

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัส MT-37-06-POL-18-01



การเตรียมยางธรรมชาติโครงสร้างตาข่ายห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียเพื่อ
ใช้ในระบบควบคุมการปลดปล่อย

**Production of Natural Rubber Matrix Encapsulating
Urea Fertilizer for Controlled Release System**

ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์

มนัส แซ่ด่าน

กัญญาณี คงสีทอง

ดิว

เลขที่: 5664-H12 วร 2534
เลขทะเบียน.....
11 / ne / ee

Order Key..... 23686
BIB Key..... 166216

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

บทคัดย่อ

การควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียโดยการผสมปุ๋ยยูเรียกับยางธรรมชาติ เป็นที่น่าสนใจในทั้งในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยและลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ยางธรรมชาติห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียเตรียมได้จากการผสมยูเรียในอัตรา 300,400,500 และ 600 ส่วนในยาง STR 5L ซึ่งมีความหนืดต่ำ 100 ส่วน และสารเคมีสำหรับการวัลคาไนซ์ ผสมยางสูตรต่างแบบปกติและแบบแยกส่วนในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ทำการเปรียบเทียบการปลดปล่อยยูเรียจากยางธรรมชาติห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียที่ได้ระหว่างการผสมแบบปกติ กับแบบแยกส่วนพบว่าแบบแยกส่วนมีอัตราการปลดปล่อยยูเรียได้ต่ำกว่าการผสมแบบปกติ อุณหภูมิวัลคาไนซ์และเวลาวัลคาไนซ์ของยางผสมยูเรียมีผลต่อการปลดปล่อยยูเรีย อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 110 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาทีที่มีอัตราการปลดปล่อยต่ำที่สุด นอกจากนี้พบว่าลักษณะโครงสร้างของยางผสมยูเรียแบบ แยกส่วนเป็น เซลล์ปิด

Abstract

The release of urea from rubber-urea matrix is interesting in both improvement of the fertilizer efficiency and diminution of the environmental problems. The natural-rubbers are prepared by mixing urea 300,400,500 and 600 parts in STR 5L(low viscosity) 100 parts and vulcanizing chemicals. The conventional and split feeding mixing techniques are performed in Two roll mill. The release of urea from rubber-urea matrix preparing by conventional and split feeding mixing techniques are compared. The releasing rate of urea in the latter was lower. The rate of releasing depended on the vulcanizing temperature and vulcanizing time. The minimum release was found at 110°C and 10 min. of vulcanization. The rubber-urea matrix obtaining by split feeding mixing were found in the form of closed cells.

นายแพทย์ พิศัย วัฒนศิริ
 2 อวป. ๓๓๓
 ฝ่าย อ. ๓๓๓ ๓๓๓

ก
สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
กิติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญเรื่อง	ค-ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎี	3
3. สารเคมี วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	10
3.1 ยางและสารเคมี	10
3.2 เครื่องมือ	10
3.3 วิธีการทดลอง	11
3.3.1 การศึกษาความหนืด (Mooney Viscosity) ที่เหมาะสมในการ ใส่ยูเรียของยาง	11
3.3.2 การผสมยางและเตรียมชิ้นทดสอบ	11
3.3.2.1 การผสมแบบ conventional	12
3.3.2.2 การผสมแบบ splitting feeding	12
3.3.3 เปรียบเทียบการปลดปล่อยยูเรียระหว่างยางที่ผสมแบบ split feeding กับแบบ conventional	13
3.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยยูเรียของยางผสมยูเรีย	13
3.3.4.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการวัลคาไนซ์	13
3.3.4.2 การศึกษาผลของเวลาที่มีต่ออัตราการปลดปล่อยยูเรีย	14
3.3.4.3 การศึกษา crosslinked density	14
3.3.5 การศึกษาการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้น	15
3.3.6 การศึกษาลักษณะของเซลล์ยางวัลคาไนซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์	16
4. ผลการทดลอง	17
4.1 ผลการศึกษาความหนืดของยางและลักษณะการฝังตัวของยูเรียในยาง	18

4.2 การศึกษาการปลดปล่อยยูเรียเปรียบเทียบระหว่างการผสมแบบ conventional กับการผสมแบบ split feeding	18
4.3 การศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับการปลดปล่อย ยูเรียของขางผสมยูเรีย	19
4.3.1 การศึกษาผลของการแปรอุณหภูมิวัลคาไนซ์ที่มีต่อการปลดปล่อยยูเรีย	19
4.3.2 การศึกษาผลของการแปรเวลาวัลคาไนซ์ ที่มีต่อการปลดปล่อยยูเรีย	19
4.4 การศึกษาการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้น	22
4.5 การศึกษาลักษณะของเซลล์ยางวัลคาไนซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์	22
5. วิจารณ์ผลการทดลอง	26
5.1 ผลการศึกษาความหนืดที่เหมาะสมของขางก่อนใส่ยูเรีย	26
5.2 ผลการศึกษาการปลดปล่อยยูเรียเปรียบเทียบระหว่างการผสมแบบ conventional และแบบ split feeding	26
5.3 ผลการศึกษาการแปรอุณหภูมิวัลคาไนซ์ที่มีต่อการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้น	26
5.4 ผลการศึกษาการแปรเวลาวัลคาไนซ์ที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยยูเรีย	27
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	28
เอกสารอ้างอิง	29

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 จำนวนประชากร ผลผลิตยางธรรมชาติและปริมาณการนำเข้าปฏึกจากต่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ. 2535-2539	1
2.1 เปรียบเทียบผลการปลดปล่อยไนโตรเจนระหว่างการผสมแบบ conventional และแบบ split-feeding	7
2.2 ผลการสังเกตลักษณะการห่อหุ้มผิวยูเรียและความสามารถในการละลายน้ำของยางและพอลิเมอร์ต่าง ๆ	9
3.1 การแปรอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ยางผสมยูเรีย	14
4.1 ผลการศึกษาความหนืดของยางและลักษณะของการฝังตัวของยูเรียในยาง	17
4.2 เปรียบเทียบการปลดปล่อยยูเรียระหว่างการผสมแบบ Conventional กับแบบ Split feeding	18
4.3 อุณหภูมิวัลคาไนซ์ ค่า crosslinked density และปริมาณการปลดปล่อยยูเรีย	19
4.4 ผลของเวลาวัลคาไนซ์ ต่อค่า crosslinked density และปริมาณการปลดปล่อยยูเรีย	21

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยยูเรียกับ crosslinked density ของยางแปรรูปอนุกรมวิคคาไนซ์	19
4.2 ผลการแปรรูปอนุกรมวิคคาไนซ์ที่มีต่อการปลดปล่อยยูเรียและค่า crosslinked density ของยางผสมยูเรีย	19
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยยูเรียกับ crosslinked density กับปริมาณการปลดปล่อยของยางแปรรูปเวลาวิคคาไนซ์	21
4.4 ผลของเวลาวิคคาไนซ์ต่อค่า crosslinked density และการปลดปล่อยยูเรีย	22
4.5 ลักษณะโครงสร้างยางผสมยูเรีย 300 phr แบบ Conventional ก่อนปลดปล่อยยูเรียออกมา	23
4.6 ลักษณะโครงสร้างยางผสมยูเรีย 300 phr แบบ Conventional หลังจากปลดปล่อยยูเรียออกมาหมดแล้ว	23
4.7 ลักษณะโครงสร้างยางผสมยูเรีย 300 phr แบบ Split feeding ก่อนปลดปล่อยยูเรียออกมา	24
4.8 ลักษณะโครงสร้างยางผสมยูเรีย 300 phr แบบ Split feeding หลังจากปลดปล่อยยูเรียออกมาหมดแล้ว	24
4.9 ลักษณะโครงสร้างยางผสมยูเรีย 600 phr แบบ Split feeding ก่อนปลดปล่อยยูเรียออกมา	25
4.10 ลักษณะโครงสร้างยางผสมยูเรีย 600 phr แบบ Split feeding หลังจากปลดปล่อยยูเรียออกมาหมดแล้ว	25

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม สินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศคือ ผลผลิตด้านการเกษตร เช่น ยางพารา ข้าว มันสำปะหลัง เป็นต้น อัตราการขยายตัวของการส่งออกประมาณร้อยละ 7.7 ต่อปี ทำรายได้นำเข้าประมาณ 2.3 แสนล้านบาท ปุ๋ยเป็นปัจจัยที่จำเป็นในภาคการเกษตรและยังเป็นต้นทุนที่สำคัญในการผลิต(สรสิทธิ์,2535) ในปัจจุบันมีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นทำให้ต้องเพิ่มผลผลิตด้านการเกษตรให้เพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นทั้งภายในและภายนอกประเทศ ดังนั้นจึงส่งผลให้มีการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้รัฐบาลต้องมีการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศมากขึ้น เปรียบเทียบจำนวนประชากร ผลผลิตของธรรมชาติและปริมาณการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศในระหว่างพ.ศ. 2535 - 2538 (ตารางที่ 1.1) หากสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยให้น้อยลงได้ ก็จะทำให้ต้นทุนสินค้าด้านการเกษตรลดลง

ตารางที่ 1.1 จำนวนประชากร ผลผลิตของธรรมชาติและปริมาณการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 - 2538 (สถิติการผลิต,2537;สถิติเศรษฐกิจ,2536,2537;ประวัตร และคณะ,2539)

พ.ศ.	2535	2536	2537	2538
จำนวนประชากรของประเทศไทย (ล้านคน)	57.8	58.3	59.1	59.8
การนำเข้าปุ๋ยและยากำจัดศัตรูพืช (ล้านบาท)	15,863	16,738	16,750	18,537
ผลผลิตของธรรมชาติ (เมตริกตัน)	1,530,941	1,553,384	1,717,859	1,830,000

ปัจจุบันพบว่าการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะทรัพยากรดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง อันเนื่องมาจากมีการใช้ดินทำการเกษตรติดต่อกันเป็นเวลานานประกอบกับปริมาณความต้องการอาหารเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เกษตรกรไทยรู้จักใช้ปุ๋ยเคมีอย่างจริงจังเมื่อปี พ.ศ.2493 (ปิยะ,2538) ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 10,000 ตันในปีพ.ศ.2493 เป็น 2.65 ล้านตันในปีพ.ศ.2533 ซึ่งเพิ่มขึ้น 265 เท่าตัว ปุ๋ยเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่ได้แก่ปุ๋ยที่ให้ไนโตรเจน (N) ฟอสเฟต (P) และโปแทสเซียม (K) ประมาณร้อยละ 55,30 และ 15 ตามลำดับ ปุ๋ยที่ให้ไนโตรเจนมี ปริมาณ มากกว่าครึ่งหนึ่งของทั้งหมด

องค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (FAO) ประมาณการว่า มีการสูญเสียไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีโดยรากไม่สามารถดึงดูมาใช้ประโยชน์ได้ถึงร้อยละ 40-70 (Hepburn and

