บทคัดย่อ

เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ใช้สำหรับบดสารเคมีที่เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ ให้อยู่ในรูปของสารดิสเพอร์ชั่น สำหรับผสมกับน้ำยางข้น เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ประกอบด้วย 2 ระบบ คือ ระบบส่งกำลังและระบบการกวน ระบบส่งกำลัง ประกอบด้วยเพลา 2 อัน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร (0.71 นิ้ว) ทำหน้าที่ส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 373 วัตต์ (0.5 แรงม้า) ไปยังใบกวน ระบบการกวน ประกอบด้วย ใบพัดใช้กวน เป็นใบพัดแบบ Propellers บิดเอียง 45 องศา สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ กำมะถัน 650 กรัม น้ำ 624 กรัม วัลทามอล 13 กรัม และเบนโทไนท์ 13 กรัม มวลรวมของสารทั้งหมดเท่ากับ 1,300 กรัม คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถัง การแปรค่าลักษณะของใบกวน 4 แบบ คือ ใบกวน 3 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ ใบกวน 3 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ ใบกวน 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ และใบกวน 5 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที พบว่าสภาวะการทำงานเหมาะสมที่สุด คือ การกวนด้วยใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ ด้วยความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ได้ความหนืดของสารดิสเพอร์ชั่นภายหลังการบด มีค่า 21 35.5 และ 50 เซนติพอยส์ และอนุภาคของสารที่ได้มีค่า 8.45 7.48 และ 5.99 ไมครอน เมื่อกวนถึงชั่วโมงที่ 1 3 และ 5 ตามลำดับ

ABSTRACT

The dispersion mill is used for milling water-insoluble chemical compounds to be the dispersion form for mixing with concentrated latex. It consists of 2 components-the transmission system and the stirring system. The power train system consists of two shafts with each one having a diameter of 18 millimeters (0.7 inch) driven by a shaft of an AC electric motor of 373 Watts (0.5 Hp). The propeller paddles inclined to 45 degrees toward the horizon were designed for the stirring system. The composition of the chemical compounds used in this experiment were 650 grams of Sulfur , 624 grams of water, 13 grams of Vultamol and 13 grams of Bentonite clay. The total mass of the chemical compounds was 1,300 grams (50 percent of a tank volume). Four configurations of the paddle stirrer (3-layer paddle having 2 paddles in each layer; 3-layer paddle having 4 paddles in each layer; 5-layer paddle having 2 paddles in each layer; and 5-layer paddle having 4 paddles in each layer) were tested. The stirring velocity was 1,450 rounds per minute. The optimum condition was the 5-layer paddle having 2 paddles in each layer with the stirring speed of 1,450 rounds per minute. The dispersion compound had a viscosity of 21, 35.5 and 50 centipoises. The particle size of the chemical compounds was 8.45, 7.48 and 5.99 microns when stirring for 1, 3 and 5, respectively.

รายงานฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

THE DESIGN AND FABRICATION OF THE DISPERSION MILL

ศิวโรฒ บุญราศรี

มีนาคม 2549

สัญญาเลขที่ RDG4850065

รายงานฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

THE DESIGN AND FABRICATION OF THE DISPERSION MILL

ผู้วิจัย

ศิวโรฒ บุญราศรี

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กลุ่มโครงงานวิจัยขนาดเล็กออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จุ่มน้ำยางระดับชุมชน – แม่โจ้ (2)

Research and Development of Latex Dipping Equipment for Community Products – MJU Small Project Group (2)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการทำวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

หน้าสรุปโครงการ

1. ชื่อโครงการ การออกแบบและสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

คำสำคัญ เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ดิสเพอร์ชั่น น้ำยางข้น

The Design and Fabrication of The Dispersion Mill

Keywords dispersion mill, Dispersion, Concentrated latex

2. ชื่อหัวหน้าโครงการ อาจารย์ศิวโรฒ บุญราศรี

หน่วยงาน คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053-875-544

โทรสาร 053-498-902

E-mail siwaroj@mju.ac.th , oproj@hotmail.com

3. หน่วยงาน ชื่อสถาบันที่ติดต่อของผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานของหัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล อาจารย์รชฎ เชื้อวิโรจน์
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053-875-544

โทรสาร 053-498-902

E-mail -

4. ระยะเวลา การดำเนินงาน 1 สิงหาคม 2548 - 31 มีนาคม 2549 (8 เดือน)

6. แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน (เดือน)							
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาเครื่องบดสารเคมี	▒							
2. ศึกษาและออกแบบระบบการหมุน		▒	▒					
3. ออกแบบเครื่องบดที่จะพัฒนา			▒					
4. ประกอบเครื่องบดที่ได้ออกแบบ			▒	▒				
5. ทดสอบผลการทำงาน				▒				
6. ประเมินสมรรถนะของเครื่อง					▒			
7. จัดทำรายงานและเตรียมนำเสนองาน						▒	▒	▒

7. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันเกษตรกรในภาคเหนือของประเทศไทย สนใจปลูกยางพารามากขึ้น เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐบาล ในอนาคตคาดว่าจะมีการแปรรูปยางพาราในภาคเหนือ และเป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับความนิยมสำหรับเกษตรกร ดังนั้น ความรู้ ความเข้าใจ กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์น้ำยางมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง การเตรียมน้ำยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์ ต้องนำน้ำยางและสารเคมีผสมกันทำให้น้ำยางมีคุณสมบัติพร้อมที่จะนำไปแปรรูป สารเคมีที่ใช้ผสมต้องสามารถรวมตัวกับน้ำยางพาราที่มีขนาดอนุภาคเล็กได้ สารเคมีที่เป็นของแข็งถ้าละลายในน้ำได้ ให้ใส่ในรูปของสารละลาย แต่ถ้าละลายในน้ำไม่ได้ ต้องบดให้เล็กลงสามารถกระจายในน้ำในรูปของสารดิสเพอร์ชั่น (dispersion) การเตรียมสารดิสเพอร์ชั่น(dispersion) จำเป็นต้องใช้เครื่องมือสำหรับการบดสารเคมีให้เป็นสารดิสเพอร์ชั่น(dispersion) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด สำหรับเครื่องมือที่นิยมใช้ได้แก่เครื่องบอลมิล(Ball mill), เครื่องแอทตริเตอร์มิล (Attritor mill), และ เครื่องคอลลอยด์มิล (Colloid mill)

ทั้งนี้ เครื่องมือที่มีอยู่ในปัจจุบันมีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น การใช้เวลานาน ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และค่าใช้จ่าย ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและออกแบบเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล (Dispersion mill) ให้สามารถใช้ในระดับชุมชน สำหรับเตรียมสารเคมีผสมกับน้ำยางสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำยางของภาคเหนือในอนาคต

8. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเครื่องบดแบบ Dispersion mill ต้นแบบขนาดเล็ก สำหรับการบดสารเคมีที่เป็นของแข็งให้มีขนาดเล็กกระจายในน้ำได้

2. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการบดสารเคมี

3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยด้านเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสาร Dispersion และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

9. ทางเลือกและแนวทางแก้ปัญหา

สารเคมี ที่ใช้ผสมกับน้ำยางมีสภาพเป็นของแข็งและของเหลว สารเคมีที่เป็นของแข็งมีทั้งสามารถละลายในน้ำได้ และไม่สามารถละลายในน้ำ สารเคมีที่สามารถละลายในน้ำจะเตรียมอยู่ในรูปของสารละลายนำมาผสมกับน้ำยาง สารเคมีที่ไม่สามารถละลายในน้ำต้องบดให้มีขนาดเล็ก ให้สามารถกระจายตัวในน้ำ อยู่ในรูปของสารดิสเพอร์ชั่น สำหรับสารเคมีที่มีสภาพเป็นของเหลว ไม่สามารถละลายน้ำ เช่น น้ำมัน จะทำให้อยู่ในรูปของสารอิมัลชั่น สารเคมีที่ใช้บดสำหรับการเตรียมดิสเพอร์ชั่นต้องมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับอนุภาคของน้ำยาง คือ ประมาณ 1.2 ไมครอน และไม่เกิน 5 ไมครอน

เครื่องมือที่ใช้เตรียมดิสเพอร์ชั่น มีอยู่หลายชนิด เช่น เครื่อง Attritor mill เป็นเครื่องบดสารเคมีที่ประกอบด้วย ถังทรงกระบอกวางอยู่ในแนวดิ่ง มีใบกวนอยู่ภายในถัง ภายในถังจะบรรจุลูกหินหรือลูกเซรามิกกลม เมื่อนำสารเคมีที่ต้องการบดใส่ลงไปในเครื่อง Attritor mill จะเกิดจากการหมุนของถังทรงกระบอกในแนวดิ่ง โดยมอเตอร์ การหมุนของเครื่องจะทำให้ลูกบดหมุนไปตามถังและแรงของใบกวน ใบกวนจะกวนสารและลูกบดในถังบดให้กระแทกกัน ทำให้สารเคมีเกิดการอัดหรือกระแทกจนละเอียด เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล (Dispersion mill) ที่ผู้วิจัยออกแบบและสร้างมีลักษณะคล้ายกับเครื่อง Attritor mill แต่จะลดการใช้ลูกบดหรือไม่ใช้ลูกบดเลย เนื่องจากลูกบดเมื่อใช้นาน ๆ จะมีการสึกหรอ ประกอบด้วย ถังบดวางในแนวดิ่ง มีใบกวนอยู่ภายใน 2 ใบ หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วสูง ภายใต้สมมุติฐานและแนวคิดที่ว่า สารเคมีและน้ำเมื่อเกิดการกระแทกระหว่างกัน จะทำให้สารเคมีถูกบดให้เล็กลง

10. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องบดสารเคมีสำหรับใช้ได้ในระดับชุมชน

2. ลดเวลาการบดสาร เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง Ball mill

3. ได้สารดิสเพอร์ชั่นที่เหมาะสมสำหรับนำไปใส่ในน้ำยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์ต่อไป

11. แนวทางการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ที่สามารถใช้ในระดับชุมชน
2. ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล และประมวลผลจากการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องบดสารเคมี
3. ศึกษาผลของใบกวนที่มีจำนวนชั้น และจำนวนใบต่อชั้น ที่ต่างกัน
4. ศึกษาความสม่ำเสมอของอนุภาคสารเคมี จำนวนหลาย ๆ จุดในถังกวน
5. ศึกษาประสิทธิภาพการบดสารเคมี เมื่อเปลี่ยนสารเคมีโดยเทียบกับสารเคมีที่ได้จากการบดของเครื่องบอลมิล
6. เปรียบเทียบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยางคอมปาวด์ ที่ได้จากสารเคมีที่บดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล กับผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาด

12. บทสรุปของผู้บริหาร

การทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางพารา ต้องมีการผสมสารเคมีกับน้ำยางก่อน การเตรียมสารเคมีสำหรับผสมกับน้ำยาง หากสารเคมีเป็นของแข็งไม่สามารถละลายในน้ำ ต้องบดสารเคมีให้อยู่ในรูปของสารดิสเพอร์ชั่น เครื่องมือที่นิยมใช้สำหรับการบดสารเคมี คือ เครื่องบอลมิล (Ball mill) ใช้เวลาบดนาน เช่น บดสารกำมะถัน 50 เปอร์เซ็นต์ ได้สารดิสเพอร์ชั่นใช้เวลาประมาณ 72 ชั่วโมง บดสารตัวเร่ง ซิงค์ออกไซด์ แอนติดออกแดนท์ และสารตัวเติมใช้เวลาบดประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นมีการพัฒนาได้ เครื่องแอททริเตอร์มิล (Attritor mill) ประกอบด้วย ถังทรงกระบอกวางในแนวดิ่ง มีใบกวนภายในถัง โดยภายในถังจะบรรจุลูกหินหรือลูกเซรามิกกลม การบดของเครื่อง Attritor mill เกิดจากการหมุนใบกวนด้วยมอเตอร์ ทำให้ลูกบดหมุนไปตามถังและแรงของใบกวน ใบกวนจะกวนสารเคมีและลูกบด เกิดการกระแทกระหว่างสารเคมีกับลูกบด ทำให้สารเคมีละเอียด

สำหรับ เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล (Dispersion mill) ที่ผู้วิจัยออกแบบและสร้างเครื่องมีลักษณะคล้ายกับเครื่องแอททริเตอร์มิล แต่ไม่ใช้ลูกบด เนื่องจากลูกบดเมื่อใช้นาน ๆ แล้งจะเกิดการสึกหรอ เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ประกอบด้วย ถังบดวางในแนวดิ่ง มีใบกวนอยู่ภายใน 2 ใบ หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วสูง ภายใต้สมมุติฐานและแนวคิดที่ว่า สารเคมีและน้ำ เมื่อกระแทกกันสารเคมีจะถูกบดให้เล็กลงได้ การทำวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลของเครื่องบด สำหรับออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล โดยส่วนประกอบของเครื่องที่มีสัมผัสกับสารเคมี ไม่ว่าจะเป็นถังบด ใบกวน เพลา และฝาปิด ผู้วิจัยออกแบบให้ทำจากสแตนเลส เพื่อความแข็งแรงและป้องกันการกัดกร่อน สำหรับส่วนอื่นของเครื่องที่ไม่ได้สัมผัสกับสารเคมี เช่น โครงสร้าง เครื่องที่ยก แผ่นรองมอเตอร์ ผู้วิจัยออกแบบให้ทำจากเหล็กกล้า เพื่อลดต้นทุนในการสร้างเครื่อง ตัวเครื่องประกอบด้วยระบบ 2

ระบบ คือ 1) ระบบส่งกำลัง 2) ระบบการกวน สำหรับระบบส่งกำลังประกอบด้วยเพลา 2 อัน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร (0.71 นิ้ว) ทำหน้าที่ส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 373 วัตต์ (ขนาด 0.5 แรงม้า ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที) ไปยังใบกวน หลักการทำงานของเพลา คือเพลาอันที่ 1 ส่งกำลังไปยังเพลาอันที่ 2 ด้วยเฟืองที่มีขนาดเท่ากัน ทำให้เพลา 2 อันหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน โดยหมุนในลักษณะที่สวนทิศทางกัน ตัวเพลาจะถูกยึดไม่ให้แกว่งด้วยแบริ่ง 2 อันต่อเพลา 1 อัน สำหรับระบบการกวน จะใช้ใบกวน เป็นใบกวนแบบ Propellers บิดเอียง 45 องศา หลังจากนั้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เช่น แบบของใบกวน เวลาในการบด ความสม่ำเสมอของอนุภาคสารในถังบด โดยทดสอบบดกับสารเคมี สำหรับสารที่ใช้ในการทดสอบ คือ กำมะถัน สารตัวเร่ง ซิงค์ออกไซด์ และแอนตี้ออกซิแดนท์ บดให้ได้สารดิสเพอร์ชั่น นำสารดิสเพอร์ชั่นที่ได้ผสมกับน้ำยางข้น ทำเป็นผลิตภัณฑ์ลูกโป่ง แล้วทดสอบผลิตภัณฑ์ลูกโป่งที่ทำขึ้น

การเปรียบเทียบ ผลการบดสารเคมีด้วยใบกวนแบบต่าง ๆ โดยบดกำมะถัน 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกำมะถัน เป็นสารที่บดยากที่สุดสำหรับเครื่องบอลมิล ใช้เวลาการบดนานประมาณ 72 ชั่วโมง และกำมะถันเป็นสารที่จำเป็นสำหรับการวัลคาไนซ์ยางหรือทำให้ยางคงรูป การทดลองบดกำมะถันกับเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ใช้ ความเร็วรอบในการบด 1,450 รอบต่อนาที พบว่าใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ เป็นแบบใบกวนที่ได้สารดิสเพอร์ชั่นที่มีขนาดเล็กกว่าใบกวนแบบอื่นๆ และสารที่ได้หลังการกวนมีขนาดอนุภาค 8.44 7.48 และ 5.99 ไมครอน โดยใช้จำนวนชั่วโมงการบดที่ 1 3 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงว่าหากใช้เวลาในการบดนาน ขนาดอนุภาคของสารดิสเพอร์ชั่นจะเล็กลง

การทดสอบความสม่ำเสมอของอนุภาคสารในถังกวนของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เลือกใช้ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ ที่ความเร็วของมอเตอร์เท่ากับ 1,450 รอบต่อนาที สำหรับการทดสอบ และสุ่มตัวอย่างสารในถังบด ณ จุดต่าง ๆ ภายในถังประมาณ 10 จุดทุก 1 ชั่วโมงโดยใช้เวลา 5 ชั่วโมง พบว่าขนาดอนุภาค ณ จุดต่าง ๆ ในแต่ละชั่วโมง มีขนาดอนุภาคสารดิสเพอร์ชั่นใกล้เคียงกัน แสดงว่าอนุภาคของสารมีการกระจายตัวสม่ำเสมอในทุกจุดของถังบด

การเปรียบเทียบสารที่ได้จากการบดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล กับเครื่องบอลมิล โดยใช้เวลาการบด 5 ชั่วโมง สารเคมีที่ใช้ คือ สารแคลเซียมคาร์บอเนต กำมะถัน ZnO ZDEC และ Lowinix CPL (Antioxidant) พบว่าสารเคมีที่บดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าสารที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบอลมิล และสารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสมสำหรับใส่ในน้ำยาง คือ ไม่เกิน 5 ไมครอน ยกเว้นกำมะถันที่บดกับเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ใช้เวลาบด 5 ชั่วโมง ยังมีขนาดอนุภาคเกิน 5 ไมครอน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและทำวิจัย เพื่อพัฒนาเครื่องให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล สามารถนำไปใช้ผสมกับน้ำยางทำผลิตภัณฑ์ลูกโป่ง และลูกโป่งที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับลูกโป่งที่ขายตามท้องตลาด

เนื้อหางานวิจัย

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการทำผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป เช่น ถุงมือยาง ลูกโป่ง ฟองน้ำ ที่นอนยางพารา อุปกรณ์ทางการแพทย์ สื่อการสอน และอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นการเพิ่มมูลค่ายางพารา และส่งเสริมการใช้ยางภายในประเทศให้เพิ่มมากขึ้น กระบวนการสำคัญสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป คือ การผสมสารเคมีกับน้ำยาง สารเคมีจะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำยางให้มีความเหมาะสม สารเคมีสำหรับผสมกับน้ำยางมีหลายชนิด เช่น สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) เป็นสารที่ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้ยางมีความแข็งแรง ไม่เยิ้มเหลวเมื่อโดนความร้อน กลุ่มสารวัลคาไนซ์ที่ใช้ผสมกับยางธรรมชาติ เช่น กำมะถัน(S, Sulfur) สารตัวเร่ง ZDC ซิงค์ออกไซด์ (ZnO, Zinc oxide) สารตัวเติม (Filler) เป็นสารที่ใส่ในยางเพื่อปรับสมบัติทางกายภาพ ให้ยางมีความแข็ง ต้านทานต่อการสึกหรอ และลดต้นทุนการผลิต ชนิดของสารตัวเติม เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต($CaCO_3$, Calcium carbonate) เขม่าดำ และสารแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidant) เป็นสารต้านการเสื่อมของยาง ยืดอายุการใช้งานของยางให้นานขึ้น เนื่องจากการกระตุ้นของออกซิเจน โอโซน แสง ความร้อน โลหะ และการหักงอไปมาของยางช้าลง ตัวอย่างสารแอนตี้ออกซิแดนท์ เช่น Lowinox CPL Antioxidant 2246 และ Wingstay L

การเตรียมสารเคมีสำหรับผสมน้ำยาง หากสารเคมีเป็นของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้จะเตรียมในรูปของสารละลาย หากละลายน้ำไม่ได้ ต้องบดให้อนุภาคเล็กลงจนสามารถกระจายตัวในน้ำในรูปสารดิสเพอร์ชั่น (Dispersion) สารเคมีที่เป็นดิสเพอร์ชั่น ต้องมีสมบัติเป็นคอลลอยด์คล้ายกับน้ำยาง ไม่ว่าประจุบนอนุภาคสาร และค่าความเป็นกรด-ด่าง สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมดิสเพอร์ชั่นประกอบด้วย สารเคมี Dispersing agent น้ำ Stabiliser ด่าง และตัวควบคุมความหนืด สำหรับด่างและ Stabiliser ควรเลือกใช้ชนิดเดียวกัน และจำนวนปริมาณเท่ากับที่มีอยู่ในน้ำยาง สารเคมีที่เป็นของเหลว ถ้าละลายน้ำได้ ให้ใส่ในรูปของสารละลาย แต่ถ้าละลายน้ำไม่ได้ ต้องทำให้อยู่ในรูปของอิมัลชั่น

การเตรียมสารเคมีให้เหมาะสมสำหรับผสมน้ำยาง จะทำให้ได้น้ำยางคอมปาวด์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ตามต้องการ และขนาดอนุภาคของสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับผสมในน้ำยาง ควรมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับน้ำยาง ทำให้การตกตะกอนเกิดขึ้นน้อยที่สุด เมื่อเป็นทำผลิตภัณฑ์จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

เครื่องบดสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ เครื่องบดแบบบอลมิล เครื่องบดแบบแอทตริเตอร์ เครื่องบดแบบอัลตร้าโซนิค และเครื่องบดแบบคอลลอยด์ โดยเครื่องบดแบบต่าง ๆ มีข้อเสียแตกต่างกัน ดังนี้

- เครื่องบดแบบบอลมิล (Ball mill) มีระยะการบดผสมนานกว่าเครื่องบดแบบอื่นๆ ประมาณ 1 วัน (24 ชั่วโมง) หรือมากกว่านั้น

- เครื่องบดแบบแอทตริเตอร์มิล (Attrition mill) ลูกบดที่ใช้มีการสึกหรอ เนื่องจากการกระแทกกัน ทำให้เกิดการปนเปื้อนในสารเคมี

- เครื่องบดแบบคอลลอยด์มิล (Colloid mill) สิ้นเปลืองพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการหมุนเวียนสาร สำหรับนำมาบดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง

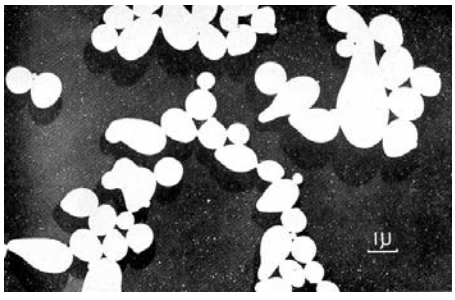
- เครื่องบดแบบอัลตร้าโซนิคมิล (Ultrasonic mill) เครื่องมักจะอุดตันได้บ่อย ๆ ถ้าสารที่ใส่มีขนาดหยาบเกินไป ไม่สามารถลอดผ่านรูเปิดเล็ก ๆ ช่วงผ่านใบมีดที่สั่นด้วยความถี่สูง

