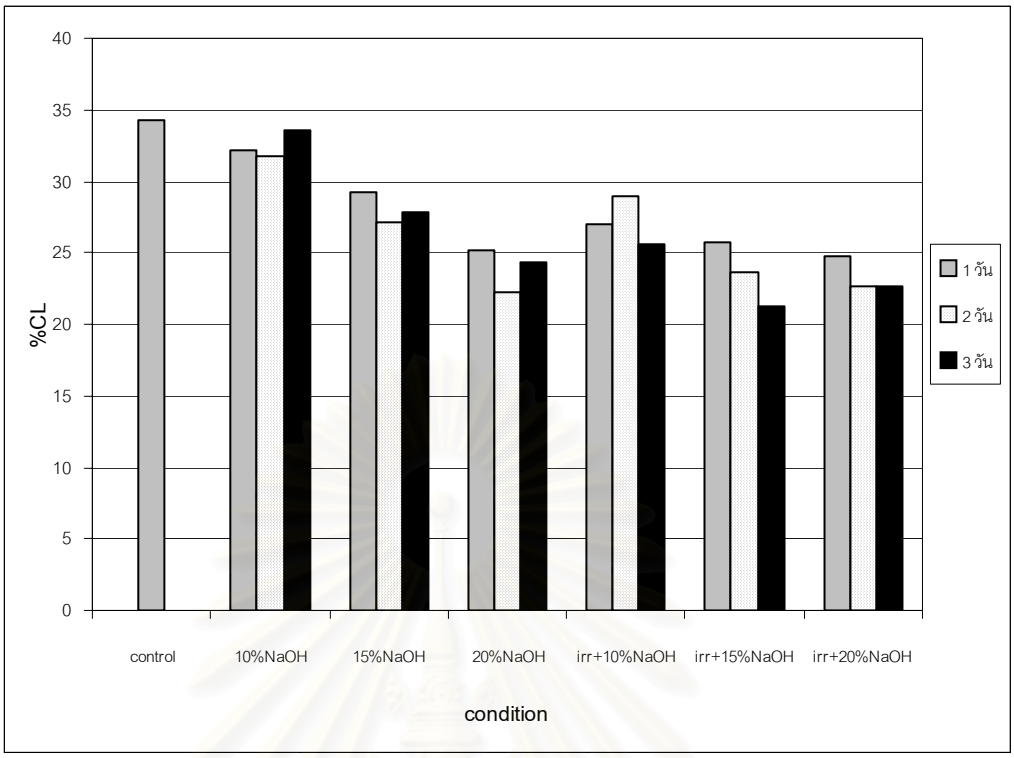
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 ปริมาณเยื่อใยในกากอ้อย เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

condition	%ADF	%NDF	%ADL	%CL	%HCL
control	41.75	65.2	7.53	34.22	23.45
irr15kGy@low temp.	41.1	66	7.4	33.7	24.9
10%NaOH+1วัน	37.2	54.4	5	32.2	17.2
10%NaOH+2วัน	39.9	46.1	4.2	35.7	6.2
10%NaOH+3วัน	36.5	47.3	3	33.5	10.8
15%NaOH+1วัน	33.9	48.3	4.6	29.3	14.4
15%NaOH+2วัน	30.4	47.7	3.2	27.2	17.3
15%NaOH+3วัน	31.4	48.9	3.5	27.9	17.5
20%NaOH+1วัน	30.6	39.4	5.4	25.2	8.8
20%NaOH+2วัน	24.9	35.3	2.6	22.3	10.4
20%NaOH+3วัน	27.5	33.3	3.2	24.3	5.8
irr+10%NaOH+1วัน	31	42	4	27	11
irr+10%NaOH+2วัน	34.6	43.5	5.7	28.9	8.9
irr+10%NaOH+3วัน	30.6	41.2	5	25.6	10.6
irr+15%NaOH+1วัน	29.7	40.6	3.9	25.8	10.9
irr+15%NaOH+2วัน	27.5	39.3	3.8	23.7	11.8
irr+15%NaOH+3วัน	24.4	33.2	3.2	21.2	8.8
irr+20%NaOH+1วัน	28.6	35.7	3.8	24.8	7.1
irr+20%NaOH+2วัน	26.2	33.2	3.5	22.7	7
irr+20%NaOH+3วัน	25.8	33.1	3.2	22.6	7.3

หมายเหตุ : ค่าในตารางเป็นค่าที่คิดต่อ % วัตถุแห้ง

จากตารางที่ 5.5 นำไปเขียนแผนภูมิแท่งแสดงผลปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ของตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วทำการปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 วัน



รูปที่ 5.10 ปริมาณเซลลูโลสในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.2.1.1 **ปริมาณเซลลูโลส**

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 5.9% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 7.36% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 2.1%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 14.38% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 20.51% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าการปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 18.47%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 26.36% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 34.83%

แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าการปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 28.99%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเท่ากัน ปริมาณเซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้นตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ที่ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน จะมีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงได้มากที่สุด ส่วนระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน กลับมีแนวโน้มทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่า ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 2 วัน เป็นระยะเวลาที่ NaOH ทำปฏิกิริยาต่อกากอ้อยได้สมบูรณ์ สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 2 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 34.22% เป็น 22.3%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 KGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 21.1% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 15.55% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 25.19%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 24.61% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 30.74% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 38.05%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 27.53% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 33.66% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 33.96%

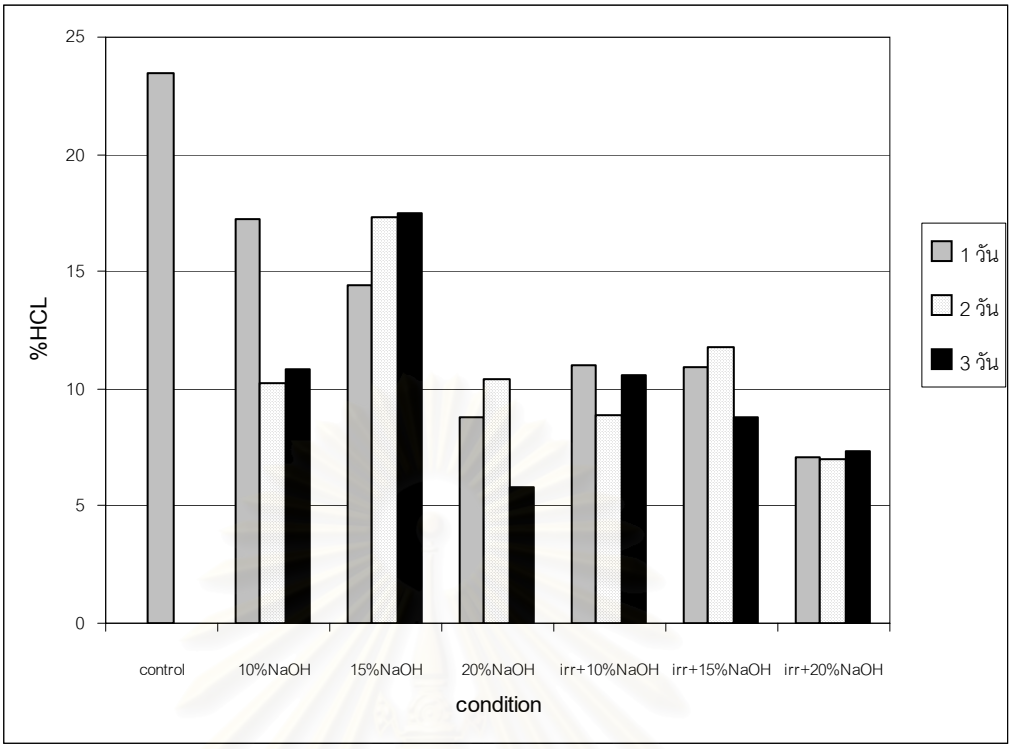
8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเท่ากัน ปริมาณเซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้น ตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า เมื่อใช้ NaOH 15% และ 20% มีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดงตามระยะเวลาในการปล่อยให้

ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงมากที่สุด เมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 34.22% เป็น 21.2%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเซลลูโลสลดลง 1.52%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสในกากอ้อยได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลสในกากอ้อยได้ดีกว่าการใช้กระบวนใดกระบวนการหนึ่ง โดยเฉพาะเมื่อใช้การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% NaOH เป็นเวลา 3 วัน จะทำให้ปริมาณเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงได้มากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสบางส่วน ทำให้ NaOH เข้าย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Masri (1999)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเฮมิเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.2.1.2 ปริมาณเฮมิเซลลูโลส

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 26.65% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 56.5% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 53.94%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 38.59% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 26.23% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 25.37%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 62.47% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลง

น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 55.65% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงได้มากถึง 75.27%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลส จะลดลงได้มากขึ้นตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสได้ดีขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 23.45% เป็น 5.8%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 53.09% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 62.05% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 54.8%