Arizal,1989) โดยในโตรเจนจะสูญเสียในรูปของแอมโมเนียที่ระเหยได้และแก๊สในโตรเจน หรือ ถูกน้ำชะล้างไปกับน้ำลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง ทะเล ในรูป $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และผู้บริโภครวมอีกด้วย การใช้ปุ๋ยที่ให้ในโตรเจนที่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือพืชสามารถจะดึง ดูดไปใช้ประโยชน์มากที่สุดและเป็นไปได้ในเวลาที่ต้องการ สามารถทำได้โดยวิธีการควบคุมการ ปลดปล่อย (controlled release system) ธาตุอาหาร อาทิการใช้วัสดุพอลิเมอร์ห่อหุ้ม (Paul and Harris,1976)

ในประเทศไทยมีงานค้นคว้าวิจัยหาวัสดุที่เหมาะสมมาใช้ห่อหุ้มปุ๋ยเพื่อควบคุมอัตราการ ปลดปล่อยในโตรเจนมีน้อยมาก ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคการเตรียมปุ๋ยยูเรีย ผสมยางธรรมชาติที่เหมาะสมเพื่อควบคุมอัตราการปลดปล่อยปุ๋ยให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งทำ ให้สามารถใช้ปุ๋ยได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีที่ใช้กันในปัจจุบัน

จุดมุ่งหมายในการทำวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุห่อหุ้มปุ๋ย ยูเรียเพื่อ ควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรีย
2. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียจากยางห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียที่ผลิต
3. ศึกษาผลของการวัดค่าไนโตรเจนต่อการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรีย
4. เปรียบเทียบเทคนิคการผสมแบบธรรมดา (conventional) กับแบบแยกใส่ (split feeding)

ขอบเขตงานวิจัย

1. ผสมยางกับปุ๋ยยูเรียโดยใช้ปุ๋ยยูเรีย ประมาณ 300-600 phr
2. ผสมยางแบบธรรมดาเปรียบเทียบกับแบบแยกใส่ในเครื่องผสมลูกกลิ้ง (two roll mill)
3. หาความหนาแน่น โครงร่างตาข่าย (crosslinked density)
4. คุณลักษณะ โครงสร้างของยางธรรมชาติห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง
5. ศึกษาการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียของยางสูตรต่าง ๆ โดยให้น้ำไหลผ่านทรายที่ฝังสาร

ตัวอย่าง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาพที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติห่อหุ้มปุ๋ยยูเรีย
2. ทราบปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยยูเรียจากยางห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียที่ผลิต

บทที่ 2

ทฤษฎี

ปุ๋ย (ชงยุทธ,2528) หมายถึง อินทรีย์สารหรืออนินทรีย์สาร ซึ่งได้จากธรรมชาติหรือการสังเคราะห์ เป็นสารที่ให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อดินขาดแคลนธาตุอาหารธาตุหนึ่งหรือหลายธาตุก็ต้องใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุเหล่านั้นลงไป เพื่อให้พืชได้รับอย่างเพียงพอกับความต้องการ และมีผลผลิตสูง แม้ว่าปุ๋ยจะเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางเมื่อประมาณ 50 ปีมานี้ แต่การหาความรู้ในเรื่องการใช้และการผลิตปุ๋ยได้เริ่มต้นพัฒนาและสืบทอดกันมาในประวัติศาสตร์อันยาวนานของมนุษยชาติ

ดินเป็นแหล่งธรรมชาติที่ให้อาหารแร่ธาตุแก่พืช ดินหลังจากเปิดป่าใหม่ ๆ จะปลูกพืชได้งอกงามมีผลผลิตสูงโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยเพราะพืชจะดูดธาตุอาหารในดินซึ่งมีเพียงพอมาสร้างต้นและผลผลิต การเก็บเกี่ยวผลผลิตของพืชออกจากไร่นาแต่ละครั้งจะเกิดการสูญเสียธาตุอาหารพืชหรือปุ๋ยธรรมชาติในดินออกไปด้วย ดังนั้นการปลูกพืชและเก็บเกี่ยวผลผลิตออกจากไร่นาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานจึงมีผลทำให้ดินดีกลายเป็นดินเลวปลูกพืชไม่งอกงาม การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชลดลง การเปลี่ยนแปลงของดินจากสภาพดีไปเป็นดินเลวจะเกิดขึ้นได้เร็วช้าแตกต่างกันตามสภาพการใช้งานเพื่อการเกษตรและวิธีการอนุรักษ์ปรับปรุงบำรุงดินของเกษตรกร ถ้าเกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจในความสำคัญของดิน ดินก็จะเสื่อมสภาพช้า ในทางตรงข้ามถ้าเกษตรกรไม่เข้าใจและไม่รู้จักความสำคัญของดิน การเสื่อมโทรมของดินจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วคือใช้เวลาเพียงประมาณ 8-10 ปี เช่นที่เกิดขึ้นอยู่ทั่วไปในประเทศไทย (สรสิทธิ์,2535)

ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดซึ่งเป็นพวกอินทรีย์สาร

2. ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เป็นปุ๋ยที่ได้มาจากการผลิต หรือ สังเคราะห์ทางอุตสาหกรรมจากแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ได้ตามธรรมชาติ หรือเป็นผลพลอยได้ของโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด ปุ๋ยเคมีมีอยู่ 2 ประเภท คือ แม่ปุ๋ยหรือปุ๋ยเดี่ยว ซึ่งจะมีธาตุอาหารอยู่หนึ่งหรือสองธาตุ และปุ๋ยผสม ซึ่งเป็นปุ๋ยที่มีการนำเอาแม่ปุ๋ยปลาย ๆ ชนิดมาผสมรวมกันเพื่อให้ปุ๋ยที่มีปริมาณและสัดส่วนทางธาตุอาหาร N, P และ K ตามที่ต้องการ

แนวทางการใช้ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพ มีดังนี้

1. ชนิดของปุ๋ยที่ใช้ถูกต้อง
2. ใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม

3. ใส่ให้พืชในขณะที่พืชต้องการ

4. ใส่ให้พืชตรงจุดที่พืชสามารถดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายและเร็วที่สุด

ข้อได้เปรียบของปุ๋ยเคมี

1. มีปริมาณธาตุอาหารต่อหน่วยน้ำหนักของปุ๋ยสูง ใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยก็พอ

2. ราคาถูกเมื่อคิดเป็นราคาต่อหน่วยน้ำหนักของธาตุอาหาร ประกอบกับการขนส่งและเก็บรักษาสะดวกมาก

3. หาได้ง่าย ถ้าต้องการเป็นปริมาณมากก็สามารถหามาได้ เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ผลิตได้จากโรงงาน

4. ให้ผลทางด้านธาตุอาหารเร็วกว่าปุ๋ยอินทรีย์

ข้อเสียเปรียบของปุ๋ยเคมี

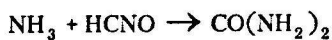
1. ปุ๋ยเคมีไม่มีคุณสมบัติปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน กล่าวคือไม่ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย เหมือนปุ๋ยอินทรีย์

2. ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ถ้าใช้เป็นปริมาณมากและติดต่อกันเป็นระยะเวลาานจะทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องใช้ปูนช่วยแก้ความเป็นกรดของดิน

3. ปุ๋ยเคมีทุกชนิดมีความเค็ม ถ้าใช้ในอัตราสูง หรือใส่โคนต้นพืชจะเกิดอันตรายแก่พืช และการงอกของเมล็ดการใช้จึงต้องระมัดระวัง

4. ผู้ใช้ต้องมีความรู้ความเข้าใจเรื่องปุ๋ยเคมีพอสมควร มิฉะนั้นอาจมีผลเสียหายต่อพืชและต่อภาวะเศรษฐกิจของผู้ใช้

ยูเรียเป็นสารประกอบอินทรีย์พวกอะไมด์ นักวิทยาศาสตร์แยกผลึกของยูเรียออกมาศึกษาเป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2316 และเป็นอินทรีย์สารชนิดแรกที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นได้จากอินทรีย์สาร Wohler เป็นผู้สังเคราะห์ยูเรียได้เมื่อ พ.ศ. 2371 จากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับกรด cyanuric ดังสมการ



ในพ.ศ. 2411 นักวิทยาศาสตร์สามารถสังเคราะห์ยูเรียจากแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ แต่การผลิตในเชิงการค้าเริ่มเป็นครั้งแรกในประเทศเยอรมนีเมื่อ พ.ศ. 2465 อย่างไรก็ตาม บริษัท Du Pont ในประเทศแคนาดาสามารถผลิตยูเรียโดยใช้แคลเซียมไซยานาไมด์เป็นวัตถุดิบตั้งแต่ พ.ศ. 2463 ดังสมการ



ยูเรียเป็นปุ๋ยที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในปัจจุบัน กสิกรชาวเอเชียใช้ยูเรียประมาณร้อยละ 85 ของปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณการใช้ในแถบอื่น ๆ ก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก

1. ยูเรียเป็นปุ๋ยขาวที่สี ตลาคของปุ๋ยนี้ในทวีปเอเชียจึงกว้างขวาง
2. สามารถแปรสภาพในดินและเป็นประโยชน์แก่พืชได้เร็วเมื่อใส่ในดินไร่แถบร้อนชื้น กึ่งร้อน และแถบอบอุ่น
3. มีไนโตรเจนถึง 46 % ซึ่งสูงกว่าปุ๋ยอื่น ๆ
4. ต้นทุนการผลิตไม่สูงนัก

อย่างไรก็ดียูเรียจะให้ผลดีและมีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้โดยถูกวิธีเท่านั้น

คุณสมบัติของปุ๋ยยูเรียมีดังต่อไปนี้

1. ปุ๋ยยูเรียเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ง่ายมาก กล่าวคือน้ำปุ๋ยยูเรียจำนวน 733 กรัม สามารถละลายในน้ำ 100 ลบซม. ที่อุณหภูมิ 100°C
2. ปุ๋ยยูเรียมีความถ่วงจำเพาะ 1.335
3. ปุ๋ยยูเรียเป็นสารประกอบที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง แต่เมื่อใส่ลงในดินจะไม่ทำให้ดินเป็นด่าง และในระยะยาวจะทำให้ดินเป็นกรด

เมื่อมีความชื้น อุณหภูมิและการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสม ยูเรียจะเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรท (NO_3^-) โดยที่ยูเรียจะถูกเร่งด้วยเอนไซม์ยูเรียเอส (urease) ซึ่งแตกตัวให้แอมโมเนีย (NH_3) ออกมา แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนเป็นไนเตรทและปฏิกิริยา Nitrifying bacteria ดังสมการ



และปฏิกิริยาซึ่งให้แอมโมเนียออกมาสสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้อีก 2 ปฏิกิริยาคือ