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัย จึงได้การออกแบบและสร้างเครื่องบด เพื่อลดระยะเวลาในการบดผสม สามารถเตรียมสารให้ทันการผลิต และเป็นเครื่องต้นแบบ สำหรับเป็นเครื่องบดสารเคมีที่พัฒนาให้สามารถใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำยาง [1]

น้ำยางธรรมชาติได้จากการกรีดจากต้นยาง โดยกรีดจากทางซ้ายลงมาทางขวา ได้น้ำยางลักษณะเป็นสีขาวเหมือนน้ำนม สมบัติของน้ำยางเป็นคอลลอยด์ มีอนุภาคเล็ก ตัวกลางเป็นน้ำ มีขนาดอนุภาคประมาณ 1.2 ไมครอน การเคลื่อนไหวเป็นแบบบราวเนียน มีความหนืดต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายยาง ผิวของอนุภาคมีประจุลบห่อหุ้ม



ภาพที่ 1 อนุภาคน้ำยางธรรมชาติ

โรงงานอุตสาหกรรม มักนำน้ำยางสดมาแปรรูปเป็นยางแห้ง และน้ำยางข้น เนื่องจากการทำน้ำยางข้น ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำยางไปทั่วโลก ผู้ใช้น้ำยางข้นส่วนใหญ่ต้องการน้ำยางที่มีเนื้อยางสูง ลดปริมาณของแข็งที่ไม่ใช้ยางลงไป และเพิ่มความสม่ำเสมอของวัตถุดิบ

วิธีการทำน้ำยางข้น มี 4 วิธีการใหญ่ ๆ คือ การระเหย การทำครีม การแยกด้วยไฟฟ้า การเซนติฟิวจ์ วิธีการเซนติฟิวจ์ เป็นวิธีการที่สำคัญที่สุด

ตารางที่ 1 มาตรฐานน้ำยางข้น ISO 2004-1988

ชนิด	แอมโมเนียสูง	แอมโมเนียต่ำ
ของแข็งทั้งหมด (min)	61.5	61.5
เนื้อยางแข็ง (min)	60.0	60.0
Non rubber (max)	2.0	2.0
แอมโมเนีย	0.6(min)	0.29(max)
MST, sec.	650	650
Coagulum (max)	0.1	0.1(*0.05)
Sludge (max)	0.1	0.1
VFA ตามตกลง	< 0.2	< 0.2
KOH number ตามตกลง	< 1.0	< 1.0
กลิ่น หลังใส่กรดบอริค	ไม่บูดเน่า	ไม่บูดเน่า
สี	ไม่เป็นสีน้ำเงินหรือเทา	ไม่เป็นสีน้ำเงินหรือเทา

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยาง [2]

ยางเป็นสารพอลิเมอร์ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยโมโนเมอร์หลายพันหน่วยประกอบเข้าด้วยกัน แต่ยางแตกต่างจากพอลิเมอร์อื่น ที่เมื่อมีแรงมากระทำยางสามารถเปลี่ยนรูปและกลับคืนสู่รูปเดิมได้ (ยืดหดได้) แต่ยางธรรมชาติ หรือ ยางสังเคราะห์ ที่เป็นยางดิบ ไม่อาจนำไปใช้งานได้โดยตรง ต้องมีการปรับปรุงโดยการใส่สารเคมีบางอย่างเข้าไปในยาง ข้อเสียที่ทำให้ยางดิบไม่สามรถนำไปใช้งานได้โดยตรง คือ

1. ยางดิบเป็นเทอร์โมพลาสติก
2. ยางดิบมีสมบัติค่อนข้างจำกัด ไม่ดีพอที่จะนำไปใช้งาน
3. ยางดิบมีราคาค่อนข้างแพง

2.3 วัตถุประสงค์ของการผสมสารเคมีเข้าไปในยาง [2]

การผสมสารเคมีเข้าไปในยางมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อให้ได้สมบัติทางกายภาพตามที่ผลิตภัณฑ์ต้องการ
2. เพื่อให้สามารถแปรรูปยาง สำหรับงานผลิต โดยไม่มีปัญหา

3. เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีต้นทุนถูก สามารถแข่งขันในตลาดได้

จากวัตถุประสงค์ของการผสมสารเคมีเข้าไปในยาง ดังกล่าว อาจเกิดความขัดแย้งกันเอง ดังนั้นต้องออมชอมกันบ้างในบางข้อ และบางอย่าง หากสามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ข้อจะทำให้ผลิตภัณฑ์ สามารถจำหน่ายในตลาดได้

2.4 ส่วนประกอบของสารเคมีในสูตรยาง [2]

ยางที่ผสมกับสารเคมี เรียกว่า ยางคอมปาวด์ (Compound rubber) สำหรับยางคอมปาวด์สูตรหนึ่ง ๆ มีสารเคมีผสมหลายชนิด สามารถจำแนกได้ ดังนี้

1. ยาง
2. สารในระบบวัลคาไนซ์ (สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่ง และสารกระตุ้น)
3. สารตัวเติม
4. สารพลาสติไซเซอร์ หรือสารช่วยแปรรูป
5. สารป้องกันยางเสื่อม หรือแอนตี้ออกซิเดนท์
6. สี
7. สารอื่น ๆ เช่น สารฟู สารป้องกันติดไฟ สารลดไฟฟ้าสถิตย์ เป็นต้น

ปกติในแต่ละกลุ่ม อาจมีการใช้สารเคมีมากกว่าหนึ่งชนิด เช่น สารตัวเร่งอาจจะใช้สารสองตัวร่วมกัน หรือ สี อาจใช้สองถึงสามสีร่วมกัน ดังนั้นในยางคอมปาวด์สูตรหนึ่ง อาจมีสารเคมีรวมกันประมาณ 8-10 ชนิด แต่บางสูตรอาจมีสารเคมีมากกว่านี้

สารเคมีที่ใช้ผสมในน้ำยางมีทั้งของแข็งและของเหลว หลักการสำคัญของการใส่สารเคมีผสมในน้ำยางนั้น สารเคมีต้องมีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำยาง คือ

1. ต้องเข้ากันได้กับตัวกลางของน้ำยาง คือ น้ำ
2. สารเคมีควรมีความเสถียร (Stabilizer) เช่นเดียวกับน้ำยาง ดังนั้นต้องทำให้อยู่ในรูปของดิสเพอร์ชั่น
3. ขนาดอนุภาคของสารเคมี ต้องมีขนาดที่เหมาะสม คือใกล้เคียงกับขนาดของอนุภาคน้ำยาง โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 1.2 ไมครอน แต่ไม่เกิน 5 ไมครอน

ตัวอย่างสูตรสารเคมีใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสูตรสารเคมีใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์

สารเคมี	หน้าที่
น้ำยางข้น 60%	ยาง
กำมะถันในรูป 50% Dispersion	สารวัลคาไนซ์ทำให้น้ำยางคงรูป
Zinc diethyl dithiocarbamate (ZDEC) กับ Zinc mercaptobenzthiazole (ZMBT) ในรูป 50% dispersion	สารตัวเร่ง
Zinc oxide (ZnO) ในรูป 50% dispersion	สารกระตุ้น
Oleate soap ในรูป 20% Solution	สารช่วยทำให้น้ำยางเสถียร
Potassium hydroxide (KOH) ในรูป 10% Solution	สารช่วยทำให้น้ำยางเสถียร
Calcium carbonate ($CaCO_3$) ในรูป 50% dispersion	สารตัวเติม
Lowinox CPL ในรูป 50% dispersion	สารแอนตี้ออกซิแดนซ์

2.5 ประเภทของสารเคมีที่ใช้บดสำหรับเตรียมสารดิสเพอร์ชั่น[3]

สูตรสารเคมีที่ใช้ในการบดประกอบด้วยสารหลักดังต่อไปนี้

1. สารที่ต้องการจะบด
2. ตัวกลาง คือ น้ำ
3. สารที่ทำให้สารเคมีกระจาย (Dispersing agent)
4. สารปรับความเป็นกรด-ด่าง
5. สารที่ทำให้เสถียรกับน้ำยาง
6. สารควบคุมความหนืด
7. สารป้องกันการเป็นฟอง
8. สารป้องกันการตกตะกอนแข็ง

สารที่ 1 2 และ 3 เป็นสารที่จำเป็น ต้องใช้ทุกครั้งในการบด สำหรับสารอื่น ๆ นอกเหนือจากนั้นจะเลือกใช้เฉพาะในกรณีที่มีการเตรียม Dispersion ที่มีปัญหาเท่านั้น

สารเคมีที่ทำให้กระจาย (Dispersing agent) ได้แก่ สารประกอบประเภท Alkyl-aryl sulphonate และ sulphonate สำหรับเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ Sodium naphthalene sulphonate ตัวอย่างชื่อในทางการค้า เช่น Vulkastab LRN, Vultamal, Davan No.1 และ Belloid TD เป็นต้น สารเคมีเหล่านี้ ทำหน้าที่ไม่ให้สารเคมีกลับมารวมตัวกันและไม่ทำให้เกิดฟอง

สารปรับความเป็นกรด-ด่าง โดยทั่วไปจะใช้ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนีย สารเหล่านี้ ใช้กรณีที่สารเคมีเป็นกรด เมื่อใส่ลงไปในด่าง ต้องทำให้สารผสมมีฤทธิ์เป็นกลางเสียก่อน จึงใส่ได้ เพราะอาจทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนได้

สารทำให้เสถียรต่อน้ำยาง (Stabiliser) ใส่เพื่อให้สารเคมีที่ใส่ มีสภาพผิวคล้ายกับน้ำยาง สามารถเข้ากับน้ำยางได้ดี สารเคมีดังกล่าว เช่น Casein บางครั้งอาจใช้สารเคมีที่เป็นกลาง เช่น Non-ionogenic stabiliser สารที่นิยมใช้เป็นสารประกอบของ Polethylene oxide กับ Fatty acid หรือ Fatty alcohol รวมตัวกัน มีชื่อทางการค้า เช่น Vulcastab LW, Emulphor MW และ Emulphor O เป็นต้น สำหรับ Casein ใส่ในรูปของสารละลายแอมโมเนีย

สารควบคุมความหนืด ใส่เพื่อให้สารผสมมีความหนืดสูงขึ้น การตกตะกอนช้าลง สารที่ใส่เพื่อเพิ่มความหนืด เช่น Methyl Cellulose, Carboxy Methyl Celluluose และ Polyacrylate

สารที่ใส่เพื่อป้องกันหรือลดการเกิดฟอง เช่น Tributyl phosphate, Silicone emulsion และ 2-ethyl hexanal สารเคมีเหล่านี้ใส่เพื่อลดการเกิดฟองในขณะบด ทำให้การบดมีประสิทธิภาพสูงสุด สารที่ลดความเป็นฟอง ใส่ปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น เช่น 0.1-0.25 เปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ใช้

สารที่ใส่เพื่อป้องกันการตกตะกอนแข็ง (Caking) เช่น Bentonite clay

สูตรทั่วไปของการบดสารเคมีได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างของสูตรทั่วไปสารเคมีที่ใช้เตรียมสำหรับน้ำยาง

สูตรสารเคมี	สูตรกำมะถัน	สารตัวเร่ง	ซิงค์ออกไซด์	แอนติออกซิแดนท์
กำมะถัน	100	-	-	-
สารตัวเร่ง	-	67	-	-
ซิงค์ออกไซด์	-	-	100	-
แอนติออกซิแดนท์	-	-	-	50
Sodium naphthalene Formaldehyde Sulphonate	2.5	1	1	1.5
Vulcastab LW	-	1	1	1.5
Ammonium caseinate (15%)	7	-	-	-
ดินขาว	-	-	-	50
Bentonite	1	-	-	-
น้ำ	92	132	99	97

การบดกำมะถันในเครื่องบอลมิล จะใช้เวลาประมาณ 72 ชั่วโมงหรือมากกว่านั้น สำหรับสารเคมีอื่น ๆ อาจใช้เวลาประมาณ 12-24 ชั่วโมง

2.6 หลักในการลดขนาด

หลักสำคัญในการลดขนาด คือ การใช้พลังงาน ทำลายแรงยึดเหนี่ยวของสารหรือวัตถุดิบ ทำให้กลุ่มก้อนหรือเม็ดของวัตถุแตกออก มีขนาดเล็กลง อย่างไรก็ตาม การลดขนาดยังเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกายภาพของสาร เช่น แรงต้านทานการเปลี่ยนแปลงสาร และความแข็งประจำตัว เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุดิบแต่ละอย่าง มีผลต่อการย่อยและบด ดังนั้นการลดขนาดจำเป็นต้องอาศัยพลังงานที่เหมาะสม และเครื่องมืออุปกรณ์ที่ถูกต้อง จึงจะเกิดผลดีและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

หลักที่ใช้ในการลดขนาดวัตถุมี 3 หลักใหญ่ ๆ คือ การตัด การกดอัด และการเฉือนซึ่งอาจประกอบด้วยแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายแบบรวมกัน [4]

2.6.1 การตัด (Cutting) เป็นการลดขนาด โดยการกดด้วยใบมีดที่มีความคมและบางผ่านไปยังวัสดุที่ต้องการลดขนาด

2.6.2 การกดอัด (Pressing) เป็นการลดขนาด โดยการประยุกต์แรงให้เกิดแรงดันกับวัสดุที่ต้องการลดขนาด โดยแรงดันอาจมาจากหลายทิศทาง ทำให้ได้วัสดุที่ไม่สม่ำเสมอหลังการลดขนาด

2.6.3 การเฉือน (Shearing) เป็นการลดขนาดโดยใช้แรงที่มีทิศทางตรงกันข้ามในแนวระนาบเดียวกัน

2.7 แรงที่ทำให้วัสดุแตกหรือขาดออกจากกัน

วิธีการลดขนาดวัสดุ ที่ทำให้กลุ่มก้อนหรือเม็ดวัสดุแตกหรือขาดออกจากกัน สามารถแบ่งตามที่มาของแรงกระทำได้ 5 แบบ ดังนี้ [4]

2.7.1 แรงที่เกิดจากการทุบหรือการตี (Beating) เกิดจากการใช้พื้นที่ของอุปกรณ์หรือเครื่องมือทุบก้อนของแข็ง

2.7.2 แรงที่เกิดจากการบีบ (Pressing) เกิดจากการกดบีบก้อนของแข็งด้วยพื้นที่สองด้านของเครื่องมือในทิศทางตรงกันข้ามหรือมากกว่า

2.7.3 แรงที่เกิดจากการเฉือน (Shearing) เกิดจากการหมุนสวนทิศทางกันระหว่างพื้นที่สองด้านของเครื่องมือ

2.7.4 แรงที่เกิดจากการกระแทก (Impact) เกิดจากการใช้พื้นที่ใช้งานของเครื่องมือกระทบกับก้อนของแข็ง

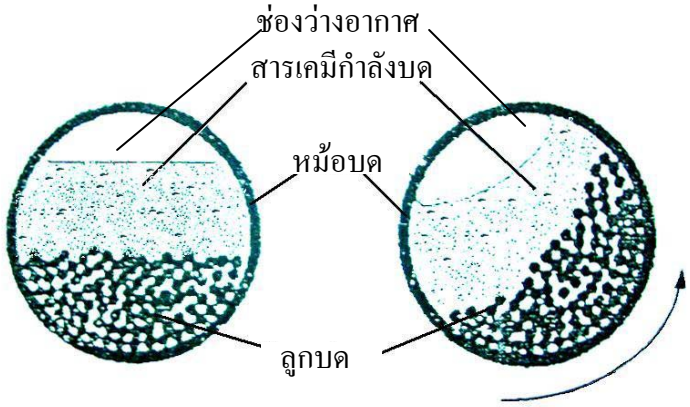
2.7.5 แรงที่เกิดจากการตัด (Cutting) เกิดจากการใช้ความคมของเครื่องมือเคลื่อนที่ผ่านวัสดุ

2.8 เครื่องบดและเครื่องเตรียมสารดิสเพอร์ชั่น

2.8.1 เครื่องบดแบบบอลมิล (Ball mill)

เครื่องบอลมิล [3] ประกอบด้วย หม้อบดรูปทรงกระบอก ทำด้วยเหล็กหรือเซรามิกส์ หมุนในแนวนอน ลูกบดที่บรรจุภายในอาจทำด้วย เซรามิกส์ สตีลไทต์ ลูกเหล็ก อะลูมินา หรือพอร์ซีเลน ลักษณะเครื่องบอลมิล ที่ใช้งานในโรงงาน แสดงดังภาพที่ 2 การทำงานของเครื่องบอลมิล เริ่มด้วยการนำลูกบด น้ำ และสารเคมีที่จะบดใส่ในบอลมิล แล้วหมุนบอลมิล ทำให้ลูกบดไหลตกกระแทกกัน สารเคมีที่อยู่ระหว่างหินถูกกระแทกละเอียด หลักการทำงานของเครื่องบอลมิลแสดงในภาพที่ 3

ภาพที่ 2 เครื่องบดแบบบอลมิล [5]



ภาพที่ 3 หลักการทำงานของเครื่องบอลมิล

ความเร็วรอบของหม้อบด หมุนด้วยอัตราเร็วคงที่ หากความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการบดจะสูงขึ้นตาม แต่มีค่าความเร็วรอบสูงอยู่หนึ่งค่าที่เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมาก จนทำให้ลูกบดติดข้างหม้อไม่ตกลงมากระแทกกัน เรียกว่า ความเร็ววิกฤต ทำให้ไม่เกิดการบด

ขนาดของหม้อบด มีผลต่อความเร็วรอบที่ใช้ โดยความเร็ววิกฤต จะแปรผกผันกับรากที่สองของรัศมี (ฟุต) ของหม้อบดทรงกระบอก

$$\text{ความเร็ววิกฤต} = \frac{54.19}{\sqrt{R}} \qquad \text{...(2.1)}$$

โดยที่

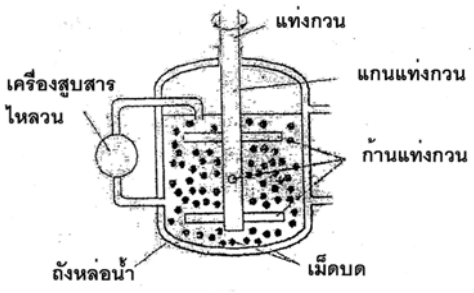
R คือ รัศมีภายในของหม้อบดบอลมิล (ฟุต)

ความเร็วรอบที่แนะนำให้ใช้อยู่ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ของความเร็ววิกฤต ขนาดของลูกบดที่ใส่หากมีขนาดใหญ่ พื้นที่สัมผัสของลูกบดต่อปริมาณที่ใส่เข้าไปจะน้อย ดังนั้นประสิทธิภาพในการบดจะลดลงด้วย แต่ถ้าลูกบดเล็กเกินไปจะเกิดอัตราการสึกหรอเร็วกว่าลูกใหญ่ และบางครั้งลูกบดที่มีขนาดเล็กเกิน อาจลอดรูตะแกรงที่กั้น เทเอาสิ่งที่บดเสร็จแล้วออกไปได้ ดังนั้นควรใส่ลูกใหญ่ผสมไปด้วยเพื่อช่วยกระแทกสิ่งที่จับตัวเป็นก้อนโตแตกลงได้เร็วยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 ลูกบดขนาดต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบด [5]

2.8.2 เครื่องบดแบบแอทตริเตอร์มิล (Attritor mill)

เครื่องแอทตริเตอร์มิล [3] มีหลักการทำงานโดยการนำลูกบด น้ำ และสารเคมีใส่ลงไปในเครื่อง เครื่องจะกวนกันด้วยใบพัด พร้อมกันนั้นจะมีการสูบของให้ไหลวน เพื่อช่วยให้การบดเร็วยิ่งขึ้น ลูกบดอาจเป็นลูกหินขนาดเล็ก หรือเม็ดพลาสติกแข็ง ข้อดีของเครื่องแอทตริเตอร์มิล เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องบอลมิล คือ บดได้เร็วกว่าเครื่องบอลมิล อากาศขังได้น้อยกว่า ใช้พลังงานในการบดน้อยกว่า ลักษณะของเครื่องแอทตริเตอร์มิล แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เครื่องบดแบบแอทตริเตอร์ [6] และหลักการทำงานของเครื่องแอทตริเตอร์ [9]

2.8.3 เครื่องบดแบบอุลตร้าโซนิคมิล (Ultrasonic mill)

เครื่องอุลตร้าโซนิคมิล [3] เป็นเครื่องบดที่บดสารเคมีที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ผ่านใบมีดโลหะไร้สนิม แผ่นใบมีดจะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงถึงจุดความถี่ธรรมชาติ ความถี่อยู่ในช่วงอุลตร้าโซนิค (18,000-22,000 รอบต่อวินาที) เกิดระหว่างช่องว่างสองด้านของใบมีดที่สั่นสะเทือนก่อให้เกิดความดันที่แตกต่างกัน บริเวณนั้นจะถูกแรงดันอัดให้แตกกระจาย ข้อเสียของเครื่อง คือ มักจะอุดตันได้บ่อย หากสารที่ใส่เข้าไปหยาบเกินไป ไม่สามารถที่จะลอดผ่านรูเล็ก ๆ ในช่วงผ่านใบมีด

2.8.4 เครื่องบดแบบคอลลอยด์มิล (Colloid mill)

เครื่องคอลลอยด์มิล [3] ลักษณะของเครื่องเป็นแผ่นหินสองแผ่นที่วางชิดกัน แผ่นหนึ่งอยู่กับที่ อีกแผ่นหนึ่งหมุนด้วยความเร็วสูง สารที่บดจะถูกส่งลอดผ่านทางระยะห่างระหว่างแผ่นทั้งสอง ทำให้สารที่เกาะกันอยู่แบบก้อน แตกออกจากกัน ลักษณะเครื่องแสดงในภาพที่ 6

ภาพที่ 6 เครื่องบดแบบคอลลอยด์มิล [7]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Stern, H.J. [8] ได้กล่าวเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องบอลมิลว่า ปริมาตรของน้ำกับสารเคมีที่จะบดให้ใส่พอท่วมลูกหิน และต้องเหลือช่องว่างอากาศไว้ภายใน โดยทั่วไปจะให้ปริมาตรทั้งหิน สารเคมี

และน้ำรวมกัน ประมาณสามในสี่ของปริมาตรความจุของหม้อ หากใส่สารเคมีมากเกินไป จะทำให้ความสามารถในการบดน้อยลง

Blackley D.C. [9] ได้กล่าวเกี่ยวกับขนาดหม้อบดของเครื่องบอลมิล อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการบด โดยประสิทธิภาพจะขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อบด เนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนที่ของลูกบดภายในหม้อ