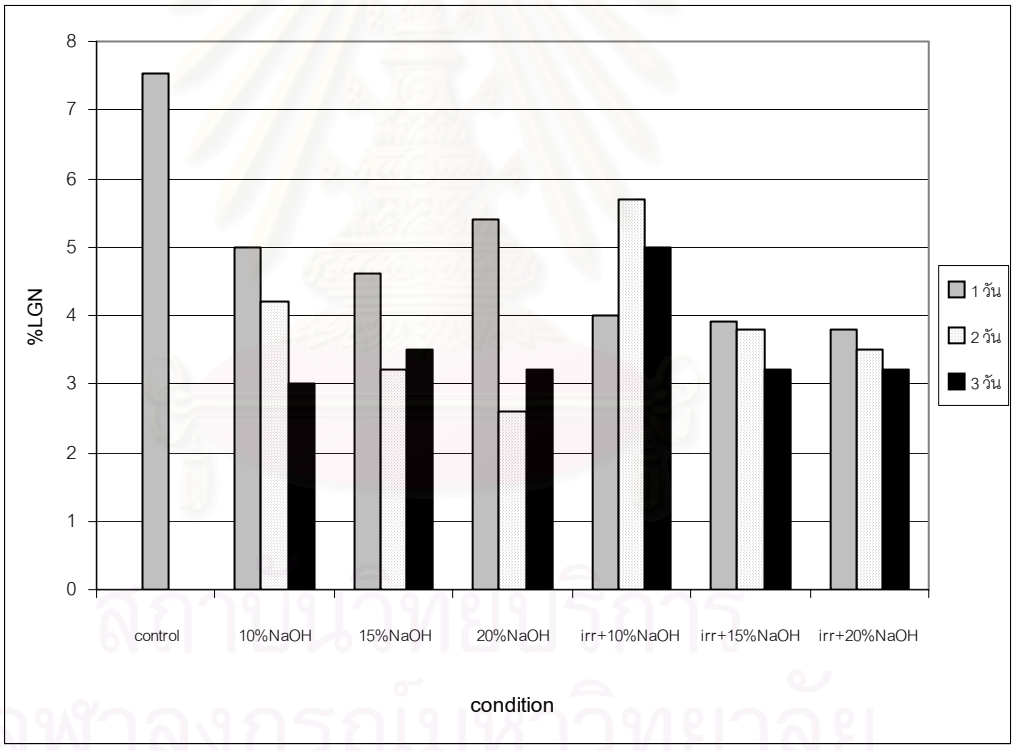
6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 53.52% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 49.68% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 62.47%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 69.72% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 70.15% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 68.87%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ค่าความเข้มข้น 15% และ 20% ปริมาณเฮมิ-เซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้นตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 2 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 23.45% เป็น 7%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเฮมิเซลลูโลส เพิ่มขึ้น 6.18%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยได้เลย เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ ในขณะที่เมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียว จะสามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยได้เป็นอย่างดี ที่เป็นเช่นนี้เพราะเฮมิเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่สามารถละลายได้ดีในสารละลายด่าง และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยได้ดีกว่าการใช้กระบวนใดกระบวนการหนึ่ง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสบางส่วน ทำให้ NaOH เข้าย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Masri (1999)



รูปที่ 5.12 ปริมาณลิกนินในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณลิกนินได้ดังนี้

5.3.2.1.3 ปริมาณลิกนิน

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 33.6% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 44.22% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 60.16%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 38.91% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 57.5% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 53.52%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 28.29% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 65.47% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 57.5%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ค่าความเข้มข้นเดียวกัน ปริมาณลิกนินจะลดลงได้มากขึ้นตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 2 วัน โดยมีปริมาณลิกนินลดลงจาก 7.53% เป็น 2.6%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 46.88% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนิน กลับน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 24.3% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 33.6%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 48.21% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 49.54% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 57.5%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 49.54% เมื่อปล่อยให้ย่อย

สลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 53.52% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 57.5%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ค่าความเข้มข้น 15% และ 20% ปริมาณลิกนินจะลดลงได้มากขึ้นตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH หรือ 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยมีปริมาณลิกนินลดลงจาก 7.53% เป็น 3.2%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณลิกนินลดลง 1.73%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายลิกนินในกากอ้อยได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายลิกนินในกากอ้อยได้ดีกว่าการใช้กระบวนใดกระบวนการหนึ่ง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสบางส่วน ทำให้ NaOH เข้าย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Masri (1999)

5.3.2.2 การใช้สารละลายยูเรีย

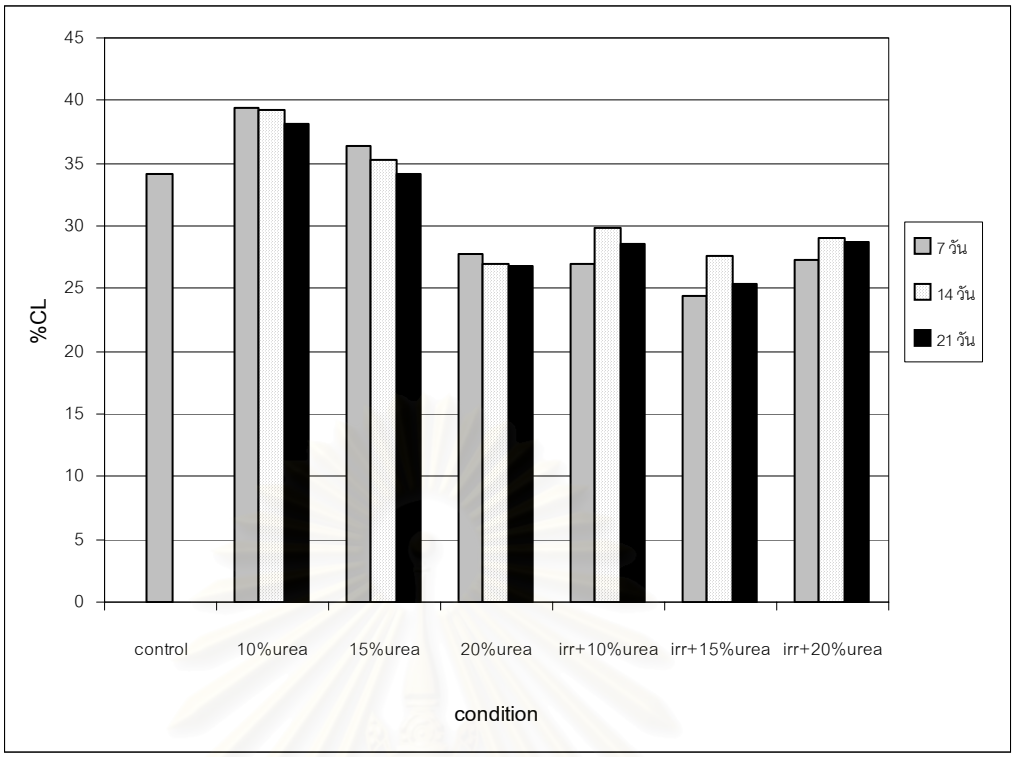
ใช้ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 10%, 15% และ 20% และใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ปริมาณเยื่อใยในกากอ้อย เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย

condition	%ADF	%NDF	%ADL	%CL	%HCL
control	41.75	65.2	7.53	34.22	23.45
irr15kGy@low temp.	41.1	66	7.4	33.7	24.9
10%urea+7วัน	49.6	68.3	10.2	39.4	18.7
10%urea+14วัน	49.8	69.2	10.6	39.2	19.4
10%urea+21วัน	49.8	69.9	11.6	38.2	20.1
15%urea+7วัน	46.5	58.4	10.1	36.4	11.9
15%urea+14วัน	46	58.9	10.7	35.3	12.9
15%urea+21วัน	45.5	58	11.3	34.2	12.5
20%urea+7วัน	37.3	54.2	9.6	27.7	16.9
20%urea+14วัน	35.9	54.8	9	26.9	18.9
20%urea+21วัน	35.4	56.1	8.6	26.8	20.7
irr+10%urea+7วัน	35.7	58.5	8.8	26.9	22.8
irr+10%urea+14วัน	39	62	9.2	29.8	23
irr+10%urea+21วัน	38.6	55	10	28.6	16.4
irr+15%urea+7วัน	34.6	50.9	10.2	24.4	16.3
irr+15%urea+14วัน	36.5	55.9	8.9	27.6	19.4
irr+15%urea+21วัน	32.5	52.7	7.1	25.4	20.2
irr+20%urea+7วัน	35.3	58.1	8	27.3	22.8
irr+20%urea+14วัน	36.5	58	7.5	29	21.5
irr+20%urea+21วัน	35.6	56.2	6.9	28.7	20.6

หมายเหตุ : ค่าในตารางเป็นค่าที่คิดต่อ % วัตถุแห้ง

จากตารางที่ 5.6 นำไปเขียนแผนภูมิแท่งแสดงผลปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วทำการปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน



รูปที่ 5.13 ปริมาณเซลลูโลสในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.2.2.1 **ปริมาณเซลลูโลส**

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน กลับทำให้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 15.14%, 14.55% และ 11.63% ตามลำดับ

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 และ 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 6.37% และ 3.16% ตามลำดับ และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลงเพียง 0.06%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 19.05% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 21.39% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 21.68%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายยูเรียและระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงได้มากขึ้น เนื่องจาก urea ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 34.22% เป็น 26.8%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 KGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 21.39% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 12.92% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 16.42%

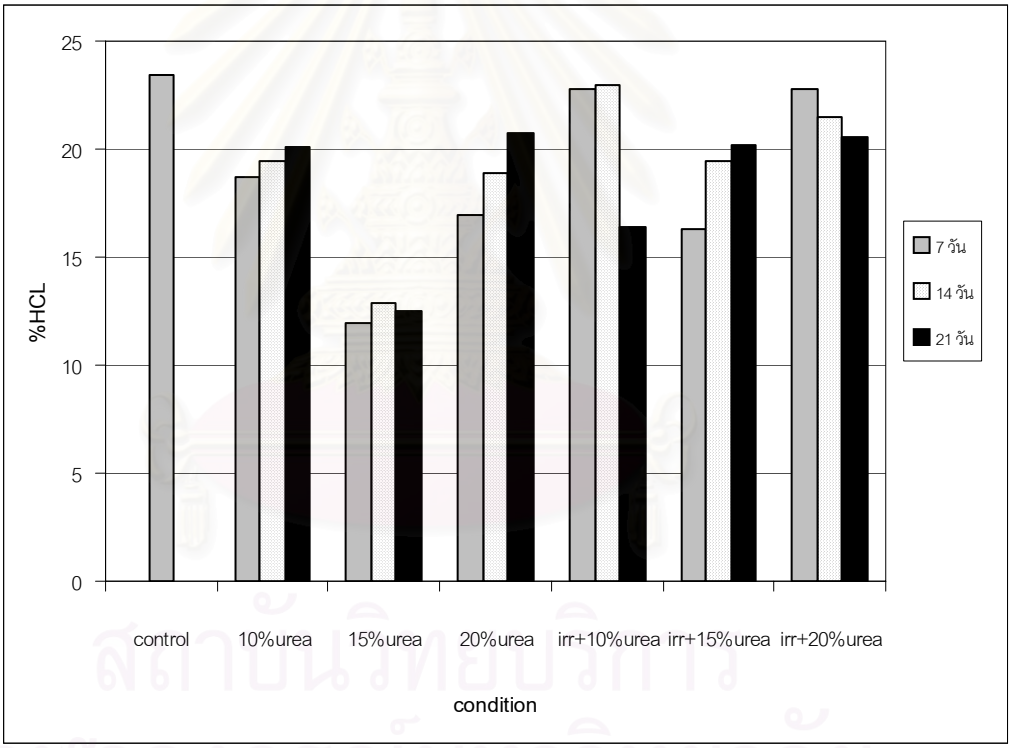
6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 28.7% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 19.35% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 25.77%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 20.22% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 15.25% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 16.13%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า ในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงมากที่สุดคือ ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่า ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 7 วัน เป็นระยะเวลาที่ urea ทำปฏิกิริยาต่อกากอ้อยได้สมบูรณ์ จากนั้นจึงเริ่มลดปฏิกิริยาการย่อยสลายลง สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 34.22% เป็น 24.4%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเซลลูโลสลดลง 1.52%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีอย่างเดียวกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea อย่างเดียว พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสในกากอ้อยได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea เพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลสในกากอ้อยได้ดีกว่าการใช้กระบวนใดกระบวนการหนึ่ง ตัวอย่างที่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงได้มากที่สุดในการทดลองนี้คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% urea เป็นเวลา 7 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลูโลสบางส่วน ทำให้ urea เข้าย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Masri (1999)



รูปที่ 5.14 ปริมาณแฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเฮมิเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.2.2.2 **ปริมาณเฮมิเซลลูโลส**

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 20.26% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 17.27% และ 14.29% ตามลำดับ

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 19.25% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 44.99% และ 46.7% ตามลำดับ

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 27.93% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 19.4% และ 11.73% ตามลำดับ

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่มีแนวโน้มทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงมากที่สุด คือ ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่า ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 7 วัน เป็นระยะเวลาที่ urea ทำปฏิกิริยาต่อกากอ้อยได้สมบูรณ์ สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 23.45% เป็น 11.9%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 2.77% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลงเพียง 1.92% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 30.06%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 30.49% แต่เมื่อปล่อย

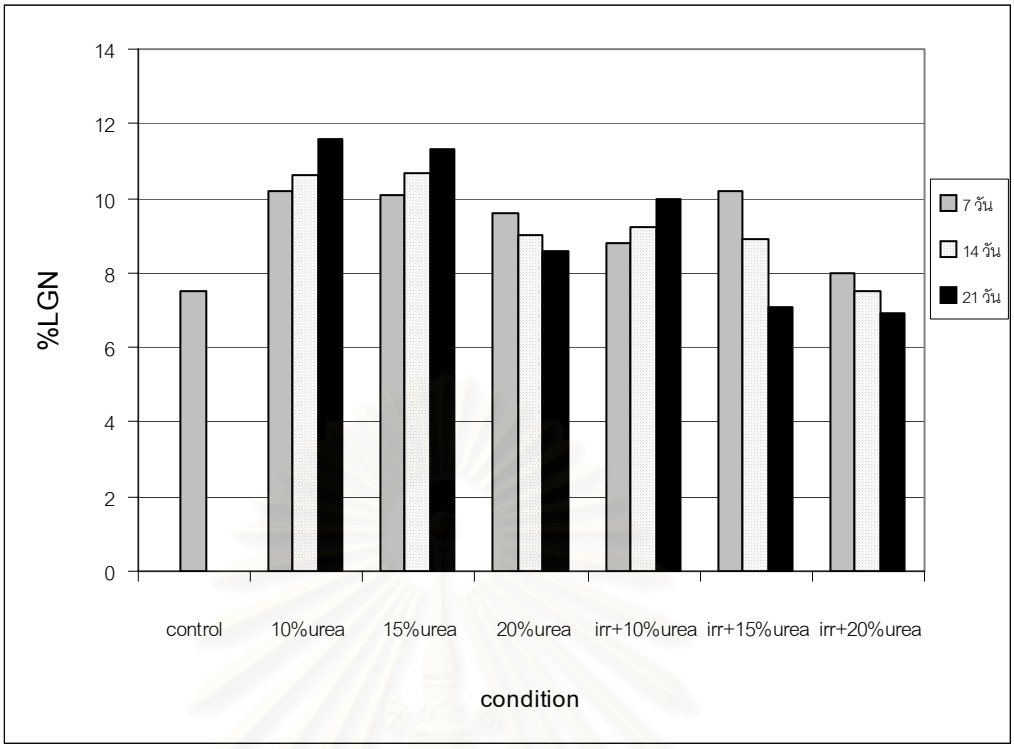
ให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน พบว่า ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 17.27% และ 13.86% ตามลำดับ

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 2.77% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 8.32% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 12.15%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้การฉีดพ่นด้วย 15% urea จะมีผลทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงได้มากที่สุด สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 23.45% เป็น 16.3%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ปริมาณเฮมิ-เซลลูโลส เพิ่มขึ้น 6.18%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยได้เลย เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ ในขณะที่เมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea เพียงอย่างเดียว จะสามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยได้ดีกว่าการฉายรังสีอย่างเดียว และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยได้ดีกว่าการใช้กระบวนการอื่น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเฮมิเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่สามารถละลายได้ดีในสารละลายด่าง โดยเฉพาะเมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% urea เป็นเวลา 7 วัน จะทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในกากอ้อยลดลงได้มากที่สุด



รูปที่ 5.15 ปริมาณลิกนินในกากอ้อยที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสาร-ละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณลิกนินได้ดังนี้

5.3.2.2.3 ปริมาณลิกนิน

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน ปริมาณลิกนินกลับเพิ่มขึ้น 35.46%, 40.77% และ 54.05% ตามลำดับ

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน ปริมาณลิกนินกลับเพิ่มขึ้น 34.13%, 42.1% และ 50.07% ตามลำดับ

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน ปริมาณลิกนินกลับเพิ่มขึ้น 27.49%, 19.52% และ 14.21% ตามลำดับ

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย และทุกระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย ทำให้ปริมาณลิกนินในกากอ้อยเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก

urea มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน จึงไม่สามารถย่อยสลายลิกนินในกากอ้อยได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสด้วย

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน ปริมาณลิกนินกลับเพิ่มขึ้น 16.87%, 22.18% และ 32.8% ตามลำดับ