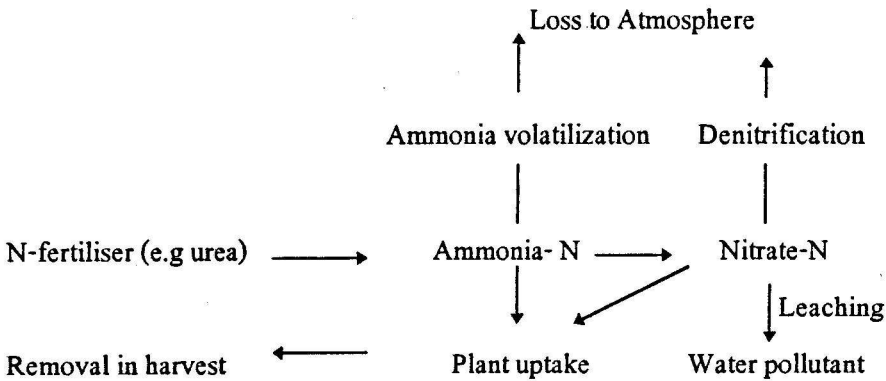
1. ปฏิกิริยา Nitronas ซึ่งแบคทีเรียจะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรต์ (NO_2^-)



2. ปฏิกิริยา Nitrobacter จะเปลี่ยนไนไตรต์ (NO_2^-) เป็นไนเตรท (NO_3^-)



จากความไม่เสถียรทางเคมีของยูเรีย ทำให้ธาตุไนโตรเจนเกิดการสูญหายรวมทั้งการถูกชะล้างโดยน้ำค้างแสนฝ่ำ



การควบคุมอัตราการปลดปล่อยปุ๋ย มีความสำคัญดังนี้

1. เพื่อลดการสูญเสียโดย Volatilization และ de-nitrification (สำหรับปุ๋ยไนโตรเจน) และการชะล้าง

2. เพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารในอัตราที่เหมาะสมต่อความต้องการ

3. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ย เพื่อลดต้นทุนในการผลิตผลผลิตทางการ

เกษตร

4. ลดอัตราการสูญเสียจากการงอกของเมล็ดเนื่องจากความเข้มข้นของปุ๋ยสูงเกินไป

5. ป้องกันการเกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการถูกชะล้างของปุ๋ย

6. เพื่อปรับปรุงสมบัติการเก็บและสมบัติอื่น ๆ

วิธีการที่สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยมีดังนี้ (Hepburn and Arizal, 1988)

วิธีที่ 1 คือ การคิดค้นวิธีการสังเคราะห์ปุ๋ยที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ช้าลง และมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้า ๆ เช่น การห่อปุ๋ยเข้ากับสารพอลิเอทิลีนออกไซด์ และคาร์บอนเนต หรือการทำปฏิกิริยากอนเดนเซชัน (condensation reaction) ระหว่างยูเรียกับหมู่อัลดีไฮด์

วิธีที่ 2 ใช้ปฏิกิริยา Nitrifying Organism ชะลอการสูญเสียไนโตรเจน เพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจนจากปฏิกิริยา De-nitrification

วิธีที่ 3 ใช้สารที่ไม่ละลายน้ำเป็นตัวหุ้มเคลือบ (encapsulation) เพื่อลดอัตราการปลดปล่อยของธาตุอาหารได้ตามความเหมาะสมโดยการใช้สารพอลิเอทิลีน, เรซิน, พาราฟินส์, แอสฟัลท์ ยางสังเคราะห์, ยางธรรมชาติและอื่น ๆ

เทคนิคการควบคุมอัตราการปลดปล่อยของปุ๋ยได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง โดยใช้ปุ๋ยกับพอลิเมอร์ชนิดต่าง เช่น สูตรขางสไตรีน-บิวตะไดอินกับปุ๋ยฟอสเฟต(ในรูป KH_2PO_4) พบว่าการปลดปล่อยฟอสเฟตไอออนของ KH_2PO_4 ขึ้นอยู่กับการออกสูตรขางเป็นสำคัญ กล่าวคือ การปลดปล่อยฟอสเฟตระยะแรกขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของสูตรขางที่ใช้ทดลอง หลังจากนั้นอัตราการปลดปล่อยฟอสเฟตจะเพิ่มขึ้นตามคุณภาพของน้ำและอุณหภูมิ (Helaly and Abo-Elela,1990)

ได้มีการศึกษาการควบคุมอัตราการปลดปล่อยของปุ๋ย (Soong et al;1976) โดยการใช้ปุ๋ย 100 ส่วน (phr) ผสมกับสารละลายขาง 60 ส่วน (สารละลายเข้มข้น 75% ในโทลูอินโดยน้ำหนัก) ทำการผสมกันในถังผสม โดยการกวนด้วยความเร็วสูง หลังจากนั้นนำปุ๋ยผสมผ่านเครื่องเอ็กสทรูด (Extruder) ทำให้แห้งโดยอากาศร้อน (hot air) และผ่านเครื่องตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วจึงมาเคลือบหุ้มผิวเป็นฟิล์มบาง ๆ โดยใช้ 60% น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (pre-vulcanize) โดยใช้หัวฉีดแบบละออง (airatomizing)

มีรายงานว่า (Hepburn and Arizal,1989) ขางธรรมชาติเป็นสารที่เหมาะสมในการห่อหุ้มปุ๋ยยูเรีย เพราะขางธรรมชาติมีความสามารถพิเศษในการเกาะติดกับยูเรียระหว่างถูกบดผสม โดยเตรียมขางให้อยู่ในรูปโครงร่างตาข่าย (matrix encapsulation) โดยการผสมปุ๋ยยูเรียเข้ากับขางธรรมชาติและสารเคมีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ในเครื่องผสมขางสองลูกกลิ้ง Hepburn ได้เสนอวิธีผสมขางแบบใหม่ โดยแบ่งขางออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกผสมกับปุ๋ยยูเรียและสารเคมีอื่นๆ จนเข้ากันดีแล้วจากนั้นจึงเติมขางส่วนที่สอง ซึ่งเรียกว่า sealant ในขั้นตอนสุดท้ายการผสมแบบนี้เรียกวธีการผสมแบบ Split - Feeding พบว่าการผสมวิธีนี้สามารถควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยได้ดีกว่าการผสมแบบ conventional ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบผลการปลดปล่อยไนโตรเจนระหว่างการผสมแบบ Conventional กับแบบ Split feeding ขางธรรมชาติ 100 ส่วน sealant 50 ส่วน ยูเรีย 600 ส่วน โดยแช่ในน้ำที่ $38^{\circ}C$, 24 h

อุณหภูมิผสม ($^{\circ}C$)	วิธีการผสม	
	Conventional (% N release)	Split feeding (% N release)
80	100	14
85	47	15

ในการผสมแบบ split-feeding ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Hepburn and Arizal,1989) พบว่าควรใช้ลูกกลิ้งมี friction ratio 1:1.6 - 1:2.2 ที่อุณหภูมิ $75-82^{\circ}C$ และระยะเวลาการใส่ sealant

ประมาณ 15-20 นาที พบว่า ความดันในการอัดเข้ามีผลต่อการปลดปล่อยยูเรีย (ในรูปแบบไนโตรเจน) เพียงเล็กน้อย ที่ความดันสูงพอที่จะทำให้ไม่เกิดฟองอากาศภายในยางที่วัลคาไนซ์ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์คือ 95°C เพราะถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เมื่อยูเรียจะหลอมหรือยูเรียจะออกมาอยู่ที่ผิวมากทำให้มีอัตราการปลดปล่อยออกมา ยิ่งไปกว่านั้นเขาได้สังเกตว่าถ้าใส่กัมมะถันลงไปในช่วงตอนสุดท้ายของการผสม (การผสมแบบ conventional) จะให้ผลการปลดปล่อยที่ไม่ดี

การศึกษาอัตราการปลดปล่อยยูเรียของยางผสมยูเรีย 100, 200 และ 300 phr ซึ่งเอ็กทруд ออกเป็นแท่งแล้วหุ้มโดยการเคลือบด้วยสารละลายยาง 3% หนา 2 ชั้น (ไพโรจน์และคณะ, 2539) โดยวิธีการให้น้ำไหลผ่านทรายที่มียางตัวอย่างผสมยูเรียฝังอยู่ แล้วเก็บตัวอย่างสารละลายยูเรียที่ไหลออกมากับน้ำที่เวลาต่าง ๆ ไปหาปริมาณการปลดปล่อยยูเรียในรูปแบบไนโตรเจน พบว่าเมื่อปริมาณยูเรียในสูตรยางเพิ่มขึ้น อัตราการปลดปล่อยของยูเรียในรูปแบบไนโตรเจนเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีอัตราการปลดปล่อยในอัตรา 0.82, 2.06 และ 3.16 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง ในขณะที่ยูเรียบริสุทธิ์จะสลายตัวหมดภายใน 15 ชั่วโมง

ชนะภัย (2538) ได้ศึกษาการห่อหุ้มยูเรียโดยใช้ยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ต่างๆ มาเคลือบห่อหุ้มยูเรียแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C แล้วสังเกตลักษณะการห่อหุ้มผิวยูเรียและความสามารถในการละลายน้ำ ผลดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลการสังเกตลักษณะการห่อหุ้มผิวยูเรียและความสามารถในการละลายน้ำ ของยาง และพอลิเมอร์ต่าง ๆ

ชนิดพอลิเมอร์	ความสามารถในการห่อหุ้ม ยูเรีย	การปลดปล่อยยูเรีย
NR	ห่อหุ้มได้บางส่วน ขางไม่เกาะติด บนผิว	ยูเรียละลายหมดทันที
BR	ห่อหุ้มได้บางส่วน ขางไม่เกาะติด บนผิว	ยูเรียละลายหมดทันที
SBR	ห่อหุ้มรอบยูเรีย แต่ผิวไม่เกาะติด กัน	มีบางส่วนที่ห่อหุ้มมิดละลายช้า ส่วนที่ห่อหุ้มไม่มีมิดละลายหมด ทันที
EPDM	ห่อหุ้มรอบยูเรีย แต่ผิวไม่เกาะติด กัน	มีบางส่วนที่ห่อหุ้มมิดละลายช้า ส่วนที่ห่อหุ้มไม่มีมิดละลายหมด ทันที
PS	ห่อหุ้มรอบยูเรีย ผิวเกาะติดกันดี แต่เปราะแตกง่าย	ยูเรียระคายออกมาตามรอยแตก ของ PS
กาว PVC	เกาะติดผิวยูเรียดี แต่เกิดฟอง อากาศเล็ก ๆ	ยูเรียละลายผ่านออกมาตามรู พรุนของฟองอากาศ
กาวปะยางในรถจักรยาน	ไม่เกาะติดผิวยูเรีย	ยูเรียละลายหมดอย่างรวดเร็ว

การควบคุมการปลดปล่อยในรูปแบบอื่น ๆ ของปุ๋ยยูเรีย เช่น การเคลือบด้วยสารอินทรีย์บางชนิด ได้แก่ กรดฮิวมิก(Humic acid) และ กรดอัลจีนิค (Algenic acid) การปลดปล่อยในโตรเจนจากปุ๋ยหาโดยเทคนิค elctroltracentrifution สารอินทรีย์เหล่านี้เคลือบอยู่ที่ผิวของ ปุ๋ย และ พบว่ากรดฮิวมิกสามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ดี (Garciaserna et al;1996)