พิภพ [10] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ ระยะเวลาที่จำเป็นของการผสมในถังผสม ที่มีการกวนแบบไม่ต่อเนื่องด้วยเทคนิคการติดตาม โดยศึกษาทั้งสารรังสี และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้ถังผสมที่มีสัดส่วนตามมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 24 เซนติเมตร และมีน้ำบรรจุอยู่ 4 เซนติเมตร พบว่า ระบบการผสมที่มีเวลาในการผสมที่สั้นที่สุดมี 3 แบบ คือ

1. ถังผสมที่มีใบกวน 6 ใบแบบเปิด อยู่ที่ระยะความสูงเหนือก้นถัง 1/2 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ความเร็วรอบในการกวน 400 รอบต่อนาที และมีแผ่นกั้น
2. ถังผสมที่มีใบกวน 6 ใบแบบเปิด อยู่ที่ระยะความสูงเหนือก้นถัง 1/3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ความเร็วรอบในการกวน 400 รอบต่อนาที และมีแผ่นกั้น
3. ถังผสมที่มีใบกวนแบบ 6 ใบแบบติดตั้งบนจาน อยู่ที่ระยะความสูง 1/3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที และมีแผ่นกั้น

สมเกียรติ [11] ได้กล่าวว่า วัสดุที่เป็นกลุ่มก้อน จะอยู่ในสภาพที่เป็นผงหรือเม็ดเล็กลงได้ต้องมีการดำเนินการลดขนาดลง หรือทำให้แตกตัวเป็นผงละเอียด วัตถุประสงค์ในการลดขนาด คือ

1. เพื่อให้ผลผลิตมีความละเอียดตามขนาด หรือระดับที่กำหนด
2. เพื่อการแยกส่วนประกอบ
3. เพื่อให้เกิดการการเจือปนหรือผสมของวัสดุ
4. เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุของแข็ง เร่งรัดการทำให้แห้ง การละลาย การสกัด และการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น

ธีรยุทธ [12] ได้ศึกษาภาวะที่มีผลต่อการผสมในถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีสัดส่วนมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20, 25 และ30 เซนติเมตร ตามลำดับ มีน้ำบรรจุอยู่สูงเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังแต่ละใบ ทำการศึกษาภาวะที่มีผลต่อการผสมในถังกวนแบบต่อเนื่อง จากการศึกษาพบว่า

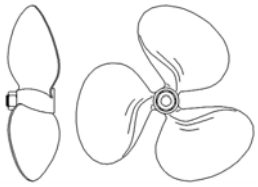
1. ชนิด และตำแหน่งของใบกวน ใบกวนแบบ 6 ใบติดบนจานที่ตำแหน่งความสูงจากก้นถัง 1/3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถัง ให้ค่าเวลาที่สารอยู่ภายในถัง และเวลาที่สารเป็นเนื้อเดียวกันสั้นที่สุด

2. ขนาดของถัง ที่ความเร็วรอบของใบกวนสูง ถังใบใหญ่ให้เวลาที่สารเป็นเนื้อเดียวกันเร็วกว่าถังใบเล็ก

3. ขนาดใบกวนที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรฐานให้ค่าเวลาที่สารเป็นเนื้อเดียวกันเร็วกว่าใบกวนมาตรฐาน

4. ทิศทางการหมุนของใบกวนเอียง 45 องศา ในทิศที่ทำเกิดกระแสขึ้นไปที่ผิวหน้าของเหลวให้ค่าเวลาที่ระบบเป็นเนื้อเดียวกันสั้นกว่าทิศทางตรงกันข้าม

สามารถ [13] ได้ศึกษา และพบว่าใบกวนแบบ Propellers มีลักษณะบิดเอียงเป็นมุม 45 องศา จัดว่าเป็นแบบใบกวน ที่มีการไหลในแนวแกนที่เหมาะใช้เป็นใบกวนความเร็วสูง สำหรับใช้ในการกวนของเหลวที่มีค่าความหนืดต่ำ (ไม่เกิน 3 ปาสคาลวินาที หรือ 30,000 เซนติพอยส์) ใบกวนแบบ Propellers มีขนาดเล็กจะใช้กับความเร็วปกติของมอเตอร์ไฟฟ้า คือ 1,150 หรือ 1,750 รอบต่อนาที ถ้าใบกวนแบบ propellers ขนาดใหญ่ขึ้น ความเร็วจะลดลงประมาณ 400 - 800 รอบต่อนาที ตัวอย่างของใบกวนชนิดนี้ แสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ใบกวนแบบ Propellers

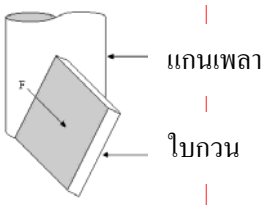
ชมพูนุช [14] ได้ศึกษาวิจัยมุ่งเน้นผลของขนาดอนุภาคดิสเพอร์ชั่น ที่มีต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของถุงมือยางทางการแพทย์ ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ เพื่อทราบขนาดที่เหมาะสม ในการนำไปใช้เตรียมน้ำยางผสมสารเคมี ในการผลิตถุงมือยางสำหรับการตรวจโรค ชนิดใช้ครั้งเดียวตามมาตรฐาน มอก. 1056-2540 โดยสารเคมีที่เป็นสารของแข็งไม่ละลายน้ำ ก่อนเติมในน้ำยางสำหรับเตรียมน้ำยางผสมสารเคมี ต้องเตรียมให้อยู่ในรูปสารดิสเพอร์ชั่น เนื่องจากโมเลกุลของยางมีขนาดเล็กและแขวนลอยอยู่ในน้ำ ถ้าเติมสารเคมีในรูปของแข็งจะไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ จึงต้องเตรียมสารเคมีให้อยู่ในรูปสารดิสเพอร์ชั่น โดยการใช้เครื่องบอลมิลบดย่อย ถุงมือยางที่ใช้ในงานวิจัยได้ผลิตขึ้นเองตามสูตรที่กำหนด ตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ เวลาการบ่มน้ำยางผสมสารเคมี 4 5 6 และ 7 วัน ก่อนนำไปใช้จุ่มถุงมือ และขนาดอนุภาคดิสเพอร์ชั่นของสารเคมีในระบบวัลคาไนซ์ เช่น Sulfur ดิสเพอร์ชั่น ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 4.69 3.78 2.60 และ 2.48 ไมโครเมตร ZDEC ดิสเพอร์ชั่น ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.30 2.32 1.58 และ 1.38 ไมโครเมตร และ ZnO (WS) ดิสเพอร์ชั่น ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.25 1.19 0.85 และ 0.80 ไมโครเมตร นำถุงมือยางที่ได้ศึกษาองศาการคงรูปของน้ำยาง สมบัติด้านการดึงยาง (ก่อนบ่มเร่ง และหลังบ่มเร่งที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง) ลักษณะพื้นผิวของถุงมือ

ยาง พบว่าถุงมือยางที่ใช้น้ำยางผสมสารเคมีตามที่กำหนด และใช้ Sulfur ดิสเพอร์ชั่น ขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.78 ไมโครเมตร ZDEC ดิสเพอร์ชั่น ขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.3 ไมโครเมตร และ ZnO (WS) ดิสเพอร์ชั่น ขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.25 ไมโครเมตร และบ่มน้ำยาง ดังกล่าว 6-7 วัน ถุงมือยางตามเงื่อนไขนี้ มีสมบัติด้านการดึงยางอยู่ในเกณฑ์ตามข้อกำหนดของ มอก. 1056-2540 และจากการศึกษาพบว่า ขนาดอนุภาคดิสเพอร์ชั่นของสารเคมีในระบบวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อลักษณะพื้นผิวของถุงมือยาง

ธนศิษฏ์ [15] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องบอลมิล สำหรับเตรียมดิสเพอร์ชั่น พบว่าเครื่องบอลมิล สามารถบดสารเคมีที่เป็นของแข็งไม่สามารถละลายน้ำได้ โดยทำให้อยู่ในรูปสารดิสเพอร์ชั่นใช้สำหรับผสมกับน้ำยาง ส่วนประกอบของเครื่องบด ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ระบบส่งกำลัง และหม้อบด สำหรับระบบส่งกำลัง ประกอบด้วย เพลาส่งกำลังขนาด 2.54 เซนติเมตร (1 นิ้ว) ชุดละ 2 เพลา จำนวน 6 ชุด ทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังส่งไปยังหม้อบด หุ้มเพลาด้วยยางดำหนา 0.63 เซนติเมตร (1/4 นิ้ว) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 746 วัตต์ (1 แรงม้า) กำลัง สำหรับหม้อบดมี 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และ 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) ลูกบดที่ใช้มี 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 11 15.5 และ 25 มิลลิเมตร การทดสอบการบด แบ่งออกเป็น 3 การทดสอบ การทดสอบที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพลูกบด ที่มีอัตราส่วนลูกบดในแต่ละขนาด ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนลูกบดในการบดที่ดีที่สุดในการบด 24 ชั่วโมง คือ 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) การทดสอบที่ 2 ทดสอบปริมาณสารที่สามารถบด ภายในหม้อบด ขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมคือ 63.35 เปอร์เซ็นต์ตามปริมาตรความจุของหม้อบด การทดสอบที่ 3 ทดสอบผลความแตกต่างระหว่างหม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และ 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) พบว่า หม้อบดทั้ง 2 ขนาดมีความสามารถในการบดไม่แตกต่างกัน

2.10 ทฤษฎีเพื่อการออกแบบ

2.10.1 การหาขนาดต้นกำลัง เครื่องบดสารเคมีแบบใบกวน ออกแบบให้มีระบบส่งกำลังด้วยมอเตอร์ สามารถคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ได้ โดยเริ่มจากหาค่าแรงกระทำที่ตั้งฉากกับใบกวน จากสมการที่ 2.1



ภาพที่ 8 แนวแรงที่กระทำกับใบกวน

$$F = \gamma hA \quad ...(2.1)$$

โดยที่

F คือ แรงที่กระทำกับใบกวน (นิวตัน) ดังภาพที่ 13

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของสาร (นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร)

h คือ ระยะจากผิวน้ำถึงจุดศูนย์กลางมวลของพื้นที่ใบกวน (เมตร)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของใบกวน (ตารางเมตร)

และนำค่าแรงจากสมการที่ 1 มาหาค่าโมเมนต์บิดจากสมการที่ 2.2

$$T = Fr \quad ...(2.2)$$

โดยที่

T คือ โมเมนต์บิด (นิวตัน-เมตร)

r คือ ระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน (เมตร)

จากนั้นสามารถหากำลังของมอเตอร์ได้จากสมการที่ 2.3

$$P = T\omega \quad ...(2.3)$$

โดยที่

P คือ กำลังขับของมอเตอร์ (วัตต์)

ω คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (เรเดียนต่อวินาที)

2.10.4 การออกแบบเพลา

สมการของ Soderberg approach และทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด สามารถหาได้จากสมการที่ 2.5 และ 2.6 ได้ดังนี้

$$d_s = \left[\frac{32n_s}{\pi} \left\{ \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_e} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad ...(2.5)$$

โดยที่

d_s คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา (เมตร)

n_s คือ ค่าความปลอดภัย หรือ Safety factor

M คือ โมเมนต์ดัด (นิวตัน-เมตร)

T คือ แรงบิด (นิวตัน-เมตร)

S_y คือ กำลังคลาก หรือ Yield Strength (เมกกะปาสคาล)

S_e คือ ขีดจำกัดความทนทานของชิ้นส่วนเครื่องกล (เมกกะปาสคาล)

เมื่อ
$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad \ldots(2.6)$$

โดยที่

k_a คือ ตัวประกอบผิววัสดุ

k_b คือ ตัวประกอบขนาด

k_c คือ ตัวประกอบความไว้วางใจ

k_d คือ ตัวประกอบอุณหภูมิ

k_e คือ ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น

k_f คือ ตัวประกอบอื่น ๆ

S_{ut} คือ ค่าความแข็งแรงต่อการดึง (จากตารางที่ ก.1) (เมกกะปาสคาล)

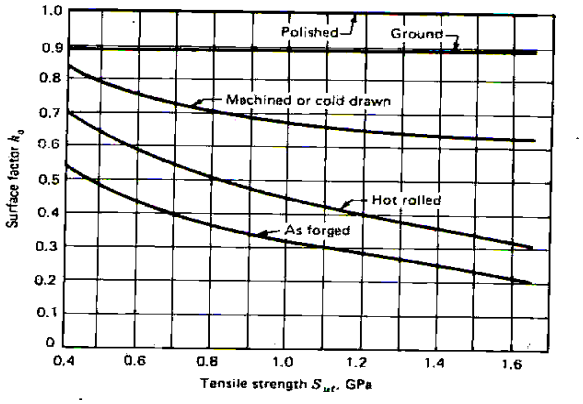
S_e' คือ ขีดจำกัดความทนทานของชิ้นทดสอบ (เมกกะปาสคาล)

โดยที่

$$S_e' = \begin{cases} 0.504 S_{ut}, \; S_{ut} \le 200 \text{ kpsi } (1{,}400 \text{ เมกกะปาสคาล}) \\ 100 \text{ kpsi } (700 \text{ MPa}), \; S_{ut} > 200 \text{ kpsi } (1{,}400 \text{ เมกกะปาสคาล}) \end{cases} \quad \ldots(2.7)$$

ก. ตัวประกอบผิววัสดุ (Surface factor, k_a)

ผิวของชิ้นงาน ทดสอบโดยการหมุนจะได้รับการขัดอย่างปราณีต โดยการขัดครั้งสุดท้ายจะขัดตามแนวยาว เพื่อไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนในทิศทางเส้นรอบวง แต่ชิ้นงานจริงจะไม่สามารถทำได้เหมือนชิ้นงานทดสอบ โดยตัวประกอบความเรียบผิว k_a หาได้จากภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ปัจจัยเพื่อแก้ไขความไม่เรียบ [16]

ข. ตัวประกอบขนาดวัสดุ (Size factor, k_b)

ค่าความแข็งแรงไม่จำกัดครั้งของงาน จะต้องถูกปรับด้วยตัวประกอบแก้ไขด้านขนาด ดังนี้

$$k_b = \begin{cases} 0.869\ d^{-0.097}, & 0.3 < d < 10 \text{ นิ้ว} \\ 1, & d \leq 8 \text{ มิลลิเมตร หรือ } d \leq 0.3 \text{ นิ้ว} \\ 1.189\ d^{-0.97}, & 8 < d \leq 250 \text{ มิลลิเมตร} \end{cases} \quad \ldots(2.8)$$

โดยที่

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพลา (มิลลิเมตร)

ค. ตัวประกอบความไว้วางใจ (Reliability factor, k_c)

นอกจากพิจารณาการใช้ค่าความปลอดภัย และอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่ออกแบบ สามารถเพิ่มค่าความเชื่อมั่นในส่วนความล้า โดยการวิเคราะห์เชิงสถิติบวกกับผลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งใช้ค่าความเชื่อมั่นตั้งแต่ 50 - 99.999999 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 ปัจจัยความไว้วางใจได้ [16]

Reliability	Standardized variable Z_r	Reliability Factor, k_c
0.5	0.000	1.000
0.9	1.288	0.897
0.95	1.645	0.868
0.99	2.326	0.814
0.999	3.090	0.753
0.999 9	3.719	0.702
0.999 99	4.265	0.659
0.999 999	4.753	0.620
0.999 999 9	5.199	0.584
0.999 999 99	5.612	0.551
0.999 999 999	5.997	0.520

ง. ตัวประกอบอุณหภูมิ (Temperature factor, k_d)

เมื่อมีการออกแบบชิ้นทดสอบที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง ต้องทำการทดสอบในห้องทดลองก่อนเสมอ เพราะอุณหภูมิที่สูงทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งได้ง่าย ทำให้ความต้านทานต่อการล้าของ

วัสดุลดลง และทำให้เกิดปัญหาการครีบ (Creep) เนื่องจากความเค้นคงที่ สามารถหาค่า k_d ได้จากสมการที่ 2.9

$$k_d = 1 \text{ เมื่อ } T \leq 350 \text{ องศาเซลเซียส}$$
$$\text{และ } 0.5 \text{ เมื่อ } 350 \text{ องศาเซลเซียส} < T \leq 500 \text{ องศาเซลเซียส} \quad \ldots(2.9)$$

จ. ตัวประกอบความหนาแน่น (Stress concentration factor, k_e)

ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล มักจะมีรู รอยบาก หรือความสม่ำเสมอ ซึ่งตำแหน่งที่ทำให้เกิดความเค้นสูงสุดนี้ เรียกว่า Stress riser บริเวณที่เกิดความเค้นสูงนี้ เรียกว่า ความเค้นหนาแน่น (Stress concentration)

ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น หาได้จากสมการที่ 2.10

$$k_e = \frac{1}{K_f} \quad \ldots(2.10)$$

ความว่องไวต่อร่อง (q) สามารถนิยามได้โดยใช้สมการที่ 2.11

$$q = \frac{(K_f - 1)}{(K_t - 1)} \quad \ldots(2.11)$$

ดังนั้น

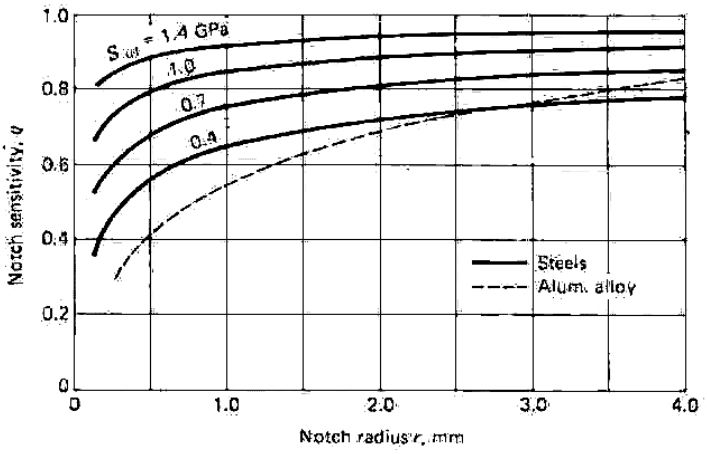
$$K_f = 1 + q\left(K_t - 1\right) \quad \ldots(2.12)$$

โดยที่

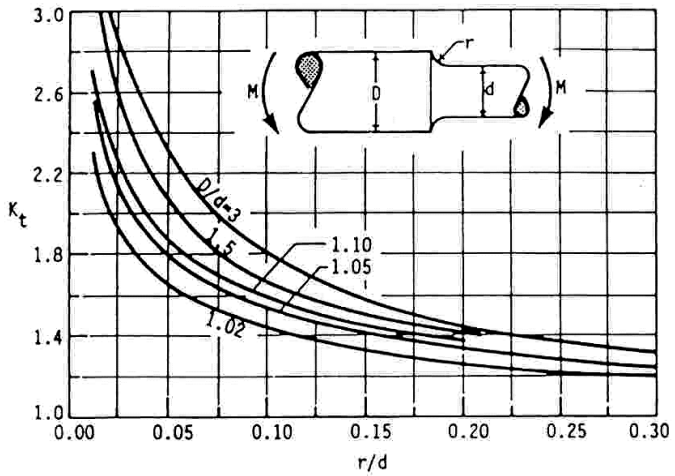
K_f คือ ค่าหน่วยแรงหนาแน่นเนื่องจากความล้า

K_t คือ ค่าหน่วยแรงหนาแน่นสถิตย์

q คือ ความไวต่อรอยเจาะ (Notch sensitivity) ซึ่งอ่านได้จากภาพที่ 10 และ 11



ภาพที่ 10 ความว่องไวต่อร่องของเหล็กและอลูมิเนียมภายใต้การตัด [16]



ภาพที่ 11 ลักษณะของเพลากลมมีบ่าภายใต้การดัด [16]

ฉ. ตัวประกอบอื่น ๆ (Miscellaneous effect, k_f)

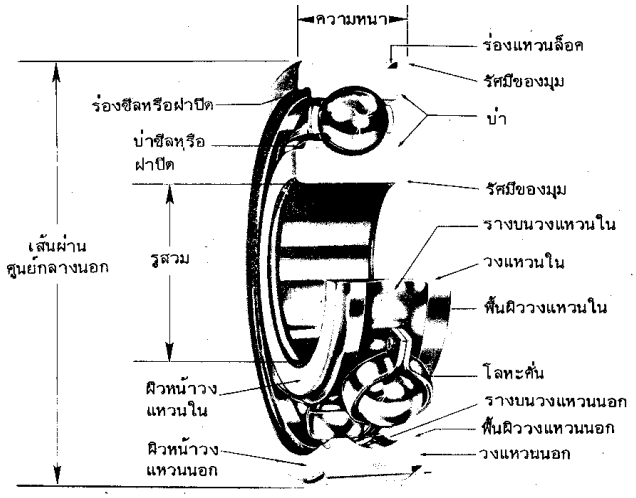
ตัวประกอบนี้ เป็นการเตือนผู้ออกแบบว่า ยังมีปัจจัยแวดล้อมอีกหลายประการ ที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน

2.10.5 การเลือกใช้แบริ่ง

AFBMA (Anti-Friction Bearing Manufactures Association) มีมาตรฐานเกี่ยวกับความสามารถรับแรงของแบริ่ง โดยไม่คำนึงถึงความเร็ว เรียกว่า ความสามารถในการรับแรงพื้นฐาน (Basic load rating) ความสามารถในการรับแรงพื้นฐาน C_R มีคำนิยามว่า เป็นความสามารถของแบริ่งที่รับแรงคงที่แนวรัศมี โดยหมุนแหวนวงในหนึ่งล้านครั้ง ค่าหนึ่งล้านรอบเลือกใช้เพื่อให้คำนวณง่าย

โรลลิ่งแบริ่ง (Rolling bearings) หมายถึง แบริ่งที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding contact) เนื่องจากแบริ่งชนิดนี้ มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ประกอบด้วย วงแหวนเหล็กกล้า 2 วง ที่แยกออกจากกัน ด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่ง แล้วส่งแรงนี้ไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน

แบริ่งต่าง ๆ ผลิตขึ้นมาเพื่อรับแรงในทิศทางแนวรัศมี แรงในทิศทางแกนยาวของเพลา (Trust) หรือแรงรวมระหว่างสองทิศทาง มีชื่อเรียกส่วนต่าง ๆ ของแบริ่งลูกกลิ้งกลม ได้แสดงไว้ในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ส่วนต่าง ๆ ของบอลแบริ่ง [17]

$$C_R = F\frac{\left[\left(\frac{L_D}{L_R}\right)\left(\frac{n_D}{n_R}\right)\left(\frac{1}{6.84}\right)\right]^{\frac{1}{a}}}{\left[\ln\left(\frac{1}{R}\right)\right]^{\frac{1}{1.17a}}} \qquad \ldots(2.13)$$