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 และ 14 วัน ปริมาณลิกนินกลับเพิ่มขึ้น 35.46% และ 18.19% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 5.71%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น 6.24% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 0.4% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 8.37%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้กระบวนการร่วม ระดับความเข้มข้นที่ทำให้ปริมาณลิกนินในกากอ้อยลดลงได้คือ 15% และ 20% และระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เหมาะสมคือ 21 วัน สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในกากอ้อยลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 โดยมีปริมาณลิกนินลดลงจาก 7.53% เป็น 6.9%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ มีปริมาณลิกนินลดลง 1.73%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะสามารถย่อยสลายลิกนินในกากอ้อยได้ดีกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea เพียงอย่างเดียว และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายลิกนินในกากอ้อยได้ดีกว่าการใช้กระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง โดยเฉพาะเมื่อใช้การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน จะทำให้

ปริมาณลิกนินในกากอ้อยลดลงได้มากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสบางส่วน ทำให้ urea เข้าย่อยสลายลิกนินได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Masri (1999)

จากเงื่อนไขทั้งหมด การเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อใช้ย่อยสลายโมเลกุลเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในกากอ้อย จะพิจารณาจากค่า NDF เช่นเดียวกับกรณีของฟางข้าว โดยผลที่ได้เป็นดังนี้

- เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน หรือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน หรือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 2 - 3 วัน

- เมื่อใช้สารละลายยูเรีย เงื่อนไขที่ทำให้ค่า NDF ลดลงมากที่สุดคือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 วัน แต่เงื่อนไขนี้ทำให้ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น จึงไม่ใช่เงื่อนไขที่เหมาะสม ดังนั้นจะพิจารณาเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมจากเงื่อนไขที่ทำให้ค่า NDF ลดลงในระดับใกล้เคียงกัน ซึ่งได้แก่ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน

5.3.3 เถาถั่วลิสง

5.3.3.1 การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ใช้ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 10%, 15% และ 20% และใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 5.7

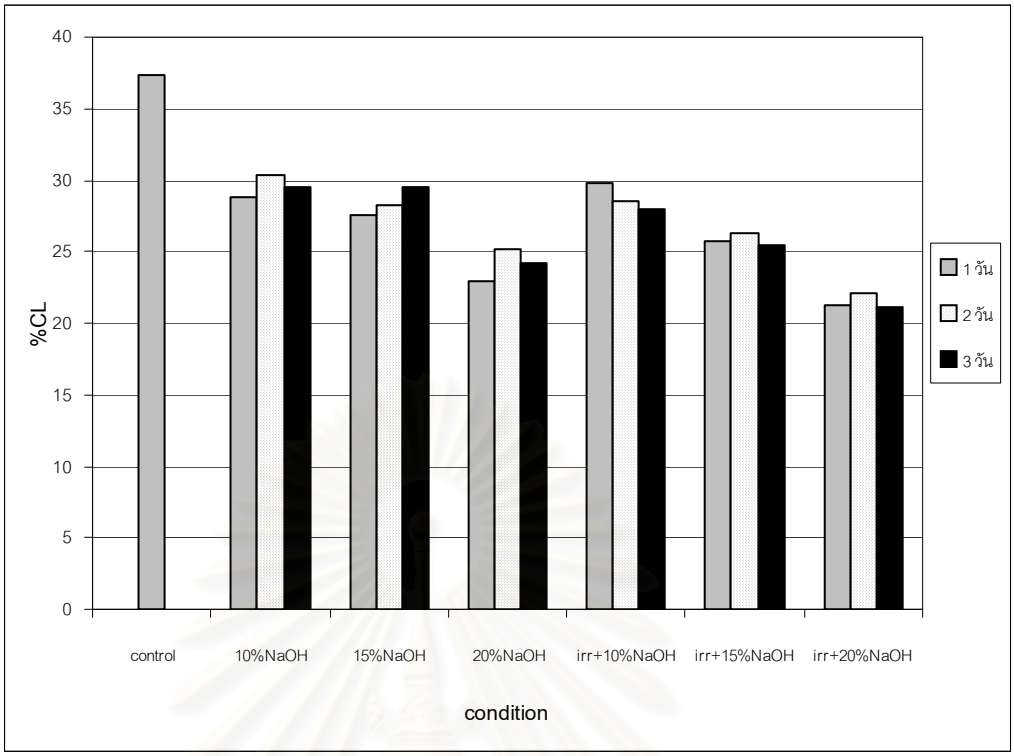
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.7 ปริมาณเยื่อใยในเถาถั่วลิสง เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการหมักด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

condition	%ADF	%NDF	%ADL	%CL	%HCL
control	51.71	60.53	14.37	37.34	8.82
irr15kGy@low temp.	49.9	58.3	15.3	34.6	8.4
10%NaOH+1วัน	38.9	49.5	10.1	28.8	10.6
10%NaOH+2วัน	37	42.5	6.7	30.3	5.5
10%NaOH+3วัน	37.1	45.9	7.6	29.5	8.8
15%NaOH+1วัน	37.9	41.2	10.3	27.6	3.3
15%NaOH+2วัน	37.6	40.8	9.3	28.3	3.2
15%NaOH+3วัน	38.3	40.2	8.8	29.5	1.9
20%NaOH+1วัน	30.9	36.9	8	22.9	6
20%NaOH+2วัน	30.6	39.4	5.4	25.2	8.8
20%NaOH+3วัน	31.9	41.2	7.7	24.2	9.3
irr+10%NaOH+1วัน	40.7	51.1	10.9	29.8	10.4
irr+10%NaOH+2วัน	38.9	49.6	10.4	28.5	10.7
irr+10%NaOH+3วัน	38.2	48.4	10.2	28	10.2
irr+15%NaOH+1วัน	35.9	41.4	10.2	25.7	5.5
irr+15%NaOH+2วัน	35.3	39.5	9	26.3	4.2
irr+15%NaOH+3วัน	34.2	39	8.7	25.5	4.8
irr+20%NaOH+1วัน	29.7	37.7	8.4	21.3	8
irr+20%NaOH+2วัน	29.5	34.8	7.4	22.1	5.3
irr+20%NaOH+3วัน	28.5	32.3	7.4	21.1	3.8

หมายเหตุ : ค่าในตารางเป็นค่าที่คิดต่อ % วัตถุแห้ง

จากตารางที่ 5.7 นำไปเขียนแผนภูมิแท่งแสดงผลปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ของตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วทำการปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 วัน



รูปที่ 5.16 ปริมาณเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสาร-ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสาร-ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.3.1.1 ปริมาณเซลลูโลส

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 22.87% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 18.85% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 21%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 26.08% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 24.41% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าการปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 21%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 38.67% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อย

กว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 32.51% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 35.19%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 1 และ 2 วัน เท่ากัน ปริมาณเซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้นตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ที่ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน จะมีผลทำให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงได้มากที่สุด ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่า ที่ระยะเวลาการย่อยสลาย 1 วัน เป็นระยะเวลาที่ NaOH ทำปฏิกิริยาต่อเถาถั่วลิสงได้สมบูรณ์ สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 1 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 37.34% เป็น 22.9%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 KGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 20.19% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 23.67% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 25.01%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 31.17% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 29.57% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 31.71%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 42.96% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลง 40.81% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 43.49%

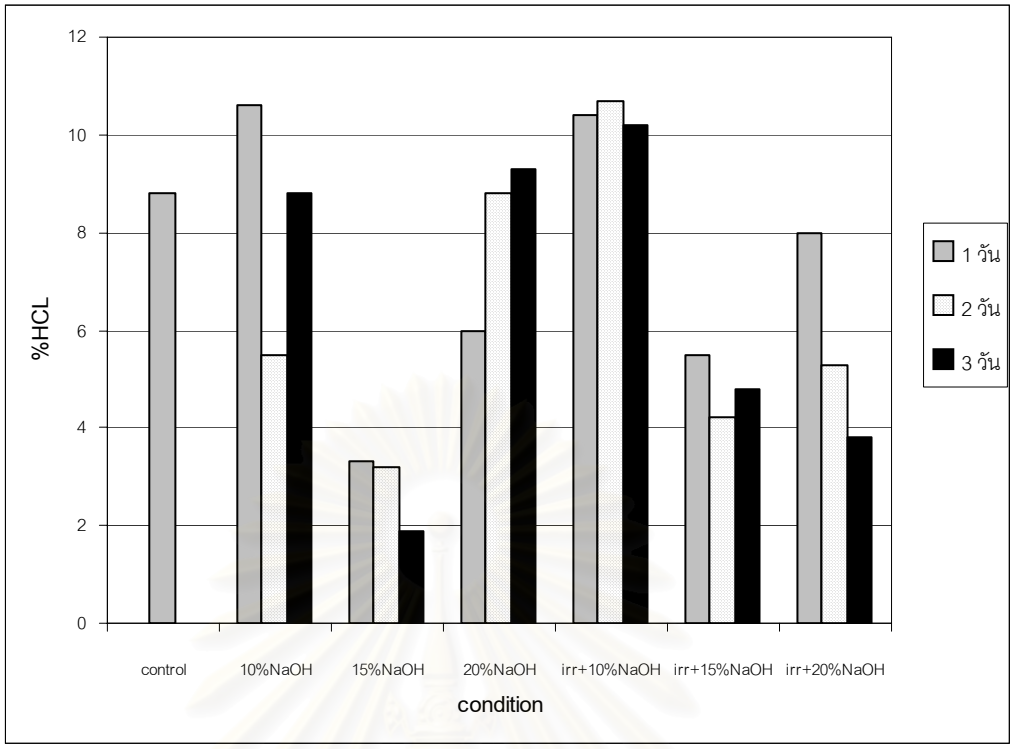
8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเท่ากัน ปริมาณเซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้น ตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่น