ยูเรียอาจจะห่อหุ้มด้วยโคพอลิเมอร์ของอะคริลาไมด์กับ divinylbenzene/ N.N'-methylenebisacrylamide/ tetraethyleneglycol diacrylate หรือ pentaerythritol triacrylate และพบว่าระบบที่ใช้ tetraethyleneglycol diacrylate สามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ดีที่สุด (Abraham and Pillai,1996)

บทที่ 3

สารเคมี วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 ยางและสารเคมี

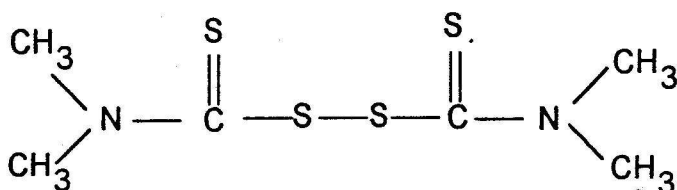
3.1.1 ยางเอสทีอาร์ 5 แอด (STR 5L) ผลิตโดยบริษัทดาวอุตสาหกรรมยางแห่งจำกัด

3.1.2 สดร์คทอล เอ 86 เอ (Struktol A 86 A) เป็นสาร peptising agent ช่วยในการบดยางให้
นุ่มเร็วขึ้น ลักษณะเป็นเกล็ดสีเทา ผลิตโดยบริษัท Behn Meyer จำกัด

3.1.3 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ชนิด White seal เป็นผงสีขาว จัดจำหน่ายโดยบริษัท ส. สาม
พรานเคมีคอล จำกัด

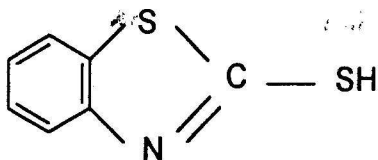
3.1.4 กรดสเตียริก (Stearic acid) ลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวขุ่น จัดจำหน่ายโดยบริษัทอิมพี -
เรียลอินดัสทรีเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.5 สารตัวเร่ง Tetramethyl thiuramdisulphide (TMTD) สูตรทางเคมี



ลักษณะเป็นผงสีขาว เกรดใช้ในอุตสาหกรรมยาง จัดจำหน่ายโดย บริษัทเพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

3.1.6 สารตัวเร่ง 2 - Mercaptobenzothiazole (MBT) สูตรทางเคมี



ลักษณะเป็นผงสีเหลืองน้ำตาล เกรดใช้ในอุตสาหกรรมยาง จัดจำหน่ายโดยบริษัทเพชรไทยเคมี-
ภัณฑ์ จำกัด

3.1.7 ปุ๋ยยูเรีย สูตร 46-0-0 ตราหัววัว-คันไถ ผลิตโดยบริษัทไทยเซนทรัลเคมีจำกัด

3.1.8 โทลูอินชนิด Commercial grade จัดจำหน่ายโดยบริษัทวิทยาศาสตร์ จำกัด

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 เครื่องผสมยาง 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) เป็นอุปกรณ์ใช้ผสมยางและสารเคมี มีขนาด
เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว ความยาวลูกกลิ้ง 20 นิ้ว ทำด้วยเหล็กกล้า อัตราส่วนความเร็วลูกกลิ้งหน้า
ต่อลูกกลิ้งหลัง (Friction ratio) เท่ากับ 1:1.25 ผลิตโดยโรงงานชัยเจริญการช่าง

3.2.2 เครื่องชั่งละเอียดแบบ Electronic Balance ชั่งละเอียดถึงทศนิยม 1 ตำแหน่ง ชั่งได้สูง
สุด 620 กรัม ผลิตโดยบริษัทไทยเครื่องชั่งจำกัด

3.2.3 เครื่องชั่งละเอียดแบบ Electronic Balance ชั่งละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง ชั่งได้สูงสุด 210 กรัม รุ่น AC 210S ผลิตโดยบริษัท Sartorius ประเทศเยอรมัน

3.2.4 เครื่องอัดแป้งแบบไฮดรอลิก ชนิด 20 x 20 นิ้ว ตั้งอุณหภูมิสูงสุดได้ 400°C ความดันสูงสุด 5,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผลิตโดยโรงงานชัยเจริญการช่าง

3.2.5 แม่พิมพ์ (Mould) ใช้สำหรับเตรียมชิ้นทดสอบ มีขนาด 6 x 6 นิ้ว ทำจากเหล็กกล้า

3.2.6 ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Memmert ขนาด 77 x 49 x 45 เซนติเมตร ขนาดภายใน 61 x 40 x 48 เซนติเมตร ปรับอุณหภูมิสูงสุดได้ 250°C

3.2.7 กล้องจุลทรรศน์ชนิด Stereo Microscope ใช้คุณลักษณะของเซลล์ ยี่ห้อ Olympus ผลิตโดยบริษัท Olympus Optical จำกัด ประเทศญี่ปุ่น มีกล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Olympus ของประเทศญี่ปุ่น ติดอยู่ด้านบนเพื่อใช้ถ่ายภาพเซลล์

3.2.8 เครื่องวัดการวัดคานาไนซ์ (Oscillating Disk Rheometer, ODR) ชนิด Monsanto Rheometer รุ่น ODR 2000ผลิตโดยบริษัท Monsanto Co., LTD. ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้จานโลหะเป็นแบบ biconical disk การหมุนจะหมุนกลับไปกลับมา 1 องศา ด้วยความถี่ 100 รอบต่อ นาที วัดค่า torque ที่ได้ใช้สำหรับหา scorch time และ cure time ตั้งอุณหภูมิได้สูงสุด 200°C

3.2.9 เครื่องวัดความหนืด (Mooney Viscometer) ใช้สำหรับวัดความหนืดของยางสามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ 80-180°C ขนาดของโรเตอร์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 38.10 ± 0.03 (โรเตอร์ใหญ่) ใช้ความดันลม 45 lb/in รุ่น DC/684/FD ผลิตโดยบริษัท Spri LTD. ประเทศอังกฤษ

3.2.10 Kjeldahl Apparatus ยี่ห้อ Buchi

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาความหนืด (Mooney Viscosity) ที่เหมาะสมในการใส่ยูเรียของยาง

ทดสอบยางที่ความหนืด 20, 15, 10 และ 5 เพื่อหาความหนืดที่เหมาะสมในการผสมกับยูเรียดังนี้

1. บดยางกับ struktol A 86 A ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งโดยใช้ nip แคบที่สุด
2. นำยางที่บดแล้วไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Mooney Viscometer ที่ ML (1+4) 100
3. นำยางมาผสมกับสารเคมีต่าง ๆ ดังนี้ ZnO, stearic acid, TMTD, MBT และ S ตามลำดับ

โดยใช้เวลาผสม 5 นาที

4. ใส่ยูเรีย โดยให้ยางหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร สังเกตการฟุ้งของเม็ดยูเรียในยาง

3.3.2 การผสมยางและเตรียมขึ้นทดสอบ

ผสมยูเรียปริมาณ 300, 400, 500 และ 600 phr กับยาง STR 5L กับสารเคมีต่างๆ ดังนี้

ส่วนผสม	ผสมแบบ Split feeding ปริมาณ (phr)	ผสมแบบ Conventional ปริมาณ (phr)
ยาง STR 5L	100	150
Struktol A 86 A	1	1
ZnO	3	3
Stearic acid	1.5	1.5
TMTD	0.25	0.25
MBT	0.5	0.5
S	15	15
Urea	300,400,500,600	300
Sealant	50	-

3.3.2.1 วิธีการผสมแบบ Conventional

โดยจะเตรียมขึ้นทดสอบยางผสมยูเรีย 300 , 400 ,500 และ 600 phr แบบ conventional และแบบ Split feeding

1. บดยางกับ struktol A 86 A โดยใช้ระยะ nip แคบที่สุด จนยางมีความหนืด (Mooney Viscosity) ที่ ML (1+4)100 ประมาณ 8-10 ใช้เวลา 15 นาที แล้วผสมกับสารเคมีอื่น ๆ คือ ZnO, stearic acid, TMTD, MBT และ S ตามลำดับ

2. ใส่ยูเรีย 300 phr วิธีการใส่ คือ ตอนแรกขยาย nip ให้กว้างแล้วใส่ยูเรียลงไปทั้งหมดให้เม็ดยูเรียฝังในยาง จากนั้นลดระยะ nip ให้แคบลงเพื่อบดเม็ดยูเรียให้แตก แล้วขยาย nip ให้ยางหนาประมาณ 3-4 มิลลิเมตร และปรับระยะ guide ให้เหมาะสมเพื่อให้เกิด bank ช่วยให้สารเคมีต่าง ๆ ผสมเข้ากันได้ดี ใช้เวลา 20 นาที ในการผสมอุณหภูมิลูกกลิ้งไม่เกิน 40°C

3.3.2.2 วิธีการผสมแบบ Split feeding

ขั้นที่ 1

1. บดยางกับ Struktol A 86 A โดยใช้ระยะ nip แคบที่สุด จนยางมีค่า Mooney Viscosity ML (1+4) 100 ประมาณ 8 - 10 ใช้เวลา 15 นาที แบ่งยางออกเป็น 3 ส่วน ใช้เป็น sealant 1 ส่วน ใช้ผสมกับยูเรีย 2 ส่วน

2. นำยางส่วนที่ใช้ผสมกับยูเรียมาผสมกับ ZnO, Stearic acid และ S ตามลำดับ ใช้เวลา 5 นาที

3. ใส่ยูเรีย เริ่มจากขยา nip ให้กว้างแล้วใส่ยูเรียลงไปทั้งหมดให้ยูเรียฝังอยู่ในยาง จากนั้นลดระยะ nip ให้แคบลงเพื่อบดเม็ดยูเรียให้แตก แล้วขยา nip ให้ยางหนาประมาณ 3-4 มิลลิเมตร และปรับระยะ guide เพื่อให้เกิด bank เพื่อให้สารเคมีต่าง ๆ ผสมเข้ากันได้ดี ใช้เวลา 20 นาที อุณหภูมิลูกกลิ้งไม่เกิน 40°C

ขั้นที่ 2

1. ใส่สารตัวเร่ง TMTD และ MBT

2. ใส่ Sealant ใช้เวลา 20 นาที ม้วนยาง 5 ครั้งแล้วรีดออกมาเป็นแผ่นลูกกลิ้งอุณหภูมิ 80°C เมื่อผสมยางเสร็จทิ้งยางไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างยางไปศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์ ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer แล้วนำไปอัดเบ้าเพื่อเตรียมขึ้นทดสอบ โดยอัดเบ้าที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำขึ้นทดสอบที่อัดเบ้าแล้วไปเก็บไว้ในถุงพลาสติกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบ

3.3.3 เปรียบเทียบการปลดปล่อยยูเรียระหว่างยางที่ผสมแบบ Split feeding กับแบบ Conventional

ทดสอบการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้นของตัวอย่างต่าง ๆ ที่เตรียมได้ดังนี้

1. นำยางมาวัลคาไนซ์โดยกดเบ้าที่อุณหภูมิ 110°C ความดัน 2000 psi เป็นเวลา 15 นาที
2. ตัดขึ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 x 1 นิ้ว แล้วชั่งน้ำหนัก
3. นำขึ้นทดสอบไปแช่น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้น้ำปริมาณ 200 มิลลิลิตร
4. นำขึ้นทดสอบไปอบให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง
5. นำน้ำหนักที่ได้ทั้งสองครั้งมาคำนวณหา % การปลดปล่อยยูเรีย

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\% \text{ปลดปล่อยยูเรีย} = \frac{(\text{น้ำหนักยางก่อนแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักยางหลังอบแห้ง}) \times 100 \dots\dots(1)}{(\text{น้ำหนักยูเรียที่อยู่ในยางก่อนแช่น้ำ})}$$

3.3.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยยูเรียของยางที่ผสมยูเรีย

3.3.4.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิวัลคาไนซ์ที่มีต่ออัตราการปลดปล่อยยูเรีย
ทำการทดลองดังนี้

1. เตรียมยางคอมปอนด์ของยางผสมยูเรีย

2. นำยางคอมเปาคั้ววัลคาไนซ์โดยการอัดเบ้า ใช้ความดัน 2000 psi โดยแปรอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ โดยพยายามจัดให้เกิดเปอร์เซ็นต์การวัลคาไนซ์เท่ากัน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การแปรอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ยางผสมยูเรีย

อุณหภูมิวัลคาไนซ์ (°C)	เวลาวัลคาไนซ์ (นาที)
80	120
90	60
100	30
110	15
120	7.5
130	3.75

3. ตั้งยางผสมยูเรียที่วัลคาไนซ์แล้วไว้ 24 ชั่วโมงก่อนนำมาทดสอบ

4. นำยางผสมยูเรียมาทดสอบการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้น โดยวิธีการแช่น้ำดังข้อ 3.3.3

3.3.4.2 การศึกษาผลของเวลาวัลคาไนซ์ที่มีต่ออัตราการปลดปล่อยยูเรีย

ทำการทดลองดังนี้

1. เตรียมยางคอมเปาคั้วของยางผสมยูเรีย

2. นำยางคอมเปาคั้ววัลคาไนซ์โดยการอัดเบ้าที่อุณหภูมิ 110°C ความดัน 2000 psi โดยแปรเวลาในการวัลคาไนซ์ ดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที

3. ตั้งยางที่วัลคาไนซ์แล้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. นำยางผสมยูเรียมาทดสอบอัตราการปลดปล่อยยูเรียโดยวิธีการแช่น้ำดังข้อ 3.3.3

3.3.4.3 การศึกษา Crosslinked density

หาค่า Crosslinked density ดังต่อไปนี้

1. ตัดชิ้นตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้มีน้ำหนักประมาณ 0.2 กรัม นำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. นำชิ้นทดสอบไปใส่ในขวดรูปชมพู่ ซึ่งบรรจุโทลูอินปริมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วใส่โซเดียมฟอสเฟตปิดปากขวด แล้วนำไปเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

3. นำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนัก โดยมีวิธีชั่งน้ำหนักดังนี้

นำชิ้นทดสอบมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วรีบปิดปากบีกเกอร์ ซึ่งภายในบีกเกอร์จะบรรจุด้วยกระดาษทิชชู นำบีกเกอร์ไปชั่งน้ำหนัก แล้วเอาชิ้นทดสอบออกรีบปิดปากบีกเกอร์ แล้วชั่งน้ำหนักบีกเกอร์อีกครั้ง

4. นำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาค่า Crosslinked density โดยใช้สมการของ Flory-Rhener equation

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Crosslinked density (Blow and Hepburn, 1982)

$$V = \frac{(-\ln(1 - V_r) - V_r - \chi V_r^2)}{V_s(V_r^{1/3} - 1/2V_r)} \dots\dots\dots(2)$$

$$V_r = \frac{W_1/D_{NR}}{(W_1/D_{NR}) + (W_2 - W_1)/D_T} \dots\dots\dots(3)$$

โดย

V = Crosslinked density

V_s = ปริมาตรต่อโมลของโทลูอิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 105.75 (Rodriguey, 1985)

V_r = เศษส่วนปริมาตรของยางในเนื้อยางที่พองตัว

D_T = ความถ่วงจำเพาะของโทลูอิน มีค่าเท่ากับ 0.87

D_{NR} = ความหนาแน่นของยางที่ทดสอบ มีค่าเท่ากับ 1.08 Kg/m³

χ = ครรชนีความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับโทลูอิน = 0.391 (Rodriguey, 1985)

W_1 = น้ำหนักยางก่อนแช่ในโทลูอิน

W_2 = น้ำหนักยางหลังแช่ในโทลูอิน

3.3.5 การศึกษาการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้น

ทดสอบการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้นเปรียบเทียบระหว่าง 1 ชั่วโมงกับ 24 ชั่วโมงของยางผสมยูเรีย 600 phr ดังนี้

1. ตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 x 1 นิ้ว ชั่งน้ำหนัก
2. นำชิ้นทดสอบไปแช่ในน้ำ 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง
3. นำชิ้นทดสอบไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

ครั้ง

4. นำน้ำหนักยางที่ได้จากการชั่งทั้งสองครั้ง ไปคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้นตามสมการที่ 1

3.3.6 การศึกษาลักษณะของเซลล์ยางวัลคาไนซ์ของยางที่ผสมยูเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์

ศึกษา morphology ของยางที่ผสมยูเรียโดยตัดตัวอย่างยางให้เป็นชิ้นบางที่สุด นำไปส่องดูลักษณะเซลล์ของยางที่ผสมยูเรียด้วยกล้อง Stereo. Microscope และบันทึกภาพไว้ และศึกษาลักษณะของเซลล์ยางที่ผสมยูเรียหลังจากยูเรียปลดปล่อยออกหมดแล้ว โดยนำไปแช่ในน้ำจนกระทั่งยูเรียปลดปล่อยออกหมด ซึ่งใช้เวลาประมาณ 10 นาที แล้วนำไปส่องกล้องดูลักษณะเซลล์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาความหนืด (Mooney Viscosity) ที่เหมาะสมในการใส่ยูเรียของยาง

การผสมยูเรียเข้ากับยางในตอนแรกสุดจะต้องให้เม็ดยูเรียติดกับยางหรือฝังอยู่ในยางให้หมดก่อน เพื่อให้สามารถใส่ยูเรียเข้าไปได้ง่าย ดังนั้นยางจึงต้องนุ่ม (Mooney viscosity ต่ำ) พอที่จะให้เม็ดยูเรียฝังในยางได้ หากยางไม่นุ่มพอจะทำให้เม็ดยูเรียไม่ฝังในยาง หากเม็ดยูเรียไม่ฝังในยาง เม็ดยูเรียจะถูกบดเป็นแผ่นแข็ง ๆ ทำให้ผสมเข้าไปในยางได้ยาก ทำให้การผสมยางกับยูเรียทำได้ยาก

ทดสอบความหนืดที่เหมาะสมสำหรับการใส่ยูเรียโดยการนำยาง STR 5L มาบดผสมกับสาร peptising agent คือ Struktol A 86 A ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 30°C โดยใช้ nip แคบที่สุด แล้วนำยางไปวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Mooney Viscometer) ที่อุณหภูมิ 100°C โดยใช้โรเตอร์ใหญ่ แล้วนำยางมาผสมกับสารเคมีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ZnO, stearic acid, TMTD, MBT และ S ตามลำดับ แล้วใส่ยูเรีย 300 phr วิธีการใส่คือขยาย nip ให้ยางหนา 3 มิลลิเมตร แล้วขยาย nip ต่อเพื่อไม่ให้ลูกกลิ้งแตะยาง แล้วใส่ยูเรียลงไป สังเกตการฝังตัวของเม็ดยูเรียในยางโดยเม็ดยูเรียจะต้องไม่ร่วงหล่นลงมา

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาความหนืดของยางและลักษณะของการฝังตัวของยูเรียในยาง

ความหนืดของยาง, ML 1+4 (100 °C)	การฝังตัวของยูเรียในยาง
20	เม็ดยูเรียไม่ฝังในยาง
15	เม็ดยูเรียไม่ฝังในยาง
10	เม็ดยูเรียฝังในยางได้ดี
5	เม็ดยูเรียฝังในยางได้ดี

4.2 การศึกษาการปลดปล่อยยูเรียเปรียบเทียบระหว่างการผสมแบบ Conventional กับแบบ Split feeding

การศึกษาการปลดปล่อยยูเรียของยางผสมยูเรียแบบปกติศึกษาโดยการผสมยางแบบปกติโดยใช้ยูเรีย 300 phr ผสมกับเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 30°C วิธีการผสมคือ บดยางกับ Struktol A 86 A แล้วใส่ ZnO, stearic acid, TMTD, MBT, S และยูเรียตามลำดับ แล้วนำยางไปวัลคาไนซ์โดยการอัดเบ้าที่อุณหภูมิ 110°C ความดัน 2000 psi เป็นเวลา 15 นาที นำยางที่วัลคาไนซ์แล้วไปทดสอบการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้นโดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง การปลดปล่อยยูเรียคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ยูเรียที่หายไปต่อปริมาณยูเรียทั้งหมดในชั้นทดสอบ

การศึกษาการปลดปล่อยยูเรียของยางผสมยูเรียแบบ Split feeding ศึกษาโดยการผสมยางด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 30°C วิธีการผสมคือ บดยางกับ Struktol A 86 A แล้วใส่สารเคมีต่าง ๆ ลงไป เมื่อใส่ยูเรียเสร็จก็ใส่ยาง sealant ผสมลงไป แล้วนำยางไปวัลคาไนซ์และทดสอบการปลดปล่อยยูเรียด้วยวิธีเดียวกับยางที่ผสมแบบ Conventional (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการปลดปล่อยยูเรียระหว่างการผสมแบบ Conventional กับแบบ Split feeding โดยใช้ชั้นทดสอบขนาด 1x1 นิ้วแช่ในน้ำกลั่น 1 ชั่วโมง

ปริมาณยูเรีย(phr)	วิธีการผสม	ปริมาณการปลดปล่อยยูเรีย (%)
300	Conventional	90.06
	Split feeding	19.00
400	Conventional	94.50
	Split feeding	27.23
500	Conventional	95.11
	Split feeding	28.32
600	Conventional	96.54
	Split feeding	20.56