โดยที่

L_R, n_R คือ 10^6 (รอบ)

L_D คือ จำนวนชั่วโมงที่ใช้ออกแบบ (ชั่วโมง)

n_D คือ จำนวนรอบที่ใช้ในการออกแบบ (รอบต่อชั่วโมง)

F คือ แรงที่แบริ่งรับ (นิวตัน)

R คือ ความไว้วางใจได้

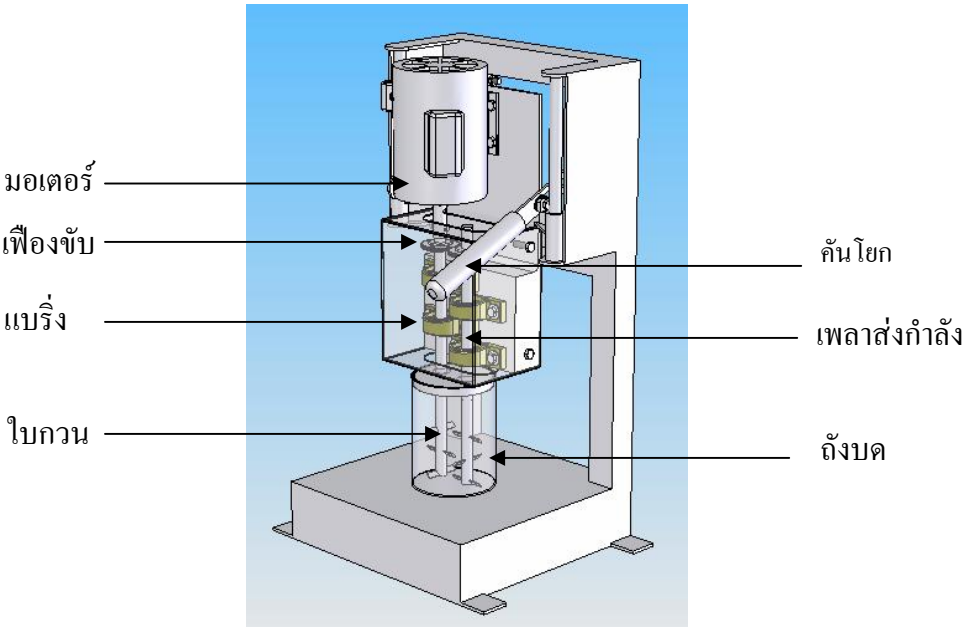
a คือ 3 สำหรับแบริ่งกลุ่ม หรือ 10/3 สำหรับแบริ่งลูกกลิ้งตรง

การเลือกขนาดของแบริ่ง พิจารณาจากสมาคมผู้ผลิตโรลลิ่งแบริ่ง วางมาตรฐานกำหนดขนาดและหลักเกณฑ์ ที่จะใช้ในการเลือกแบริ่ง โดยวางตามมาตรฐานการรับแรงและอายุการใช้งานเอาไว้ ทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ได้สะดวก ตัวแปรสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการออกแบบ คือ ความเสียดทานในแบริ่ง ในการทำงานจริงความเสียดทานมีความสำคัญน้อยมาก แต่ในทางทฤษฎีสามารถหากำลังงานที่สูญเสียไปกับความเสียดทานได้

3. วิธีการทดลอง

3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

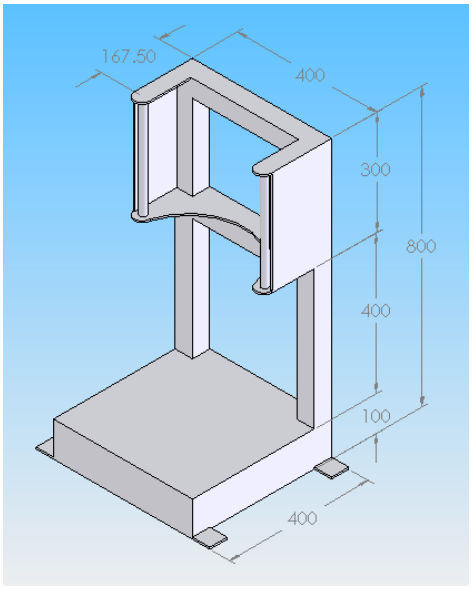
การออกแบบและสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ส่วนที่ต้องมีการสัมผัสกับสารเคมี ไม่ว่าจะเป็น ถังกวน ใบกวน เพลา และฝาปิด ถูกออกแบบให้ทำจากสแตนเลส เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและความแข็งแรง สำหรับส่วนที่ไม่ได้สัมผัสกับสารเคมี เช่น โครงสร้างเครื่อง ที่ยก แผ่นรองมอเตอร์ ออกแบบให้ทำจากเหล็กกล้า เพื่อลดต้นทุนในการสร้างเครื่อง ลักษณะของเครื่องแสดงในภาพที่ 13 สำหรับรายละเอียดส่วนประกอบของเครื่อง มีดังนี้



ภาพที่ 13 ภาพวาดเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

3.1.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่อง

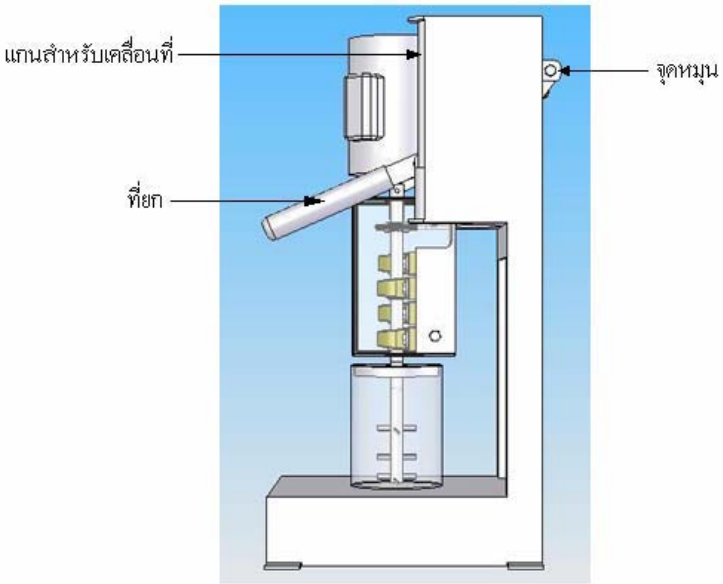
โครงสร้างเครื่อง ได้ออกแบบให้มีความกว้าง ความยาวและความสูง ที่เหมาะสม สำหรับติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ มอเตอร์ เพลา แบริ่ง ชุดอุปกรณ์สำหรับยกถังกวน โดยออกแบบให้ฐานมีขนาด 400 x 400 มิลลิเมตร (15.75x15.75 นิ้ว) สูง 800 มิลลิเมตร (31.50 นิ้ว) โดยใช้เหล็กกล่องขนาด 50 x 50 มิลลิเมตร (1.97 x 1.97 นิ้ว) หนา 6.4 มิลลิมตร (0.25 นิ้ว) และเหล็กแผ่นหนา 6.4 มิลลิเมตร (0.25 นิ้ว) ความสูงของเครื่องออกแบบตามขนาดของถังกวน และระยะใบกวนถึงก้นถัง ใช้เหล็กกล้าทำโครงสร้าง เนื่องจาก ไม่มีการสัมผัสกับสารเคมีและน้ำ จึงไม่จำเป็นต้องใช้สแตนเลส และเป็นการลดต้นทุนในการสร้างเครื่อง เพราะเหล็กมีราคาถูกกว่าสแตนเลส ลักษณะของโครงสร้างเครื่อง แสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 โครงสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

3.1.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับยกมอเตอร์

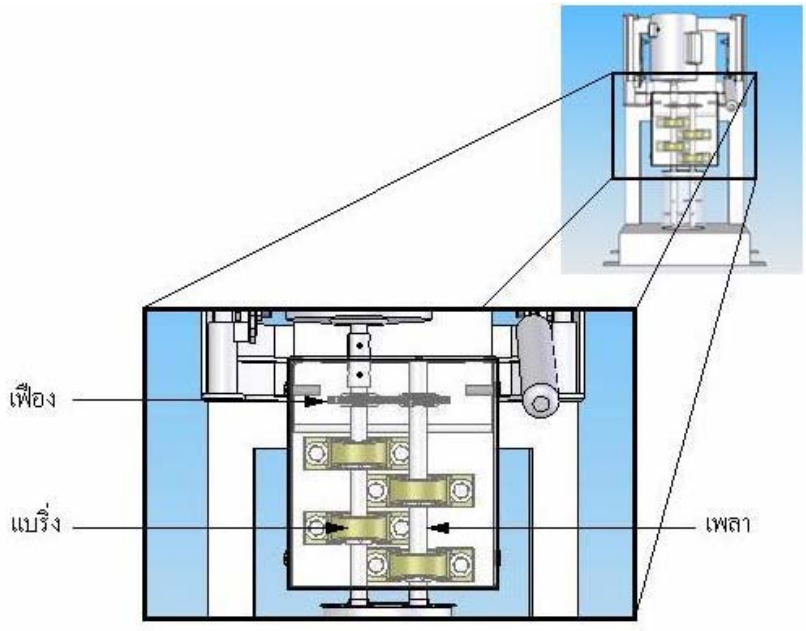
ชุดยกอุปกรณ์สำหรับยกมอเตอร์ ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายถังกวนออกจากเครื่อง ไม่ว่าจะเป็นการนำออกของสารที่บด หรือเทสารที่ได้จากการบด โดยระยะยกจะเท่ากับระยะที่ปลายด้านล่างของใบกวนพ้นจากปากถังกวน หลักในการยก คือ สามารถยกชุดอุปกรณ์ได้ในแนวดิ่ง เนื่องจากเมื่อออกแรงที่ยกในแนวตั้ง ปลอกที่สวมอยู่กับแกนสำหรับเคลื่อนที่ ก็จะเลื่อนขึ้น ตัวปลอกจะมีกลไกที่เชื่อมต่อกับคานของที่ยกเป็นช่องยาว ทำให้การยกสามารถเคลื่อนในแนวดิ่งได้ ชุดอุปกรณ์ยก มีลักษณะแสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ชุดอุปกรณ์สำหรับยกเปิดฝาเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

3.1.3 การออกแบบระบบรองรับและส่งกำลังไปยังถังบด

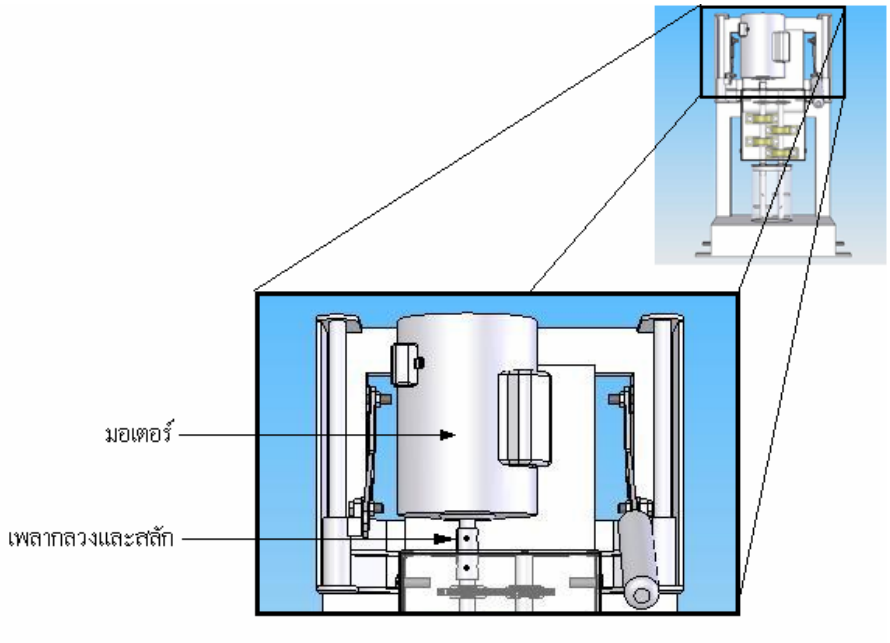
การออกแบบระบบรองรับและส่งกำลังไปยังถังกวน ใช้เพลาขนาด 18 มิลลิเมตร (0.71 นิ้ว) 2 อัน วางขนานกัน ห่างกันเป็นระยะ 6 มิลลิเมตร หน้าที่ของเพลา คือ รับกำลังงานจากมอเตอร์เพื่อส่งไปยังชุดใบกวน สำหรับกวนสารในถังกวน หลักการทำงาน คือ เพลาอันที่ 1 ส่งกำลังไปยังเพลาอันที่ 2 ด้วยเฟืองที่มีขนาดเท่ากัน ทำให้เพลา 2 อันหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน ในทิศทางสวนทางกัน และตัวเพลาจะถูกยึดไม่ให้มีการแกว่งด้วยแบริ่ง 2 อันต่อเพลา 1 อัน ซึ่งเพลาในส่วนนี้ไม่มีการสัมผัสกับสารเคมี เนื่องจากต้องนำเพลากลวง ซึ่งเป็นชุดของใบกวนมาต่ออีกขั้นหนึ่ง ดังนั้นเพลาในส่วนนี้จึงทำด้วยเหล็ก ลักษณะของระบบรองรับและส่งกำลังได้แสดงไว้ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ระบบรองรับและส่งกำลัง

3.1.4 การออกแบบระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลังที่ใช้กับเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ประกอบด้วย มอเตอร์กระแสสลับขนาด 0.5 แรงม้า มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 150 มิลลิเมตร (5.90 นิ้ว) ความยาว 210 มิลลิเมตร(8.27 นิ้ว) ทำหน้าที่ เป็นระบบส่งกำลังไปยังเพลาส่งกำลัง เพื่อส่งกำลังต่อไปยังใบกวน สำหรับการยึดเพลาจากมอเตอร์ให้ติดกับเพลาส่งกำลัง และการยึดเพลาส่งกำลังกับใบกวน ออกแบบให้ใช้ปลอกเพลากลวงและทำสลักยึด เป็นการทำให้เพลาจากมอเตอร์ยึดติดกับเพลาส่งกำลัง วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด ลักษณะของการยึดเพลาจากมอเตอร์ให้ติดกับเพลาส่งกำลัง แสดงไว้ในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ระบบส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังเพลาส่งกำลัง

3.1.5 การออกแบบถังบด

ถังบด เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวบรรจุสารเคมีขณะทำการบด ดังนั้นจึงต้องมีความแข็งแรง และทนต่อการกัดกร่อน วัสดุที่ใช้ทำถังกวน คือ สแตนเลส ถังกวนสำหรับโครงงานนี้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 140 มิลลิเมตร (5.51 นิ้ว) มีความสูงเท่ากับ 180 มิลลิเมตร (7.10 นิ้ว) และหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร (0.12 นิ้ว)

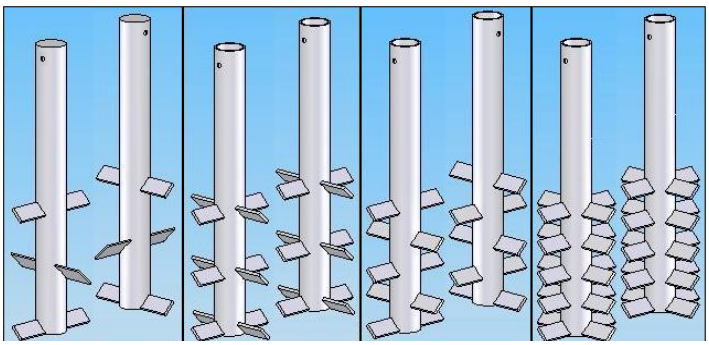
3.1.6 การออกแบบประเภทของใบกวน

จากการศึกษาพบว่า ใบกวนแบบ Propellers มีลักษณะการบิดเอียง 45 องศาเป็นลักษณะใบกวนที่ทำให้สารเป็นเนื้อเดียวกันในเวลาสั้นที่สุด และเป็นใบกวนที่เหมาะสำหรับใช้กับสารที่มีความหนืดไม่เกิน 30,000 เซนติพอยส์ นอกจากนี้ยังเป็นใบกวนที่เหมาะสำหรับใช้เป็นใบกวนความเร็วสูง คือ 1,150 หรือ 1,750 รอบต่อนาที

3.2 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

การทดสอบคุณสมบัติและเก็บข้อมูลพื้นฐานเชิงวิศวกรรม ทำการทดสอบและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลต้นแบบ จากผลของตัวแปรดังต่อไปนี้

1. การปรับเปลี่ยนลักษณะของใบกวนแบบต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 18
2. ทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ เปิดเครื่องใช้งานอย่างต่อเนื่อง ขนาดส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง



(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 18 ลักษณะของใบกวนแบบต่าง ๆ

(ก) ใบกวนแบบ 3 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ (ข) ใบกวนแบบ 3 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ

(ค) ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ (ง) ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ

3.3 ศึกษาขนาดอนุภาคสารดิสเพอร์ชั่น ที่บดสารด้วยใบกวนแบบต่าง ๆ

การทดสอบการเปรียบเทียบบดสารด้วยใบกวนลักษณะต่าง ๆ เพื่อให้ทราบลักษณะใบกวน ที่ทำให้สารที่ได้หลังการบดมีลักษณะเหมาะสมที่สุด คือ มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด จากการทดสอบเลือกใช้สารกำมะถัน 50 เปอร์เซ็นต์ดิสเพอร์ชั่น มีส่วนประกอบของสาร ดังนี้ กำมะถัน 650 กรัม น้ำ 624 กรัม วัลทามอล 13 กรัม และเบนโทไนท์ 13 กรัม มวลรวมของสารทั้งหมดเท่ากับ 1,300 กรัม คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรความจุของถัง

ตารางที่ 5 สูตรสารเคมีที่ใช้ทดสอบ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
กำมะถัน (Sulfur)	50	650
น้ำ	48	624
วัลทามอล (Vultamol)	1	13
เบนโทไนท์ (Bentonite clay)	1	13
รวม	100	1,300

วิธีการทดลองโดยสังเขปมีดังนี้

1) ประกอบชุดใบกวนแบบ 3 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ เข้ากับเครื่องบดสารเคมี

2) เตรียมสารเคมีตามข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 5 ใส่ลงไปในถังกวน

3) นำถังกวนที่มีสารเคมีประกอบเข้าที่ตัวเครื่องบดเพื่อรอทำการบด

4) เปิดสวิทซ์เพื่อให้เครื่องบดทำงาน

5) สุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวัดขนาดอนุภาคสาร ในการสุ่มตัวอย่างทำที่ 1 3 และ 5 ชั่วโมง บันทึกผลการทดสอบ

6) นำสารที่ได้หลังการบดไปวัดความหนืด บันทึกผลการทดสอบ

7) เปลี่ยนชุดใบกวนเป็นแบบ 3 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ และทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 6 อีกครั้ง

8) เปลี่ยนชุดใบกวนเป็นแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ และทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 6 อีกครั้ง

9) เปลี่ยนชุดใบกวนเป็นแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ และทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 6 อีกครั้ง

10) นำข้อมูลจากการทดสอบจากใบกวนทั้ง 4 แบบมาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผล

3.4 ศึกษาขนาดอนุภาคสารดิสเพอร์ชั่น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของถังบดในเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

การทดสอบ ทำเพื่อทดสอบความเหมาะสมของสารเคมีอื่น ที่บดด้วยใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ และทดสอบความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของสาร สารที่ใช้ในการทดสอบ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ใส่ลงไปในยาง เพื่อลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากเป็นสารเคมีที่มีราคาถูก ส่วนประกอบของสาร มีดังนี้ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) 650 กรัม น้ำ 624 กรัม วัลทามอล (Vultamol) 13 กรัม และเบนโทไนท์ (Bentonite clay) 13 กรัม ใช้ใบกวนที่ดีที่สุด จากการทดลองที่ 3.3 ที่ความเร็วของมอเตอร์เท่ากับ 1,450 รอบต่อนาที และในการทดสอบจะสุ่มตัวอย่างสาร 10 ตำแหน่ง ทุก 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 6 สูตรสารเคมีที่ใช้ทดสอบ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)	50	650
น้ำ	48	624
วัลทามอล (Vultamol)	1	13
เบนโทไนท์ (Bentonite clay)	1	13
รวม	100	1,300

วิธีการทดลองโดยสังเขปมีดังนี้

1) ประกอบชุดใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ เข้ากับเครื่องบดสารเคมี

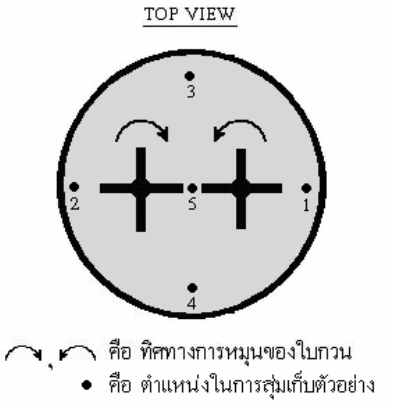
2) เตรียมสารเคมีตามข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 6 ใส่ลงไปในถังกวน

3) นำถังกวนที่มีสารเคมีประกอบเข้าที่ตัวเครื่องบดเพื่อรอทำการบด

4) เปิดสวิทซ์เพื่อให้เครื่องบดทำงาน

5) สุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวัดขนาดอนุภาคสาร โดยในการสุ่มตัวอย่างจะทำทุก 1 ชั่วโมงจนครบ 5 ชั่วโมง การสุ่มตัวอย่างจะสุ่ม 10 จุดภายในถัง คือ บริเวณผิวหน้า 5 จุด และ ก้นถัง 5 จุด และจุดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 19 บันทึกผล

6) นำข้อมูลจากการทดสอบมาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 19 ตำแหน่งต่าง ๆ ในการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาตรวจสอบการกระจายตัว

3.5 ศึกษาขนาดอนุภาคของสารเคมีชนิดต่างๆที่บดด้วยเครื่องดิสเพอชั่นมิล และเครื่องบอลมิล

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการบดเมื่อเปลี่ยนสารเคมี โดยนำผลสุดท้ายที่ได้เปรียบเทียบกับการบดสารเคมี 5 ชั่วโมง ด้วยเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิล และทดสอบกับเครื่องบดสารเคมีแบบดิสเพอร์ชั่นมิล จะใช้ใบกวนที่ดีที่สุดจากการทดลอง 3.3 (ทำให้สารที่ได้หลังการกวนมีความเหมาะสมที่จะใส่ไปในน้ำยาง) ที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ทำการบดสารแคลเซียมคาร์บอเนต กำมะถัน ZnO ZDEC และ Lowinix CPL ที่อัตราส่วนเดียวกัน การบดใช้เวลา 5 ชั่วโมง วัดขนาดอนุภาคและความหนืด นำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับการสารเคมีที่ได้จากเครื่องบดแบบบอลมิล ด้วยเงื่อนไขเดียวกัน โดยแบ่งออกเป็น 5 การทดสอบ คือ