ด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 37.34% เป็น 21.1%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเซลลูโลสลดลง 7.34%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงได้ดีกว่าการใช้กระบวนใดกระบวนการหนึ่ง โดยเฉพาะเมื่อใช้การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% NaOH เป็นเวลา 1-3 วัน จะทำให้ปริมาณเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงลดลงได้มากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสบางส่วน ทำให้ NaOH เข้าย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Masri (1999)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.17 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเฮมิเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.3.1.2 ปริมาณเฮมิเซลลูโลส

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 20.18% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 37.64% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลงเพียง 0.23%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 62.59% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 63.72% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 78.46%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 31.97% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลง

น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน คือ ลดลงเพียง 0.23% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับเพิ่มขึ้น 5.44%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ค่าความเข้มข้นของ 15% NaOH จะมีผลทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสไม่เพิ่มขึ้นในทุกระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายคือ 1-3 วัน ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของ NaOH 10% และ 20% ทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงเพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 8.82% เป็น 1.9%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 17.91% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสยังเพิ่มขึ้น 21.32% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสยังคงเพิ่มขึ้น 15.65%

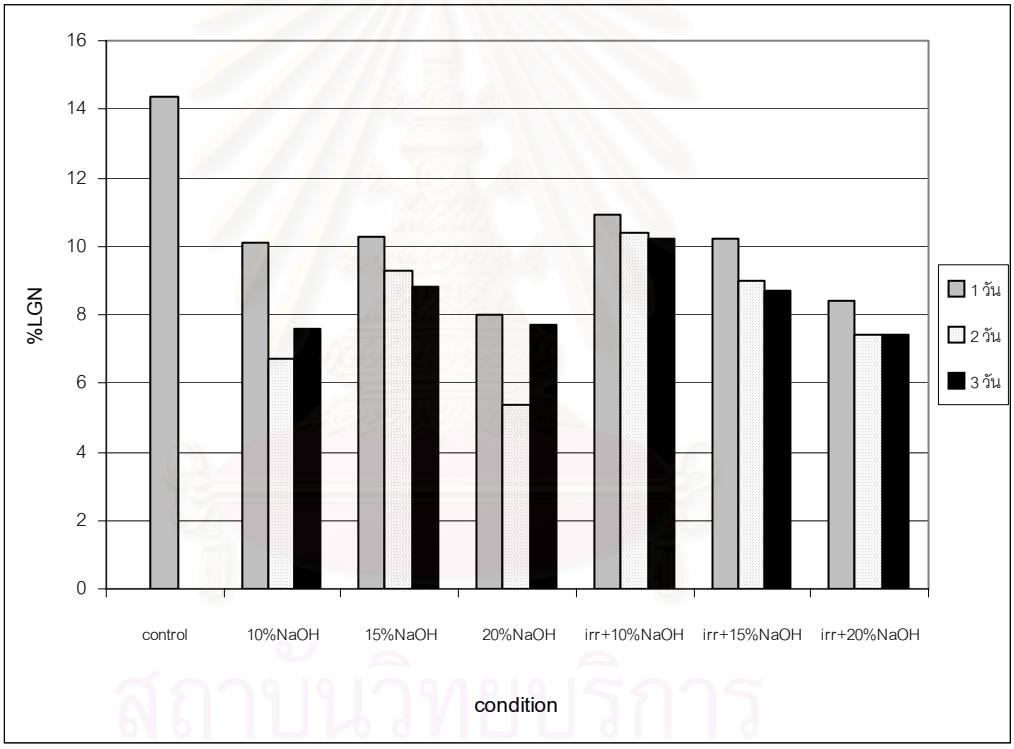
6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 37.64% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 52.38% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 45.58%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 9.3% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 39.91% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 56.92%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ค่าความเข้มข้น 15% และ 20% ปริมาณเฮมิ-เซลลูโลสจะลดลงได้มากขึ้นตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 8.82% เป็น 3.8%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเฮมิเซลลูโลส เพิ่มขึ้น 4.76%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงได้ดีเท่ากับเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOHเพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงได้ดีกว่าการใช้การฉายรังสีและการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH ร่วมกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะเฮมิเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่สามารถละลายได้ดีในสารละลายด่าง



รูปที่ 5.18 ปริมาณลิกนินในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 1, 2 และ 3 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณลิกนินได้ดังนี้

5.3.3.1.3 ปริมาณลิกนิน

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 29.71% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 53.38% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 47.11%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 28.32% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 35.28% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 38.76%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 44.33% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 62.42% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ ลดลง 46.42%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ค่าความเข้มข้น 10% และ 20% ปริมาณลิกนินจะลดลงได้มากที่สุดเมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน สำหรับการทดลองนี้ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในเถาถั่วลิสงลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 2 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 14.37% เป็น 5.4%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 24.15% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนิน ลดลง 27.63% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 29.02%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 29.02% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 37.37% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 39.46%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 1 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 41.54% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 48.5% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 3 วัน ปริมาณลิกนินลดลงเท่ากับเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 2 วัน คือ 48.5%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายเท่ากัน ปริมาณลิกนินจะลดลงมากขึ้นตามค่าความเข้มข้นของ NaOH ที่มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายลิกนินได้ดีขึ้น และที่ค่าความเข้มข้น 15% และ 20% ปริมาณลิกนินจะลดลงได้มากขึ้นตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่เพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในเถาถั่วลิสงลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 1 วันหรือ 2 วัน โดยมีปริมาณลิกนินลดลงจาก 14.37% เป็น 7.4%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น 6.47%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายลิกนินในเถาถั่วลิสงได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อใช้การปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายลิกนินในเถาถั่วลิสงได้ดีกว่าการใช้การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย NaOH

5.3.3.2 การใช้สารละลายยูเรีย

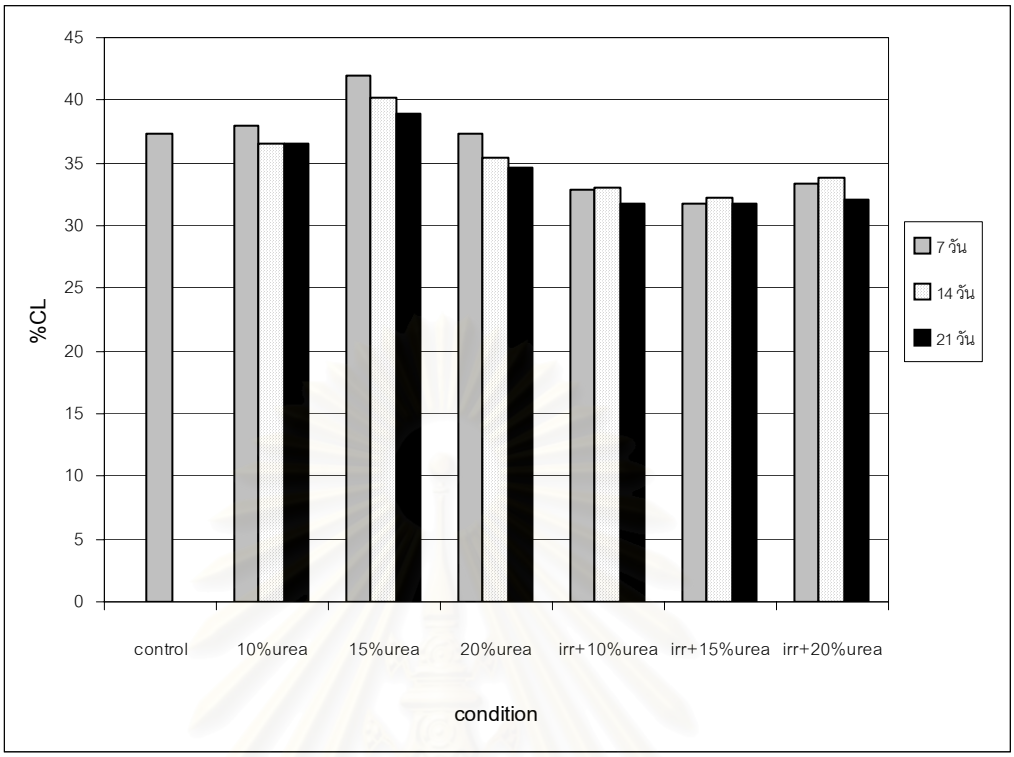
ใช้ความเข้มข้น 3 ระดับคือ 10%, 15% และ 20% และใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ปริมาณเยื่อใยในเถาถั่วลิสง เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยใช้รังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย

condition	%ADF	%NDF	%ADL	%CL	%HCL
control	51.71	60.53	14.37	37.34	8.82
irr15kGy@low temp.	49.9	58.3	15.3	34.6	8.4
10%urea+7วัน	51.5	65.6	13.5	38	14.1
10%urea+14วัน	50.7	64.8	14.2	36.5	14.1
10%urea+21วัน	49.8	60	13.3	36.5	10.2
15%urea+7วัน	55.4	67	13.5	41.9	11.6
15%urea+14วัน	53.6	62.5	13.4	40.2	8.9
15%urea+21วัน	52.2	65.1	13.3	38.9	12.9
20%urea+7วัน	50.1	62.8	12.8	37.3	12.7
20%urea+14วัน	48.9	60.3	13.4	35.5	11.4
20%urea+21วัน	47.2	60.3	12.5	34.7	13.1
irr+10%urea+7วัน	44.4	52.7	11.6	32.8	8.3
irr+10%urea+14วัน	45.3	53.5	12.2	33.1	8.2
irr+10%urea+21วัน	43.7	55.8	11.9	31.8	12.1
irr+15%urea+7วัน	44.2	53	12.4	31.8	8.8
irr+15%urea+14วัน	43.9	52.7	11.6	32.3	8.8
irr+15%urea+21วัน	43.6	52.4	11.8	31.8	8.8
irr+20%urea+7วัน	43.1	51.7	9.7	33.4	8.6
irr+20%urea+14วัน	44.5	50.7	10.6	33.9	6.2
irr+20%urea+21วัน	42.8	50.3	10.8	32	7.5

หมายเหตุ : ค่าในตารางเป็นค่าที่คิดต่อ % วัตถุแห้ง

จากตารางที่ 5.8 นำไปเขียนแผนภูมิแท่งแสดงผลปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ของตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วทำการปล่อยให้ย่อยสลายเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน



รูปที่ 5.19 ปริมาณเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.3.2.1 **ปริมาณเซลลูโลส**

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 1.77% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 และ 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลงเท่ากันคือ ลดลง 2.25%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับเพิ่มขึ้น 12.21%, 7.66% และ 4.17% ตามลำดับ

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลงเพียง 0.11% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 4.93% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 7.07%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย 15% ไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ เนื่องจาก urea มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน ที่ความเข้มข้นต่ำจึงไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย 20% จะช่วยให้ปริมาณเซลลูโลสลดลงได้มากขึ้นตามระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายที่มากขึ้น สำหรับการทดลองนี้ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 37.34% เป็น 34.7%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 KGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 12.16% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 11.36% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 14.84%

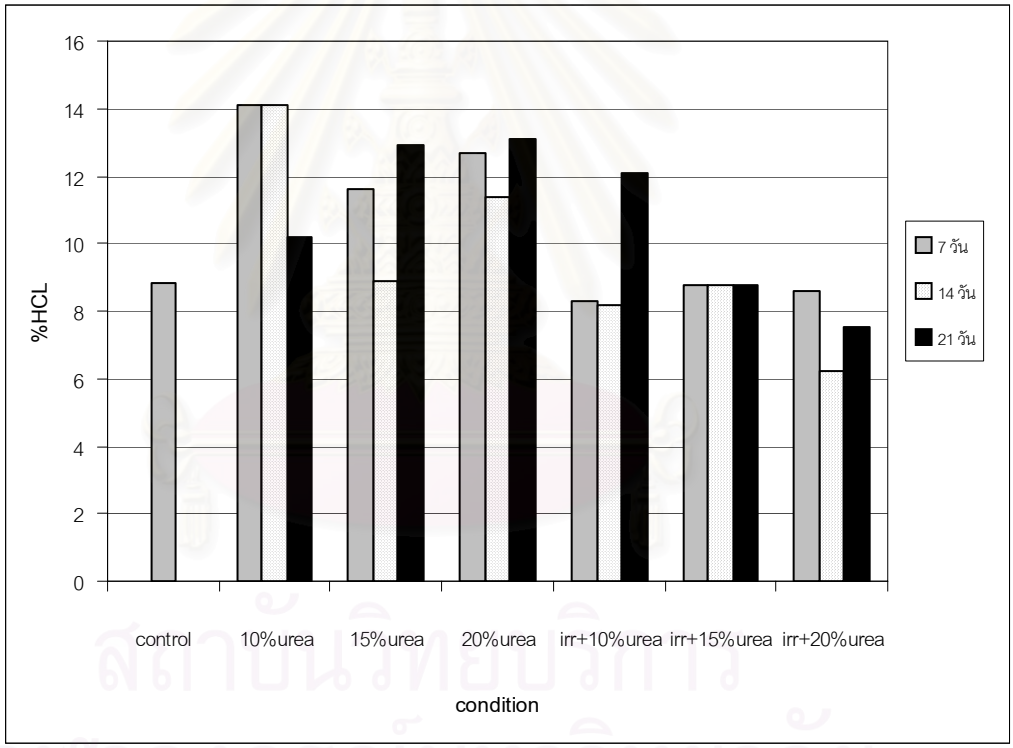
6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 14.84% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 13.5% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 14.84%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 10.55% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 9.21% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณเซลลูโลสลดลง 14.3%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายยูเรียและทุกระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลายสามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ และมีแนวโน้มของการย่อยสลายมากขึ้นถ้าเพิ่มความเข้มข้นและระยะเวลา สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือ ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea ปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน และ 20% urea ปล่อยให้ย่อยสลาย 7 หรือ 21 วัน โดยมีปริมาณเซลลูโลสลดลงจาก 37.34% เป็น 31.8%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเซลลูโลสลดลง 7.34%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีอย่างเดียวกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea อย่างเดียว พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะสามารถย่อยสลายเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงได้ดีกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea เพียงอย่างเดียว และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงได้ดีกว่าการใช้กระบวนใดกระบวนการหนึ่ง ตัวอย่างที่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงลดลงได้มากที่สุดในการทดลองนี้คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 15% urea เป็นเวลา 21 วัน และ ปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea เป็นเวลา 7 หรือ 21 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลสบางส่วน ทำให้ urea เข้าย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Masri (1999)



รูปที่ 5.20 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณเฮมิเซลลูโลสได้ดังนี้

5.3.3.2.2 **ปริมาณเฮมิเซลลูโลส**

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน กลับทำให้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 59.86%, 59.86% และ 15.65% ตามลำดับ

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน กลับทำให้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 31.52%, 0.91% และ 46.26% ตามลำดับ

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน กลับทำให้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น 43.99%, 29.25% และ 48.53% ตามลำดับ

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย 10%, 15% และ 20% ไม่สามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงได้ เมื่อใช้ระยะเวลาในการปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน เนื่องจาก urea มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน ดังนั้นอาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงที่มากกว่า 21 วัน จึงจะสามารถย่อยสลายได้

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 5.9% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 7.03% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับเพิ่มขึ้น 37.19%