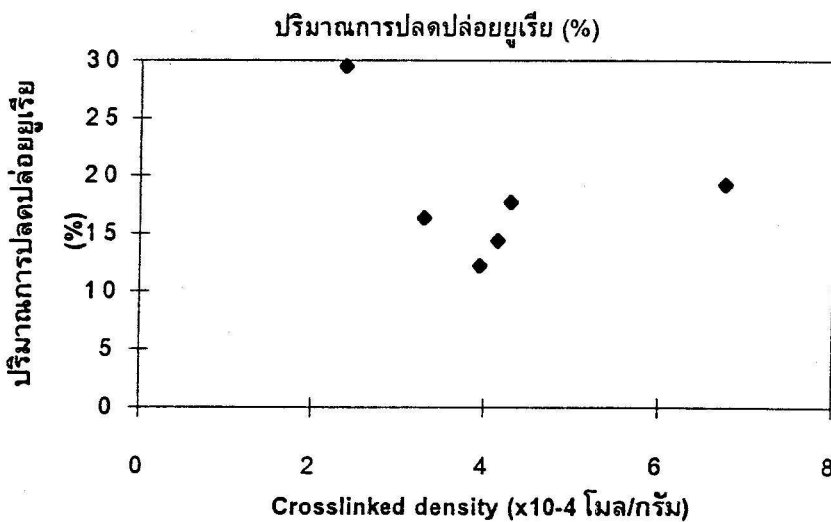
4.3 การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยยูเรียของยางผสมยูเรีย

4.3.1 การศึกษาผลของการแปรอุณหภูมิวัลคาไนซ์ที่มีต่อการปลดปล่อยยูเรีย

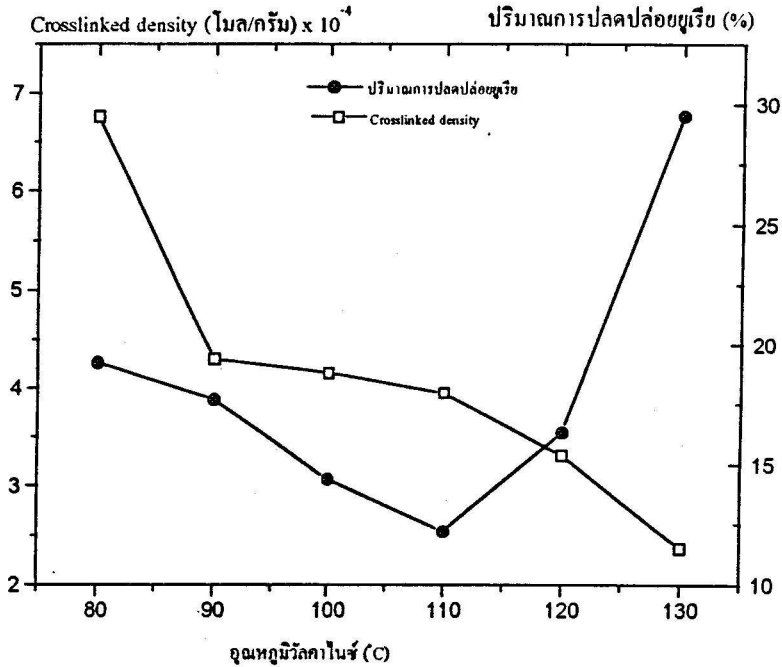
ผลการศึกษาโดยการนำยางที่ผสมกับยูเรีย 600 phr ด้วยวิธี Split feeding มาวัลคาไนซ์โดยการอัดเข้าที่ความดัน 2000 psi ตามเวลาและอุณหภูมิวัลคาไนซ์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 โดยเวลาวัลคาไนซ์ลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิวัลคาไนซ์ 10°C จากนั้นนำยางวัลคาไนซ์มาทดสอบการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้นโดยการแช่น้ำ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C และทดสอบหาค่า Crosslinked density โดยวิธีการแช่ยางในโทลูอีนเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจึงหาค่าน้ำหนักยางที่บวมพองในโทลูอีนเพื่อคำนวณค่า Crosslinked density ผลที่แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิวัลคาไนซ์ ค่า Crosslinked density และปริมาณการปลดปล่อยยูเรีย

อุณหภูมิวัลคาไนซ์ (°C)	Crosslinked density (โมล/กรัม)	ปริมาณการปลดปล่อยยูเรีย (%)
80	6.755×10^{-4}	19.22
90	4.290×10^{-4}	17.69
100	4.148×10^{-4}	14.37
110	3.944×10^{-4}	12.21
120	3.312×10^{-4}	16.32
130	2.369×10^{-4}	29.52



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณการปลดปล่อยยูเรียกับ crosslinked density ของยางแปรอุณหภูมิวัลคาไนซ์



รูปที่ 4.2 ผลการแปรอุณหภูมิวัลคาไนซ์ที่มีผลต่อการปลดปล่อยยูเรียและค่า crosslinked density ของยางผสมยูเรีย

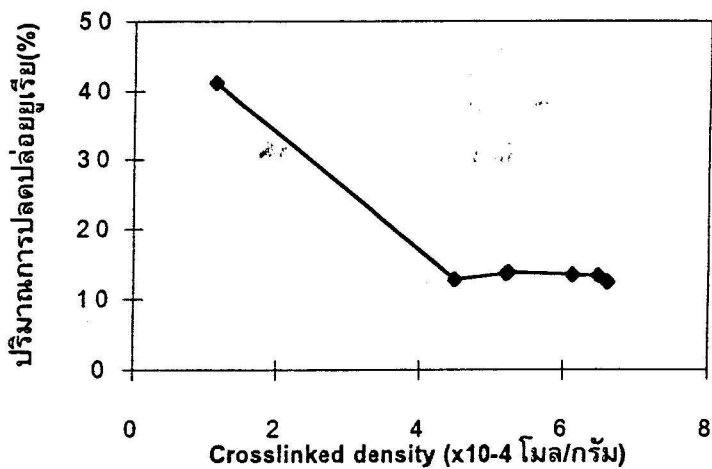
ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณการปลดปล่อยยูเรียกับ crosslinked density ของยางแปรอุณหภูมิวัลคาไนซ์แสดงในรูปที่ 4.1 การปลดปล่อยยูเรียจะต่ำสุดที่ crosslinked density มีค่าเป็น 3.9×10^{-4} โมล/กรัม รูปที่ 4.2 แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นการปลดปล่อยยูเรียจะลดลงเมื่ออุณหภูมิวัลคาไนซ์สูงกว่า 110°C การปลดปล่อยยูเรียกลับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ค่า crosslinked density ลดลงเมื่ออุณหภูมิวัลคาไนซ์สูงขึ้น

4.3.2 การศึกษาผลของการแปรเวลาวัลคาไนซ์ที่มีต่อการปลดปล่อยยูเรีย

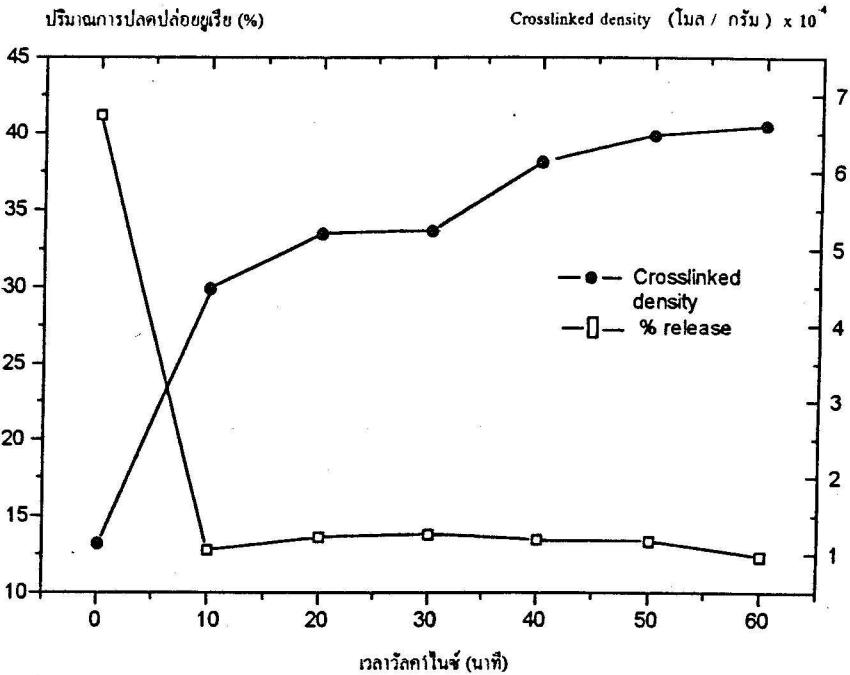
การนำยางที่ผสมกับยูเรีย 600 phr โดยวิธี split feeding มาวัลคาไนซ์ ด้วยการอัดเบ้าที่อุณหภูมิ 110°C ความดัน 2000 psi โดยแปรเวลาวัลคาไนซ์ตั้งแต่ 0-60 นาที แล้วนำยางวัลคาไนซ์มาทดสอบการปลดปล่อยยูเรียโดยการแช่น้ำอุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และการทดสอบหาค่า crosslinked density โดยการนำชิ้นทดสอบมาแช่ในโทลูอีนที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำน้ำหนักยางที่บวมพองในโทลูอีนมาคำนวณค่า crosslinked density ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของเวลาวัลคาไนซ์ต่อค่า crosslinked density และปริมาณการปลดปล่อยยูเรีย

เวลาวัลคาไนซ์ (นาทึ)	Crosslinked density (โมล/ กรัม)	ปริมาณการปลดปล่อยยูเรีย (%)
0	1.142×10^{-4}	41.18
10	4.489×10^{-4}	12.76
20	5.200×10^{-4}	13.62
30	5.233×10^{-4}	13.79
40	6.123×10^{-4}	13.42
50	6.468×10^{-4}	13.34
60	6.602×10^{-4}	12.35



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง crosslinked density กับปริมาณการปลดปล่อยยูเรียของยางแปรรูปเวลาวัลคาไนซ์



รูปที่ 4.4 ผลของเวลาวัลคาไนซ์ต่อค่า crosslinked density และการปลดปล่อยยูเรีย

ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 แสดงว่ายางที่ไม่วัลคาไนซ์จะมีการปลดปล่อยยูเรียสูงที่สุดส่วนยางที่วัลคาไนซ์ 10 นาทีเป็นต้นไปจะมีการปลดปล่อยยูเรียในปริมาณใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 12% ขณะที่ค่า crosslinked density ของยางเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น

4.4 การปลดปล่อยยูเรียของยางผสมยูเรีย

การปลดปล่อยยูเรียในรูปไนโตรเจนของเม็ดยูเรียบริสุทธิ์กับยางผสมยูเรีย

4.4 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของยางผสมยูเรีย

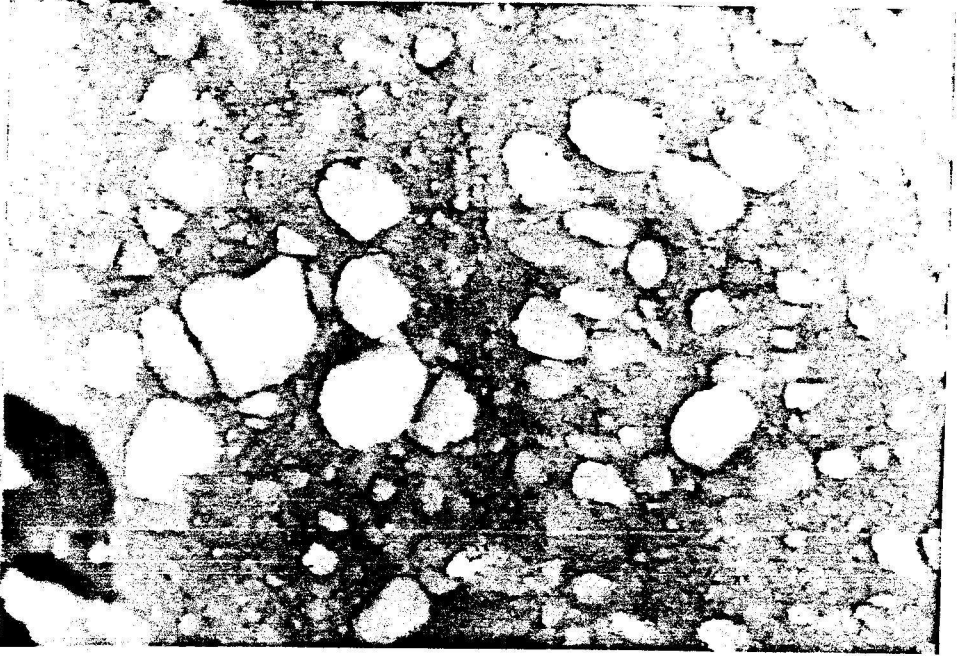
เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของยางผสมยูเรียว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร จึงทำให้มีการปลดปล่อยที่น้อย โดยศึกษาทั้งของยางที่ผสมยูเรีย 300 phr ด้วยวิธี Conventional , ยางผสมยูเรีย 300 phr ด้วยวิธี Split feeding และยางผสมยูเรีย 600 phr ด้วยวิธี Split feeding โดยคุณลักษณะของยางผสมทั้งแบบที่มียูเรียและแบบที่ยูเรียละลายออกไปหมดแล้ว วิธีการศึกษาคือ นำยางที่จะศึกษามาวัลคาไนซ์โดยการอัดเข้าที่อุณหภูมิ 110°C ความดัน 2000 psi เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมาส่องคุณลักษณะโครงสร้างของยางผสมยูเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งให้ผลดังรูปที่ 4.5 - 4.10



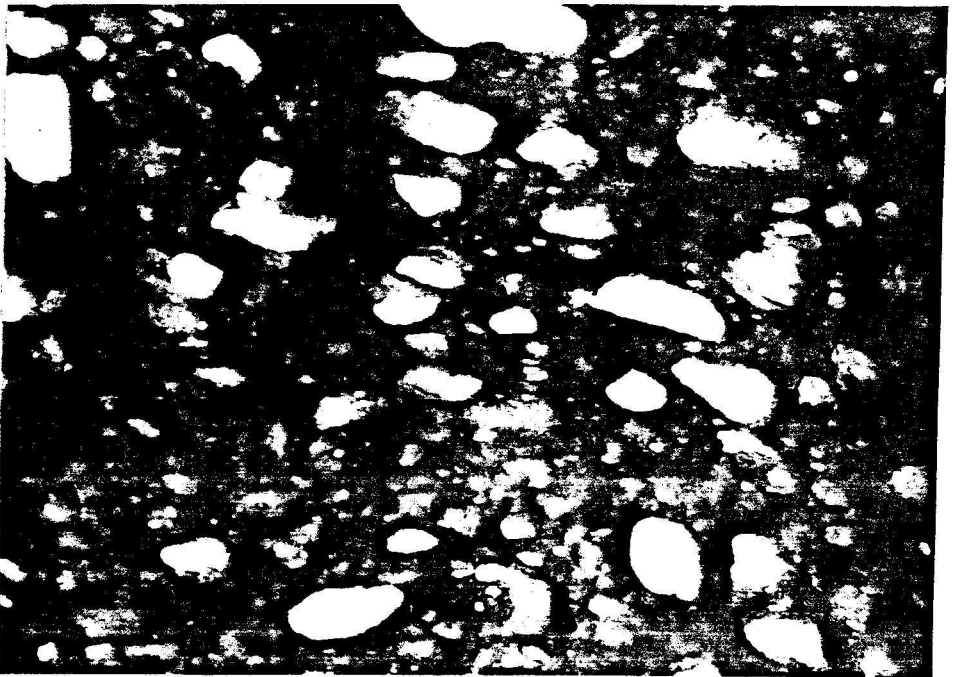
รูปที่ 4.5 ลักษณะโครงสร้างของผสมซูเรียช 300 phr แบบ Conventional ก่อนซูเรียชปลดปล่อยออกมา (กำลังขยาย 100 เท่า)



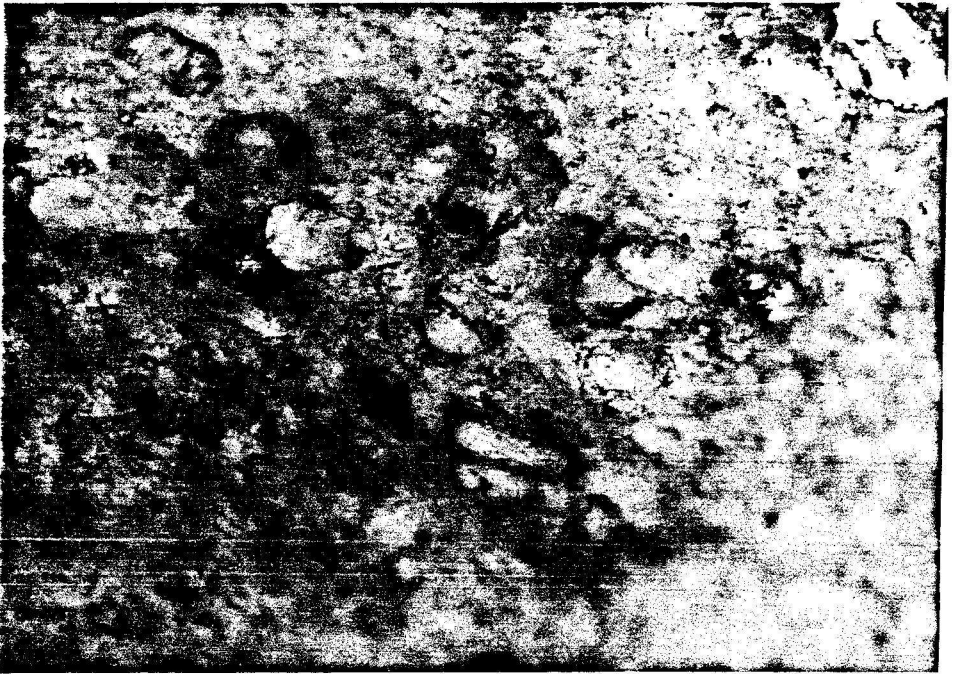
รูปที่ 4.6 ลักษณะโครงสร้างของผสมซูเรียช 300 phr แบบ Conventional หลังจากปลดปล่อยซูเรียชออกมาหมดแล้ว (กำลังขยาย 100 เท่า)



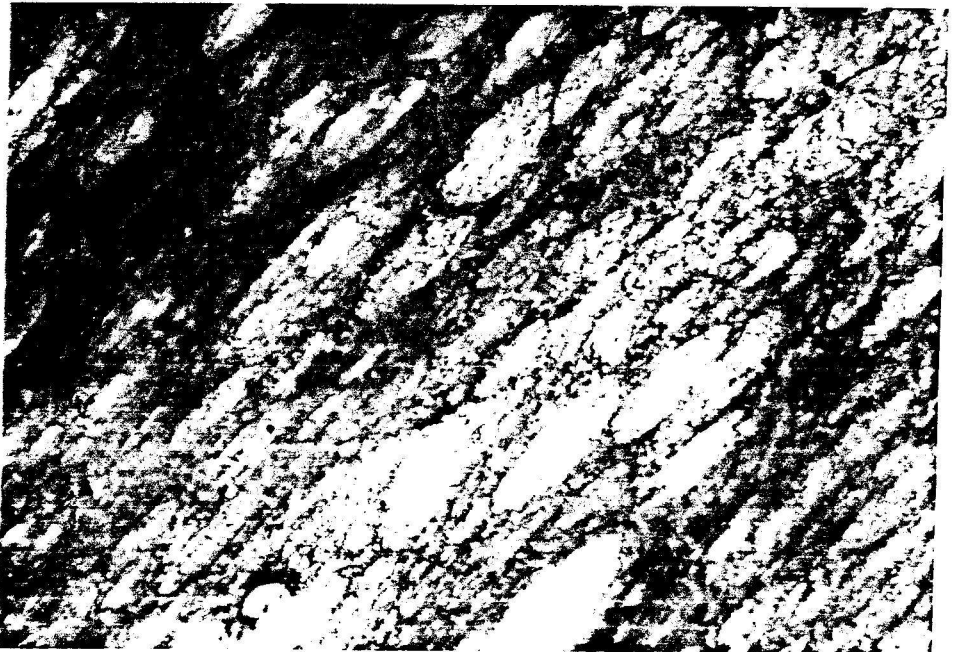
รูปที่ 4.7 ลักษณะโครงสร้างของผสมยูเรีย 300 phr แบบ Split feeding ก่อนยูเรียปลดปล่อยออกมา (กำลังขยาย 100 เท่า)



รูปที่ 4.8 ลักษณะโครงสร้างของผสมยูเรีย 300 phr แบบ Split feeding หลังจากยูเรียปลดปล่อยออกมาหมดแล้ว (กำลังขยาย 100)



รูปที่ 4.9 ลักษณะ โครงสร้างของผสมยูเรีย 600 phr แบบ Split feeding ก่อนปลดปล่อยยูเรียออกมา (กำลังขยาย 100 เท่า)



รูปที่ 4.10 ลักษณะ โครงสร้างของผสมยูเรีย 600 phr แบบ Split feeding หลังจากยูเรียปลดปล่อยออกมาหมดแล้ว (กำลังขยาย 100)

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการศึกษาความหนืดที่เหมาะสมของยางก่อนใส่ยูเรีย

จากการทดลอง (ตารางที่ 4.1) พบว่าความหนืดที่เหมาะสมของยางสำหรับผสมกับยูเรียคือ $MV=10$ ที่ $ML (1+4)100$ เพราะเมื่อยูเรียจะฝังในยางได้ดี ถ้ายางมีความหนืด $ML (1+4)100$ มากกว่า 10 เมื่อยูเรียจะไม่ฝังในยาง เพราะยางจะแข็งและการเกาะติดไม่ดีทำให้เมื่อยูเรียแทรกตัวเข้าไปได้ยาก สำหรับยางที่มีความหนืดต่ำกว่า 10 เมื่อยูเรียจะฝังในยางได้ดีเช่นกันแต่จะแต่ละจะต้องใช้เวลาในการบดขยำนาน

5.2 ผลการศึกษาการปลดปล่อยยูเรียเปรียบเทียบระหว่างการผสมแบบ Conventional กับแบบ Split feeding

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.2) แสดงว่า ปริมาณการปลดปล่อยยูเรียของการผสมแบบ feeding Split น้อยกว่าการผสมแบบ conventional มาก การผสมแบบ Split feeding ที่ยูเรีย 300-600 phr มีการปลดปล่อยยูเรียในช่วง 20-30 % ในเดือนไซท์ที่แช่อยู่ในน้ำ 24 ชั่วโมง เดือนไซท์นี้จัดเป็นเดือนไซท์ที่รุนแรงมากเพราะปุ๋ยยูเรีย ในปริมาณเท่ากันนั้นสามารถละลายได้หมดภายในเวลา 10 นาที ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Hepburn and Arizal (1988) จากผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของยางผสมยูเรีย 300 และ 600 phr ที่ผสมด้วยวิธี conventional และ Split feeding ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (รูปที่ 4.5-4.10) พบว่า ยางผสมยูเรียแบบ split feeding ยางห่อหุ้มยูเรียมีลักษณะเป็นเซลล์ปิดเป็นส่วนใหญ่ ภายในเซลล์จะมีเม็ดยูเรียขนาดเล็ก อยู่ ดังนั้นยูเรียจึงละลายน้ำออกมาได้น้อยและช้า ส่วนโครงสร้างของยางผสมยูเรียผสมแบบ conventional ยางห่อหุ้มยูเรียมีลักษณะเป็นเซลล์เปิดเหมือนฟองน้ำเป็นส่วนใหญ่ดังนั้นยูเรียจึงละลายน้ำออกมาได้ง่ายและเร็ว และเมื่อยูเรียละลายน้ำออกไปหมดแล้วโครงสร้างของยางมีลักษณะเป็นรูพรุน ดังรูปที่ 4.6, 4.8 และ 4.10

5.3 ผลการศึกษาการแปรอุณหภูมิวัลคาไนซ์ที่มีต่อการปลดปล่อยยูเรียเบื้องต้น

ผลการทดลองศึกษาผลของอุณหภูมิวัลคาไนซ์ของยางผสมแบบ split-feeding ต่อการปลดปล่อยปุ๋ย โดยที่พยายามรักษาระดับการวัลคาไนซ์ เวลาวัลคาไนซ์จะลดลงครึ่งหนึ่งเพิ่มอุณหภูมิวัลคาไนซ์ 10°C ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 เมื่ออุณหภูมิวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น การปลดปล่อยยูเรียจะลดลงและการปลดปล่อยน้อยที่สุดที่อุณหภูมิวัลคาไนซ์ 110°C ปริมาณการปลดปล่อยยูเรียสอดคล้องกับค่า crosslinked density ยางมี crosslinked density น้อยเกินไปจะมีการ

ปลดปล่อยยูเรียมาก จากการทดลองจะเห็นว่าค่า crosslinked density ตั้งแต่ 3×10^{-4} โมล/กรัม จะมีการปลดปล่อยยูเรียในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

ผลการทดลองนี้คล้ายคลึงกับของ Hepburn (Hepburn and Arizal, 1988) คือการปลดปล่อยของยางห่อหุ้มยูเรียจะมีปริมาณการปลดปล่อยยูเรียจะลดลงเมื่ออุณหภูมิวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นจนเพิ่มขึ้นถึง 90°C การปลดปล่อยจะน้อยที่สุด หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิวัลคาไนซ์ต่อไปการปลดปล่อยยูเรียจะเพิ่มขึ้น แต่การทดลองที่ได้การปลดปล่อยยูเรียน้อยที่สุดที่อุณหภูมิวัลคาไนซ์ 110°C

5.4 ผลการศึกษาการแปรเวลาวัลคาไนซ์ที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยยูเรีย

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4) พบว่ายางที่ไม่วัลคาไนซ์มีปริมาณการปลดปล่อยยูเรียสูงที่สุด แต่เมื่อมีการวัลคาไนซ์ยางที่อุณหภูมิ 110°C ตั้งแต่ 10 นาทีเป็นต้นไป จะมีการปลดปล่อยที่ลดลงและอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน เพราะยางที่ไม่วัลคาไนซ์จะมี crosslinked density น้อยเกินไป และการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เกิด crosslinked density ในปริมาณที่เพียงพอต่อการควบคุมการปลดปล่อยยูเรีย เพราะแม้ว่าจะมี crosslinked density เพิ่มขึ้นอีกเพียงใดก็ตามก็จะมีปริมาณการปลดปล่อยยูเรียในปริมาณเท่านี้

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Hepburn and Arizal (1989) พบว่าให้ผลการทดสอบที่คล้ายคลึงกัน คือ ยางที่ไม่วัลคาไนซ์จะมีการปลดปล่อยยูเรียสูงที่สุด

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

1. ความหนืดของยางที่เหมาะสมสำหรับใช้ผสมกับยูเรีย โดยให้ยูเรียฝังในยางได้ดี มีค่า $MV = 10 \text{ ML } (1+4)100$
2. ยางผสมแบบปกติจะมีการปลดปล่อยยูเรียสูงกว่ายางผสมแบบ Split feeding
3. สภาวะที่เหมาะสมในการวัดคาไนซ์ยางผสมยูเรียคือ การวัดคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 10 นาที ความดันไม่มีผลต่อการวัดคาไนซ์มากนัก
4. โครงสร้างของยางผสมยูเรียแบบ conventional ส่วนใหญ่เป็นเซลล์เปิด ส่วนโครงสร้างของยางผสมยูเรียแบบ split feeding ส่วนใหญ่เป็นเซลล์ปิด

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดลองนำยางผสมยูเรียโดยวิธี split feeding มาเคลือบน้ำยางอีกครั้ง เพราะแผ่นฟิล์มยางสามารถกั้นโมเลกุลของน้ำได้ จะทำให้การปลดปล่อยยูเรียออกมาได้น้อยลงอีก
2. ควรใช้เครื่องผสมยางที่มี friction ratio ที่สูงกว่า 1:1.55 เพื่อให้สามารถผสมยางเข้ากับยูเรียได้ดียิ่งขึ้นทำให้มีการปลดปล่อยยูเรียน้อยลงเพราะยางสามารถห่อหุ้มยูเรียได้ดีขึ้น
3. ควรทดลองใช้ปุ๋ยชนิดอื่นๆ บ้างเช่น ปุ๋ยฟอสฟอรัส ปุ๋ยโพแทสเซียม เพื่อเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยกับปุ๋ยยูเรีย
4. ปุ๋ยห่อหุ้มด้วยยางธรรมชาติมีต้นทุนในการผลิตสูงจึงไม่เหมาะกับการใช้งานในการเกษตรโดยทั่วไป แต่เหมาะกับการใช้กับพวกไม้ดอกไม้ประดับหรือการทำสวนหย่อม ซึ่งต้องการการดูแลเอาใจใส่มาก
5. ควรทดลองใช้ Thermoplastic Elastomer ห่อหุ้มยูเรีย เพราะสะดวกในการผลิต คือสามารถผสมกับยูเรียได้ในเครื่อง Extruder แบบ twin screw เมื่อเอ็กทูดซยางออกมา也不需要นำไปวัดคาไนซ์อีก สามารถนำไปใช้งานได้เลย

เอกสารอ้างอิง

1. ชนะภัย โกมลตรี. 2538. การผลิตยางธรรมชาติห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียเพื่อใช้ในระบบควบคุมการปลดปล่อย. วิทยานิพนธ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์..
2. ประวิตร วงศ์สุคนธ์ วารุณี บุญนำ จันทวรรณ คงเจริญ และอนันต์ สุวรรณรัตน์. 2539. ความก้าวหน้าและแนวทางการดำเนินงานด้านการผลิตยางของสถาบัน. ก้าวใหม่ของยางไทย. สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร. หน้า 3-12.
3. ปิยะ ดวงพัตรา .2538. หลักการและวิธีใช้ปุ๋ยเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. หน้า 25..
4. ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ มนัส แซ่ด่าน และ ชนะภัย โกมลตรี . 2539. การใช้ยางธรรมชาติห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียเพื่อควบคุมอัตราการปลดปล่อยในโตรเจน. ว.สงขลานครินทร์ 18(1): 69-75.
5. ชงยุทธ โอสถสภา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพมหานคร.
6. สถิติการผลิต. 2537.วารสารสถิติรายไตรมาส. สำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี้; 42(2):50.
7. สถิติเศรษฐกิจ. 2537. วารสารเศรษฐกิจธนาคารกรุงเทพจำกัด. 26(9):38.
8. สถิติเศรษฐกิจ. 2536. วารสารเศรษฐกิจธนาคารกรุงเทพจำกัด. 25(11):40.
9. สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน. 2535. ปุ๋ยกับการพัฒนาการเกษตร; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; กรุงเทพมหานคร.
10. Abraham, J. and Pillai, V.N.R. 1996. Membrane-Encapsulated Control-Release Urea Fertilizers Based on Acrylamide Copolymers. J. App. Polym. Aci. 60(13):2347-2351.
11. Boonstra, B.B.1982. Reinforcement by Fillers. in Rubber Technology and Manufacture; 2nd ed; ed. by C.M.Blow and C.Hepburn. pp. 299-301
12. Garciaserna, J; Juarez, M; Jorda, J. and Sanchezandreu, J. 1996. Inffluce of Organic Compounds on Nitrogen-Fertilizer Solubilization. Communication in Soil Science and Plant Analysis.27(11):2485-2491.
13. Helaly,F.M. and Abo-Elela, S.I. 1990. Protection of Surface Water from Eutrophication via Controlled Release of Phosphate Fertilizer. J. Controlled Release 12:39-40.

- 14 Hepburn, C. and Arizal, R. 1989. Controlled Release Urea Fertiliser. *Plastics Rubber Processing and applications*; 12:129-134.
15. Hepburn, C. and Arizal, R. 1988. Slow-Release Fertiliser Based on Natural Rubber. *Brit. Polym. J.* 20:487-491.
16. Morrel, S.H.1982. *The Chemistry and Technology of Vulcanisation in Rubber Technology and Manufacture.* 2nd ed;ed by. C.M.Blow and C.Hepburn. p.198.
17. Paul, D.R. and Harris, F.W. 1976. Controlled Release Polymeric Formulation. *Am. Chem. Sym. Ser.*33. pp. 1-14.
18. Rodrigyez, F. 1985. *Principles of Polymer System*; 2nd. ed; McGraw-Hill International Book Company; Singapore. p. 28.
19. Soong, N.K; Yeoh, C.S; Chin, S.L. and Haridas, G. 1976. Natural Rubber Encapsulated Fertiliser for Controlled Nutrient Release. *Proceeding of RRIM Planters' Conference.* pp.63-74.