1. การทดสอบกับแคลเซียมคาร์บอเนต 50% (ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ)โดยใช้ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) 650 กรัม น้ำ 624 กรัม Bentonite clay 13 กรัม และ Vultamol 13 กรัม

2. การทดสอบกับกำมะถัน 50% (ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ในยางธรรมชาติ) โดยใช้ปริมาณกำมะถัน 650 กรัม น้ำ 624 กรัม Bentonite clay 13 กรัม และ Vultamol 13 กรัม

3. การทดสอบกับ ZnO 50% (ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นในยางธรรมชาติ)โดยใช้ปริมาณกำมะถัน 650 กรัม น้ำ 624 กรัม Bentonite clay 13 กรัม และ Vultamol 13 กรัม

4. การทดสอบกับสาร ZDEC 50% (ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งในยางธรรมชาติ)โดยใช้ปริมาณสาร ZDEC 650 กรัม น้ำ 624 กรัม Bentonite clay 13 กรัม และ Vultamol 13 กรัม

5. การทดสอบกับสาร Lowinox CPL 50% (ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพในยางธรรมชาติ) โดยใช้ปริมาณสาร Lowinox CPL 650 กรัม น้ำ 624 กรัม Valtamal 26 กรัม
วิธีการทดลองโดยสังเขป มีดังนี้

1) ประกอบชุดใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ เข้ากับเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

2) เตรียมสารเคมีโดยมีใช้ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) 650 กรัม น้ำ 624 กรัม Bentonite clay 13 กรัม และ Vultamol 13 กรัม ใส่ลงไปในถังกวน

3) นำถังกวนที่ที่มีสารเคมีประกอบเข้าที่ตัวเครื่องบดเพื่อรอทำการบด

4) เปิดสวิทซ์เพื่อให้เครื่องบดทำงาน (บดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลเป็นเวลา 5 ชั่วโมง บดด้วยเครื่องบอลมิล เป็นเวลา 5 ชั่วโมง)

5) สุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวัดขนาดอนุภาคโดยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Compound microscope) พร้อมทั้งบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิตอล

6) นำสารที่ได้หลังการบดไปวัดค่าความหนืดและบันทึกผลการทดสอบ

7) เปลี่ยนสารเคมีเป็นกำมะถัน 50% และทำตามขั้นตอนที่ 2) ถึง 6) อีกครั้ง

8) เปลี่ยนสารเคมีเป็น ZnO 50% และทำตามขั้นตอนที่ 2) ถึง 6) อีกครั้ง

9) เปลี่ยนสารเคมีเป็น ZDEC 50%และทำตามขั้นตอนที่ 2) ถึง 6) อีกครั้ง

10) เปลี่ยนสารเคมีเป็น CPL 50%และทำตามขั้นตอนที่ 2) ถึง 6) อีกครั้ง

12) นำข้อมูลจากการทดสอบจากการบดสารเคมีทั้ง 5 ชนิดมาเปรียบเทียบกับสารเคมีชนิดเดียวกันที่บดด้วยเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิล และวิเคราะห์ผล

3.6 การเปรียบเทียบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากการนำสารเคมีที่ได้จากการบดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาด

การทดสอบนี้ เป็นการนำสารเคมีที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มาทำเป็นผลิตภัณฑ์โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำ คือ ลูกโป่ง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบ นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับลูกโป่งที่ขายตามท้องตลาด โดยแบ่งการทดสอบย่อยออกเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

1. การทดสอบสมบัติน้ำยางคอมปาวด์ โดยมีการทดสอบคือ
   - การทดสอบหาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในยาง (TSC; Total Solid Content)
   - การทดสอบคลอโรฟอร์ม
2. การทดสอบผลิตภัณฑ์ลูกโป่ง โดยมีการทดสอบคือ
   - การทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การรั่วของลูกโป่ง ความหนาของลูกโป่ง อัตราการขยายตัวของลูกโป่ง
   - ทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง การยืดขณะยางขาด และค่าโมดูลัส

วิธีการทดสอบโดยสังเขป มีดังนี้

1) ทำการบ่มน้ำยางที่ใช้ในการทำลูกโป่ง โดยมีส่วนผสมดังตารางที่ 7 โดยใช้น้ำยางข้นผสมกับสารเคมีที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

ตารางที่ 7 แสดงส่วนผสมและปริมาณของสารเคมีในการทำลูกโป่ง

ส่วนผสม	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่ใช้จริง (กรัม)
น้ำยาง 60%	100.0	166.7	1166.9
สารละลายสบู่โพแทสเซียมโอลีเอต 20%	0.4	2.0	14.0
สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%	0.2	2.0	14.0
กำมะถัน 50% ดิสเพอร์ชั่น	1.0	2.0	14.0
ZDEC 50% ดิสเพอร์ชั่น	1.0	2.0	14.0
ZnO 50% ดิสเพอร์ชั่น	1.0	2.0	14.0
Lowinox CPL 50% ดิสเพอร์ชั่น	1.0	2.0	14.0
น้ำมันพาราฟิน 50% อิมัลชั่น	4.0	8.0	56.0
น้ำ	-	-	500.0
รวม	108.6	186.7	1,806.9

2) นำน้ำยางที่ได้ใส่ในถังกวนและบ่มไว้เป็นเวลา 3 วัน

- ทดสอบคลอโรฟอร์ม
- ทดสอบหาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในยาง (TSC; Total Solid Content)

3) เตรียมสารช่วยในการจับตัว (Coagulant) โดยมีส่วนผสมดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงส่วนผสมและปริมาณของสารเคมีช่วยในการจับตัว (Coagulant)

ส่วนผสม	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
แคลเซียมคลอไรด์	20	400
เอทานอล	60	1200
แคลเซียมคาร์บอเนต 50% ดิสเพอร์ชั่น	10	400
แคลเซียมไนเตรท	10	200
รวม	100	2,200

4) ทำความสะอาดแม่พิมพ์ลูกโป่ง และนำไปอบให้แห้ง

5) นำแม่พิมพ์ที่อบแห้งแล้วจุ่มลงในสารช่วยในการจับตัว (Coagulant) และยกขึ้นช้า ๆ

6) หมุนแม่พิมพ์เพื่อให้สารช่วยในการจับตัว (Coagulant) กระจายตัวทั่วทั้งแบบ และไม่จับตัวกันเป็นหยด

7) นำแม่พิมพ์ที่จุ่มสารช่วยในการจับตัวเข้าตู้อบโดยอบจนหมาด

8) นำแม่พิมพ์ที่อบแล้วมาทำการจุ่มลงในน้ำยางที่เตรียมไว้ข้างต้น โดยในการจุ่มจะค่อย ๆ จุ่มอย่างช้า ๆ

9) จุ่มแม่พิมพ์ไว้ในน้ำยางเป็นเวลา 30 วินาที และค่อย ๆ ยกแม่พิมพ์ขึ้นช้า ๆ

10) หมุนแม่พิมพ์เพื่อให้น้ำยางไม่จับตัวกันเป็นหยดที่ปลายแม่พิมพ์

11) นำแม่พิมพ์ที่จุ่มน้ำยางแล้วเข้าตู้อบ โดยในการอบจะใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

12) ม้วนขอบลูกโป่ง และนำไปเข้าตู้อบอีกครั้ง

13) เมื่อลูกโป่งแห้ง นำลูกโป่งออกมาจุ่มน้ำเพื่อล้างสารเคมีให้สะอาดและนำไปอบให้แห้งอีกครั้ง เป็นเวลา 15 นาที

14) เมื่อลูกโป่งแห้งแล้ว นำออกจากเตาอบ และนำแป้งทาแม่พิมพ์ให้ทั่ว

15) แกะลูกโป่งที่แห้งแล้วออกจากแม่พิมพ์

16) แบ่งลูกโป่งที่ได้ออกเป็น 3 กลุ่มเพื่อทำการทดสอบต่อไป

17) นำลูกโป่งกลุ่มที่ 1 ไปทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การรั่วของลูกโป่งด้วยน้ำ บันทึกผล

18) นำลูกโป่งกลุ่มที่ 2 ไปทดสอบความหนาของลูกโป่ง บันทึกผล

19) นำลูกโป่งกลุ่มที่ 3 ไปทดสอบอัตราการขยายตัวของลูกโป่ง บันทึกผล

20) นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์

3.7 วิธีทดสอบ

3.7.1 วิธีการวัดขนาดอนุภาคของสาร

การวัดขนาดอนุภาคสารที่ได้จากการบด เป็นวิธีการที่ทำให้ทราบถึงความเหมาะสมของสาร ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตอีกต่อหนึ่ง เนื่องจากสารเคมีที่จะใช้กับน้ำยาง มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับขนาดอนุภาคยาง แต่ไม่ควรเกิน 5 ไมครอน (ยางมีขนาดอนุภาคประมาณ 1.2 ไมครอน) โดยมีการสุ่มตัวอย่างสารที่ได้จากการบด และนำมาวัดขนาด สำหรับโครงงานนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์ (Compound microscope) และขั้นตอนการวัดขนาดอนุภาคของสาร ต้องทำการเตรียมกล้องจุลทรรศน์ก่อนโดยมีวิธี ดังนี้

1) วาง Stage micrometer บนแท่นวางสไลด์

2) หมุนเลนส์ตาที่มี Ocular micrometer ให้ขนานกับ Stage micrometer เลื่อนจนเส้นใน Micrometer ทั้งสองทับกัน สำหรับโครงงานนี้ใช้กำลังขยายของเลนส์วัตถุ 40 เท่า

3) นับว่า 1 ขีดของ Ocular micrometer เท่ากับกี่ขีดบน Stage micrometer จะทราบได้ว่า 1 ขีดของ Ocular micrometer เท่ากับกี่มิลลิเมตร (1 ช่องบน Stage micrometer เท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร) สำหรับโครงงานนี้ คำนวณได้ว่า 1 ช่องของ Ocular micrometer เท่ากับ 2.5 ไมครอน

4) เมื่อทราบแล้วว่า 1 ช่องของ Ocular micrometer เท่ากับกี่มิลลิเมตรแล้ว ให้นำ Stage micrometer ออกจากแท่นวางสไลด์

5) นำสไลด์ของสารที่ต้องการวัดขนาดไปวางไว้บนแท่นวางสไลด์ ปรับให้ภาพชัดเจน

6) บันทึกภาพด้วยกล้องดิจิตอล

7) นำภาพที่ได้มาหาขนาดด้วยโปรแกรม Auto cad 2004

การวัดขนาดอนุภาค เพื่อความถูกต้องและแม่นยำ ได้ทำการเตรียมสไลด์ 3 สไลด์ต่อ 1 สารตัวอย่างและการบันทึกภาพมีการบันทึกภาพอนุภาคหลาย ๆ จุดบนสไลด์ ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ปะปนกันและนำขนาดอนุภาคที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ย โดยการเตรียมสไลด์ที่นำมาหาขนาดมีวิธีการดังนี้

1) ละลายสารที่ได้จากการบดในน้ำ เพื่อให้ความเข้มข้นลดลง

2) หยดสารที่ละลายน้ำแล้วลงบนสไลด์ที่ทำความสะอาดแล้ว

3) หยดเมททาลีนบลูลงบนหยดสาร เพื่อเป็นการย้อมสีอนุภาค ให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ การใช้เมททาลีนบลูในการย้อมสีอนุภาคสารเนื่องจากสารที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นสารที่ไม่มีประจุ

4) ทิ้งไว้เป็นเวลา 1-2 นาที

5) ล้างด้วยน้ำสะอาด ซับน้ำบริเวณรอบ ๆ หยดสาร

6) ปิดตำแหน่งหยดสารด้วยกระจกปิดสไลด์

3.7.2 วิธีการวัดความหนืด

การวัดความหนืดของน้ำยาง เป็นสมบัติหนึ่งทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่างอาจแตกต่างกัน เนื่องจากแหล่งกำเนิดน้ำยางและชุดที่นำมาทำการใส่แอมโมเนียลงไปในน้ำยาง ทำให้ค่าความหนืดของน้ำยางลดลง ผลของความเข้มข้นของน้ำยางที่มีผลต่อความหนืด แสดงในตารางที่ 9 ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความหนืดของน้ำยางลดลง ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 9 ผลของความเข้มข้นของน้ำยางที่มีผลต่อความหนืด [3]

เปอร์เซ็นต์ D.R.C.	ความหนืด (เซนติพอยส์)
34-36	5.4
42-44	9.8
56.6	27.7
58.6	38.1
60.4	45.1
62.9	57.5

ตารางที่ 10 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความหนืดของน้ำยาง [3]

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ความหนืดของน้ำยางข้น 60 เปอร์เซ็นต์ สัมพัทธ์ เทียบกับน้ำ เท่ากับ 100
16	518
30	455
50	272
70	209

การหาความหนืดของน้ำยาง สามารถหาโดยใช้เครื่องมือ Brookfield ประกอบด้วยแท่งทรงกระบอก หรือจานหมุนในของเหลว และวัดแรงบิดที่จำเป็นต้องใช้ที่จะเอาชนะความหนืดของของเหลวที่ต้านการหมุน

การวัดค่าความหนืด เป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้สามารถสรุปได้ว่า สารที่จะนำไปผสมกับน้ำยางเพื่อเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของยางมีความเหมาะสม สารที่จะผสมลงในน้ำยางต้องมีค่าความหนืดที่ใกล้เคียงกับความหนืดของน้ำยาง โดยความหนืดของน้ำยางเท่ากับ 45.1 เซนติพอยส์ และในการวัดความหนืดสำหรับโครงงานนี้ ใช้เครื่องวัดความหนืดยี่ห้อ Brookfield รุ่น LVDV-III Ultra

วิธีการทดสอบโดยสังเขป มีดังนี้

1) เลือก Spindle ที่ต้องการมาติดกับเครื่องตรงแกนล่าง โดยให้มือหนึ่งจับแกนล่างของเครื่องเอาไว้ ส่วนอีกมือหนึ่งจับ Spindle และหมุนเข้าไป เนื่องจากเกลียวเป็นเกลียวที่เล็ก และละเอียดมาก ต้องหมุนเข้าอย่างระมัดระวัง อย่าให้เอียง

2) นำ Spindle จุ่มลงในของเหลว จนระดับของของเหลวอยู่ตรงคอคอดของแกน Spindle มากระทบกับภาชนะมิฉะนั้นแกนจะงอเสียหายได้

3) ปรับให้เครื่องวัดความหนืดอยู่ในแนวระดับ โดยให้ดูลูกน้ำ ด้านบนเครื่อง

4) ทำการปรับมาตรฐาน (Calibrate)

5) เลื่อนตัวเครื่องลงให้ Spindle จมลงในสารที่ต้องการวัดความหนืด

6) เลือกความเร็วรอบในการวัด

7) เดินเครื่อง อ่านค่าความหนืด และบันทึกผล

3.7.3 วิธีการทดสอบคลอโรฟอร์ม

วิธีการทดสอบคลอโรฟอร์มโดยมีขั้นตอน ดังนี้

1) การนำน้ำยางทั้งสองตัวอย่างที่บ่มแล้วปริมาณ 10 มิลลิลิตร มาผสมกับคลอโรฟอร์ม

2) ผสมกันจนน้ำยางจับตัวกัน

3) สังเกตลักษณะของยาง และจัดเกรดก้อนยางดังนี้

- หมายเลข 1 ก้อนยางเหนียว เมื่อยืดออกเป็นใย
- หมายเลข 2 ก้อนยางติดกันน้อย ยืดออกน้อยเมื่อดึง แล้วขาด
- หมายเลข 3 ก้นยางไม่เหนียว ขาดออกจากกันได้ง่าย
- หมายเลข 4 ก้อนยางเป็นผงร่วน

3.7.4 การหา TSC ของน้ำยางข้น

นำจานแก้วหรือจานโลหะที่มีฝาปิด มาชั่งพร้อมฝา ให้ละเอียดถูกต้องถึง 0.1 มิลลิกรัม แล้วเทน้ำยางข้นตัวอย่างลงไปประมาณ 2.5 ± 0.5 กรัม (รู้น้ำหนักแน่นอน) ขณะที่ชั่งให้ทำการปิดฝาจานแก้ว เปิดฝาที่ปิดออก เอียงจานไปมาเพื่อให้น้ำยางกระจายทั่วจาน (ในการนี้อาจเติมน้ำกลั่น 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปในน้ำยาง ช่วยให้น้ำยางกระจายวงกว้างขึ้น) นำจานที่เปิดฝานี้ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (หรือจนเห็นยางใส ไม่มีสีขาวขุ่นอยู่) เอาออกจากเตา ปิดฝาไว้ตามเดิม ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในเดสซิเคเตอร์ ชั่ง นำไปอบซ้ำเป็นเวลา 15 นาที ทำให้เย็นและชั่ง ผลต่างของน้ำหนักครั้งหลังและครั้งก่อนควรแตกต่างไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ถ้าแตกต่างกันต้องนำไปอบและชั่งซ้ำอีก

การคำนวณผลการทดสอบ

ปริมาณร้อยละของ TSC ของน้ำยางคำนวณดังนี้

$$TSC,\% = \left[\frac{(C-A)}{(B-A)}\right] x\ 100 \quad \ldots(2.4)$$

โดยที่

A = น้ำหนักของจานพร้อมฝา

B = น้ำหนักของจานพร้อมฝากับน้ำยาง

C = น้ำหนักของจานพร้อมฝากับยางที่แห้งแล้ว

ให้ทำ 3 ตัวอย่าง ต่อน้ำยาง 1 ชุด และผลที่แตกต่างกันของข้อมูลในชุดเดียวกันไม่ควรเกิน 0.15 เปอร์เซ็นต์ คือเฉลี่ยของปริมาณทั้งสองค่าให้ถือเป็นผลที่ได้จากการทดสอบ

3.7.5 การวัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์

การวัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์ (Thickness) ทำให้ทราบความหนาของผลิตภัณฑ์ลูกโป่ง โดยการทดสอบนำผลิตภัณฑ์ลูกโป่งที่มีส่วนผสมสารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากการบดโดยใช้เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด โดยสุ่มผลิตภัณฑ์ลูกโป่งทั้งสองแหล่งมาอย่างละ 10 ลูก จากนั้นนำมาวัดโดยไมโครมิเตอร์ (Thickness) โดยทำ 3 ตำแหน่ง บันทึกผล

3.7.6 การทดสอบการรั่ว

การทดสอบเปอร์เซ็นต์การรั่วของผลิตภัณฑ์ลูกโป่ง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์โดยการทดสอบนี้ นำผลิตภัณฑ์ลูกโป่งที่มีส่วนผสมสารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากการบดโดยใช้เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด โดยสุ่มผลิตภัณฑ์ลูกโป่งทั้งสองแหล่งมาอย่างละ 10 ลูก จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ลูกโป่งมาใส่น้ำซึ่งมีปริมาตร 1 ลิตร จากนั้นสังเกตรอยรั่วของผลิตภัณฑ์ลูกโป่งเป็นเวลา 30 นาที บันทึกผล

3.7.7 การทดสอบการขยายตัว

การทดสอบการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ลูกโป่ง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปแล้วลูกโป่งที่ดีต้องมีการขยายตัวได้ 8 เท่าของเส้นรอบวงเดิม โดยการทดสอบนี้นำผลิตภัณฑ์ลูกโป่งที่มีส่วนผสมสารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากการบด โดยใช้เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด โดยสุ่มผลิตภัณฑ์ลูกโป่งทั้งสองแหล่งมาอย่างละ 10 ลูก จากนั้น

นำผลิตภัณฑ์ลูกโป่งมาวัดเส้นรอบวงโดยใช้สายวัด บันทึกผลและนำผลิตภัณฑ์ลูกโป่งมาเป่าจนใกล้แตกและวัดเส้นรอบวงอีกครั้ง บันทึกผล

3.7.8 การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ

การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ โดยใช้เครื่อง Universal testing Machine เตรียมเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบล โดยการทดสอบนี้นำผลิตภัณฑ์ลูกโป่งที่มีส่วนผสมสารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากการบดโดยใช้เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด ทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบวัสดุ ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z500 ใช้ที่จับยางขนาด 10 กิโลนิวตัน ด้วยความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที นำผลไปคำนวณหาความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) การยืดขณะยางขาด (Elongation at break) และค่าโมดูลัส (Modulus) แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน

3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ ใช้วิธีการทางสถิติสำหรับหาตัวแบบที่เหมาะสม และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาแต่ละการทดสอบ โดยใช้หลักการเปรียบเทียบผลตามรูปแบบการทดลอง โดยมีขั้นตอนหลักดังนี้

1) การเตรียมข้อมูลเพื่อการประมวลผลประกอบด้วย

- การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ได้จากตารางผลการทดสอบ
- กำหนดตัวแปรเพื่อสะดวกต่อการนำไปประมวลผลข้อมูล

2) ตั้งสมมุติฐาน

3) ตรวจสอบสมมุติฐาน

4) การแสดงผลลัพธ์แสดงผลออกมาเป็นแผนภูมิ และรายงานเพื่อการง่ายต่อการทำความเข้าใจ

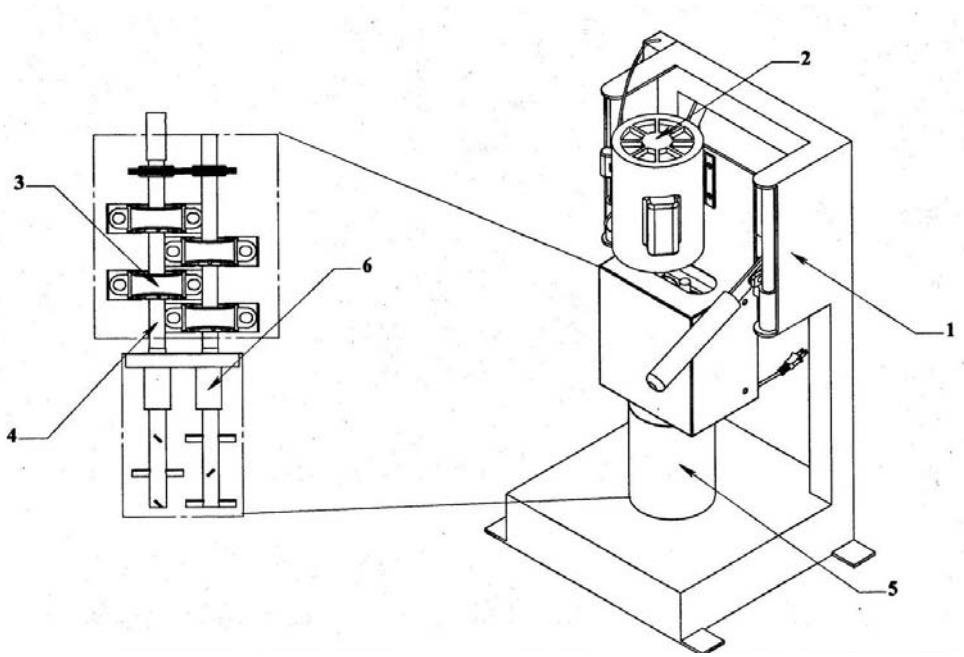
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มีส่วนประกอบหลัก และคุณลักษณะ ดังแสดงในตารางที่ 11 และภาพที่ 20 งบประมาณการสร้างแสดงในตารางที่ ก.2

ตารางที่ 11 ส่วนประกอบหลักและคุณลักษณะของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

ส่วนประกอบหลัก	คุณลักษณะ
1. โครงสร้างเครื่องบด ดิสเพอร์ชั่นมิล (ภาพที่ 20 หมายเลข 1)	เหล็กกล่องขนาด เหล็กกล่องขนาด 50 x 50 มิลลิเมตร (1.97 x 1.97 นิ้ว) หนา 6.4 มิลลิมตร (0.25 นิ้ว) ประกอบเข้าด้วยกัน โดยส่วนของฐานกว้าง 400 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร และ สูง 800 มิลลิเมตร ติดตั้งชุดรองรับและระบบส่งกำลังตามที่ได้ออกแบบ
2. มอเตอร์ (ภาพที่ 20 หมายเลข 2)	ขนาด 373 วัตต์ (0.5 แรงม้า) ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที
3. ระบบรองรับส่งกำลังไปยัง ใบกวน (ภาพที่ 20 หมายเลข 3)	ระบบรองรับส่งกำลังจะใช้แบริ่งเป็นตัวยึดเพื่อไม่ให้เพลาแกว่งในขณะเดินเครื่อง
4. ระบบส่งกำลัง (ภาพที่ 20 หมายเลข 4)	ส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังใบกวน (6) ด้วยเพลากลมตันขนาด 18 มิลลิเมตร (0.71 นิ้ว) จำนวน 2 อัน และใช้เฟืองที่มีขนาดเท่ากันเป็นตัวทำให้เพลาทั้งสองหมุนด้วยความเร็วเดียวกันในทิศทางตรงกันข้ามกำลังของเพลาชุดต่อไปตามที่ได้ออกแบบ ตามที่ได้ออกแบบในภาคผนวก ก.
5. ถังบด (ภาพที่ 20 หมายเลข 5)	ถังสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 140 มิลลิเมตร (5.51 นิ้ว) มีความสูงเท่ากับ 180 มิลลิเมตร (7.10 นิ้ว)
6. ใบกวน (ภาพที่ 20 หมายเลข 6)	ทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 2 มิลลิเมตรกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร เป็นใบกวนแบบ Propellers บิดเอียง 45 องศา ใช้ใบกวนจำนวน 2 ชุด ต่อเข้ากับระบบส่งกำลัง(4) หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่เท่ากัน



ภาพที่ 20 ส่วนประกอบของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

จากการทดสอบเก็บข้อมูลพื้นฐานเชิงวิศวกรรม และการทดสอบการทำงานระบบต่าง ๆ ของเครื่องบดสารเคมีแบบใบกวน จากการทดสอบข้างต้น พบว่าการทำงานของเครื่องบดสารเคมีแบบใบกวน ทำงานได้เป็นปกติไม่เกิดการผิดพลาดระหว่างการทดสอบ และเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ในภาพที่ 25 โดยการทดสอบ คุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น

รายการ	ข้อมูล
มอเตอร์ต้นกำลัง - ความเร็วรอบ - เปิดใช้งานต่อเนื่อง	- ขนาด 0.5 แรงม้า - 1,450 รอบต่อนาที - 5 ชั่วโมง
เพลาส่งกำลัง	- เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.9 เซนติเมตร
ใบกวน - ระยะจากก้นถังถึงใบกวนใบล่างสุด	- ใบกวนแบบ Propellers บิดเอียง 45 องศา ใช้ใบกวนแบบ 5 ชั้น ชั้นละ 2 ใบ - 0.5 เซนติเมตร
ถังบด	- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร - ความสูงเท่ากับ 18 เซนติเมตร

4.3 ผลของขนาดอนุภาคสารดิสเพอร์ชั่นที่บดสารด้วยใบกวนแบบต่าง ๆ

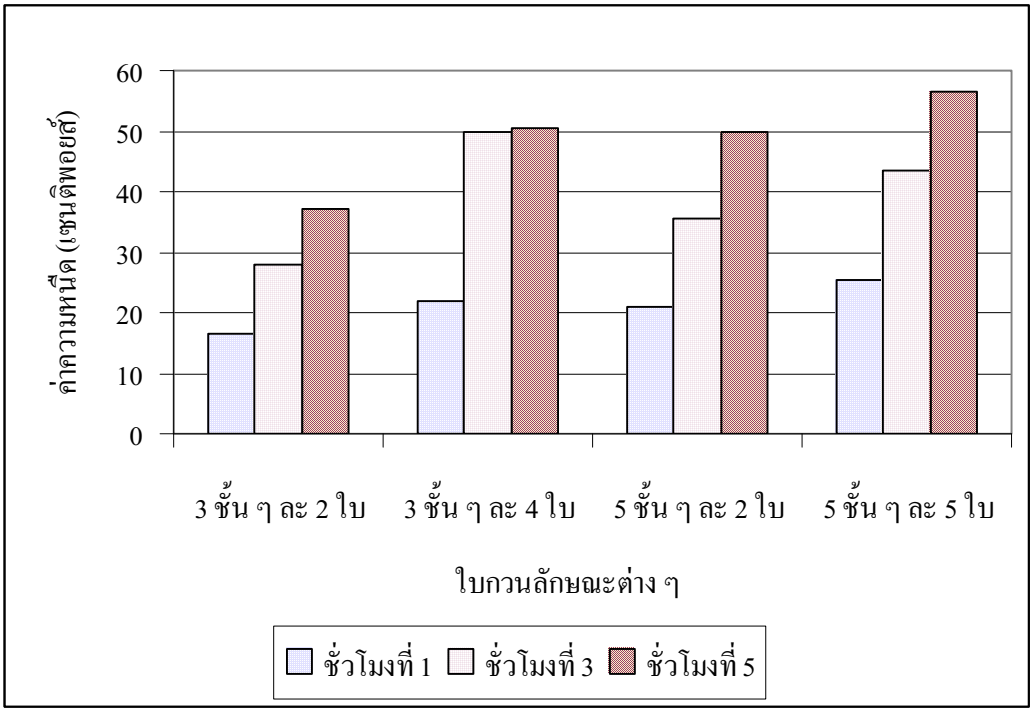
การทดสอบได้เลือกใช้สารกำมะถัน 50 เปอร์เซ็นต์ เพราะกำมะถันเป็นสารที่ใช้เวลาบดด้วยเครื่องบอลมิลนานที่สุด แสดงว่าเป็นสารเคมีตัวที่บดให้มีการกระจายตัวยากที่สุด

ผลการผลการทดสอบขนาดอนุภาคสารดิสเพอร์ชั่น ที่บดสารด้วยใบกวนแบบต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 13 จากตารางที่ 13 และภาพที่ 21 พบว่าการบดด้วยใบกวนทุกแบบ ทำให้สารที่ได้หลังการบดด้วยใบกวนแบบต่าง ๆ มีความหนืดที่เหมาะสมจะนำไปผสมกับน้ำยางข้น เนื่องจากมีความหนืดน้อยกว่าน้ำยางข้น ความหนืดน้ำยางข้น 60 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 45.1 เซนติพอยส์ และค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการบดเพิ่มขึ้น

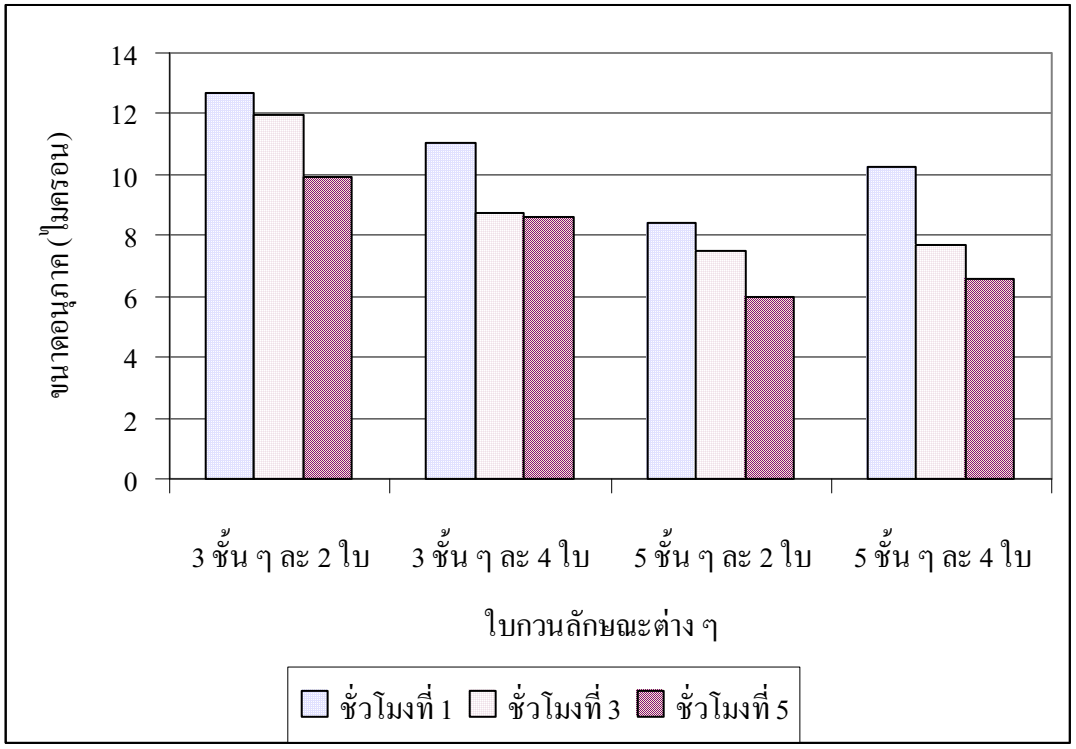
พิจารณาขนาดอนุภาคหลังการบด โดยทำกราฟ ดังภาพที่ 22 เป็นกราฟแท่งแสดงค่าขนาดอนุภาคที่ได้หลังการบดด้วยใบกวนแบบต่าง ๆ จะเห็นว่าใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ เป็นใบกวนที่ทำให้สารที่ได้สารดิสเพอร์ชั่นที่มีความเหมาะสม เนื่องจากสารที่ได้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าใบกวนแบบอื่น จำนวนชั่วโมงบดสารที่ 1 3 และ 5 ชั่วโมง สารที่ได้มีขนาดอนุภาค 8.44 7.48 และ 5.99 ไมครอน ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อเวลาในการบดเพิ่มขึ้นขนาดอนุภาคสารเล็กลง

ตารางที่ 13 ผลของขนาดอนุภาคของกำมะถันที่ได้จากการบดด้วยใบกวนแบบต่าง ๆ

ลักษณะใบกวน	ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)			ขนาดอนุภาคหลังการบด (ไมครอน)		
	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 3	ชั่วโมงที่ 5	ชั่วโมงที่ 1	ชั่วโมงที่ 3	ชั่วโมงที่ 5
ใบกวนแบบ 3 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ	16.5	28.0	37.0	12.66	11.94	9.90
ใบกวนแบบ 3 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ	22.0	49.8	50.4	11.05	8.73	8.60
ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ	21.0	35.5	50.0	8.44	7.48	5.99
ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ	25.5	43.5	56.6	10.26	7.69	6.56



ภาพที่ 21 ความหนืดของสารที่ได้หลังการบดด้วยใบกวนลักษณะต่าง ๆ



ภาพที่ 22 ขนาดอนุภาคที่ได้หลังการบดด้วยใบกวนลักษณะต่าง ๆ

4.4 ผลของขนาดอนุภาคสารดิสเพอร์ชั่น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของถังบดในเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

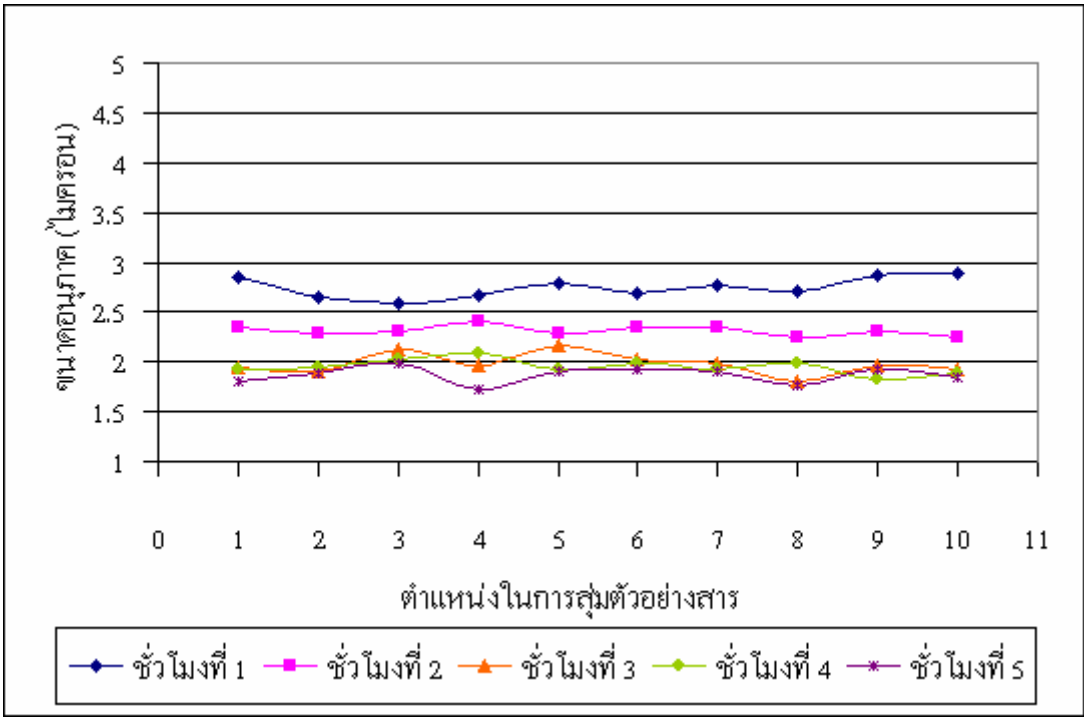
จากการทดลองที่ 4.3 เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เตรียมสารดิสเพอร์ชั่น กำมะถันได้ขนาดอนุภาคเกินกว่า 5 ไมครอน การทดลองนี้เปลี่ยนสารทดสอบเป็น แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เพื่อทดลองว่าให้ขนาดอนุภาคเช่นเดียวกับกำมะถันหรือไม่ การทดลองใช้ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ เป็นใบกวนที่ดีจากการทดลองที่ 4.3 ใช้ความเร็วของมอเตอร์เท่ากับ 1,450 รอบต่อนาที

ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 14 สามารถนำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟ ดังภาพที่ 23 พบว่าขนาดอนุภาคที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแต่ละชั่วโมง มีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า อนุภาคมีการกระจายตัวสม่ำเสมอทุกจุด และจากภาพที่ 24 จะเห็นว่า เมื่อเวลาในการบดเพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคของสารจะเล็กลง การบดสารแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าขนาดอนุภาคของสารมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน และอนุภาคของสารที่ได้หลังการบดมีค่า 2.75 2.31 1.98 1.95 และ 1.867 เมื่อบดถึงชั่วโมงที่ 1 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ

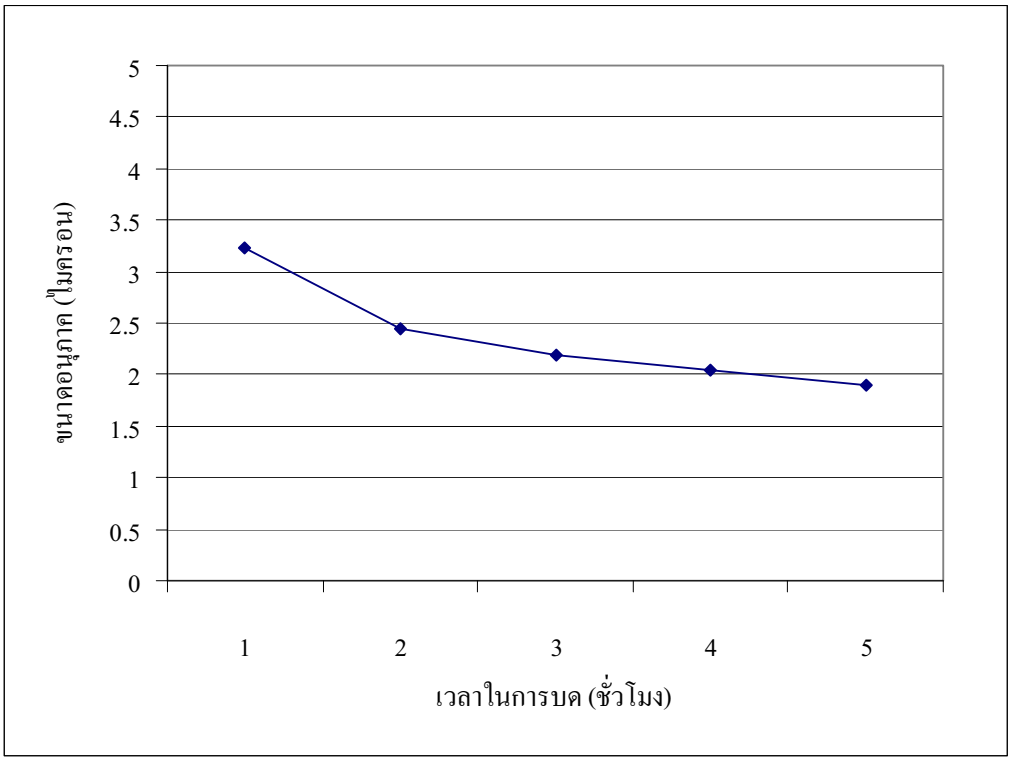
จากการทดลองที่ 4.3 เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เตรียมสารดิสเพอร์ชั่นกำมะถันได้ขนาดอนุภาคเกินกว่า 5 ไมครอน แต่เมื่อใช้เครื่องดิสเพอร์ชั่น บดสารแคลเซียมคาร์บอเนต ได้ขนาดอนุภาคต่ำกว่า 5 ไมครอน และได้ทำการทดลองบดสารเคมีอื่น ๆ เพิ่มเติมได้ผลการทดลองในผลการทดลองที่ 4.5

ตารางที่ 14 ผลการกระจายตัวของสารเคมีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในถังบด ณ เวลาต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ขนาดอนุภาคของสารเคมี (ไมครอน)										
	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ค่าเฉลี่ย
1	2.84	2.66	2.58	2.66	2.79	2.69	2.77	2.71	2.87	2.89	2.74
2	2.34	2.29	2.31	2.40	2.29	2.34	2.35	2.25	2.31	2.24	2.31
3	1.94	1.91	2.13	1.967	2.17	2.02	1.98	1.81	1.97	1.92	1.98
4	1.92	1.94	2.02	2.08	1.92	1.99	1.92	1.98	1.83	1.89	1.95
5	1.80	1.88	1.99	1.73	1.91	1.92	1.89	1.76	1.93	1.85	1.87



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในถังบด ณ เวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมี ณ เวลาต่าง ๆ ของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

4.5 ผลของขนาดอนุภาคของสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่บดด้วยเครื่องดิสเพอชั่นมิลและเครื่องบอลมิล

การทดลองโดยใช้เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล แบบมีใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ ใช้ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ทำการบดสารต่าง ๆ ที่อัตราส่วนเดียวกัน การบดใช้เวลา 5 ชั่วโมงวัดขนาดอนุภาคและความหนืด นำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับการสารเคมีแบบบอลมิล

จากการทดลองเปรียบเทียบค่าความหนืดของสารในตารางที่ 15 นำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 25 พบว่าสารที่ได้จากการบดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มีความหนืดใกล้เคียงกับความหนืดของสารที่ได้จากเครื่องบอลมิล และมีความหนืดใกล้เคียงกับความหนืดน้ำยางข้น แสดงให้เห็นว่า สารที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เป็นสารที่มีความเหมาะสมในการนำไปผสมกับน้ำยางข้น เพื่อทำเป็นน้ำยางคอมปาวด์

จากการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคดังแสดงในตารางที่ 16 นำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟ ดังภาพที่ 26 พบว่า $CaCO_3$ 50%, S 50%, ZnO 50%, ZDEC 50% และLowinox CPL 50% ใช้เวลาในการบดสาร 5 ชั่วโมง ด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล สารดิสเพอร์ชั่นที่ได้มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 1.87, 5.99, 1.77, 2.21 และ 1.90 ตามลำดับ และพบว่าขนาดอนุภาคของสารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มีขนาดเล็กกว่าที่ได้จากเครื่องบอลมิล ขนาดอนุภาคสารดิสเพอร์ชั่นที่เหมาะสมใส่ในน้ำยางประมาณ 5 ไมครอน สารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล 5 ตัวที่ใช้ในการทดลองมีสารเคมี 4 ตัว ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 5 ไมครอน แต่การบดกำมะถันด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ได้ขนาดอนุภาคเกินกว่า 5 ไมครอน จำเป็นต้องมีการศึกษาและทำวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องต่อไป พร้อมทั้งนำสารที่เตรียมด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ไปทดลองเพิ่มเติม ได้ผลการทดลอง ตามผลการทดลองที่ 4.6

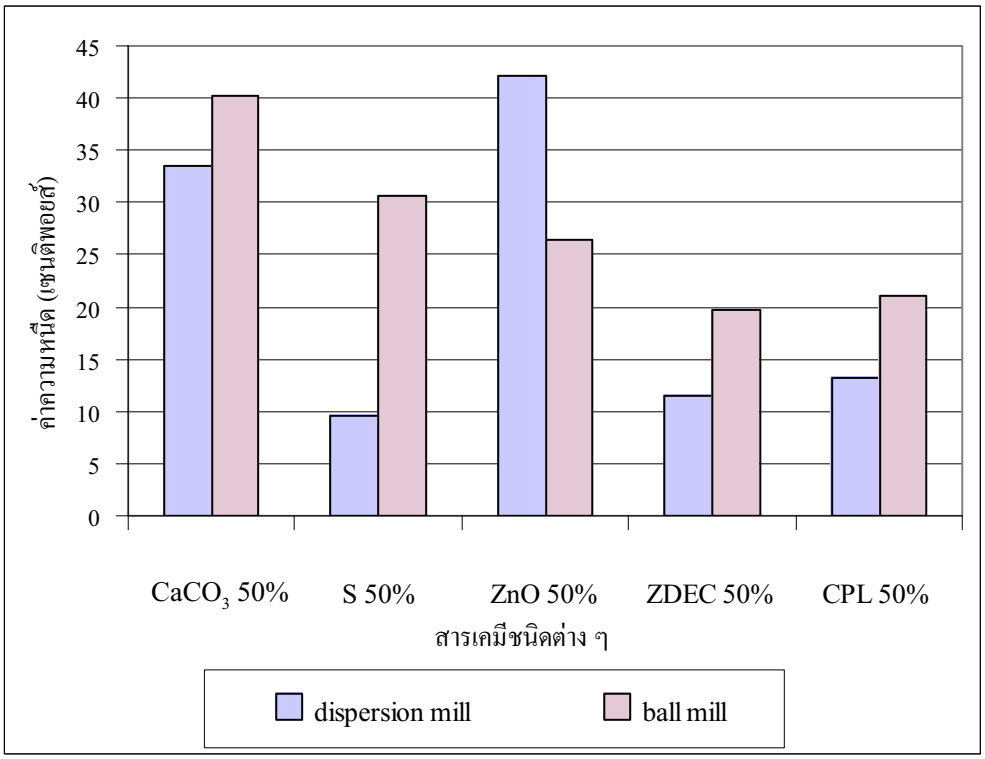
สำหรับเครื่องบอลมิล ในทางปฏิบัติบดประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ได้สารดิสเพอร์ชั่น ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 5 ไมครอน ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบความหนืดของสารต่าง ๆ ที่ได้จากการบดสารเคมี ด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลและเครื่องบอลมิล

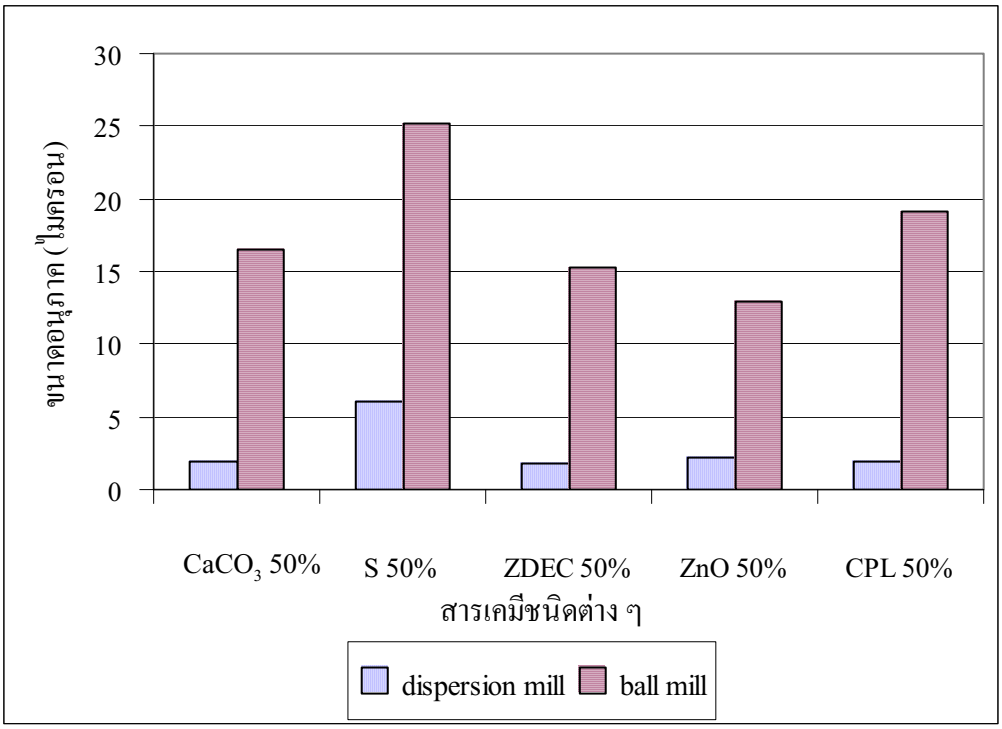
สารเคมี	เวลาในการบด(ชั่วโมง)	ความหนืดจากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล (เซนติพอยส์)	ความหนืดจากเครื่องบอลมิล (เซนติพอยส์)
$CaCO_3$ 50%	5	33.6	40.3
S 50%	5	9.6	30.6
ZnO 50%	5	42.1	26.5
ZDEC 50%	5	11.5	19.7
Lowinox CPL 50%	5	13.2	21.1

ตารางที่ 16 ผลการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของสารต่าง ๆ ที่ได้จากการบดสารเคมี ด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล และเครื่องบอลมิล

สารเคมี	เวลาในการบด (ชั่วโมง)	ขนาดอนุภาคจากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล(ไมครอน)	ขนาดอนุภาคจากเครื่องบอลมิล (ไมครอน)
$CaCO_3$ 50%	5	1.87	16.49
S 50%	5	5.99	25.25
ZnO 50%	5	1.77	15.30
ZDEC 50%	5	2.21	12.87
Lowinox CPL 50%	5	1.90	19.18



ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบความหนืดของสารต่าง ๆ ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลและเครื่องบอลมิล เป็นเวลา 5 ชั่วโมง



ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของสารต่าง ๆ ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลและเครื่องบอลมิล เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

4.6 ผลการเปรียบเทียบความแข็งแรงของลูกโป่งที่ได้จากน้ำยางที่ผสมสารดิสเพอร์ชั่นจากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล กับลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด

การทดสอบเป็นการนำสารดิสเพอร์ชั่น ที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ผสมกับน้ำยางจะได้น้ำยางคอมปาวด์ พบว่าน้ำยางคอมปาวด์ มีค่าเปอร์เซ็นต์ TSC เฉลี่ยเท่ากับ 42.88 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบคลอโรฟอร์ม พบว่าเป็นเกรดที่ 2 นำน้ำยางคอมปาวด์มาทำเป็นลูกโป่งและทดสอบ นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด ผลการทดสอบเป็น ดังตารางที่ 17 และตารางที่ 18 จากตาราง พบว่าลูกโป่ง ได้จากน้ำยางที่ผสมสารดิสเพอร์ชั่น จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มีสมบัติโดยทั่วไปใกล้เคียงกับลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด

ข้อมูลจากการศึกษาของ ชมพูนุช [14] พบว่าขนาดอนุภาคดิสเพอร์ชั่น ในช่วงตั้งแต่ 1 – 5 ไมครอนไม่มีผลต่อลักษณะพื้นผิวของถุงมือยาง จากข้อมูลในการทดลองที่ 4.1 ถึง 4.6 สามารถสรุปในเบื้องต้นว่า การผสมน้ำยางกับสารดิสเพอร์ชั่น ที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล สามารถทำผลิตภัณฑ์ลูกโป่ง และจากการทดลองในตางรางที่ 16 สารดิสเพอร์ชั่น ที่เตียมด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2 – 6 ไมครอน

ตารางที่ 17 ผลการวัดความหนา เปอร์เซ็นต์การรั่ว และเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของผลิตภัณฑ์ลูกโป่งได้จากน้ำยางผสมกับสารดิสเพอร์ชั่นจากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เปรียบเทียบกับลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด

การทดสอบ	ลูกโป่งได้จากน้ำยางที่ผสมสารดิสเพอร์ชั่นจากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล	ลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด
ความหนาของลูกโป่ง (มิลลิเมตร)	0.290	0.223
การรั่วของลูกโป่ง (เปอร์เซ็นต์)	0 (ไม่รั่ว)	0 (ไม่รั่ว)
การขยายตัว (เปอร์เซ็นต์)	804	803

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) การยืดขณะยางขาด (Elongation at break) และค่าโมดูลัส (Modulus) ของผลิตภัณฑ์ลูกโป่งจากน้ำยางผสมกับสารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล เปรียบเทียบกับลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด

การทดสอบ	ลูกโป่งได้จากน้ำยางที่ผสมสารดิสเพอร์ชั่นจากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล	ลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด
300 % โมดูลัส (เมกะปาสคาล)	1.32	1.33
ความต้านทานต่อแรงดึง (เมกะปาสคาล)	17.82	17.60
การยืดขณะยางขาด (เปอร์เซ็นต์)	781.33	744.33

5 สรุปผลการทดลอง

1. การเปรียบเทียบบดสารด้วยใบกวนแบบต่าง ๆ โดยใช้สารกำมะถัน 50 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วรอบในการบด 1,450 รอบต่อนาที พบว่าลักษณะใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ เป็นใบกวนที่ทำให้ได้สารดิสเพอร์ชั่น ที่มีขนาดเล็กกว่าใบกวนแบบอื่นๆ และเมื่อใช้เวลาในการบดสารมากขึ้น ขนาดอนุภาคสารที่ได้จเล็กลง

2. ขนาดอนุภาคสารดิสเพอร์ชั่น ที่ได้จากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มีการกระจายตัวสม่ำเสมอทุกจุดของถังบด

3. สารแคลเซียมคาร์บอเนต กำมะถัน ZnO ZDEC และ Lowinix CPL ใช้เวลาบด 5 ชั่วโมง สารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากการบดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าสารดิสเพอร์ชั่น ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบอลมิล

4. สารดิสเพอร์ชั่น ที่เตรียมจากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำยาง ทำให้สารดิสเพอร์ชั่น สามารถใช้ผสมกับน้ำยางข้น แล้วนำมาทำผลิตภัณฑ์ลูกโป่ง ได้ลูกโป่งที่มีสมบัติใกล้เคียงกับลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด

5. คุณลักษณะของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

- เครื่องบดดิสเพอร์ชั่นมิล ใช้บดสารเคมีที่เป็นของแข็งที่ไม่สามารถละลายน้ำให้อยู่ในรูปสารดิสเพอร์ชั่น เพื่อใช้สำหรับผสมกับน้ำยางข้น นำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์

- ประกอบด้วย 2 ระบบ คือ ระบบส่งกำลังและระบบการกวน

1.ระบบส่งกำลัง ประกอบด้วยเพลา 2 อันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 373 วัตต์ (0.5 แรงม้า) ไปยังใบกวน ด้วยความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที

2. ระบบการกวน ประกอบด้วย ใบกวนแบบ Propellers บิดเอียง 45 องศา ใช้ใบกวนแบบ 5 ชั้น ชั้นละ 2 ใบ ใช้ใบกวนจำนวน 2 ชุด ต่อเข้ากับระบบส่งกำลังหมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่เท่ากัน ภายในถังกวน

- ส่วนประกอบเครื่อง และหลักการทำงาน

1. โครงสร้างเครื่องบดดิสเพอร์ชั่นมิล	- เหล็กกล่องประกอบเข้าด้วยกัน - มีมิติ กว้าง×ยาว×สูง (มิลลิเมตร) เท่ากับ 400 ×400 × 800 - ติดตั้งชุดรองรับและระบบส่งกำลัง
2. มอเตอร์	- ขนาด 373 วัตต์ (0.5 แรงม้า) - ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที - เปิดใช้งานต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง
3. ระบบรองรับส่งกำลังไปยังใบกวน	- ระบบรองรับส่งกำลังใช้แบริ่งเป็นตัวยึดเพื่อไม่ให้เพลาแกว่งในขณะเดินเครื่อง
4. ระบบส่งกำลัง	- ส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังใบกวน (6) ด้วยเพลากลมตันขนาด 18 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน -ใช้เฟืองที่มีขนาดเท่ากันเป็นตัวทำให้เพลาทั้งสองหมุนด้วยความเร็วเดียวกันในทิศทางตรงกันข้าม
5. ถังบด	- เป็นถังสแตนเลส - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง × สูง เท่ากับ 140 ×180 - เป็นภาชนะที่บรรจุสารเคมีที่จะบด - ปริมาตรส่วนผสมของสารเคมีที่ใช้ในการบดรวม ไม่เกิน 50% ของปริมาตรถังบด
6. ใบกวน	- ทำจากแผ่นสแตนเลส - ใบกวนแบบ Propellers บิดเอียง 45 องศา แบบ 5 ชั้น ชั้นละ 2 ใบ แต่ละชั้นวางสลับกัน - ใบกวนหมุนด้วยความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที - ใช้ใบกวนจำนวน 2 ชุด ต่อเข้ากับระบบส่งกำลัง(4) หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่เท่ากัน ภายในถังบด - ใช้สำหรับบดกวนสารเคมี ให้เป็นสารดิสเพอร์ชั่น

- ส่วนผสมของสารเคมีรวมที่เหมาะสมในการบดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ประกอบด้วย สารที่จะบด 650 กรัม น้ำ 624 กรัม วัลทามอล 13 กรัม และ เบนโทไนท์ 13 กรัม มวลรวมของสารทั้งหมดเท่ากับ 1,300 กรัม คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรความจุของถังบด เวลาในการบดสารดิสเพอร์ชั่น 5 ชั่วโมง

OUTPUT ที่ได้จากโครงการวิจัย

1. การนำผลวิจัยไปใช้

เครื่องบดดิสเพอร์ชั่นมิล ใช้บดสารเคมีที่เป็นของแข็งที่ไม่สามารถละลายน้ำ ให้อยู่ในรูปสารดิสเพอร์ชั่น เพื่อใช้สำหรับผสมกับน้ำยางข้น นำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ การนำผลวิจัยไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมน้ำยางธรรมชาติ ในเชิงธุรกิจควรคำนึงถึงความคุ้มค่าและเวลาในการบด ดังนั้นการทดสอบ ผู้วิจัยจึงออกแบบเครื่องบดสารเคมีให้เป็นสารดิสเพอร์ชั่น โดยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล สามารถบดสารให้มีขนาดอนุภาคเล็กและกระจายตัวสม่ำเสมอได้ภายในเวลาไม่เกิน 5 ชั่วโมงและในการบด 1 ครั้ง สามารถบดสารน้ำหนักรวมอย่างน้อย 1.3 กิโลกรัม สำหรับผู้ที่สนใจ สามารถดัดแปลงการบดสารดิสเพอร์ชั่น โดยเพิ่มสารที่จะบดให้มากขึ้น และสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ (เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์ 1,450 รอบต่อนาที แต่เครื่องบอลมิล ต้องมีการทดรอบไม่ให้เกินความเร็ววิกฤตของการหมุนของถัง)

สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็กระดับชุมชน สามารถใช้เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลได้โดยตรง เพราะปริมาณสารที่บด 1 ครั้ง เพียงพอสำหรับการทำผลิตได้หลายครั้ง โดยลักษณะของเครื่อง ประกอบด้วย 2 ระบบ คือ ระบบส่งกำลัง และระบบการกวน ระบบส่งกำลัง ประกอบด้วยเพลา 2 อัน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร (0.71 นิ้ว) ทำหน้าที่ส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 373 วัตต์ (0.5 แรงม้า) ไปยังใบกวน ด้วยความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ระบบการกวน ใช้ใบกวนแบบ Propellers บิดเอียง 45 องศา ใช้ใบกวนแบบ 5 ชั้น ชั้นละ 2 ใบ

ส่วนผสมของสารเคมีที่เหมาะสม ประกอบด้วย สารที่จะบดจำนวน 650 กรัม น้ำ 624 กรัม วัลทามอล 13 กรัม และ เบนโทไนท์ 13 กรัม มวลรวมของสารทั้งหมดเท่ากับ 1,300 กรัม คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรความจุของถังบด โดยเทียบกับน้ำหนักของน้ำ ปริมาตรรวมของถังบด 2,600 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร เวลาในการบดสารดิสเพอร์ชั่น 5 ชั่วโมง

2. ประเด็นวิจัยใหม่

ก. ควรศึกษาระยะที่เหมาะสมจากก้นถึงถึงใบกวนใบล่างสุด

ข. ควรศึกษาการแก้ปัญหาการเกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่เกิดกับสารขณะทำการบด

ค. ควรศึกษาการบดด้วยสารเคมีอื่น ๆ

ง. ควรศึกษาลักษณะทางกายภาพ เช่น ค่า Tensile, Modulus ของผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปที่เกิดจากการนำสารที่ได้จากการบดด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล ไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. บุญธรรม นิธิอุทัย พรพรรณ นิธิอุทัย อดิศัย รุงวิชานิวัฒน์ อาซีซัน แกสมาน และวุฒิศักดิ์ ศิริทองถาวร. 2538. เทคโนโลยีน้ำยาง สมบัติ และผลิตภัณฑ์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ปัตตานี.
2. พรพรรณ นิธิอุทัย. 2535. เทคนิคการออกสูตร. ภาควิชาเทคโนโลยียางและโพลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ปัตตานี.
3. บุญธรรม นิธิอุทัย. 2532. ปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ปัตตานี.
4. สุเนตร โม่งปราณีต. 2536. การลดขนาด. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมการแปรรูปผลผลิต-เกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
5. Division of aron engineered process equipment.2004. Milling equipment - production and laboratory ball mills . (online). Available. http://www.pauloabbe.com/index.html
6. Abigail enterprises. 1993. Process equipments & machines for paints, printing ink, plastic, pharmaceuticals, dyes, chemicals and food process. (online). Available. http://www.abigailenterprises.com/
7. Valley slurry seal Co.2005. Equipment : charlotte® colloid mills. (online). Available. http://www.slurry.com/index.shtml
8. Stern, H.J. 1955. Practical latex work. 3 rd edition.The blackfriars press ltd. Leicester.
9. Blackley, D.C. 1966.High polymer latices. Vol.1. Maclaren & sons ltd. London.
10. พิภพ ธรรมธาลัย. 2534. การหาเวลาที่จำเป็นของการผสมในถังผสมที่มีการกวนแบบไม่ต่อเนื่องด้วยเทคนิคการติดตาม. วิทยานิพนธ์ .บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
11. สมเกียรติ วิบูลย์ชัยเดช. 2535. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องย่อยวัสดุ. 66 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล. รวบรวมบทความทางวิชาการด้านเครื่องกลจากวารสารเทคนิค ชุดที่ 4. กรุงเทพฯ: นำอักษรการพิมพ์.
12. ธีรยุทธ หล่อภูมิพันธ์. 2536. ภาวะที่มีผลต่อการผสมในถังกวนแบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์. บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
13. สามารถ มูลอามาตย์. 2541. ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบถังกวน. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
14. ชมพูนุช สัญจร. 2543. ผลของขนาดอนุภาคดิสเพอร์ชันที่มีต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของถุงมือยาง. บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

15. ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย และคณะ. 2548. การออกแบบและสร้างเครื่อง Ball mill สำหรับเตรียมดิสเพอชั่น. รายงานการวิจัยของ สกว.

16. Shigley, J.E. 1986. Mechanical Engineering Design. First Metric Edition, McGraw-Hill Book Company, Singapore.

17. อนันต์ วงศ์กระจ่าง. 2533. ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

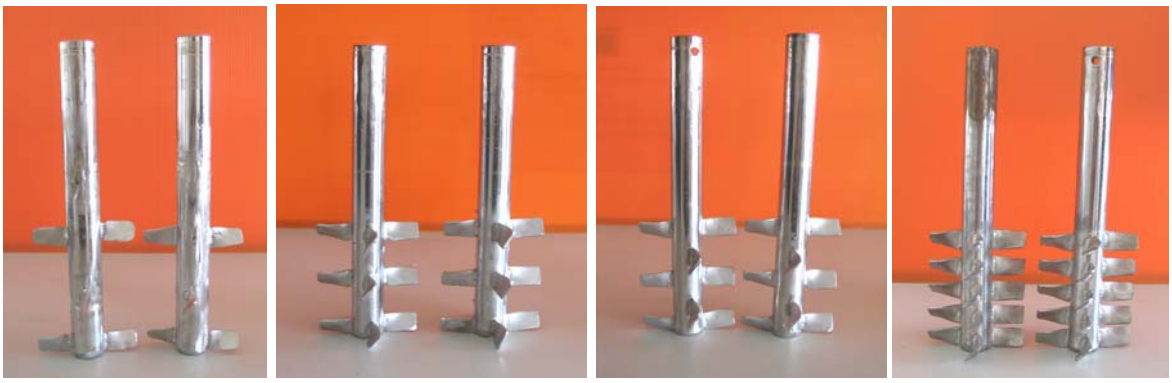
18. ชาญ ฉนัดงาน และ วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. 2536. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. นำอักษรการพิมพ์ กรุงเทพ ฯ.

ภาคผนวก ก

ภาพที่ ก.1 เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลด้านหน้า ด้านบน ด้านข้าง และด้านหลัง

ภาพที่ ก.2 ฝาปิดถังบด

ภาพที่ ก.3 ถังบด



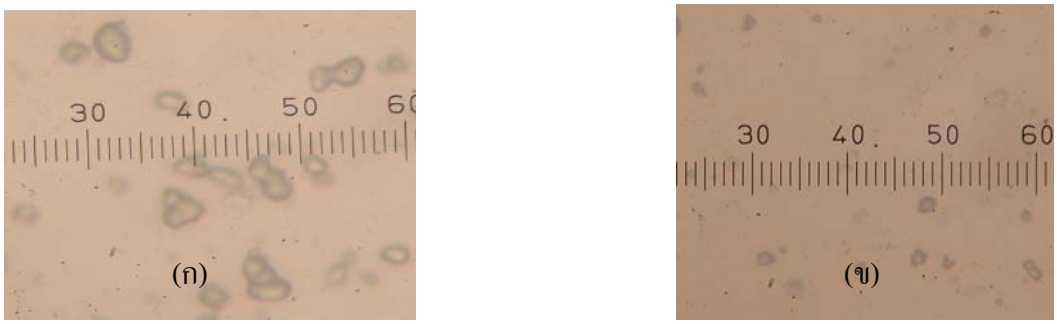
(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ ก.4 (ก) ใบกวนแบบ 3 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ (ข) ใบกวนแบบ 3 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ (ค)ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ (ง)ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 4 ใบ

ภาพที่ ก.5 เครื่องวัดความหนืด

ภาพที่ ก.6 กล้องจุลทรรศน์สำหรับทดสอบการวัดขนาด

ภาพที่ ก.7 ภาพอนุภาคกำมะถัน (ก) หลังทำการบด 30 นาที (ข) ชั่วโมงที่ 1 ด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล



ภาพที่ ก.8 ภาพอนุภาคกำมะถัน(ก)หลังทำการบดชั่วโมงที่ 3 (ข)หลังทำการบดชั่วโมงที่ 5 ด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

ภาพที่ ก.9 ภาพเครื่องบอลมิล

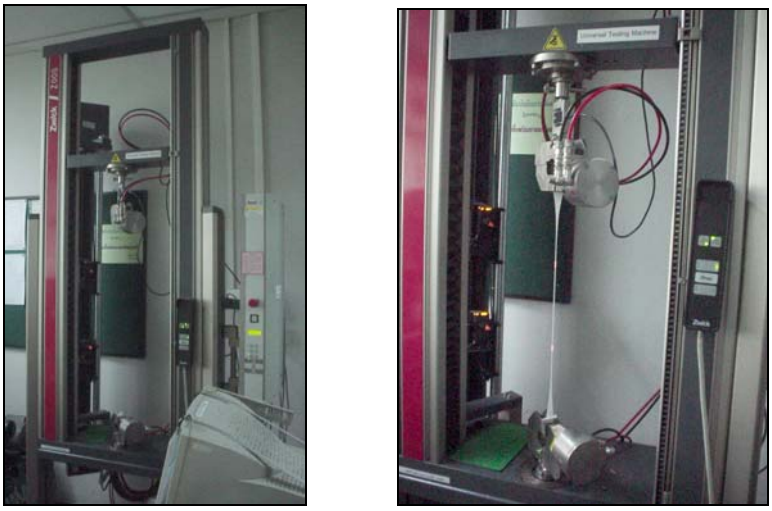
ภาพที่ ก.10 เครื่องบ่มน้ำยางคอมปาวด์

ภาพที่ ก.11 ลูกโป่งหลังจากอบวัลคาไนซ์

ภาพที่ ก.12 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลของลูกโป่ง

ภาพที่ ก.13 อุปกรณ์สำหรับทำเครื่องหมายบนชิ้นทดสอบ (Specimen marking device)

ภาพที่ ก.14 เครื่องมือวัดความหนา



ภาพที่ ก.15 เครื่องมือ Universal testing Machine ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z005 ขณะกำลังทดลองดึงลูกโป่ง

ตารางที่ ก.1 ขนาดอนุภาคของสารดิสเพอร์ชั่นที่บดด้วยเครื่องบอลมิลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

สารเคมี	ขนาดอนุภาคจากเครื่องบอลมิล (ไมครอน)
$CaCO_3$ 50%	2.15
S 50%	8.35
ZnO 50%	2.22
ZDEC 50%	2.25
Lowinox (CPL) 50%	2.42

ตารางที่ ก.2 งบประมาณในการทำเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

ส่วนประกอบ	จำนวน	งบประมาณ (บาท)
ถังแสตนเลสพร้อมฝาล๊อค	3 ชุด	7,500
เครื่องปั่น	1 ตัว	6,500
แกนปั่น	8 อัน	7,200
ชุดส่งกำลังขับแกนปั่น	1 ชุด	6,350
เฟือง , น๊อต	1 ชุด	6,000
อื่น ๆ	1 ชุด	3,450
รวม		37,000

ภาคผนวก ข

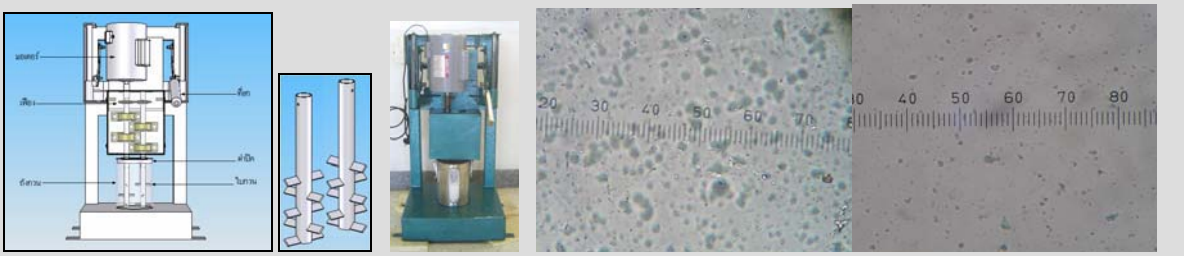
เอกสารเผยแพร่

(การประชาสัมพันธ์ : เขียนบทความในหนังสือ“คู่มืออุตสาหกรรมเกษตร วิศวกรรม และแปรรูปทางการเกษตร 2006-2007” หน้า 54-57)

การออกแบบและสร้าง

เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

THE DESIGN AND FABRICATION OF THE DISPERSION MILL



ศิวโรฒ บุญราศรี [1]

บทคัดย่อ

เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลใช้บดสารเคมีที่เป็นของแข็งซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ให้อยู่ในรูปดิสเพอร์ชั่นเพื่อใช้สำหรับผสมกับน้ำยางข้นธรรมดา ประกอบด้วย 2 ระบบ คือ ระบบส่งกำลังและระบบการกวน ระบบส่งกำลังประกอบด้วยเพลา 2 อันซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร (0.71 นิ้ว) ทำหน้าที่ส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 373 วัตต์ (0.5 แรงม้า) ไปยังใบกวน ส่วนระบบการกวนนั้นใช้ใบกวนแบบ Propellers บิดเอียง 45 องศา ส่วนผสมของสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) 650 กรัม น้ำ 624 กรัม วัลทามอล (Vultamol) 13 กรัม และเบนโทไนท์ (Bentonite clay) 13 กรัม มวลรวมของสารทั้งหมดเท่ากับ 1,300 กรัม คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถัง ลักษณะของใบ คือ ใบกวน 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ และความเร็วรอบในการบดคือ 1,450 รอบต่อนาที โดยความหนืดของสารดิสเพอร์ชั่นภายหลังการบดมีค่า 33.6 เซนติเพอยส์ และอนุภาคของสารที่ได้มีค่า 2.749, 2.313, 1.981, 1.949 และ 1.867 ไมครอน เมื่อกวนถึงชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

Abstract

The dispersion mill is used for milling water-insoluble chemical compounds to be the dispersion form for mixing with concentrated latex. It consists of 2 components-the transmission system and stirring system. The power train system consists of two shafts with each having a diameter of 18 mm (0.7 inches) driven by a shaft of an AC electric motor of 373 W (0.5 Hp). The propeller paddles inclined to 45 degrees toward the horizon were designed for the stirring system. The composition of the chemical compounds used in this experiment were 650 grams of Calcium carbonate ($CaCO_3$), 624 grams of water, 13 grams of Vultamol and 13 grams of Bentonite clay. The total of these substances was 1,300 grams in mass equivalent to 50 percent of a tank volume. Two 5-layered paddle stirrers, with each having 2 paddles for each layer, were tested with the stirring velocity of 1,450 rev/min. The dispersion compound had a viscosity of 33.6 centipoises. Its particle had 2.749, 2.313, 1.981, 1.949 and 1.867 microns for the stirring hours of 1, 2, 3, 4 and 5, respectively.

[1] สาขาวัสดุศาสตร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ. สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

คำนำ

อุตสาหกรรมการทำผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปไม่ว่าจะเป็น ถุงมือยาง ลูกโป่ง ฟองน้ำ ที่นอน อุปกรณ์ทางการแพทย์ สื่อการสอน ฯลฯ เป็นการเพิ่มมูลค่าในการใช้ยางพารา และยังเป็นการส่งเสริมการใช้ยางในประเทศให้เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย กระบวนการสำคัญในการทำผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปนั้น คือการผสมสารเคมี ซึ่งสารเคมีดังกล่าวจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำยางให้มีความเหมาะสม สำหรับสารเคมีที่เป็นของแข็ง ถ้าละลายน้ำได้จะเตรียมในรูปของสารละลาย แต่ถ้าละลายน้ำไม่ได้ ต้องบดให้อนุภาคเล็กลงและกระจายตัวในน้ำในรูปของดิสเพอร์ชั่น (Dispersion) สารเคมีที่เป็นดิสเพอร์ชั่น จะต้องมีสมบัติเป็นคอลลอยด์คล้ายกับน้ำยาง สำหรับสารเคมีที่เป็นของเหลว ถ้าละลายน้ำเป็นเนื้อเดียวกันได้ก็ให้ใส่ในรูปของสารละลาย แต่ถ้าละลายน้ำเป็นเนื้อเดียวกันไม่ได้ ต้องทำให้กระจายในน้ำอยู่ในรูปของอิมัลชั่น การเตรียมสารเคมีที่เหมาะสมให้แก่น้ำยางจะทำให้ได้น้ำยางคอมปาวด์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ตามต้องการ และขนาดอนุภาคของสารเคมีที่เหมาะสมที่จะใช้กับน้ำยาง ควรจะมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับน้ำยาง จะทำให้การตกตะกอนเกิดขึ้นน้อยที่สุด และเมื่อเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีด้วย ในการบดสารเคมีนั้นต้องใช้เครื่องบดสารเคมีซึ่งเครื่องบดสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ เครื่องบดแบบบอลมิล โดยเครื่องบดแบบบอลมิล ทำให้เกิดปัญหา คือ ใช้ระยะการบดผสมนานมาก เช่น การบดสารกำมะถันจะใช้เวลา ประมาณ 3 วัน จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องจักรเพื่อลดระยะเวลาในการบดผสม ลดต้นทุนในการผลิต เพิ่มกำลังการผลิตให้มากขึ้นด้วยเครื่องจักรราคาถูก และยังเป็นเครื่องต้นแบบเครื่องบดสารเคมีเพื่อการพัฒนาให้สามารถใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

เครื่องเชื่อมโลหะ, เครื่องตัดโลหะ, มอเตอร์ขนาด ½ แรงม้า (0.373 kW), ถังกวนสแตนเลส,เหล็กกล่อง, เหล็กแผ่น, เพลากลวงสแตนเลส, เพลาตันเหล็ก, แผ่นสแตนเลส, เฟืองพลาสติกแข็ง,สะพานไฟ และ บีกเกอร์

อุปกรณ์ทดสอบ

กล้องจุลทรรศน์, กล้องดิจิตอล, เครื่องวัดความหนืด และ เครื่องชั่ง

สารเคมี

แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$), เบนโทไนท์ (Bentonite clay) และ วัลทามอล (Vultamol)

วิธีการ

1. ออกแบบเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล

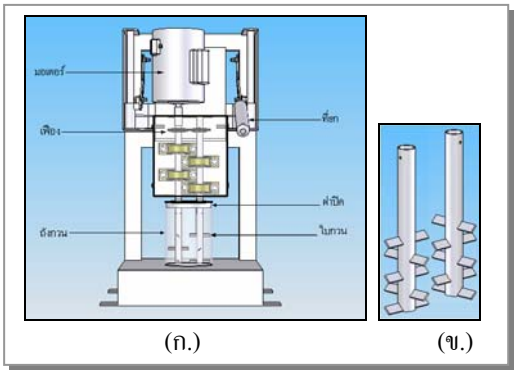
การออกแบบและสร้างเครื่องบดสารเคมีในส่วนที่ต้องมีการสัมผัสกับสารเคมีไม่ว่าจะเป็น ถังกวน ใบกวน เพลา และฝาปิดนั้นถูกออกแบบให้ทำจากสแตนเลสเพื่อป้องกันการกัดกร่อน และเพื่อความแข็งแรง แต่สำหรับส่วนที่ไม่ได้สัมผัสกับสารเคมี เช่น โครงสร้างเครื่อง ที่ยก แผ่นรองมอเตอร์ เป็นต้น ถูกออกแบบให้ทำจากเหล็กกล้า ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนในการสร้างเครื่อง

โครงสร้างเครื่องได้ออกแบบให้มีความกว้าง ความยาว และความสูง ในระยะที่เหมาะสมที่จะทำการติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ มอเตอร์ เพลา แบริ่ง ชุดอุปกรณ์สำหรับยก ถังกวน โดยได้ออกแบบให้ฐานกว้าง 400 มิลลิเมตร (15.75 นิ้ว) ยาว 400 มิลลิเมตร (15.75 นิ้ว) และสูง 800 มิลลิเมตร (31.50 นิ้ว) โดยใช้ เหล็กกล่องขนาด 50 x 50 มิลลิเมตร (1.97 x 1.97 นิ้ว) หนา 6.4 มิลลิมตร (0.25 นิ้ว) และเหล็กแผ่นหนา 6.4 มิลลิเมตร (0.25 นิ้ว) เช่นกัน สำหรับความสูงของเครื่องนั้นได้ออกแบบตามขนาดของถังกวน และระยะใบกวนถึงก้นถังอีกด้วย

ระบบส่งกำลังที่ใช้กับเครื่องบดสารเคมีแบบใช้ใบกวนนี้ประกอบด้วย มอเตอร์กระแสสลับขนาด 0.5 แรงม้า 220 โวลต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 15 เซนติเมตร (5.90 นิ้ว) ความยาว 21 เซนติเมตร (8.27 นิ้ว) ทำหน้าที่เป็นระบบส่งกำลังไปยังเพลาส่งกำลังเพื่อส่งต่อไปยังใบกวน

ในส่วนของถังกวนนั้น จะเป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวบรรจุสารเคมีขณะทำการบด ดังนั้นจึงเป็นชิ้นส่วน ที่ต้องมีความแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อน วัสดุที่ใช้ทำถังกวนคือ สแตนเลส ถังกวนสำหรับโครงงานนี้มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 14 เซนติเมตร (5.51 นิ้ว)

สูง 18 เซนติเมตร (7.10 นิ้ว) และหนา 3 เซนติเมตร (0.12 นิ้ว) ใบกวนจะใช้ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ ในการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 1

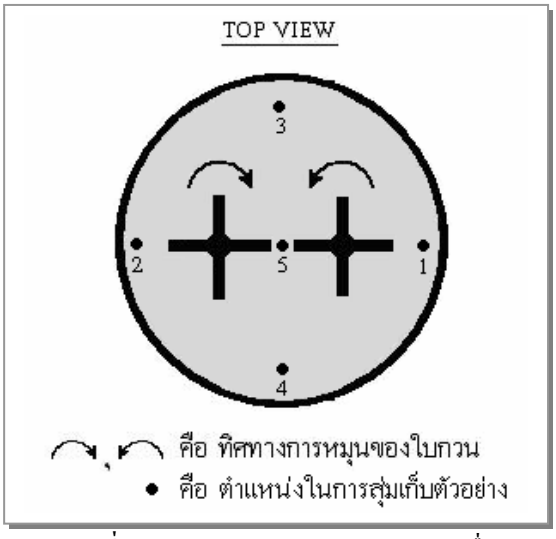


(ก.) (ข.)

ภาพที่ 1 แบบเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล (ก.) ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ (ข.)

1. ทดสอบความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของสาร

เป็นการทดสอบการกระจายตัวของสารโดยการสุ่มเก็บตัวอย่างในการทดสอบ 5 ตำแหน่ง ที่บริเวณผิวหน้า และ 5 ตำแหน่งบริเวณก้นถัง โดยตำแหน่งต่างๆ แสดงดังภาพที่ 2 ในการทดสอบได้เลือกใช้ใบกวนแบบ 5 ชั้นจำนวนใบกวนชั้นละ 2 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที



ภาพที่ 2 ตำแหน่งต่าง ๆ ในการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาตรวจสอบการกระจายตัว

ผลการทดลอง

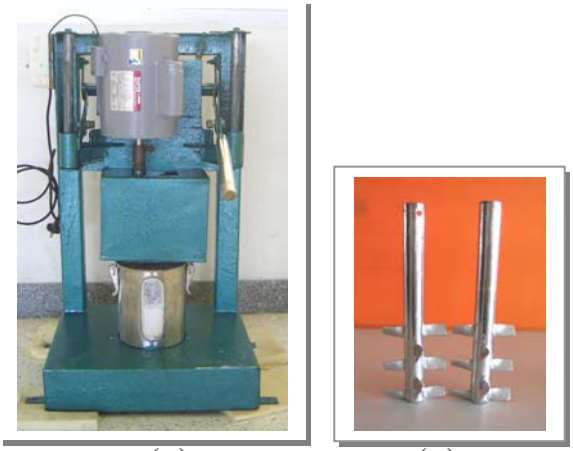
1. ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น

การทดสอบการทำงานของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลนั้น ทำได้โดยการปรับเปลี่ยนความยาวของก้านใบกวนให้มีความเหมาะสมกับขนาดของถังกวน ทั้งนี้เพื่อให้ได้สารสุดท้ายในการบดที่เหมาะสม

ผลการทดสอบเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล พบว่าขนาดเครื่องมีความกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร และสูง 80 เซนติเมตร ถังกวนขนาดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 14 เซนติเมตร สูง 18 เซนติเมตร ระยะจากก้นถังถึงใบกวนใบล่างสุดเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ในการทดสอบได้ทดสอบด้วยมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาทีโดยเปิดทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อเนื่องโดยไม่หยุดพักเพื่อทดสอบคุณสมบัติของมอเตอร์ ผลคือมอเตอร์ต้นกำลังไม่เกิดการเสียหายแต่อย่างใด

จากการทดสอบข้างต้นพบว่า การทำงานของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล (ภาพที่ 3 ก.) ทำงานได้เป็นปกติและไม่เกิดการผิดพลาดระหว่างการทดสอบและเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ข้างต้น

สำหรับการทดสอบการบดสารด้วยใบกวนนั้น ใช้ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ(ภาพที่ 3 ข.)

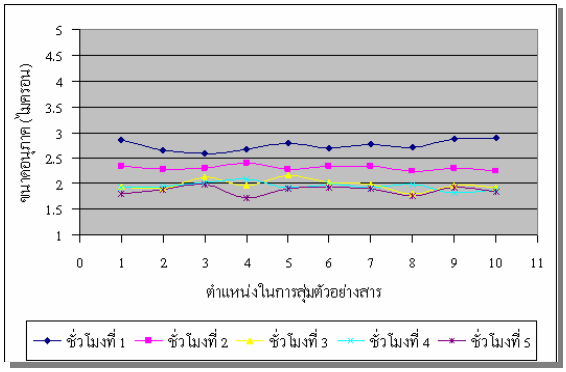


(ก.) (ข.)

ภาพที่ 3 ภาพขณะทดสอบทำงาน (ก.) ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบ (ข.)

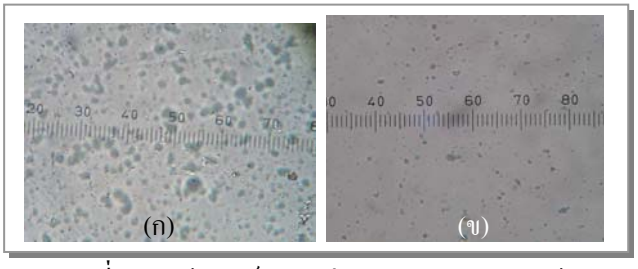
2. ผลการทดลองความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของสาร

จากผลการทดสอบ สามารถนำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่า ขนาดอนุภาคที่ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละชั่วโมงนั้น มีขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่า อนุภาคมีการกระจายตัวสม่ำเสมอนั่นเอง



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของ สารเคมีที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในถังกวน ณ เวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 4 ขนาดอนุภาคเล็กลงเมื่อเวลาในการบดนานขึ้น ตัวอย่างภาพถ่ายอนุภาคสารแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการบดด้วยเครื่องดิสเพอชันมิลเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตก่อนทำการบด แสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แคลเซียมคาร์บอเนตก่อนทำการบด (ก.) แคลเซียมคาร์บอเนตภายหลังการบด (ข.)

สรุปผลการทดลอง

1. เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล สามารถทำงานต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง ได้โดยไม่เกิดการเสียหายแต่อย่างใด

2. สารมีการกระจายตัวสม่ำเสมอกันทุกตำแหน่งของถังกวน

3. เมื่อเวลาในการบดสารเคมีนานขึ้น ขนาดอนุภาคสารที่บดจะเล็กลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา (Small Project on Rubber:SPR) โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาตุพงศ์ วาฤทธิ์ อาจารย์ ดร.สุเนตร โม่งปราณีต และอาจารย์ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย ที่ให้คำแนะนำ และคำปรึกษา

เอกสารอ้างอิง

จำรูญ ตันติพิศาลกุล. 2542. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 2. บริษัท ว. เพ็ชรสกุล จำกัด. กรุงเทพ ฯ.

บุญธรรม นิธิอุทัย. 2532. ปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พรพรรณ นิธิอุทัย. 2535. เทคนิคการออกสูตร. ภาควิชาเทคโนโลยียางและโพลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

อนันต์ วงศ์กระจ่าง. 2533. ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

Cominution.(online). Available. http://www.mne.eng.psu.ac.th/lek/ceramic/u5.htm

Division of Aaron Engineered Process Equipment. 2002. (online). Available. http://www.pauloabbe.com/productLines/millingEquipment/grindingMedia/index.cfm

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
1. เพื่อสร้างเครื่องบดสารเคมีแบบ Dispersion mill ต้นแบบขนาดเล็กสำหรับการบดสารเคมีที่เป็นของแข็งให้มีขนาดเล็กกระจายในน้ำได้	- ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล (Dispersion mill) - ออกแบบและสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล	- ได้ออกแบบและสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล - ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล	- ได้เครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล พร้อมใบกวน 4 แบบ - ทราบถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล
2. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการบดสารเคมี	- ศึกษาผลของใบกวนทั้ง 4 แบบ - ศึกษาความสม่ำเสมอของสารในถังบด - บดสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ผสมยาง	- ได้ศึกษาผลของใบกวนทั้ง 4 แบบ -ได้ศึกษาความสม่ำเสมอของสารในถังบด - ได้บดสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ผสมน้ำยางยาง 5 ชนิด	- ใบกวนแบบ 5 ชั้น ๆ ละ 2 ใบเป็นใบกวนที่ดีที่สุด กวนด้วยความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที ขนาดอนุภาคสารมีความสม่ำเสมอในทุกจุดของถังบด ได้ทดลองบดสารกำมะถัน แคลเซียมคาร์บอเนต ซิงค์ออกไซด์ สารตัวเร่ง และสารป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเจน
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยด้านเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสาร Dispersion และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น	- เปรียบเทียบความแข็งแรงของลูกโป่งที่ได้จากน้ำยางที่ผสมสารดิสเพอร์ชั่นจากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล กับลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด	- ได้เปรียบเทียบความแข็งแรงของลูกโป่งที่ได้จากน้ำยางที่ผสมสารดิสเพอร์ชั่นจากเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิล กับลูกโป่งที่มีขายตามท้องตลาด	- สารดิสเพอร์ชั่นที่ได้จากการเตรียมด้วยเครื่องดิสเพอร์ชั่นมิลสามารถใช้ทำผลิตฑ์ลูกโป่งได้ ลูกโป่งที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับลูกโป่งที่ขายตามท้องตลาด - ได้แนวทางในการเพิ่มประสิทธภาพในการบดสารดิสเพอร์ชั่น