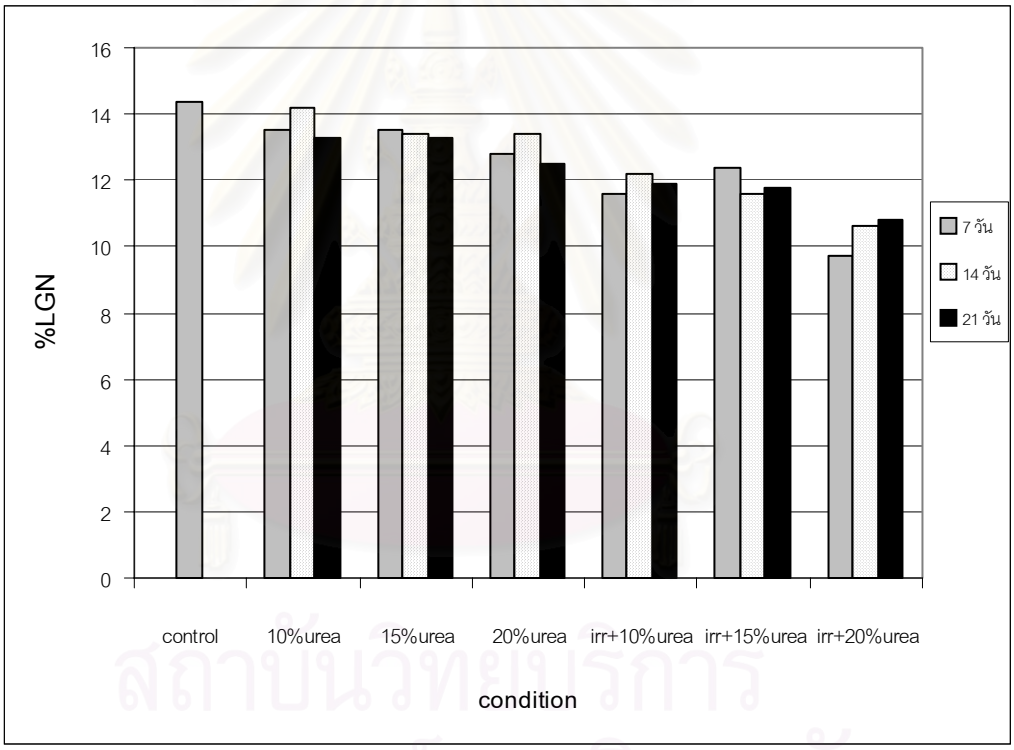
6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงเท่ากัน คือ ลดลง 0.23%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 2.49% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 29.71% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน คือ ลดลง 14.97%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า ตัวอย่างที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 14 วัน โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงจาก 8.82% เป็น 6.2%

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลง 4.76%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะสามารถย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงได้ดีกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea เพียงอย่างเดียว และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อใช้การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงได้ดีกว่าการใช้กระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง โดยเฉพาะเมื่อใช้การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea เป็นเวลา 14 วัน จะทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเถาถั่วลิสงลดลงได้มากที่สุด



รูปที่ 5.21 ปริมาณลิกนินในเถาถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย และกระบวนการฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลายยูเรีย ที่ระยะเวลาปล่อยให้ย่อยสลาย 7, 14 และ 21 วัน

จากผลการทดลองข้างต้น วิเคราะห์ผลปริมาณลิกนินได้ดังนี้

5.3.3.2.3 ปริมาณลิกนิน

1. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 6.05% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 1.18% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 7.45%

2. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 6.05% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 6.75% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 7.45%

3. ตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 10.93% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 6.75% และเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 21 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 13.01%

4. จากข้อ 1, 2, 3 พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายยูเรียเพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้เกิดการย่อยสลายลิกนินได้มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายลิก-นินได้ดีขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในเถาถั่วลิสงลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน โดยมีปริมาณลิกนินลดลงจาก 14.37% เป็น 12.5%

5. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 10% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 19.28% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 และ 21 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 15.1% และ 17.19%

6. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 13.71% เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 19.28% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อยสลายต่อเป็นเวลา 21 วัน ปริมาณลิกนินกลับลดลงได้น้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 14 วัน คือ ลดลง 17.88%

7. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea เมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน ปริมาณลิกนินลดลง 32.5% แต่เมื่อปล่อยให้ย่อย

สลายต่อเป็นเวลา 14 และ 21 วัน ปริมาณลิกนินลดลงน้อยกว่าเมื่อปล่อยให้ย่อยสลาย 7 วัน คือ ลดลง 26.24% และ 24.84%

8. จากข้อ 5, 6, 7 พบว่า เมื่อใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายยูเรียเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มทำให้ปริมาณลิกนินลดลงได้มากขึ้น เนื่องจาก NaOH ที่เข้มข้นมากขึ้นจะย่อยสลายลิกนินได้ดีขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณลิกนินในเถาถั่วลิสงลดลงมากที่สุดเมื่อใช้กระบวนการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea คือตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea เป็นเวลา 7 วัน

9. ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เพียงอย่างเดียว ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น 6.47%

10. จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้กระบวนการฉายรังสีกับการใช้กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea พบว่า เมื่อฉายรังสีอย่างเดียวจะไม่สามารถย่อยสลายลิกนินในเถาถั่วลิสงได้ดีเท่ากับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea เพียงอย่างเดียว เพราะปริมาณรังสีที่ใช้เป็นปริมาณรังสีต่ำ จึงเกิดการย่อยสลายโมเลกุลได้เพียงบางส่วน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน พบว่า เมื่อฉายรังสีแกมมาร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารละลาย urea จะมีแนวโน้มทำให้เกิดการย่อยสลายลิกนินในเถาถั่วลิสงได้ดีกว่าการใช้กระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง โดยเฉพาะเมื่อใช้การฉายรังสีร่วมกับการปล่อยให้ย่อยสลายด้วย 20% urea เป็นเวลา 7 วัน จะทำให้ปริมาณลิกนินในเถาถั่วลิสงลดลงได้มากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากรังสีแกมมาจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลของลิกนินบางส่วน ทำให้ urea เข้าย่อยสลายลิกนินได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Masri (1999)

จากเงื่อนไขทั้งหมด การเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อใช้ย่อยสลายโมเลกุลเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเถาถั่วลิสง จะพิจารณาจากค่า NDF เช่นเดียวกับกรณีของฟางข้าวและกากอ้อย โดยผลที่ได้เป็นดังนี้

- เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน

- เมื่อใช้สารละลายยูเรีย เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 วัน, 14 วัน หรือ 21 วัน

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับย่อยสลายโมเลกุลเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในกากอ้อย พบว่า ในระดับรังสีปริมาณต่ำที่มีค่าตั้งแต่ 5 - 30 kGy และตัวอย่างที่เป็น control ให้ผลการย่อยสลายโมเลกุลทั้งสามไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เลือกใช้ปริมาณรังสี 15 kGy เพราะเป็นรังสีปริมาณต่ำที่สามารย่อยสลายโมเลกุลของเซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลส และลิกนิน ได้บางส่วน และเป็นระดับรังสีที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างได้

ผลการทดลองหากระบวนการที่เหมาะสมและปลอดเชื้อรา พบว่า กระบวนการที่เหมาะสมคือ การฉายรังสีแกมมาก่อนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารเคมี จะมีผลทำให้ปริมาณเยื่อใยลดลงได้มากกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารเคมีก่อนการฉายรังสี

ผลการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้ปริมาณเยื่อใยซึ่งได้แก่ ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ลดลงได้มากที่สุด โดยเลือกจากการทดลองใช้กระบวนการฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ กระบวนการปล่อยให้ย่อยสลายด้วยสารเคมี ซึ่งได้แก่ โซเดียม-ไฮดรอกไซด์ ยูเรีย และการใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน จะใช้การพิจารณาค่า NDF (neutral detergent fiber) ซึ่งจากรายงานผลการวิจัยของ Al-Masri (1999) ระบุว่า เมื่อค่า NDF ในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรลดลง จะมีผลทำให้ค่าความสามารถการย่อยได้ (IVDMD : *In vitro* dry matter digestibility) เพิ่มขึ้น

จากการทดลองนี้ สามารถสรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมจากหลักการพิจารณาข้างต้นได้ดังต่อไปนี้

กรณีฟางข้าว

- เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 1 - 3 วัน โดยเงื่อนไขนี้สามารถลดปริมาณ NDF ลงได้ 50 – 52 %

- เมื่อใช้สารละลายยูเรีย เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน โดยเงื่อนไขนี้สามารถลดปริมาณ NDF ลงได้ 25%

เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายยูเรียในเงื่อนไขที่เหมาะสม พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้ปริมาณ NDF ในฟางข้าวลดลงได้มากกว่าการใช้สารละลายยูเรีย ดังนั้นจึงควรเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการย่อยสลายโมเลกุลของฟางข้าว

กรณีกากอ้อย

- เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน หรือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน หรือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 2 - 3 วัน โดยเงื่อนไขนี้สามารถลดปริมาณ NDF ลงได้ 48 – 49 %

- เมื่อใช้สารละลายยูเรีย เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 15% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 21 วัน โดยเงื่อนไขนี้สามารถลดปริมาณ NDF ลงได้ 19%

เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายยูเรียในเงื่อนไขที่เหมาะสม พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้ปริมาณ NDF ในกากอ้อยลดลงได้มากกว่าการใช้สารละลายยูเรีย ดังนั้นจึงควรเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการย่อยสลายโมเลกุลของกากอ้อย

กรณีเถาถั่วลิสง

- เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% NaOH และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 3 วัน โดยเงื่อนไขนี้สามารถลดปริมาณ NDF ลงได้ 46%

- เมื่อใช้สารละลายยูเรีย เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ การใช้การฉายรังสี 15 kGy ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย 20% urea และปล่อยให้ย่อยสลายเป็นเวลา 7 วัน, 14 วัน หรือ 21 วัน โดยเงื่อนไขนี้สามารถลดปริมาณ NDF ลงได้ 14 – 17 %

เมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายยูเรียในเงื่อนไขที่เหมาะสม พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้ปริมาณ NDF ในเถาถั่วลิสงลดลงได้มากกว่าการใช้สารละลายยูเรีย ดังนั้นจึงควรเลือกใช้สารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ในการย่อยสลายโมเลกุลของเถาถั่วลิสง

6.2 **ข้อเสนอแนะ**

1. ควรมีการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการย่อยสลายปริมาณเยื่อใยในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่น เช่น ซังข้าวโพด กากปาล์มน้ำมัน เปลือกสับปะรด จุกสับปะรด

2. ควรมีการทดลองเปรียบเทียบผลของการฉายรังสีแกมมาปริมาณต่ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะมีส่วนช่วยให้เกิดการย่อยสลายปริมาณเยื่อใยได้มากที่สุด

3. ควรทำการฉีดพ่นน้ำ ให้มีปริมาณน้ำ 10%, 15% และ 20% ของตัวอย่าง ลงในตัวอย่างก่อนการฉายรังสี เพื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายยูเรีย ที่มีปริมาณ 10%, 15% และ 20% ของตัวอย่าง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธีระชัย รัตนโรจน์มงคล. การนำชานอ้อยมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 46, 144 (2540) : 32-34.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. หลักการอาหารสัตว์. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โอ. เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2535.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. หลักการอาหารสัตว์. เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โอ. เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2539.

เมธา วรรณพัฒน์. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. กรุงเทพมหานคร : ฟันนี่พับบลิชชิ่ง, 2533.

วลัยกานต์ เจียมเจตจรูญ และ วรรณา อ่างทอง. รายงานเบื้องต้นสภาพการจัดการด้านอาหารโคเนื้อและโคนมของเกษตรกรในพื้นที่ 11 จังหวัดภาคกลาง. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2541, 295-320. กรุงเทพมหานคร : กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์, 2541.

วารุณี พานิชผล. การวิเคราะห์หาเยื่อใยในพืชอาหารสัตว์. กรุงเทพมหานคร : กลุ่มงานวิเคราะห์อาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์, 2541. (อัดสำเนา)

วิชัย ศุภลักษณ์ และ เกษม สร้อยทอง. การใช้รา *Volvariella volvacea* ในการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวเพื่อเป็นอาหารสัตว์. วารสารสถาบันพัฒนาครูอาชีวศึกษา 4 (2538) : 49-52.

ศรีสกุล วรจันทรา และ รณชัย สิทธิไกรพงษ์. โภชนศาสตร์สัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2539.

ภาษาอังกฤษ

Al-Masri, M.R. *In vitro* digestible energy of some agricultural residues as influenced by gamma radiation and sodium hydroxide. Applied Radiation and Isotopes 50 (1999) : 295-301.

Al-Masri, M.R., and Guenther, K.D. Changes in digestibility and cell-wall constituents of some agricultural by-product due to gamma irradiation and urea treatments. Radiation Physics and Chemistry 55 (1999) : 323-329.

Al-Masri, M.R., and Zarkawi, M. Effect of gamma irradiation on chemical compositions of some agricultural residues. Radiation Physics and Chemistry 43, 3 (1994) : 257-260.

Al-Masri, M.R., and Zarkawi, M. Effect of gamma irradiation on cell-wall constituents of some agricultural residues. Radiation Physics and Chemistry 44, 6 (1994) : 661-663.

Ibrahim, M.N.M., and Pearce, G.R. Effects of gamma irradiation on the composition and *in vitro* digestibility of crop composition and *in vitro* digestibility of crop by-products. Agricultural Wastes 2 (1980) : 253-259.

Jayasuriya, M.C.N., and Perera, H.G.D. Urea-ammonia treatment of rice straw to improve its nutritive value for ruminants. Agricultural Wastes 4 (1982) : 143-150.

Kojima, K., Miyake, S., and Uda, I. Effects of irradiation as a pretreatment in enzymatic hydrolysis of cellulose materials. Radiation Physics and Chemistry 22, 3-5 (1983) : 901-906.

Kume, T., Ito, H., and Ishigaki, I. Effect of gamma irradiation on microorganisms and components in empty fruit bunch and palm press fibre of oil palm wastes. J Sci Food Agric 52 (1990) : 147-157.

Sundstol, F., Coxworth, E., and Mowat, D.N. Improving the nutritive quality of straw and other low-quality roughages by treatment with ammonia. World Animal Review 26 (1978) : 13-21.

Tanesaka, E., Masuda, H., and Kinugawa, K. Wood Degrading Ability of Basidiomycetes that are Wood Decomposers, Litter Decomposers or Mycorrhizal Symbionts. Mycologia 85 (1993) : 347-354.

Wood, R.J., and Alexei K. Pikaev. Applied Radiation Chemistry : radiation processing. USA. : John Wiley & Sons, 1994.

Xin, L.Z., and Kumakura, M. Effect of radiation pretreatment on enzymatic hydrolysis of rice straw with low concentrations of alkali solution. Bioresource Technology 43 (1993) : 13-17.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องฉายรังสีแกมมา BSV-06

เครื่องฉายรังสีใช้ต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 10 kCi เป็นของ Institute of Isotopes Co., Ltd., Hungary มีชื่อว่า 'besugarzo vezerlo' หรือ BSV ในภาษา Hungarian หมายความว่า 'irradiation control'

ต้นกำเนิดรังสีจะถูกเก็บอยู่ใต้พื้นคอนกรีตของห้องฉายรังสีที่มีผนังห้องหนา 50 cm และยังมีตะกั่วหนา 25 cm มีปริมาตรภายใน 1 m^3 ตั้งอยู่ข้างบนที่เก็บต้นกำเนิดรังสี และภายในห้องตะกั่วจะมีท่อซึ่งต่อกับที่เก็บต้นกำเนิดรังสีเพื่อให้ต้นกำเนิดรังสีเลื่อนขึ้น มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 cm การเลื่อนต้นกำเนิดรังสีขึ้นจะใช้ระบบลมอัด (pneumatic system) และการเลื่อนเข้าและเลื่อนออกของประตูตะกั่วก็ใช้ระบบลมอัดด้วยเช่นกัน

ระบบการรักษาความปลอดภัยภายในประกอบด้วย เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสี 2 เครื่อง ติดที่ผนังห้อง และที่ผนังของห้องตะกั่ว มีสวิตซ์ 2 ตัวที่ประตูตะกั่วและที่ประตูห้องฉายรังสี เครื่องวัดแรงดันลมสำหรับเปิดประตูตะกั่ว และเครื่องวัดไฟตก (electrical failure monitor) เมื่อมีสัญญาณความผิดปกติเกิดขึ้นจากเครื่องใดเครื่องหนึ่งก็จะไม่สามารถเริ่มต้นฉายรังสีได้ หรือถ้าอยู่ระหว่างการทำงานก็จะทำให้ต้นกำเนิดรังสีตกลงไปสู่ที่เก็บ และนอกจากนี้กลไกการล็อคประตูตะกั่วจะเกี่ยวโยงกับการยกต้นกำเนิดรังสีขึ้น จึงรับประกันได้ว่าขณะที่ฉายรังสี ประตูตะกั่วจะไม่ถูกเปิดโดยเด็ดขาด

การทำงานของเครื่องฉายรังสีจะควบคุมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การใช้งานจะต้องมี master key และการเปลี่ยนแปลงกระบวนการรักษาความปลอดภัย การเปิด-ปิดเครื่อง จะต้องทราบ password เหตุการณ์ทุก ๆ อย่างจะถูกบันทึกอัตโนมัติใน CPU และจะแสดงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น 5 อย่างสุดท้ายที่หน้าจอตลอดเวลา และถ้าประตูห้องฉายรังสีถูกเปิด ต้นกำเนิดรังสีจะตกลงไปสู่ที่เก็บทันที ซึ่งจะป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นในกรณีที่ประตูห้องถูกเปิดขณะฉายรังสี

การรักษาความปลอดภัยอีกอย่างคือจะมีปุ่มฉุกเฉิน (emergency) 3 ปุ่ม สองปุ่มจะอยู่ในห้องฉายรังสี และอีกปุ่มอยู่ที่เครื่องควบคุมการฉายรังสี (control console) ถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นระหว่างการฉายรังสีก็จะมีเสียงสัญญาณเตือนและสัญญาณไฟเตือนซึ่งติดตั้งอยู่ภายนอกห้อง

ห้องฉายรังสีจะมีเครื่องสูบอากาศออก (air blower) โดยจะทำงานอัตโนมัติ 15 นาที ทุก ๆ 2 ชั่วโมง หรือสามารถเปิดเองหลังจากที่เปิดประตูตะกั่วก่อนที่จะเข้าไปในห้องฉายรังสี

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวขวัญชนก จันทร์สว่าง เกิดวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ.2518 จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย