



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเครื่อง Ball mill สำหรับเตรียมดิสเพอซัน
The Design and Fabrication of The Ball Mill Model for Dispersion

ชนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวยและคณะ

ธันวาคม 2548

สัญญาเลขที่ RDG4850017

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเครื่อง Ball mill สำหรับเตรียมคิสเพอชั่น
The Design and Fabrication of The Ball Mill Model for Dispersion

คณะผู้วิจัย

ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย

ศิวโรฒ บุญราศรี

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

นักศึกษาช่วยทำวิจัย

นายวิษณุ บุญชิต

นายศุภางค์พัชร กันธวงศ์

กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์สำหรับผลิตภัณฑ์จาก
น้ำยางธรรมชาติ-แม่โจ้ (1)

Research and Development of Instrument for Natural Rubber Products – MJU
small project group (1)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการทำวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

เครื่องบอลมิล เป็นเครื่องบดสารเคมีที่เป็นของแข็งซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ โดยทำให้อยู่ในรูปคิสเพอซันเพื่อใช้สำหรับผสมกับน้ำยาง โดยส่วนประกอบของเครื่องบดประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนระบบส่งกำลังและส่วนของหม้อบด ส่วนของระบบส่งกำลังประกอบด้วย 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) เป็นต้นกำลัง ส่วนของหม้อบดมี 2 ขนาด คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 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

การทดสอบการบดแบ่งออกเป็น 4 การทดสอบ การทดสอบที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพลูกบดที่มีอัตราส่วนลูกบดในแต่ละขนาด ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนลูกบดในการบดที่ดีที่สุดในการบด 24 ชั่วโมง คือ 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) การทดสอบที่ 2 ทดสอบปริมาณสารที่สามารถบดได้ภายในหม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม คือ 63.35 % โดยปริมาตรของหม้อบด การทดสอบที่ 3 ทดสอบผลความแตกต่างระหว่างหม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และ 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) พบว่า หม้อบดทั้ง 2 ขนาดมีความสามารถในการบดไม่แตกต่างกัน การทดสอบที่ 4 ทดสอบความแตกต่างในการบดสารเคมีแต่ละชนิดให้ได้ขนาดเท่ากับ 1.5 ไมครอน ได้เวลาในการบดดังนี้ ซิงค์ออกไซด์ใช้เวลาบด 17.50 ชั่วโมง แซนดิกซ์ใช้เวลาบด 20.50 ชั่วโมง กำมะถันใช้เวลาบด 66.50 ชั่วโมง ดีพีจีใช้เวลาบด 43.50 ชั่วโมง แคลเซียมคาบอเนตใช้เวลาบด 20.00 ชั่วโมง และLowinox CPLใช้เวลาบด 21.00 ชั่วโมง

ABSTRACT

A ball mill is equipment for milling water-insoluble chemical compound. This results in chemical compound dispersion for mixing with latex. The ball mill consists of two components; a shaft transmission system and a milling system. A shaft transmission system consists of six sets of two 2.54 cm-diameter shafts (1 in.). All shafts are covered by 0.63 cm-thick black rubber (1/4 in.). Power source is from a 746-watt (1 HP) electrical motor. A milling system includes 12.7 cm-diameter milling reactor (5 in.) and 22.8 cm-diameter milling reactor (9 in.). The grinding media includes 3 sizes; small, medium and large having diameter of 11.0, 15.5 and 25 mm.

Milling experiment includes 4 tests. The first test was to determine the best ratio of grinding media between small, medium and large size within 24 hours. It was found that best ratio was 1:2:1 (small : medium : large). The second test was to determine the suitable amount of chemical compound by a volume of a 12.7 cm-diameter milling reactor (5 in.). It was found that the suitable amount of chemical compound was 63.35 % by volume of a milling reactor. The third test was to determine the best milling reactor size. It was found that the milling performance of 12.7 cm-diameter milling reactor (5 in.) and 22.8 cm-diameter milling reactor (9 in.) were not different. The last test was to milling each chemical substances to get the proportion with 1.5 micron to get time of milling list as follow Zing oxide use of time 17.5 hours, Zinc diethyl dithiocarbamate use of time 20.5 hours, Sulfur use of time 66.5 hours, Diphenyl Guanidine use of time 43.5 hours, Calciumcarbonate use of time 20.0 hours, Lowinox CPL use of time 21.0 hours

หน้าสรุปโครงการ

1. ชื่อโครงการ การออกแบบและสร้างเครื่อง Ball mill สำหรับเตรียมดิสเพอซัน

คำสำคัญ บอลมิล ดิสเพอซัน เครื่องบดสารเคมี

The Design and Fabrication of The Ball Mill Model for Dispersion

Keywords Ball mill, Dispersion,

2. ชื่อหัวหน้าโครงการ อาจารย์ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย

หน่วยงาน คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053-878-123

โทรสาร 053-498-902

E-mail thanasit@mju.ac.th

3. หน่วยงาน ชื่อสถาบันที่ติดต่อของผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานของหัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล รองศาสตราจารย์กิตติพงษ์ วุฒิจำนงค์

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ต. หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053-878-123

โทรสาร 053-498-902

E-mail -

5. ระยะเวลา การดำเนินงาน 15 ธันวาคม 2547 - 30 พฤศจิกายน 2548

6. แผนการดำเนินงาน

รายการ	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1. ศึกษาปัจจัย ต่างๆ ที่เกี่ยวกับ การสร้างเครื่องบด สารเคมี (Ball Mill)												
2. สร้างเครื่องบด สารเคมีบอลมิลล์												
3. ทดสอบอนุภาค ของสารเคมี ขนาด												
4. สรุป และเขียน รายงานต่อสกว.												

7. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันเกษตรกรทางภาคเหนือเริ่มให้ความสนใจในการปลูกยางพาราโดยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐมากขึ้น และในอนาคตจะมีการแปรรูปยางพาราในภาคเหนือ รู้ความเข้าใจในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์น้ำยางจึงมีความสำคัญ การที่จะเตรียมน้ำยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์จะต้องนำน้ำยางและสารเคมีมาผสมกันเพื่อให้มีคุณสมบัติพร้อมที่จะนำไปแปรรูป สารเคมีที่ใช้ผสมจะต้องรวมตัวกับน้ำยางพาราที่มีขนาดอนุภาคเล็กได้ สารเคมีที่เป็นของแข็ง ถ้าละลายน้ำได้ก็ให้ใส่ในรูปของสารละลาย แต่ถ้าละลายน้ำไม่ได้จะต้องบดให้เล็กลง ให้กระจายในน้ำ อยู่ในรูปของ dispersion ในการเตรียม dispersion นั้นเครื่องมือที่ใช้ในการบดสารเคมีให้เป็น dispersion มีอยู่หลายชนิดที่นิยมใช้ได้แก่ Ball Mill, Attritor mill, และ Colloid Mill เป็นต้นแต่ Ball Mill เป็นเครื่องมือหลักที่ใช้กันมากที่สุด ดังนั้นเครื่องบดสารเคมี (ball mill) ต้นแบบจึงมีความสำคัญสำหรับการเตรียมน้ำยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์น้ำยางเพื่อรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำยางทางภาคเหนือต่อไป

8. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเครื่องมือบอลลิมิตันแบบขนาดเล็กสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำยางทางภาคเหนือ
2. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการบดสารเคมี

9. ทางเลือกและแนวทางแก้ปัญหา

การเตรียมสารเคมีที่เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำให้ผสมกับน้ำยางธรรมชาติจะต้องทำให้อนุภาคของสารเคมีให้มีขนาดเล็กก่อน ด้วยเครื่องบดสารเคมี โดยในการออกแบบและสร้างเครื่องจะศึกษาความเร็วในการหมุนถัง ชนิดและขนาดของถังทรงกระบอก ปริมาตรและขนาดของลูกหิน ระยะเวลาในการบดรวมทั้งสูตรของส่วนผสมของสารเคมี ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคของสารเคมีที่ทำการบด

10. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องบดสารเคมีต้นแบบบอลลิมิตขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพในการบดสารเคมี
2. ได้สารคิสพอซ์ที่เหมาะสมสำหรับใส่ลงไปในน้ำยาง

11. แนวทางการดำเนินงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องบดสารเคมี
2. ศึกษาอัตราส่วนของลูกบดที่เหมาะสมในการบดสารเคมี
3. ศึกษาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบดของหม้อบด
4. ศึกษาความแตกต่างเกี่ยวกับขนาดหม้อบด
5. ศึกษาระยะเวลาในการบดสารเคมีแต่ละประเภททุก ๆ 4 ชั่วโมง
6. ประเมินผลที่ได้จากการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องบดสารเคมี

บทสรุปของผู้บริหาร (Executive Summary)

ผลิตภัณฑ์ยาง และผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราส่งออกของประเทศไทย มีมูลค่ารวมกันกว่าแสนล้านบาท โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปวัตถุดิบที่ประกอบด้วย ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และยางอื่นๆ ส่วนที่เหลือเป็นการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ เพื่อผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ถุงมือยาง ยางยานพาหนะ ยางรัดของ ยางยืด ฯลฯ ก่อนจะมาเป็นผลิตภัณฑ์ยางเหล่านั้น การที่จะเตรียมน้ำยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์จะต้องนำน้ำยางและสารเคมีมาผสมกันเพื่อให้มีคุณสมบัติพร้อมที่จะนำไปแปรรูป สารเคมีที่ใช้ผสมจะต้องรวมตัวกับน้ำยางพาราที่มีขนาดอนุภาคเล็กได้ การบดสารเคมีให้มีขนาดเล็กลงนั้นต้องทำการบดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1-3 วัน แล้วแต่สารเคมีที่ใช้บด เครื่องบดสารเคมี (ball mill) ดันแบบจึงมีความสำคัญสำหรับการเตรียมสารเคมีเพื่อทำผลิตภัณฑ์น้ำยาง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะทำการศึกษาพัฒนาให้สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วของการบดได้ตามขนาดของหม้อบด และยังเพิ่มจำนวนในการบดโดยสามารถวางถังบดได้มากขึ้น หลังจากได้เครื่องบดสารเคมีแล้วจะทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นโดยรวมของเครื่องบดสารเคมี การทดสอบประสิทธิภาพของลูกบด การทดสอบนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกบดขนาดต่าง ๆ โดยใช้ลูกบด 3 ขนาด แบ่งออกเป็น 7 การทดสอบ แล้วเลือกการทดสอบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากนั้นจะสรุปผลการทดสอบจากเครื่องบดสารเคมีทุก ๆ 4 ชั่วโมงเพื่อนำผลการทดสอบไปวิเคราะห์ แล้วจะได้ข้อมูลลูกบดที่จะนำมาใช้ในการหาความสามารถในการบดของหม้อบดโดยวัดที่ปริมาณสูงสุดที่บดได้ จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างของหม้อบด โดยการนำลูกบดที่เหมาะสมกับปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมทดสอบจากการทดสอบข้างต้นทดสอบประสิทธิภาพของหม้อบดขนาด 5 นิ้ว และ 9 นิ้ว และการทดสอบการบดสารเคมีอื่น ๆ โดยการนำลูกบดที่เหมาะสมกับปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ทดสอบการบดสารเคมีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการบ่มน้ำยางธรรมชาติ

การออกแบบเครื่องบดสารเคมีดันแบบสำหรับเตรียมดินสอพอชั่น ได้มีการออกแบบให้มีการปรับความเร็วรอบให้เหมาะสมกับขนาดหม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และ 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว) โดยใช้ฟู่เกียร์ในการเปลี่ยนความเร็วรอบสำหรับผลการทดสอบเพื่อให้หม้อบดหมุนด้วยความเร็วรอบไม่เกิน 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต มอเตอร์ต้นกำลังทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที การทดสอบพบว่า หม้อบด 5 นิ้ว มีความเร็วรอบเป็น 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) และหม้อบด 9 นิ้ว มีความเร็วรอบเป็น 63 รอบต่อนาที (71.2 % ของความเร็วรอบวิกฤต) ภาระน้ำหนักของหม้อบดที่สามารถบดได้ต่อ 1 ชุดทดสอบ (เพลารองรับ 1 คู่) รับได้ 10 กิโลกรัม และ 1 ชุดเพลาน้ำหนักของหม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว) สามารถเตรียมสารเคมีเคลือบเคมคาบอเนตความเข้มข้น 50 % โดยมวล ได้สูงสุด 3,800 กรัม

การทดสอบการบดสารเคมีทั้ง 3 การทดสอบคือ การทดสอบประสิทธิภาพของลูกบด การทดสอบความสามารถในการบดของหม้อบด และขนาดหม้อบด ผลการทดสอบได้ว่า ลูกบดที่ทำการบดได้เหมาะสมที่สุดคือต้องประกอบด้วยลูกบดขนาดต่าง ๆ สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สามารถบดได้ ขนาดอนุภาคเล็กที่สุดในเวลานั้นที่สุด คือ 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) โดยใช้ปริมาณลูกบดเป็น 30 % ของปริมาตรหม้อบด ปริมาณสารเคมีภายในหม้อบดที่เหมาะสมที่ทำให้อนุภาคหลังการบดเล็กที่สุด คือใช้สารเคมีรวมกับน้ำเป็น 63.35 % ของปริมาตรหม้อบด และขนาดของหม้อบดทั้งสองขนาดไม่มีผลต่อการบด จากการทดสอบโดยใช้หม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความเร็วรอบของหม้อบด 80 รอบต่อนาที ใช้อัตราส่วนลูกบด 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) โดยสามารถเตรียมแคลเซียมคาบอเนตความเข้มข้น 50 % โดยมวล ได้ 800 กรัม สามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีให้ได้ขนาดต่ำกว่า 1.5 ไมครอนอยู่ที่ 22-24 ชั่วโมง

ในการบดสารเคมีอื่น ๆ ที่ทำการทดสอบเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคสารเคมีที่ใช้สำหรับการบ่มน้ำยางธรรมชาติมีขนาดเป็น 1.5 ไมครอนทดสอบภายใต้การทดสอบความสามารถของลูกบดและประสิทธิภาพของหม้อบดจากการทดสอบข้างต้น ทำให้ทราบว่าสารเคมีแต่ละชนิดมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการบดทั้งนี้เพราะคุณสมบัติบางประการของสารเคมีเองที่มีความเข้มข้นและความหนาแน่นของสารเคมีที่แตกต่างกัน ดังนั้นจากการทดสอบทำให้ทราบเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีแต่ละชนิดได้ สามารถสรุปเวลาที่ใช้บดสารเคมีแต่ละชนิด ซิงค์ออกไซด์ 17.50 ชั่วโมง แซดดีซี (ZDC) 20.50 ชั่วโมง กำมะถัน 66.50 ชั่วโมง ดีพีจี (DPG) 43.50 ชั่วโมง แคลเซียมคาบอเนต 20.00 ชั่วโมง lowinox CPL 21.00 ชั่วโมง

จากการศึกษาและทดสอบความสามารถของเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิลสำหรับเตรียมดินเพื่อชั้น ข้อมูลที่ศึกษาเพื่อนำไปออกแบบเครื่องต้นแบบตามเกณฑ์การออกแบบ การทดสอบปัจจัยที่มีผลในการบดและเวลาในการบดที่เหมาะสม โดยค่าที่ชี้ผลได้แก่ ประสิทธิภาพของลูกบด ความสามารถของหม้อบดและขนาดของหม้อบดที่มีผลต่อขนาดอนุภาคของสารเคมีหลังทำการบดที่เวลาต่าง ๆ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
หน้าสรุปโครงการ	iii
บทสรุปผู้บริหาร	vi
เนื้อหางานวิจัย	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	1
3. วิธีการ	19
4. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล	26
5. สรุปผลการทดสอบ	41
6. ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก ก.	46
ภาคผนวก ข.	85
ภาคผนวก ค.	93

เนื้อหางานวิจัย

1. บทนำ

ประเทศไทยมีการผลิตยางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ยาง และผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราส่งออก มีมูลค่ารวมกันกว่าแสนล้านบาท โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ส่งออกในรูปวัตถุดิบที่ประกอบด้วย ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และยางอื่นๆ ส่วนที่เหลือเป็นการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ เพื่อผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ถุงมือยาง ยางยานพาหนะ ยางรัดของ ยางยืด ฯลฯ ใน พ.ศ. 2545 ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกยางมากกว่า 12 ล้านไร่ โดยพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปัจจุบันเกษตรกรทางภาคเหนือเริ่มให้ความสนใจในการปลูกยางพารา โดยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐมากขึ้น ในอนาคตจะมีการแปรรูปยางพาราในภาคเหนือ ได้รับความเข้าใจในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์น้ำยางจึงมีความสำคัญ การที่จะเตรียมน้ำยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์จะต้องนำน้ำยางและสารเคมีมาผสมกันเพื่อให้มีคุณสมบัติพร้อมที่จะนำไปแปรรูป สารเคมีที่ใช้ผสมจะต้องรวมตัวกับน้ำยางพาราที่มีขนาดอนุภาคเล็กได้ เครื่องบดสารเคมี (ball mill) ดันแบบจึงมีความสำคัญสำหรับการเตรียมสารเคมีเพื่อทำผลิตภัณฑ์น้ำยาง เพื่อรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำยางทางภาคเหนือต่อไป

สำหรับการเตรียมสารเคมีที่ใช้บ่มน้ำยางถ้าหากนำสารเคมีแห้ง ๆ ใส่ลงไป ในน้ำยางธรรมชาติโดยตรง เราจะได้ของที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์เลย สารเคมีจะตกตะกอนนอนก้น นอกจากนี้เมื่อนำสารเคมีนั้นใส่ลงไป ในน้ำยางอาจเกิดเป็นก้อนแข็งขึ้นในน้ำยาง และในไม่ช้า น้ำยางจะจับตัวหมด

สารเคมีที่เป็นของแข็ง ถ้าละลายน้ำได้ก็ให้ใส่ในรูปของสารละลาย แต่ถ้าละลายน้ำไม่ได้จะต้องบดให้เล็กลง ให้กระจายในน้ำ อยู่ในรูปของ dispersion ในการเตรียม dispersion นั้นเครื่องมือที่ใช้ในการบดสารเคมีให้เป็น dispersion มีอยู่หลายชนิดที่นิยมใช้ได้แก่ Ball Mill, Attritor mill, และ Colloid Mill เป็นต้น แต่ Ball Mill เป็นเครื่องมือหลักที่ใช้กันมากที่สุด

2. ทฤษฎีเกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารเคมีสำหรับยาง

สารเคมีที่ใช้ในน้ำยางมีทั้งของแข็งและของเหลว หลักสำคัญของการใส่สารเคมีลงไปผสมในน้ำยางได้นั้นจะต้องคำนึงถึงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารเคมีและจะต้องเหมือนกับยางจะต้องเข้ากันได้กับตัวกลางของน้ำยางนั่นคือ น้ำและสารเคมีควรมีความเสถียร (Stabilizer) เช่นเดียวกับน้ำยาง ดังนั้น

สารเคมีที่จะเข้าไปผสมกับน้ำยางได้นั้นจะต้องทำให้อยู่ในรูปของคิสเพอซัน เมื่อสารนั้นเป็นของแข็งและเตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอย เมื่อสารนั้นเป็นของเหลว ในทางทฤษฎีแล้วอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดจะต้องเท่ากับขนาดของอนุภาคน้ำยาง โดยทั่วไปแล้วอยู่ที่ประมาณ 1.2 ไมครอนและให้อนุภาคของสารเคมี มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน

สารเคมีสำหรับยางที่จะผสมลงไปยางนั้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ยางที่ผสมสารเคมีนั้นยังไม่อาจนำไปใช้เว้นแต่สารเคมีเหล่านั้นจะทำปฏิกิริยากับยางก่อน การผสมสารเคมีเข้าไปในยางก็เพื่อแก้ไขข้อเสียของยาง ซึ่งข้อเสียของยางคือ

1. ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก ยางที่มีสมบัติเป็นพลาสติกคือ สมบัติของยางที่เมื่อนำน้ำหนักรีดลงไปจะแบนและไหลได้ ส่วนสมบัติเป็นอีลาสติกคือ เมื่อออกแรงกดหรือยืดยางแล้วสามารถหดกลับหรือยืดคืนรูปได้ การที่ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติกนี้ทำให้ไม่สามารถนำยางไปใช้ได้โดยตรง

2. ยางเป็นเทอร์โมพลาสติก ที่อุณหภูมิต่ำยางจะแข็งกระด้างแตกหักได้ง่าย แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางจะไหลแปรรูปได้ ทำให้ใช้ยางได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด

3. ยางมีความแข็งแรงต่ำ ความต้านทานต่อแรงดึง และการสึกหรอต่ำ

4. ยางมีราคาแพง การนำยางมาทำผลิตภัณฑ์ถ้าใช้เนื้อยางล้วน ๆ จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ถ้าสามารถผสมสารราคาถูกจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้

5. ยางละลายได้ง่ายในตัวทำละลายหลายชนิด ยางเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 30,000-3,000,000 โมเลกุลเหล่านี้อยู่รวมกันด้วยแรงอ่อน ๆ เช่นแรง Van de Waals หรือพันธะไฮโดรเจน โมเลกุลของมันจะแยกออกจากกันได้ง่าย โดยการใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วใกล้เคียงกับยาง

ในการใช้งานของยางจึงจำเป็นต้องผสมสารเคมีลงไปเพื่อแก้ไขข้อเสียเหล่านี้ เพื่อให้ยางที่ได้นี้มีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น ช่วยในการแปรรูปและเพื่อลดต้นทุนการผลิต

2.2 ประเภทของสารเคมี

พรพรรณ (2535) ได้แบ่งประเภทของสารเคมี ดังนี้

2.2.1 สารตัวเร่ง (Accelerator) เป็นสารเคมีที่ช่วยลดระยะเวลาในการวัลคาไนชันและอุณหภูมิสูง เมื่อนำสารเคมีมาผสมกับสารตัวเร่งพบว่าใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ลดลง และอุณหภูมิที่ใช้ลดลงนอกจากนี้ยังช่วยลดการซึมของกำมะถันที่ผิวลงด้วย ด้านทานต่อการทิ้งไว้เป็นเวลานาน

2.2.2 สารตัวหน่วง (Retarder) บางครั้งยางที่ใช้สารตัวเร่งมากเกินไปอาจจะต้องทำให้เวลาในการสุกก่อนกำหนดช้าลงไปบ้างเพื่อมั่นใจว่ายางที่ได้มีความเสถียรภาพและจะมีความปลอดภัยในขบวนการผลิตที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะผสมยางกับสารเคมีในการอัดแท่งและการรีดแผ่นยาง เป็นต้น การทำให้เวลาในการสุกยาวขึ้นมักทำโดยเปลี่ยนระบบการใช้สารตัวเร่งเสียหรือใช้สารตัวเร่งผสมกันหรือใส่กรดไขมันเพิ่มเข้าไปหรือใช้สารเคมีที่ใช้หน่วงโดยเฉพาะลงไป

2.2.3 สารกระตุ้น (Activator) คือสารที่ช่วยเสริมให้สารตัวเร่งทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สารกระตุ้นอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ สารอนินทรีย์ที่เป็นสารกระตุ้นที่สำคัญนิยมใช้ คือ ซิงค์-ออกไซด์และมักนิเชียมออกไซด์ก็มีความสำคัญบ้าง สารกระตุ้นที่เป็นสารอินทรีย์ พวกกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก กรดปาล์มมิติก กรดลอริก เกลืออะมีนกับกรดไขมันข้างต้น โพลีอัลกอฮอล์และอะมิโนอัลกอฮอล์ เช่น เอพทีลิน ไกลคอลกับไตรเอทานอลามีน สารกระตุ้นมีคุณสมบัติที่สำคัญคือเมื่อใส่ในปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ยางมีโมดูลัสสูงขึ้นและบางครั้งถ้าไม่มีสารกระตุ้นอาจจะไม่เกิดการวัลคาไนซ์

2.2.4 สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) และแอนตี้โอโซนแนนท์ (Antiozonant) ยางเป็นสารอินทรีย์ที่เสื่อมสลายได้เมื่อทิ้งไว้หรือขณะที่ใช้งาน การเสื่อมสลายของยางนี้เรียกว่า Degradation ขบวนการเสื่อมสลายของยางสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 6 แบบ ด้วยกัน

1. เสื่อมสลายเนื่องจากตั้งทิ้งไว้นาน
2. ถูกออกซิไดซ์เนื่องจากการกระตุ้นของโลหะคะตาไลส์
3. เสื่อมสลายเนื่องจากความร้อน
4. เสื่อมสลายเนื่องจากแสง
5. เสื่อมสลายเนื่องจากการหักงอไปมา
6. เกิดรอยแตกเนื่องจากบรรยากาศ

2.2.5 สารตัวเติม (filler) หมายถึงสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปยาง ตัวอย่างเช่นเขม่าคาร์บอน คัลเซียมคาร์บอเนต ดินเหนียว มักนิเชียมคาร์บอเนต และซิลิกา เป็นต้น สารเหล่านี้ใส่ลงไปเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กันดังนี้

1. เพื่อลดต้นทุน
2. เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง
3. เพื่อช่วยในขบวนการผลิต
4. ลดการพองตัวของยางในน้ำมัน
5. เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้า
6. เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของยาง

2.2.6 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) คือสารที่ใส่ลงไปยางหรือพลาสติก เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและเพิ่มความสามารถในการใช้งาน พลาสติไซเซอร์จะทำให้ความแข็งแรงของยางหรือพลาสติกลดลงและช่วยให้แปรรูปได้ง่ายขึ้น สารพลาสติไซเซอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

ก. สารทำให้ยางนิ่มโดยทางเคมี (Chemical plasticizers) เป็นสารเคมีที่เมื่อใส่เข้าไปในยางจะทำให้ยางนิ่มและลดเวลาของการบดยางลงการใช้งานมักใช้กับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์มักใส่สารเคมีประเภทนี้ลงไปในยางเมื่อเริ่มต้นการผสมหรือบดในเครื่องบด 2 ลูกกลิ้งและปล่อยให้สารทำปฏิกิริยากับยางเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ก่อนที่จะใส่สารอื่นลงไปได้แก่ Sulphonic acid, Xylyl mercaptan

ข. สารช่วยทำให้ยางนิ่มโดยทางกายภาพ (Physical plasticizers) เป็นสารพลาสติไซเซอร์ที่ใส่เข้าไปแล้วจะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลยางทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ง่ายยางจะนิ่มลง แปรรูปได้ง่ายขึ้นที่สำคัญได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันเอสเทอร์ในบางครั้งพลาสติไซเซอร์จะมีชื่อเรียกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหน้าที่และปริมาณที่ใช้

หน้าที่ของพลาสติไซเซอร์มีหลายประการคือ

1. เพื่อช่วยในการแปรรูปยาง
2. เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของยาง
3. เพื่อลดต้นทุน
4. เพื่อการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ
5. เพื่อลดพลังงานในการแปรรูป
6. เพื่อใช้เป็นสารแทกซิไฟเออร์

2.2.7 สารเคมีอื่น ๆ ไม่ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องใช้สำหรับยางทั่วไป แต่ในบางครั้งใส่เข้าไปเพื่องานเฉพาะอย่างโดยมีวัตถุประสงค์เพื่องานเฉพาะอย่าง สารดังกล่าวนี้ได้แก่

ก. แฟคตีส (Factices) ในสมัยก่อนใส่เพื่อใช้ลดต้นทุน แต่ในปัจจุบันใส่เพื่อปรับปรุงลักษณะของผลิตภัณฑ์ยาง และช่วยในการแปรรูปยาง

ข. ยางรีเคลม (Reclaim rubber) หมายถึงยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ แล้วนำกลับมาผ่านขบวนการทำให้ยางนั้นมาใช้ใหม่ได้อีก ยางที่วัลคาไนซ์ที่นำมารีเคลมนั้น จะเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ ได้แก่ ยางรถยนต์ ยางในรถยนต์ ยางรองเท้า และยางเทียมนอื่น ๆ เป็นต้น

ค. ยางครัม (Cromb rubber) ยางครัมเป็นยางที่ได้จากเศษยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ บดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งที่มีอัตราส่วนความถี่สูงจนได้ยางผงขนาดเล็กประมาณ 20-40 เมช (mesh) ยางครัมที่ได้นี้สามารถนำไปผสมกับยางได้ โดยทั่วไปจะใช้กับงานอัดเข้าเบ้าเพื่อลดต้นทุนนอกจากนี้ยัง

ช่วยลดการเกิดฟองอากาศที่เกิดจากการอัดเข้าเป้า ยางครั้นนี้ไม่อาจนำไปใช้ในเครื่องเอกทุดหรือเครื่องรีดได้ เนื่องจากจะทำให้ผิวยางขรุขระ

ง. สารฟู (Blowing agent) คือสารเคมีที่ใส่เข้าไปในยางเมื่อให้ความร้อนแก่ยางในขณะทำการวัลคาไนซ์ โมเลกุลของสารฟูจะแตกสลายและให้ก๊าซออกมาวิ่งจะทำให้ยางเป็นรูพรุนในรูปแบบของฟองน้ำ (Sponge) หรือ microcellular rubber

2.2.8. สี (Colorings materials) ยางที่ใช้งานทั่วไปมักจะเป็นสีดำอันเนื่องมาจากการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมเพื่อเพิ่มสมบัติบางประการของยางให้ดีขึ้น แต่ยังมีงานบางอย่างที่ไม่ต้องการยางที่มีสีดำ แต่ต้องการใช้งานยางในรูปสีต่าง ๆ เพื่อความสวยงามหรือเพื่อบอกลักษณะบางประการ เช่น ยางรถยนต์ขอบขาว ยางจักรยาน รองเท้า กระเป๋าน้ำร้อน สายยางยืด ถุงมือ หมวกอาบน้ำ ยางรัด ยางหุ้มสายเคเบิล ยางท่อก๊าซเชื่อมโลหะ ยางลบ แผ่นยางไม้ ปิงปอง ลูกบอล สายพาน และอื่น ๆ ดังนั้นเพื่อให้ยางเหล่านี้มีสีต่าง ๆ ตามต้องการจึงจำเป็นต้องใส่สารที่มีสีเข้าไป

2.2.9 สารอื่น ๆ ได้แก่

1. สารลดการติดไฟ (Flame retarder)
2. สารที่ทำให้ยางมีสมบัติเป็นแม่เหล็ก
3. สารลดรูพรุนของยางเมื่อวัลคาไนซ์แบบต่อเนื่อง (Continuous cure)
4. สารป้องกันรังสี
5. สารลดความเสียดทาน
6. สารขัดสี
7. สารลดไฟฟ้าสถิตย์ของยาง

2.3 การลดขนาด (Size reduction)

การลดขนาดของสารมีความสำคัญต่อกระบวนการทางวัสดุ เช่น เพิ่มพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาของสารที่เป็นของแข็งให้มีขนาดของวัสดุที่ต้องการหรือเป็นการทำให้มีการผสมที่ดีขึ้น ซึ่งการลดขนาดของวัสดุนั้นจะพบได้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมเหมืองแร่ ปูนซีเมนต์ อาหาร และยา

วิธีการลดขนาดของแข็งโดยกระบวนการย่อย (Crushing) และการบดละเอียด (Grinding) จะรวมกันว่า Comminution ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีกระบวนการที่ต่อเนื่องกันไป คืออาจจะมีการนำของแข็งขนาดใหญ่มาย่อยให้เล็กลง แล้วนำไปเข้ากระบวนการบดเพื่อให้ได้แร่ที่ละเอียดขึ้นการย่อยของแข็งเป็นการลดขนาดของแข็งที่ค่อนข้างใหญ่ เช่น แร่หรือของแข็งที่มีขนาดไม่เกิน 3 ฟุต เมื่อถูกนำมาย่อยครั้งแรก การย่อยครั้งแรกโดยเครื่องย่อยจะได้ของแข็งที่มีขนาดไม่เกิน 6 นิ้วเนื่องจากแร่ที่มาจากเหมือง

มีหลายขนาด อาจมีแร่บางส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของการย่อยครั้งแรก ดังนั้นจึงควรมีการแยกแร่ที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดที่กำหนด (Setting size) เหล่านี้ออกมาก่อนที่จะป้อนเข้าเครื่องย่อยแร่ในขั้นต่อไป เครื่องมือในการย่อย เช่น เครื่องย่อยแบบจอร์ (Jaw crusher) เครื่องย่อยแบบไจราทอรี (Gyratory crusher) เครื่องย่อยแบบโคน (Cone crusher)

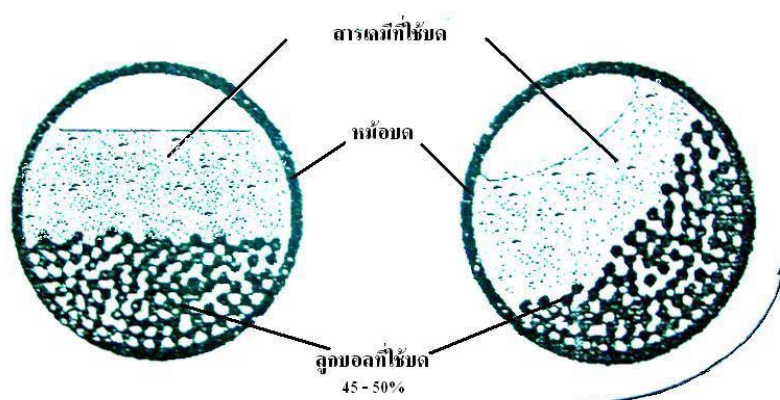
การบดละเอียด โดยทั่วไปการทำให้ขนาดเล็กลงโดยที่ยังคงความประหัดเอาไว้นั้นจะสามารถทำให้เล็กสุดได้แค่ 1/4 - 1/2 นิ้ว หากต้องการทำให้เล็กกว่านี้จะต้องใช้วิธีการบดซึ่งหลักการให้แร่ถูกบดโดยถูกบดภายในหม้อบด เครื่องมือในการบด เช่น บอลมิลและรูดมิล (Rod Mill) เป็นต้น โดยบอลมิลจะมีความยาวของหม้อบดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อบด รูดมิลมักจะมีมีความยาวเป็นหลาย ๆ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ปริมาณลูกบดที่ใช้ไม่ควรเกิน 30-40 % ของปริมาตรทั้งหมดภายในหม้อบด แต่ไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของปริมาตรหม้อบด การบดโดยวิธีนี้เกิดจากแรงเหวี่ยงทำให้ลูกบดกลิ้งตัวเกาะติดกับผนังของหม้อบดและการบดสามารถควบคุมได้โดยการปรับความเร็วของการหมุนของหม้อบด

การบดโดยใช้บอลมิลหรือรูดมิล นี้สามารถบดได้ละเอียดถึง 200-325 เมช และอาจทำได้ถึง 5 ไมครอน (Micron) วัสดุหรือแร่ที่จะป้อนเข้าบอลมิลนั้นมักเป็นวัสดุของแข็งหรือแร่ที่ผ่านการย่อยครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองมาแล้วหลักการในการบดเมื่อหม้อบดเริ่มมีการหมุน ตัวลูกบดก็จะเคลื่อนที่ขึ้นไปตามผนังของหม้อบดจนถึงจุดจุดหนึ่งแล้วก็จะตกลงมา โดยปกติแล้วในการบดจะเกิดจากแรง 2 แรงด้วยกัน คือ แรงเหวี่ยง (Centrifugal force) ซึ่งจะทำให้สารที่อยู่ภายในรวมถึงลูกบดด้วย จะกลิ้งตัวเกาะติดกับผนัง แต่เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกจะทำให้ตกลงมาตรงส่วนล่างสุด และอีกแรงหนึ่งเกิดจากกระทบบันของลูกบดภายในหม้อบด ทำให้เกิดการบดขึ้น ซึ่งจะควบคุมแรงทั้งสองนี้ได้โดยการปรับความเร็วรอบในการหมุนแกนของหม้อบดความเร็ววิกฤต (Critical speed) ความเร็วในการหมุนของตัวหม้อบดนั้นจะมีความสำคัญต่อขนาดของสารที่บดได้ รวมไปถึงการสึกหรอของหม้อบดด้วย ถ้าหมุนเร็วจะทำให้เกิดการบดได้ในอัตราสูงจากแรงกระแทก (Shear impact) โดยการตกตัวของลูกบดที่อยู่ภายในแต่ถ้าช้าเกินไปจะเกิดเฉพาะการขัดถู ความเร็วที่เหมาะสมคือความเร็วที่แรงเหวี่ยงและแรงดึงดูดกระทำต่อสารอยู่ในภาวะสมดุลหากเกินกว่านี้จะทำให้สารเกิดการเหวี่ยงตัวไปติดอยู่กับผนังภายในหม้อบด ซึ่งคือความเร็ววิกฤตนั่นเอง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fisher (1941) ทดลอง พบว่า ปริมาตรของลูกบดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในช่วง 45-50 % ของปริมาตรทั้งหมดดังภาพที่ 2.8 ถ้าใส่ลูกบดเกินกว่านี้การเคลื่อนไหวของลูกบดลดลง การบดก็จะลดลงด้วย ปริมาตรของน้ำกับสารเคมีที่จะบดให้ใส่พอท่วมลูกบด จะต้องเหลือช่องว่างอากาศภายใน โดยทั่วไปจะใส่สารเคมีที่จะบดกับน้ำลงไปได้ปริมาตรประมาณ 85 % ของปริมาตรทั้งหมด หากใส่สารมากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการบดลดลง

ความเร็วรอบของหม้อจะหมุนด้วยอัตราเร็วคงที่ หากความเร็วรอบเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบดจะสูงขึ้นตาม แต่จะมีความเร็วรอบสูงอยู่ค่าหนึ่งที่จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมากจนทำให้ลูกบดติดข้างหม้อไม่ตกลงมากระทบกันเรียกว่า ความเร็ววิกฤต ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดการบด



ภาพที่ 1 ลูกบดและสารเคมีที่ใส่บดในหม้อทรงกระบอก
ที่มา: บุญธรรม นิธิอุทัย. 2538.

ขนาดของหม้อบดมีผลต่อความเร็วรอบที่ใช้ โดยความเร็ววิกฤตจะแปรผกผันกับรากที่สองของรัศมี (ฟุต) ของหม้อบดทรงกระบอก (Fisher, 1941)

$$\text{ความเร็ววิกฤต} = \frac{54.19}{\sqrt{R}} \quad \dots(1)$$

โดยที่

R คือ รัศมีภายในของหม้อบดบอลมิล (ฟุต)

ความเร็วรอบที่แนะนำให้ใช้จะอยู่ที่ 75 % ของความเร็ววิกฤต ขนาดของลูกบดที่ใส่เข้าไป หากมีขนาดใหญ่พื้นที่สัมผัสของลูกบดต่อปริมาณที่ใส่เข้าไปจะน้อยลง ดังนั้นประสิทธิภาพในการบดจะ

ลดลงด้วย แต่ลูกบดเล็กเกินไปจะเกิดอัตราการสึกหรอเร็วกว่าลูกใหญ่และบางครั้งลูกบดที่มีขนาดเล็กเกินไปอาจลดรูตะแกรงที่กั้นเพาสิ่งที่ยังบดเสร็จแล้วออกไปได้ แต่ก็ควรใส่ลูกใหญ่ผสมไปด้วยเพื่อที่จะช่วยกระแทกสิ่งที่ยังจับตัวเป็นก้อนโตแตกลงได้เร็วขึ้นดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขนาดของลูกบดขนาดต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบด

ขนาดของหม้อบดอาจจะมีผลต่อประสิทธิภาพการบด (Blackley, 1966) ประสิทธิภาพจะขึ้นตรงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อบดเนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนที่ของลูกบดภายในหม้อ แต่จากการทดลอง (Fisher, 1941) ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อตั้งแต่ 0.5-5 ฟุต จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันหมด

2.5 ทฤษฎีเพื่อการออกแบบ

2.5.1 การเลือกขนาดฟูลีย์ โดยหาจากความสัมพันธ์ความเร็วรอบที่ต้องการใช้งานกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟูลีย์ หาได้จากสมการที่ 2 (อนันต์, 2533)

$$\left(\frac{d}{D}\right) = \left(\frac{N}{n}\right) \quad \dots(2)$$

โดยที่

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟูลีย์ตัวขับ (เซนติเมตร)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟูลีย์ตัวตาม (เซนติเมตร)

n คือ ความเร็วรอบของฟูลีย์ตัวขับ (รอบต่อนาที)

N คือ ความเร็วรอบของฟูลีย์ตัวตาม (รอบต่อนาที)

2.5.2 การหาขนาดต้นกำลัง ต้องทำการหาค่าแรงบิดของเพลลาที่เกียร์ทด เพื่อนำไปหาขนาดของมอเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งจะหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้ (อนันต์, 2533)

$$T = Fr \quad \dots(3)$$

$$P = T\omega = 2\pi NT/60 \quad \dots(4)$$

โดยที่

- T คือ แรงบิด (นิวตัน-เมตร)
- F คือ แรงที่ใช้ในการทดสอบ (นิวตัน)
- r คือ ระยะทางตั้งฉากระหว่างจุดที่แรงกระทำกับจุดศูนย์กลางเพลลา (เมตร)
- P คือ กำลังงานที่ใช้ (วัตต์)
- ω คือ ความเร็วเชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที)
- N คือ ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)

2.5.3 การออกแบบโซ่ส่งกำลัง

การส่งกำลังที่มีลักษณะคล้ายกับการขับเคลื่อนด้วยสายพาน โซ่จะคล้องอยู่กับเฟืองโซ่ (Sprocket) ซึ่งติดอยู่กับเพลลาขับและเพลลาตาม การขับเคลื่อนด้วยโซ่นี้จะไม่มีการสลิประหว่างโซ่กับเฟืองโซ่จึงทำให้สามารถส่งกำลังได้ดีกว่าการขับเคลื่อนด้วยสายพาน

การหาขนาดของโซ่ด้วยการหาค่ากำลังที่ใช้ในการออกแบบ จากสมการ

$$H_d = C_o H_o \quad \dots(11)$$

โดยที่

- H_d คือ กำลังที่โซ่ออกแบบ (กิโลวัตต์)
- C_o คือ แฟกเตอร์แก้ไขแรงกระแทก จากตารางที่ 1
- H_o คือ กำลังที่ต้องการส่งถ่าย (กิโลวัตต์)

ตารางที่ 1 แฟกเตอร์แก้ไขแรงกระแทก C_0

ภาระที่ถูกจับ	ต้นกำลัง		
	มอเตอร์ไฟฟ้า	เทอร์ไบน์ เครื่องยนต์ หลายสูบ	เครื่องยนต์ สูบเดียว
ราบเรียบ	1	1.25	1.50
กระแทกปานกลาง	1.25	1.50	1.75
กระแทกหนัก	1.75	2.0	2.25

ที่มา: จำรูญ ตันติพิศาลกุล, 2542.

ความสามารถในการรับแรงของโซ่พิจารณาได้จากความเร็วของโซ่หาได้จาก

$$v = pZn \quad \dots(12)$$

แรงในแนวสัมผัสหาได้จาก

$$F_t = \frac{W_p}{v} \quad \dots(13)$$

แรงหนีศูนย์กลางหาได้จาก

$$F_{ct} = \frac{w}{g} v^2 \quad \dots(14)$$

ดังนั้นแรงดึงในโซ่

$$F = F_t + F_{ct} \quad \dots(15)$$

โดยที่

v คือ ความเร็วของโซ่ (เมตรต่อวินาที)

Z คือ จำนวนฟันของจานโซ่

P คือ ระยะพิตช์ของโซ่ (มิลลิเมตร)

W_p คือ กำลังที่ต้องการส่ง (กิโลวัตต์)

F_t คือ แรงในแนวสัมผัส (นิวตัน)

F_{ct} คือ แรงหนีศูนย์กลาง (นิวตัน)

w คือ น้ำหนักของโซ่ต่อความยาว 1 เมตร จากตารางที่ 2

F คือ แรงดึงในโซ่ (นิวตัน)

ตารางที่ 2 มิติของโซ่ลูกกลิ้งแถวเดี่ยวมาตรฐานอเมริกา (ISO Type A)

ขนาดโซ่ หรือ ชื่อรหัส	พิตช์ P (มม.)	ความกว้าง ระหว่างแผ่น ประกบ, b (มม.)	แรงดึงขาด F_b (กก.-นิวตัน)	มวล (กก./ม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง กลางของลูกกลิ้ง (มม.)	พิตช์ ตามขวาง P_t (มม.)
35 (06C-1)	9.52	4.78	10.2	0.33	5.08	10.13
40 (08C-1)	12.70	7.92	17.2	0.61	7.95	14.38
50 (10C-1)	15.88	9.53	28.3	0.98	10.16	18.11
60 (12C-1)	19.05	12.70	38.5	1.59	11.91	22.78
80 (16C-1)	25.40	15.88	65.8	2.56	15.88	29.29
100 (20C-1)	31.75	19.05	108.9	3.78	19.05	35.76
120 (24C-1)	38.10	25.40	154.2	5.82	22.23	45.44
140 (28C-1)	44.45	25.40	208.7	7.62	25.40	48.38
160 (32C-1)	50.80	31.75	263.1	9.88	28.58	58.55
200 (40C-1)	63.50	38.10	430.9	15.91	39.68	71.55

ที่มา: จำรูญ ตันติพิศาลกุล. 2542.

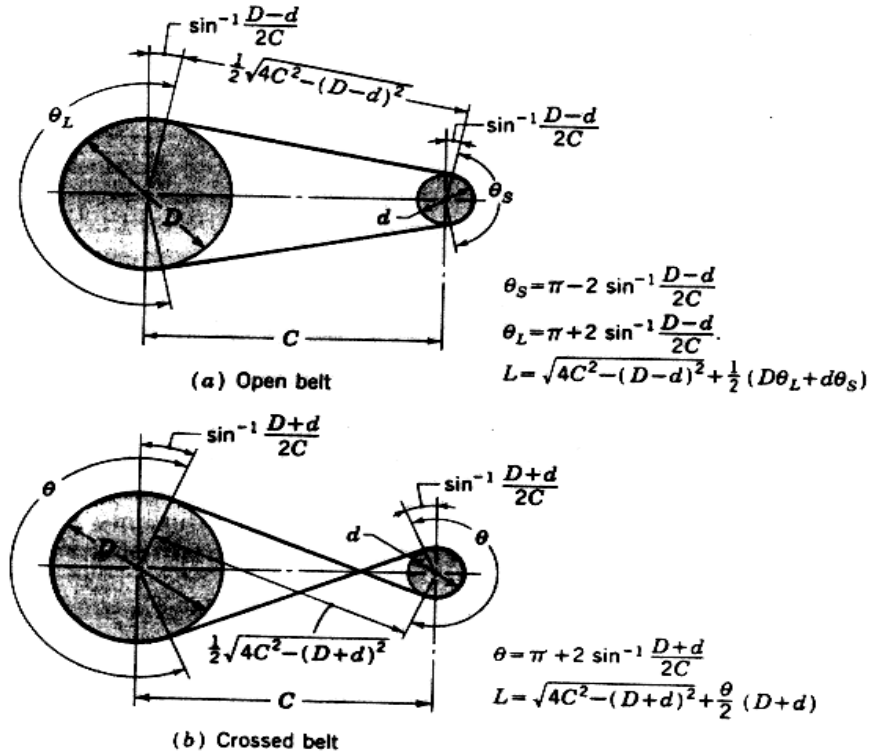
2.5.4 การเลือกใช้สายพาน

โดยทั่วไปแล้วสายพานจะถูกแบ่งเป็น 4 ชนิด คือ สายพานแบน (Flat belt) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ้ม (V-belt) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม (Ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และ ไทม์มิ่งเบลท์ (Timing belt) มีหน้าตัดของสายพานเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู แต่จะทำการร่องคล้ายฟันเพื่อลดความยาวสายพาน ซึ่งสายพานทั้ง 4 ชนิดนี้จะมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน การขับเคลื่อนด้วยสายพานลิ้มมีข้อดี คือ เงียบ สามารถรับแรงกระตุกได้ดี ขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพ (ชาญ และ วรวิทย์, 2536)

วัสดุที่ใช้ในการทำสายพานจะต้องมีค่าความต้านทานสูง (Strength) สามารถบิดตัวได้ดี และจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสสูง การทำงานของสายพานแบ่งออกได้ตามลักษณะของการขับเคลื่อน ดังนี้

- การขับเคลื่อนสายพานแบบเปิด (Open drive) เป็นการขับเคลื่อนเพลาลูกกลิ้งที่อยู่ขนานกันและต้องการให้เพลาลูกกลิ้งทั้งสองหมุนในทิศทางเดียวกัน ดังภาพที่ 2.10

- การจับสายพานแบบไขว้ (Crossed drive) เป็นการจับเฟลาที่อยู่ขนานกัน และต้องการให้เฟลาทั้งสองหมุนสวนทางกัน ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 3 ลักษณะการวางสายพานแบบ Open drive และ Crossed drive

ที่มา: Shigley. 1986.

- การจับสายพานแบบควอเตอร์เทอร์น (Quarter turn drive) เป็นการจับของสายพานที่มีเฟลาของฟุ่เลย์หรือล้อตั้งฉากกัน

จากภาพที่ 3 การคำนวณหามุมสัมผัสและความยาวของสายพาน L ในแต่ละกรณีทำได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

สำหรับการจับแบบเปิด (Open drive) สามารถหาได้จากสมการที่ 5, 6 และ 7 ได้ดังนี้

$$\theta_s = \pi - 2 \sin^{-1} \left[\left(\frac{D-d}{2C} \right) \right] \quad \dots(5)$$

$$\theta_L = \pi + 2 \sin^{-1} \left[\left(\frac{D-d}{2C} \right) \right] \quad \dots(6)$$

$$L = \left[4C^2 - (D-d)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{2} (D\theta_L + d\theta_s) \quad \dots(7)$$

โดยที่

θ_s คือ มุมสัมผัสสายพานของพู่เล่ย์ตัวเล็ก (เรเดียน)

θ_L คือ มุมสัมผัสสายพานของพู่เล่ย์ตัวใหญ่ (เรเดียน)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพู่เล่ย์ตัวใหญ่ (เซนติเมตร)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพู่เล่ย์ตัวเล็ก (เซนติเมตร)

การหาแรงดึงในสายพาน สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 8 ได้ดังนี้

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\theta} \quad \dots(8)$$

โดยที่

F_1 คือ แรงดึงของสายพานด้านตึง (นิวตัน)

F_2 คือ แรงดึงของสายพานด้านหย่อน (นิวตัน)

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

θ คือ มุมสัมผัสสายพาน (เรเดียน)

แรงบิดเนื่องจากความตึงของสายพาน สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 9 ได้ดังนี้

$$T = (F_1 - F_2)r \quad \dots(9)$$

โดยที่

T คือ แรงบิด (นิวตัน-เมตร)

F_1 คือ แรงดึงสายพานด้านตึง (นิวตัน)

F_2 คือ แรงดึงสายพานด้านหย่อน (นิวตัน)

r คือ รัศมีของพู่เล่ย์ (เมตร)

ความยาวพิทช์สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 10 ได้ดังนี้

$$L_p = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad \dots(10)$$

โดยที่

- L_p คือ ความยาวพิทช์ของสายพาน (เซนติเมตร)
- C คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพาน (เซนติเมตร)
- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพู่เล่ย์ตัวใหญ่ (เซนติเมตร)
- d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของพู่เล่ย์ตัวเล็ก (เซนติเมตร)

2.5.5 การออกแบบเพลลา

สมการของ Soderberg approach และทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดสามารถหาได้จากสมการที่ 16 และ 17 ได้ดังนี้

$$d_s = \left[\frac{32n_s}{\pi} \left\{ \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_e} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \dots(16)$$

โดยที่

- d_s คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (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 (เมกะปาสกาล)
- S_e คือ จีดจำกัดความทนทานของชิ้นส่วนเครื่องกล (เมกะปาสกาล)

เมื่อ

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad \dots(17)$$

โดยที่

k_a คือ ตัวประกอบผิววัสดุ

k_b คือ ตัวประกอบขนาด

k_c คือ ตัวประกอบความไวไวางใจ

k_d คือ ตัวประกอบอุณหภูมิ

k_e คือ ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น

k_f คือ ตัวประกอบอื่น ๆ

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

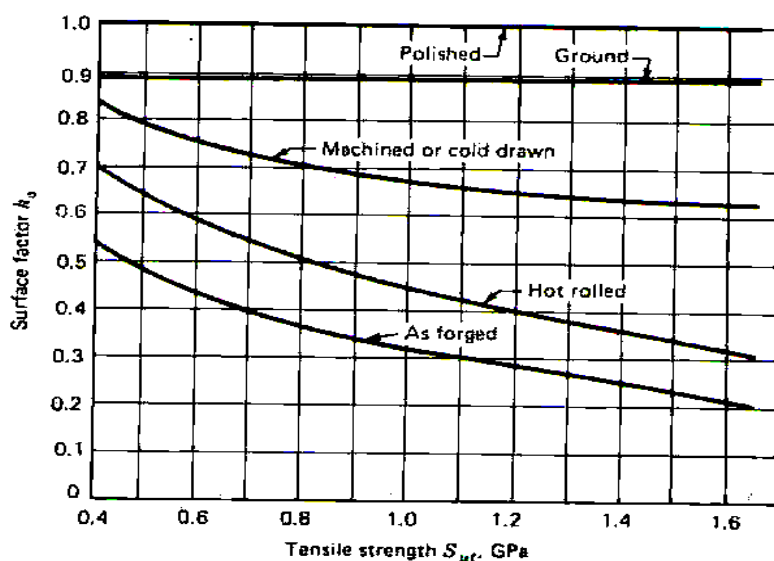
S'_e คือ ชีดจำกัดความทนทานของชิ้นทดสอบ (เมกะปาสคาล)

โดยที่

$$S'_e = \begin{cases} 0.504S_{ut}, & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1,400 เมกะปาสคาล)} \\ 100 \text{ kpsi (700 MPa)}, & S_{ut} > 200 \text{ kpsi (1,400 เมกะปาสคาล)} \end{cases} \quad \dots(2.18)$$

ก. ตัวประกอบผิววัสดุ (Surface factor, k_a)

ผิวของชิ้นงานทดสอบโดยการหมุนจะได้รับการขัดอย่างปราณีต โดยการขัดครั้งสุดท้ายจะขัดตามแนวยาวเพื่อไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนในทิศทางเส้นรอบวง แต่ชิ้นงานจริงจะไม่สามารถทำได้เหมือนชิ้นงานทดสอบ โดยตัวประกอบความเรียบผิว k_a หาได้จากภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ปัจจัยเพื่อแก้ไขความไม่เรียบ

ที่มา : Shigley. 1986.

ข. ตัวประกอบขนาดวัสดุ (Size factor, k_b)

ค่าความแข็งแรงไม่จำกัดครั้งของงาน จะต้องถูกปรับด้วยตัวประกอบแก้ไขด้านขนาดดังนี้

$$k_b = \begin{cases} 0.869d^{-0.097} & , 0.3 < d < 10 \text{ in} \\ 1 & , d \leq 8 \text{ mm or } d \leq 0.3 \text{ in} \\ 1.189d^{-0.97} & , 8 < d \leq 250 \text{ mm} \end{cases} \quad \dots(19)$$

โดยที่

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (มิลลิเมตร)

ค. ตัวประกอบความไว้วางใจ (Reliability factor, k_c)

นอกจากการพิจารณาการใช้ค่าความปลอดภัยและอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่ออกแบบแล้ว ยังสามารถเพิ่มค่าความเชื่อมั่นในส่วนความล้าได้โดยการวิเคราะห์เชิงสถิติบวกกับผลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งใช้ค่าความเชื่อมั่นตั้งแต่ 50-99.999999 %

ตารางที่ 3 ปัจจัยความไว้วางใจได้

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

ที่มา: Shigley. 1986.

ง. ตัวประกอบอุณหภูมิ (Temperature factor, k_d)

เมื่อมีการออกแบบชิ้นทดสอบที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง จะต้องทำการทดสอบในห้องทดลองก่อนเสมอเพราะอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งได้ง่าย ทำให้ความต้านทานต่อการล้าของวัสดุลดลง และทำให้เกิดปัญหาการครีป (Creep) เนื่องจากความเค้นคงที่ สามารถหาค่า k_d ได้จากสมการที่ 20

$$k_d = 1 \text{ เมื่อ } T \leq 350^\circ\text{C}$$

$$\text{และ } 0.5 \text{ เมื่อ } 350^\circ\text{C} < T \leq 500^\circ\text{C} \quad \dots(20)$$

จ. ตัวประกอบความหนาแน่น (Stress concentration factor, k_e)

ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลมักจะมีรู รอยบาก หรือความสมำเสมอ ซึ่งตำแหน่งที่ทำให้เกิดความเค้นสูงสุดนี้ เรียกว่า Stress riser บริเวณที่เกิดความเค้นสูงนี้ เรียกว่า ความเค้นหนาแน่น (Stress concentration)

ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น หาได้จากสมการที่ 21

$$k_e = \frac{1}{K_f} \quad \dots(21)$$

ความว่องไวต่อร่อง (q) สามารถนิยามได้โดยใช้สมการที่ 22

$$q = \frac{(K_f - 1)}{(K_t - 1)} \quad \dots(22)$$

ดังนั้น

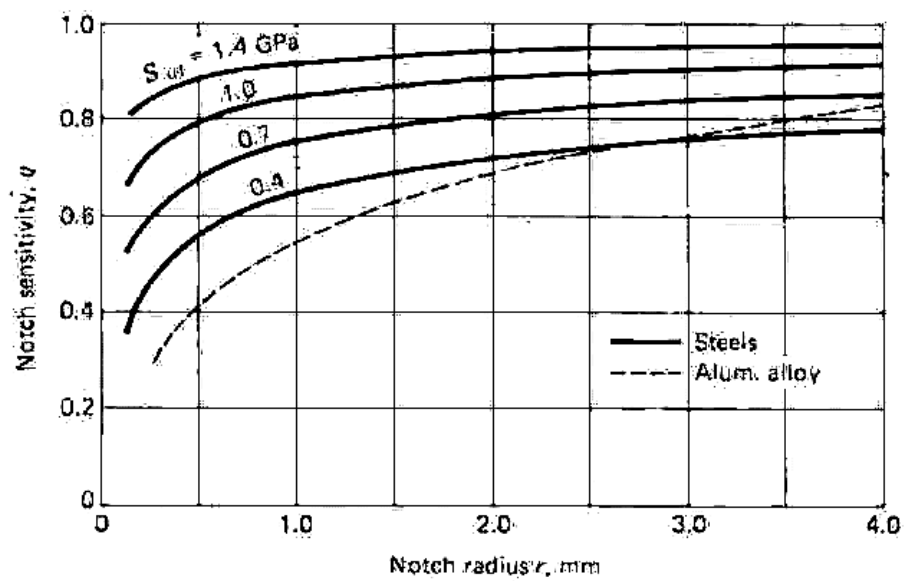
$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \dots(23)$$

โดยที่

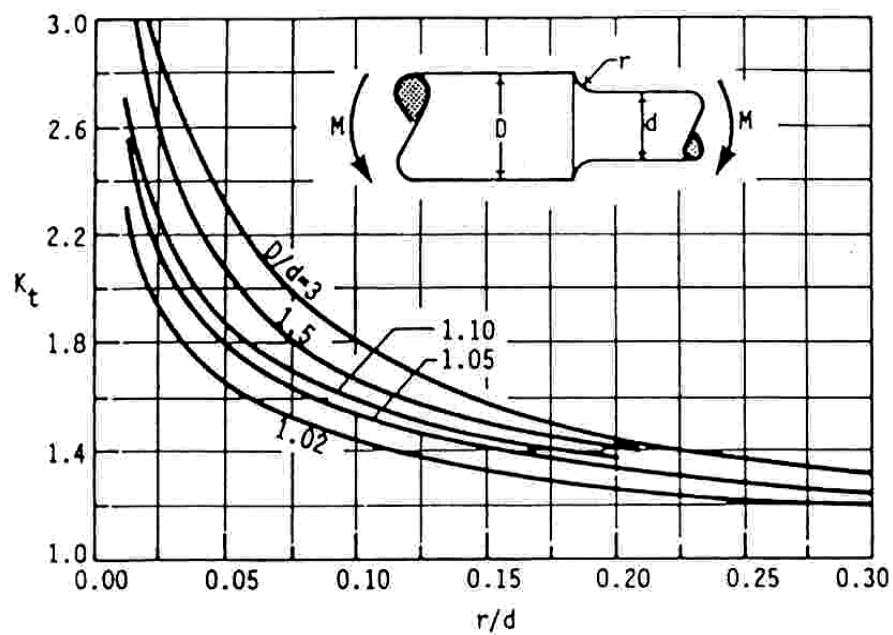
K_f คือ ค่าหน่วยแรงหนาแน่นเนื่องจากความล้า

K_t คือ ค่าหน่วยแรงหนาแน่นสถิตย์

q คือ ความไวต่อรอยเจาะ (Notch sensitivity) ซึ่งอ่านได้จากภาพที่ 5 และ 6



ภาพที่ 5 ความไวต่อร่องของเหล็กและอลูมิเนียมภายใต้การตัด
ที่มา: Shigley. 1986.



ภาพที่ 6 ลักษณะของเพลากลมมีบ่าภายใต้การตัด
ที่มา: Shigley. 1986.

ฉ. ตัวประกอบอื่น ๆ (Miscellaneous effect, k_f)

ตัวประกอบนี้เป็นการเตือนผู้ออกแบบว่ายังมีปัจจัยแวดล้อมอีกหลายประการที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน

3. วิธีการ

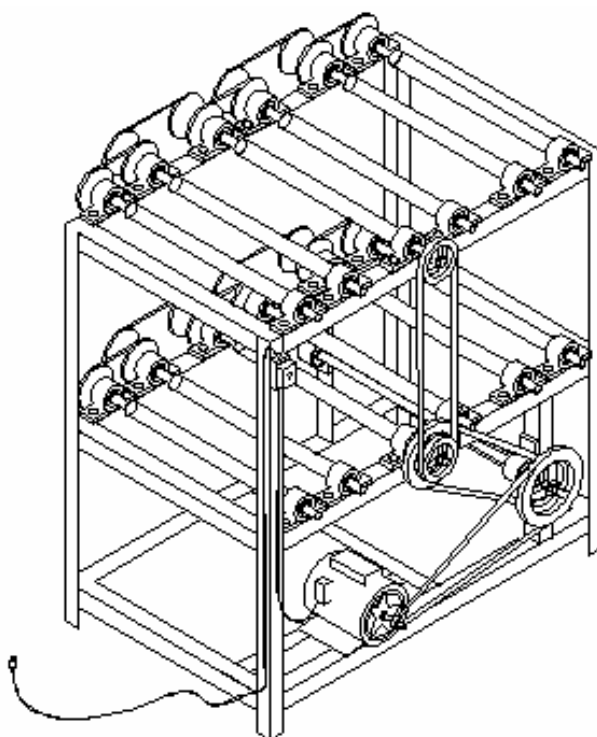
เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุตามวัตถุประสงค์ จึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติและสารเคมี การออกแบบและสร้างเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิล ทดสอบความสามารถประสิทธิภาพและเวลาในการบดสารเคมีจริงในห้องทดลอง ประเมินผลและวิเคราะห์ โดยแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารเคมีและยางธรรมชาติ

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำลักษณะทางกายภาพของสารเคมีไปเป็นตัวเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ โดยจะเน้นถึงขนาดอนุภาคของสารเคมีแต่ละประเภทก่อนและหลังทดสอบ ทั้งนี้เพื่อนำไปวางแผนการทดลองและออกแบบเครื่องบดสารเคมีให้เหมาะสม

3.2 การออกแบบเครื่อง

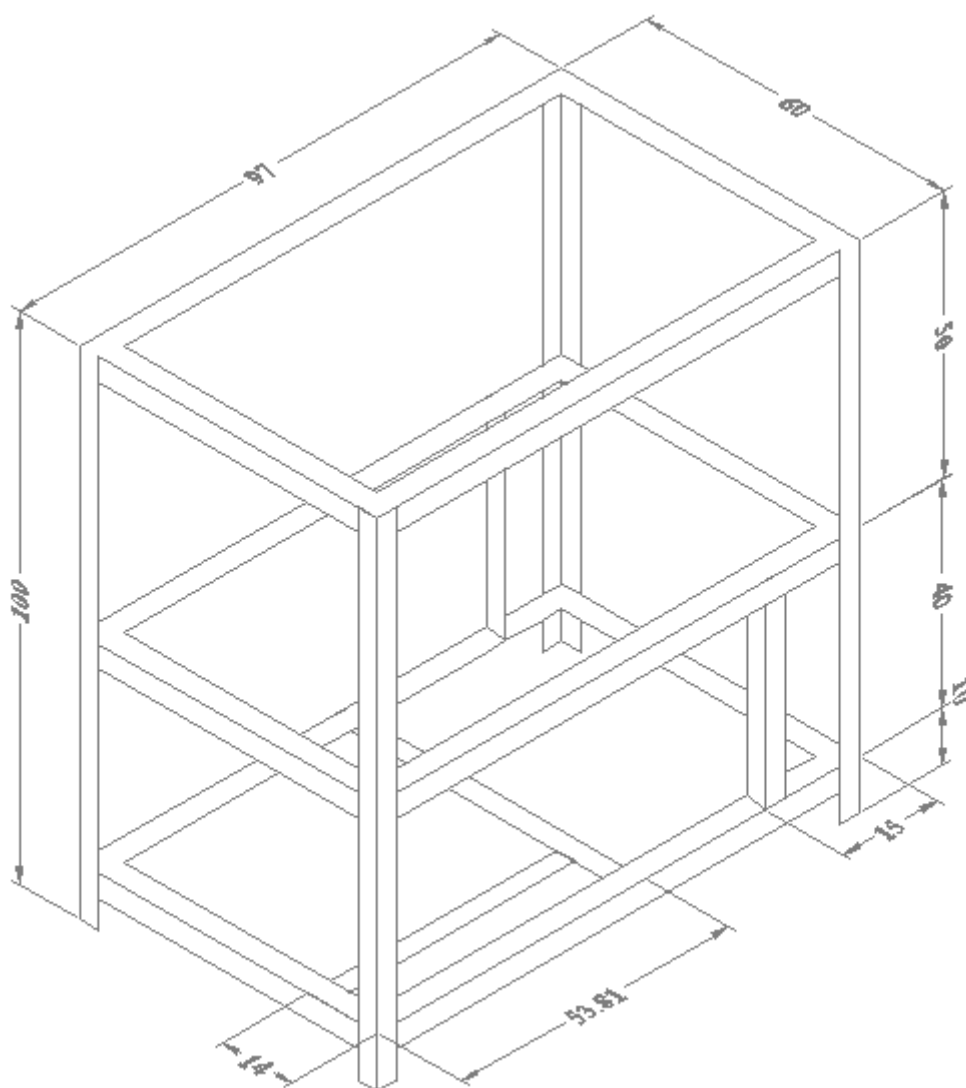
ารออกแบบเครื่องบดสารเคมี จะคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดสอบซึ่งได้ทำการออกแบบใหม่ให้มีชุดทดสอบทั้งหมด 6 ชุด ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของหม้อบด โดยมีรายละเอียดในการออกแบบในแต่ละส่วนดังนี้



ภาพที่ 7 เครื่องบดสารเคมี

ก. การออกแบบโครงสร้างเครื่อง

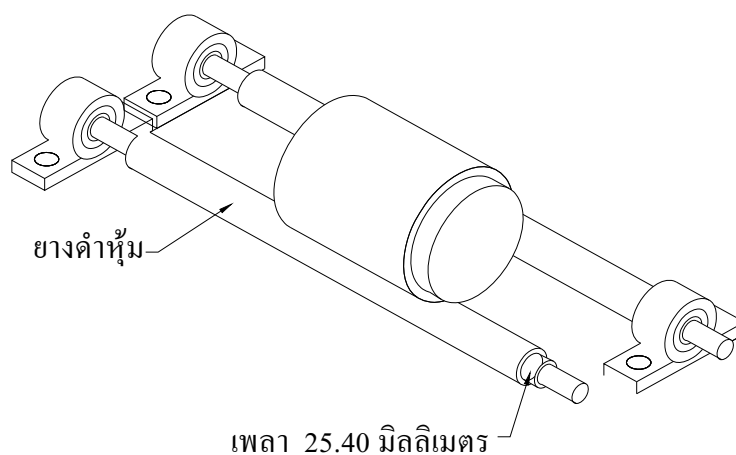
ออกแบบให้ความกว้างและความยาวของโครงเครื่องมีระยะที่เหมาะสมในการติดตั้งชุดรองรับและถ่ายทอดกำลังไปยังหม้ออบทั้ง 6 ชุด คือ กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 97 เซนติเมตร และสูง 100 เซนติเมตร และใช้เหล็กฉากขนาดหน้ากว้าง 3.81 เซนติเมตร (1.5 นิ้ว)หนา 0.64 เซนติเมตร (1/4 นิ้ว) ความสูงของเครื่องถูกกำหนดตามขนาดของหม้ออบและความสะดวกในการใช้งาน ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โครงสร้างเครื่องอบสารเคมี

ข. การออกแบบระบบรองรับและส่งกำลังไปยังหม้อบด

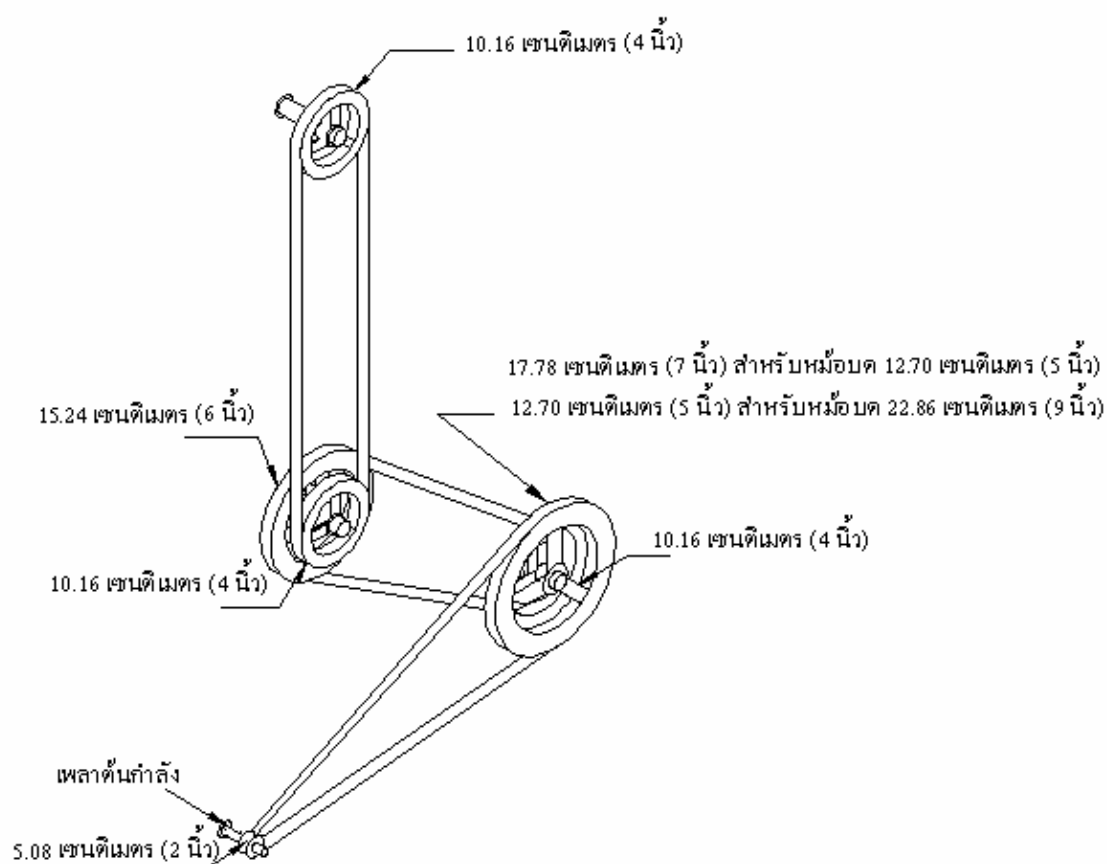
การออกแบบระบบรองรับและส่งกำลังไปยังหม้อบดใช้เพลานา 2.54 เซนติเมตร (1 นิ้ว) 1 คู่ วางขนานกันเพื่อรองรับและส่งกำลังไปยังหม้อบดที่มีรูปร่างทรงกระบอกกว้างในแนวนอน โดยที่ แกนเพล่าจะหุ้มด้วยยางสีดำทำให้เกิดแรงเสียดทานกับผิวหม้อบดเพื่อให้หม้อหมุน ดังแสดงไว้ดัง ภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ระบบรองรับหม้อบดและส่งกำลัง

ค. การออกแบบระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลังที่ใช้กับเครื่องบดสารเคมีนี้ประกอบด้วย พู่เล่ย์ สายพาน มอเตอร์ เพล่า แบร็ง และชุดโซ่ เพล่าของระบบส่งกำลังใช้เพล่าทั้งหมด 1 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร (1 นิ้ว) สายพานส่งกำลังเลือกใช้สายพานแบบ V เพราะสายพานแบบ V มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับร่องรูปลิ้น ของพู่เล่ย์มากจะส่งกำลังได้ดี ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูงมีผลให้สายพานทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการเลือกใช้พู่เล่ย์ในการทดรอบของมอเตอร์นั้นจะทำให้ต้นทุนในการสร้างเครื่องลดลงและง่ายต่อการบำรุงรักษาเมื่อเทียบกับการใช้เกียร์ทดรอบ สำหรับชุดส่งถ่ายกำลังโซ่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังเพื่อ ป้องกันการลื่นไถลของสายพานและความเร็วรอบที่คงที่ในทุกชุดรองรับหม้อบดระบบส่งกำลังได้แสดง ไว้ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ระบบส่งกำลังของสายพาน

3.3 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องบดสารเคมีสำหรับเตรียมดินสอพอชั่น

การทดสอบและเก็บข้อมูลพื้นฐานเชิงวิศวกรรม จะทำการทดสอบและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ของเครื่องบดสารเคมีต้นแบบดังนี้

1. การปรับเปลี่ยนขนาดฟูลย์ส่งกำลัง
2. ความเร็วรอบของหม้อบด

3.4 วิธีทดสอบปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ก่อนทำการทดสอบจะต้องมีการเลือกขนาดหม้อบดและปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้อยู่ในช่วง 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต โดยวิธีการคำนวณหาความเร็วรอบวิกฤตแสดงอยู่ในภาคผนวก ในการทดสอบเครื่องบดสารเคมีในขั้นตอนนี้เพื่อทดสอบขนาดของลูกบดที่มีผลต่อการบด และความสามารถในการบดเมื่อบดสารเคมีในปริมาณต่าง ๆ และเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีที่เหมาะสม

3.4.1 การเตรียมสารเคมี

การทดสอบการเตรียมสารเคมีสำหรับในโครงการเรื่องนี้จะทดสอบการบดแคลเซียมคาบอเนต ซึ่งเป็นสารตัวเดิมเพื่อใช้สำหรับลดต้นทุน เนื่องจากมีราคาถูก

ตารางที่ 4 สูตรสารเคมีที่ใช้ทดสอบ

ส่วนประกอบ	% โดยน้ำหนัก
แคลเซียมคาบอเนต	50
Bentonite clay	1
Vultamol (Dispersing)	1
น้ำ	48

3.4.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของลูกบดในขนาดต่าง ๆ

การทดสอบนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกบดขนาดต่าง ๆ โดยจะใช้หม้อบดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความเร็วรอบของหม้อบดไม่เกิน 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต ปริมาณของลูกบดภายในหม้อบดไม่เกิน 30 % ของปริมาณหม้อบดและใช้ปริมาณสารเคมีรวมกับน้ำและลูกบดเท่ากับ 85 % ของปริมาตรหม้อบด แบ่งออกเป็น 7 การทดสอบ คือ

1. ทดสอบลูกบดภายในหม้อบดเป็นขนาดเล็กทั้งหมด
2. ทดสอบลูกบดภายในหม้อบดเป็นขนาดกลางทั้งหมด
3. ทดสอบลูกบดภายในหม้อบดเป็นขนาดใหญ่ทั้งหมด
4. ทดสอบอัตราส่วนลูกบดภายในหม้อบดเป็น 2:1:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่)
5. ทดสอบอัตราส่วนลูกบดภายในหม้อบดเป็น 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่)
6. ทดสอบอัตราส่วนลูกบดภายในหม้อบดเป็น 1:1:2 (เล็ก:กลาง:ใหญ่)
7. ทดสอบอัตราส่วนลูกบดภายในหม้อบดเป็น 1:1:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่)

วิธีการทดสอบโดยสังเขปมีดังนี้

- 1) ใส่ลูกบดขนาดต่าง ๆ ทั้ง 6 การทดสอบที่เตรียมไว้ให้ได้ปริมาตรเป็น 30 % ของปริมาตรหม้อบด

- 2) เตรียมสารเคมีจากตารางที่ 3.1 โดยให้มีปริมาณแคลเซียมคาบอเนต 650 กรัม น้ำ 624 กรัม Bentonite clay 13 กรัม และ Vultamol 13 กรัม ใส่ลงไปในหม้อบดให้เข้ากัน
- 3) นำหม้อบดที่มีสารเคมีและลูกบดไปวางบนเครื่องเพื่อรอทำการบด
- 4) เปิดสวิตช์เพื่อให้เครื่องบดทำงาน
- 5) สุ่มตัวอย่างชั่วโมงที่ 4 เพื่อวัดขนาดอนุภาคโดยการส่องกล้อง SEM และหลังจากนั้น ทุก ๆ 4 ชั่วโมงจนครบ 24 ชั่วโมง
- 6) บันทึกผลการทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์

การทดสอบที่ 2 ทดสอบความสามารถของหม้อบดที่ปริมาณสารต่าง ๆ

เมื่อได้ผลการทดสอบจากการทดสอบที่ 1 แล้วจะได้ข้อมูลลูกบดที่จะนำมาใช้ในการหาความสามารถในการบดของหม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) กับเวลาที่ใช้ในการบด ความเร็วรอบของหม้อบดไม่เกิน 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต ปริมาตรของลูกบดภายในหม้อบดไม่เกิน 30 % ของปริมาตรหม้อบด โดยควบคุมสัดส่วนของสารเคมีรวมกับน้ำให้เป็นไปตามตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในการทดสอบคำนวณจากปริมาตรของลูกบด สารเคมีและน้ำ รวมกันเทียบกับปริมาตรของหม้อบด แบ่งการทดสอบได้เป็น 4 การทดสอบ คือ

1. ทดสอบที่ 80.00 % (สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด) ที่มีปริมาณแคลเซียมคาบอเนต 600 กรัม น้ำ 576 กรัม Bentonite clay 12 กรัม และ Vultamol 12 กรัม
2. ทดสอบที่ 71.50 % (สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด) ที่มีปริมาณแคลเซียมคาบอเนต 500 กรัม น้ำ 480 กรัม Bentonite clay 10 กรัม และ Vultamol 10 กรัม
3. ทดสอบที่ 63.35 % (สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด) ที่มีปริมาณแคลเซียมคาบอเนต 400 กรัม น้ำ 384 กรัม Bentonite clay 8 กรัม และ Vultamol 8 กรัม
4. ทดสอบที่ 55.00 % (สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด) ที่มีปริมาณแคลเซียมคาบอเนต 300 กรัม น้ำ 288 กรัม Bentonite clay 6 กรัม และ Vultamol 6 กรัม

วิธีการทดสอบโดยสังเขปมีดังนี้

- 1) ใส่ลูกบดที่เตรียมไว้ให้ได้ปริมาตรเป็น 30 % ของปริมาตรของหม้อบด
- 2) เตรียมสารเคมีจากตารางที่ 3.1 ในปริมาณต่าง ๆ ใส่ลงไปในหม้อบดให้เข้ากัน
- 3) นำหม้อบดที่มีสารเคมีและลูกบดไปวางบนเครื่องเพื่อรอทำการบด
- 4) เปิดสวิตช์เพื่อให้เครื่องบดทำงาน
- 5) สุ่มตัวอย่างชั่วโมงที่ 4 เพื่อวัดขนาดอนุภาคโดยการส่องกล้อง SEM และหลังจากนั้น ทุก ๆ 4 ชั่วโมงจนครบ 24 ชั่วโมง

6) บันทึกผลการทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์ผล

การทดสอบที่ 3 ทดสอบขนาดของหม้ออบ

โดยการนำลูกบดที่เหมาะสมกับปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ทดสอบประสิทธิภาพของหม้ออบขนาด 5 นิ้ว และ 9 นิ้ว

การทดสอบที่ 4 ทดสอบการบดสารเคมีอื่น ๆ

โดยการนำลูกบดที่เหมาะสมกับปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ทดสอบการบดสารเคมีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการบ่มน้ำยางธรรมชาติ สารเคมีที่ใช้บดมีดังนี้

1. ซิงค์ออกไซด์ 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentoniteclay 1% และ Vultamol 1 %
2. ZDC 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentoniteclay 1% และ Vultamol 1 %
3. กำมะถัน 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentoniteclay 1% และ Vultamol 1 %
4. DPG 33 % โดยน้ำหนัก น้ำ 65 % Bentoniteclay 1% และ Vultamol 1 %
5. แคลเซียมคาบอเนต 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentoniteclay 1% และ Vultamol 1 %
6. Lowinox CPL 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentoniteclay 1% และ Vultamol 1 %

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาแต่ละการทดสอบ ใช้หลักการทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามรูปแบบแผนการทดลอง โดยจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way ANOVA) ซึ่งทดสอบค่า F ที่ระดับนัยสำคัญ 5 % หากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงความแตกต่างทางสถิติ จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้การวิเคราะห์แบบดuncan เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนประชากรโดยเรียงจากน้อยไปมาก โดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) ที่ระดับนัยสำคัญ 5 % โดยมีขั้นตอนหลักดังนี้

- 1) การเตรียมข้อมูลเพื่อการประมวลผล ประกอบด้วย
 - การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งจะได้จากตารางผลการทดสอบ
 - กำหนดตัวแปร เพื่อสะดวกต่อการนำไปประมวลผลข้อมูล
- 2) ตั้งสมมุติฐาน
- 3) ตรวจสอบสมมุติฐาน
- 4) การแสดงผลลัพธ์ แสดงผลออกมาเป็นรายงาน

4. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการออกแบบ

เครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิลต้นแบบที่ออกแบบได้แสดงในหน้าที่ 43 ถึง 48 และงบประมาณในการสร้างแสดงในภาคผนวก (ตารางที่ ก.2) มีส่วนประกอบหลักและคุณลักษณะดังแสดงในตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบหลักและคุณลักษณะของเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิลต้นแบบ

ส่วนประกอบหลัก	คุณลักษณะ
1. โครงสร้างเครื่องบดสารเคมี	เหล็กฉากขนาด 3.81 x 3.81 เซนติเมตร (1.5 x 1.5 นิ้ว) หนา 0.64 เซนติเมตร (1/4 นิ้ว) ประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีความกว้างของเครื่อง 60 เซนติเมตร ยาว 97 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ติดตั้งชุดรองรับและระบบส่งกำลังตามที่ได้ออกแบบในภาคผนวก ก.
2. มอเตอร์	ขนาด 746 วัตต์ (1 แรงม้า) ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อวินาที
3. ระบบรองรับส่งกำลังไปยังหม้อบด	เพลากลมต้นขนาด 2.54 เซนติเมตร (1 นิ้ว) หุ้มด้วยยางดำหนา 0.64 เซนติเมตร (1/4 นิ้ว) เพื่อให้เกิดแรงเสียดทานกับพื้นผิวของหม้อบด
4. ระบบส่งกำลัง	ใช้พูลเลย์ส่งกำลังที่ใช้สำหรับสายพานแบบร่อง V ในการส่งกำลังไปยังเพลาชับหม้อบดชุดแรก และใช้โซ่สำหรับถ่ายถอดกำลังของเพลาชุดต่อไปตามที่ได้ออกแบบ ในภาคผนวก ข.
5. หม้อบด	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความจุ 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว) ความจุ 9,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. ลูกบด	ลูกบดที่ใช้ 3 ขนาด ขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 11.0 มิลลิเมตร ขนาดกลาง เส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 มิลลิเมตร ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 25.0 มิลลิเมตร
7. พูลเลย์มอเตอร์	เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.08 เซนติเมตร (2 นิ้ว)
8. พูลเลย์ทดความเร็วรอบ	ประกอบด้วยพูลเลย์แบบร่อง B ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 (5 นิ้ว) จำนวน 1 ตัว 17.78 เซนติเมตร (7 นิ้ว) จำนวน 1 ตัว 15.24 เซนติเมตร (6 นิ้ว) จำนวน 1 ตัว และ 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) จำนวน 3 ตัว

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบหลักและคุณลักษณะของเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิลตันแบบ (ต่อ)

ส่วนประกอบหลัก	คุณลักษณะ
9. เฟืองโซ่	เฟืองโซ่ 22 ฟัน
10. โซ่	โซ่เบอร์ 40

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น

จากการทดสอบเก็บข้อมูลพื้นฐานเชิงวิศวกรรมและการทดสอบการทำงานระบบต่างๆ ของเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิลตันแบบ ทำการทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการหมุนหม้อบดและปรับเปลี่ยนขนาดถังเพื่อให้ปริมาณใช้งาน ซึ่งคำนึงถึงความเร็วรอบที่เหมาะสมได้ผลการทดสอบดังนี้

ผลการทดสอบเครื่องบดสารเคมี พบว่า ขนาดเครื่องมีความกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 97 เซนติเมตร และสูง 100 เซนติเมตร หม้อบดทั้งสองขนาดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 12.7 เซนติเมตร และ 22.86 เซนติเมตร มีความจุของหม้อบดเป็น 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 9,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับความเร็วของมอเตอร์ขณะไม่มีภาระ 1,450 รอบต่อนาที ความเร็วของหม้อบด 12.7 เซนติเมตร เมื่อปรับเปลี่ยนฟูลย์ที่เหมาะสม มีความเร็วเป็น 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) และหม้อบด 22.86 เซนติเมตร มีความเร็วรอบเป็น 63 รอบต่อนาที (71.2 % ของความเร็วรอบวิกฤต) เปิดทำการทดสอบทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่องโดยไม่หยุดพักเพื่อทดสอบคุณสมบัติของมอเตอร์ ผลคือมอเตอร์ต้นกำลังไม่เกิดการเสียหายแต่อย่างใด

จากการทดสอบข้างต้นพบว่า การทำงานของเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิลตันแบบ ทำงานได้เป็นปกติและไม่เกิดการผิดพลาดระหว่างการทดสอบและเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ข้างต้น โดยการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น

รายการ	ข้อมูล
มอเตอร์ต้นกำลัง	
ความเร็วรอบ	1,450 รอบต่อนาที
เปิดใช้งานต่อเนื่อง	3 วัน
พู่เล่ย์ที่ต้องปรับเปลี่ยน	พู่เล่ย์ส่งกำลังที่ปรับเปลี่ยนสามารถดูใน ภาคผนวก ค.
สำหรับหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว)	17.78 เซนติเมตร
สำหรับหม้อบดขนาด 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว)	12.70 เซนติเมตร
ความเร็วรอบหม้อบด	
หม้อบด 12.70 เซนติเมตร	80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต)
หม้อบด 22.86 เซนติเมตร	63 รอบต่อนาที (71.2 % ของความเร็วรอบวิกฤต)

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพลูกบด

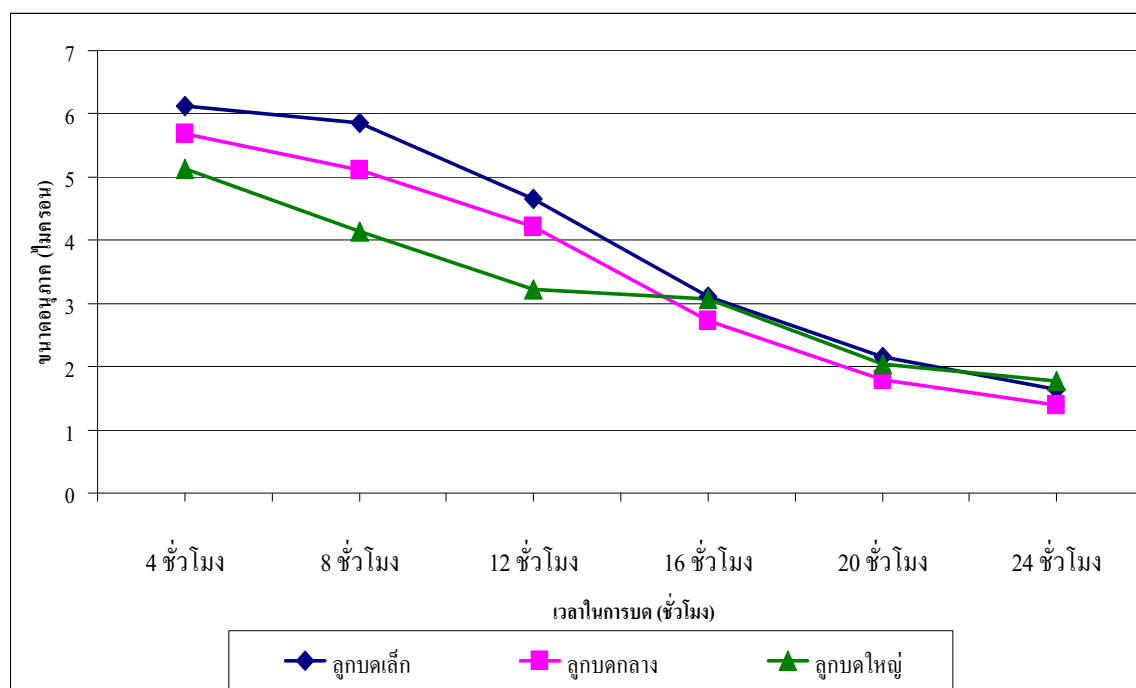
ในการทดสอบประสิทธิภาพของลูกบด ในการทดสอบขั้นตอนนี้ทางผู้ทดสอบจะเลือกใช้ แคลเซียมคาบอเนตสำหรับการทดสอบ เนื่องจากเป็นสารเคมีที่มีราคาถูกใช้สำหรับลดต้นทุนในขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบแนะนำให้มีปริมาณที่เหมาะสม ใส่สารเคมีที่จะบดกับน้ำลงไปทั้งหมดตามสัดส่วนดังนี้ แคลเซียมคาบอเนต 500 กรัม น้ำ 480 กรัม Bentonite clay 10 กรัม และ Vultamol 10 กรัม ลูกบดที่จะใส่เข้าไปบดให้ได้ปริมาตร 30 % ของปริมาตรของหม้อบด ซึ่งแบ่งการทดสอบตามสัดส่วนของลูกบด ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 7 โดยใช้ความเร็วในการหมุนของหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ที่ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากผลการทดสอบ 3 การทดสอบแรก ตามตารางที่ 7 นำข้อมูลของแสดงเป็นกราฟดังภาพที่ 11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ภายในหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ของลูกบด 3 ขนาด จากกราฟทำให้ทราบว่าขนาดอนุภาคของสารเคมีจะเล็กลงเมื่อเวลาในการบดเพิ่มขึ้น โดยช่วงเวลาในการบด 14 ชั่วโมงแรก ลูกบดขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพในการบดสารเคมีต่ำ ซึ่งในช่วงเวลาเดียวกันลูกบดขนาดใหญ่ที่มีมวลมากกว่าความสามารถบดสารเคมีให้มีขนาดเล็กกว่า เนื่องจากสารเคมีในช่วงเริ่มต้นมีขนาดอนุภาคใหญ่จึงต้องอาศัยแรงกระแทกจากลูกบดขนาดใหญ่ ความสามารถในการบดของลูกบดขนาดเล็กจึงน้อยกว่าลูกบดที่มีขนาดใหญ่ แต่หลังจากการบดผ่านไปหลังจาก 14 ชั่วโมง ลูกบดขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพใน

การบดเฉลี่ยน้อยกว่าลูกบดขนาดเล็ก อาจเป็นเพราะพื้นที่ผิวของลูกบดขนาดเล็กที่ปริมาตรเท่ากันมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการบดมากกว่าลูกบดขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังพบว่า การทดสอบลูกบดขนาดกลางจะมีประสิทธิภาพในการบดใกล้เคียงกับการบดของลูกบดขนาดเล็ก แต่ขนาดอนุภาคสารเคมีเฉลี่ยที่ได้จากการบดจะมีขนาดเล็กกว่า

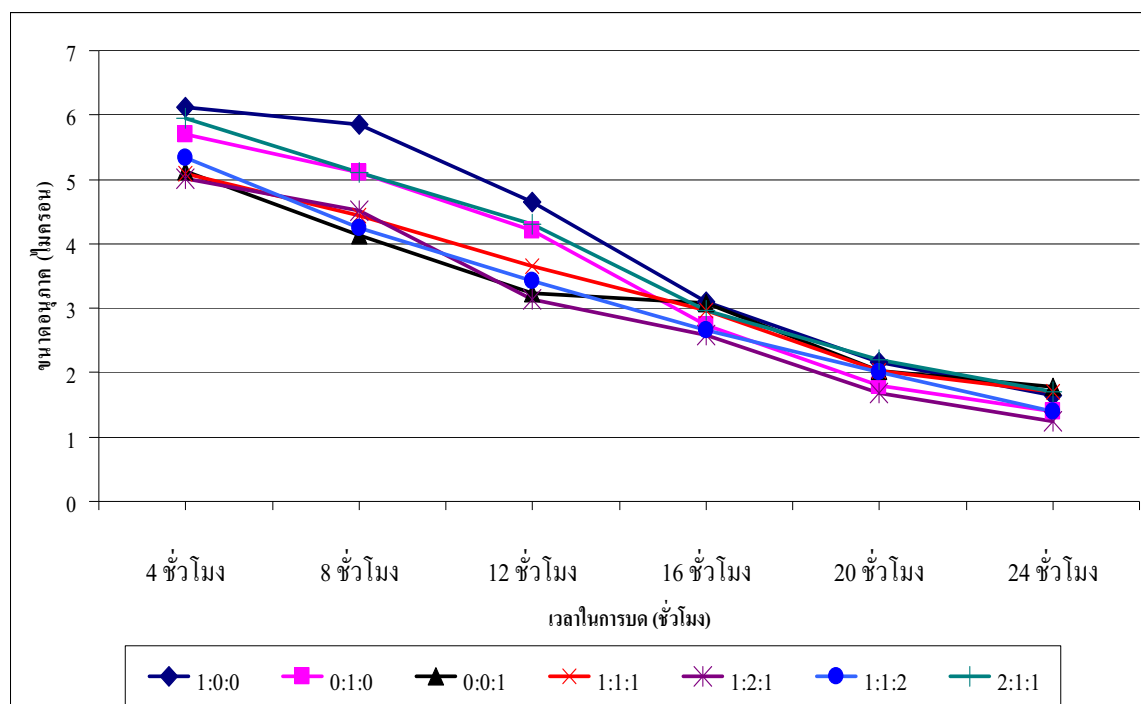
ตารางที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพลูกบดที่เวลาต่าง ๆ

อัตราส่วนลูกบดที่ใช้ (เล็ก:กลาง:ใหญ่)	ขนาดของสารเคมีที่บดได้เฉลี่ย ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1:0:0	6.13	5.86	4.65	3.11	2.16	1.64
0:1:0	5.69	5.11	4.21	2.73	1.79	1.40
0:0:1	5.12	4.14	3.22	3.07	2.04	1.78
1:1:1	5.09	4.43	3.66	2.97	2.03	1.70
1:2:1	5.01	4.51	3.14	2.58	1.68	1.24
1:1:2	5.34	4.26	3.43	2.65	2.01	1.39
2:1:1	5.96	5.10	4.30	2.96	2.20	1.71



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ภายในหม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ของลูกบด 3 ขนาด

นำข้อมูลจากตารางที่ 7 มาแสดงเป็นกราฟดังภาพที่ 12 จะสรุปการทดสอบขั้นต้นได้ว่าลูกบดขนาดกลางน่าจะมีประสิทธิภาพในการบดมากกว่า นอกจากนั้นยังมีการทดสอบอัตราส่วนระหว่างลูกบดแต่ละขนาดเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่นำมาเลือกใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป ได้ผลดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ภายในหม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ของอัตราส่วนลูกบดต่าง ๆ

จากผลการทดสอบความแปรปรวนเชิงสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS เพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนลูกบดที่ใช้ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two Way ANOVA) ซึ่งมีสมมุติฐานคือ

สมมุติฐานสำหรับตัวแปรที่ 1 เวลา

H_0 : เวลาในการบดที่มากขึ้นไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

H_1 : เวลาในการบดที่มากขึ้นมีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

สมมุติฐานสำหรับตัวแปรที่ 2 อัตราส่วนลูกบด

H_0 : อัตราส่วนลูกบดไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

H_1 : อัตราส่วนลูกบดมีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

โดยผลการทดสอบจะปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ถ้า Sig. ในโปรแกรมคำนวณทางสถิติมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α ที่กำหนดไว้ในที่นี้คือ 0.05 ซึ่งได้ผลการคำนวณในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรมเพื่อทดสอบสมมุติฐาน

ตัวแปร	dF	Mean Square	F	Sig.
เวลาในการบด	5	16.88	189.52	0.00
อัตราส่วนลูกบด	6	0.60	6.74	0.00

เวลาที่ใช้ในการบดและอัตราส่วนของลูกบด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เพราะมีค่า Sig. น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าทั้งเวลาที่ใช้บดและอัตราส่วนของลูกบดที่ใช้ทดสอบมีผลต่อขนาดอนุภาคที่บดได้ เมื่อพบว่าทั้งเวลาและอัตราส่วนมีผลต่อขนาดของสารเคมีที่บดได้ การทดลองในขั้นต่อไปคือการหาเวลาในการบดและอัตราส่วนที่ดีที่สุด โดยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบด้นคัน ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10

การทดสอบแบบด้นคัน เป็นการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่มีค่าหลายค่าตามขนาดความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละคู่จากน้อยไปมาก เพื่อทดสอบดูว่ากลุ่มใดบ้างที่มีค่าเฉลี่ยต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้า sig. > 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มนั้นไม่แตกต่างกัน แต่ถ้า sig. < 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มนั้นแตกต่างกัน

ตารางที่ 9 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยขนาดสารเคมีที่บดได้เมื่อมีอัตราส่วนลูกบดที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนลูกบด (เล็ก:กลาง:ใหญ่)	ค่าเฉลี่ยขนาดของสารเคมีที่บดได้โดยแบ่งเป็นกลุ่ม ตามวิธีของด้นคัน			
	1	2	3	4
1:2:1	3.03			
1:1:2	3.18	3.18		
0:0:1	3.23	3.23		
1:1:1	3.31	3.31		
0:1:0		3.49	3.49	
2:1:1			3.70	3.70
1:0:0				3.92
Sig.	0.14	0.11	0.22	0.21

ตารางที่ 9 เป็นตารางแสดงการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของขนาดสารเคมีที่บดได้ โดยแบ่งกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่ม เช่นกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่มี

ค่าเฉลี่ยที่พบได้ไม่แตกต่างกันประกอบด้วยกลุ่มที่มีอัตราส่วนลูกบด 1:2:1, 1:1:2, 1:1:1 และ 0:0:1 กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคสารเคมีที่พบได้ไม่แตกต่างกัน ประกอบด้วยกลุ่มที่มีอัตราส่วนลูกบด 1:1:2, 1:1:1, 0:0:1 และ 0:1:0 เป็นต้น จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าอัตราส่วนลูกบด 1:2:1 ให้ผลค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคสารเคมีที่พบได้น้อยที่สุดคือ 3.03 ไมครอน จึงเลือกอัตราส่วนลูกบด 1:2:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยขนาดสารเคมีที่พบได้เมื่อใช้เวลาในการบดแตกต่างกัน

เวลาในการบด (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยขนาดของสารเคมีที่พบได้โดยแบ่งเป็นกลุ่ม ตามวิธีของดันคัน					
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 6
24	1.55					
20		1.99				
16			2.87			
12				3.80		
8					4.77	
4						5.48
Sig.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

จากตารางที่ 10 เป็นตารางแสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยขนาดสารเคมีที่พบได้โดยแบ่งกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยสามารถแบ่งได้ 6 กลุ่มและแต่ละกลุ่มมีค่า sig. > 0.05 ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ใช้ในการบดที่ดีที่สุดคือ 24 ชั่วโมง เพราะให้ค่าเฉลี่ยของขนาดสารเคมีที่พบได้น้อยที่สุดคือ 1.55

นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ในตารางที่ 9 และตารางที่ 10 มาพิจารณาในการเลือกลูกบดที่ใช้และเวลาที่เหมาะสมคือ ใช้ลูกบดที่มีอัตราส่วน (เล็ก:กลาง:ใหญ่) 1:2:1 เวลาที่ใช้บดเป็น 24 ชั่วโมง

4.4 ผลการทดสอบความสามารถของหม้อบดที่ปริมาณสารต่าง ๆ

เมื่อทำการทดสอบหาประสิทธิภาพลูกบดที่เหมาะสมเพื่อนำมาทดสอบปริมาณสารเคมีที่สามารถบดได้สูงสุดภายในหม้อบด อัตราส่วนลูกบดที่ใช้คือ 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) ในขั้นตอนนี้ยังคงใช้หม้อบดขนาด 5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) ที่เวลาต่าง ๆ

สารที่ทำการทดสอบ คือ แคลเซียมคาบอเนต ซึ่งมีปริมาณสารที่จะบดที่ใช้ในการทดสอบแสดงในตารางผลการทดสอบที่ 11 โดยมีผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบความสามารถของหม้อบดที่ปริมาณสารต่าง ๆ

ปริมาณสารที่ใช้บด (%โดยปริมาตร) สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
55 %	5.00	4.54	3.25	2.54	1.57	1.10
63.35 %	5.08	4.36	3.03	2.40	1.66	1.39
71.5 %	5.01	4.51	3.14	2.58	1.68	1.24
80 %	5.26	4.79	3.24	2.32	1.81	1.42

การวิเคราะห์ปริมาณสารที่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two Way ANOVA) ซึ่งมีสมมุติฐานคือ

สมมุติฐานสำหรับตัวแปรที่ 1 เวลาในการบด

H_0 : เวลาในการบดที่มากขึ้น ไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

H_1 : เวลาในการบดที่มากขึ้น มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

สมมุติฐานสำหรับตัวแปรที่ 2 อัตราส่วนลูกบด

H_0 : ปริมาณสารเคมีไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

H_1 : ปริมาณสารเคมีมีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

โดยผลการทดสอบจะปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ถ้า Sig. ในโปรแกรมคำนวณทางสถิติมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α ที่กำหนดไว้ในที่นี้คือ 0.05 ซึ่งได้ผลการคำนวณในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

ตัวแปร	df	Mean Square	F	Sig.
เวลาในการบด	5	9.40	631.25	0.00
ปริมาณสารเคมี	3	0.03	1.97	0.16

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้ เวลาที่ใช้ในการบดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เพราะมีค่า Sig. น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าทั้งเวลาที่ใช้บดมีผลต่อขนาดอนุภาคที่บดได้ แต่ปริมาณสารเคมีให้ระดับนัยสำคัญมากกว่า 0.05 แสดงว่าปริมาณสารเคมีไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

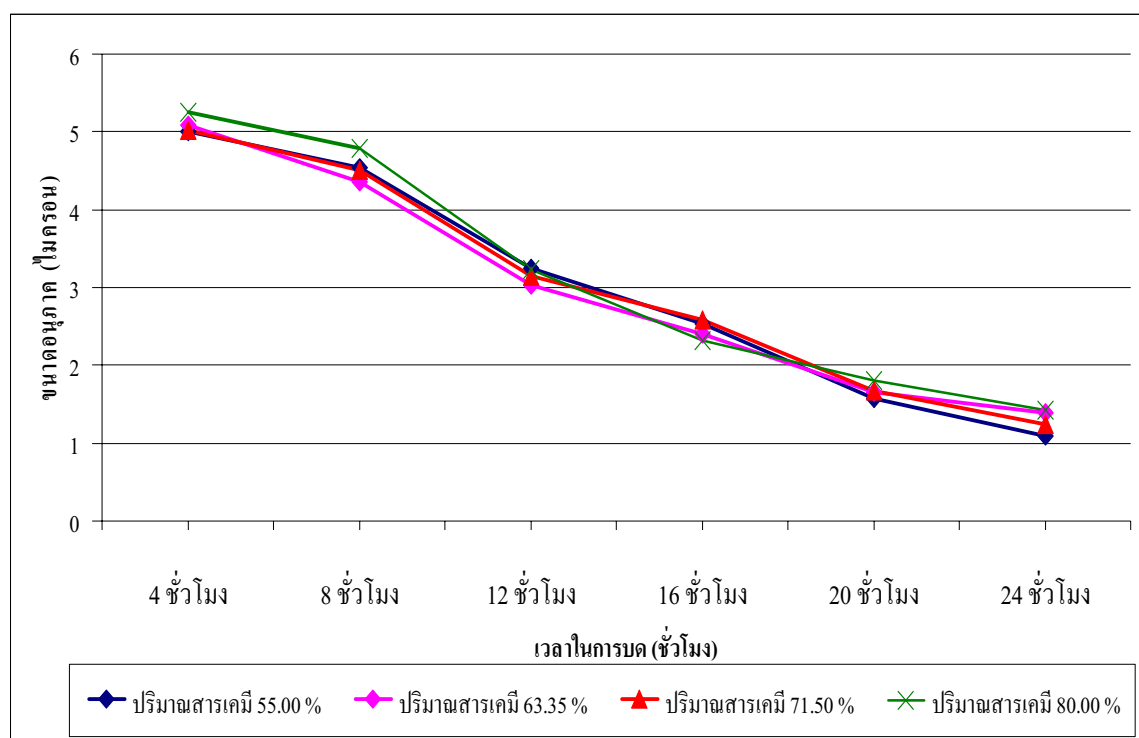
ดังนั้นในการบดสารเคมีสามารถเลือกใช้ปริมาณสารเคมีได้ทั้ง 4 การทดสอบแต่จากภาพที่ 13 ถ้าต้องการให้สารเคมีที่บดได้มีขนาดเล็กที่สุดที่เวลาในการบดเท่ากัน ให้เลือกใช้ปริมาณสารเคมีที่รวมกับน้ำใส่ในหม้อบดเป็น 55 % ของปริมาตรของหม้อบด แต่ถ้าต้องการใช้สารเคมีภายหลังการบดจำนวนมากอาจเลือกใช้ที่ 80 % ได้เช่นกันเพราะในทางสถิติให้ผลไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

จากนั้นนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาความสามารถของหม้อบด ด้วยวิธีการวิเคราะห์ของด้นคันระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ดังตารางที่ 13 เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ให้ประสิทธิภาพในการบดมากที่สุด

ตารางที่ 13 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคสารเคมีตลอด 24 ชั่วโมง

ปริมาณสารที่ใช้บด (%โดยปริมาตร) สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด	N	อนุภาคเฉลี่ยตลอดการบด 24 ชั่วโมง
55.00 %	6	3.00
63.35 %	6	2.98
71.50 %	6	3.03
80.00 %	6	3.14
Sig.		.06

จากตารางสรุปได้ว่า ในการบดที่ปริมาณสารเคมี ที่ 63.35 % ให้ขนาดของสารเคมีมีค่าน้อยที่สุด โดยปริมาณสารทั้ง 4 ตัวอย่างนี้ให้ผลไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ภายใน หม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ของปริมาณสารเคมีต่าง ๆ

4.5 ผลการทดสอบขนาดของหม้อบด

โดยการนำลูกบดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมระหว่างหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และหม้อบดขนาด 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) ทดสอบความสามารถและประสิทธิภาพของหม้อบดแต่ละขนาด ในการทดสอบจะใช้ลูกบดที่มีอัตราส่วนที่ 30 % ของปริมาตรของหม้อบด ปริมาณสารเคมี 63.35 % ของปริมาตรทั้งหมด ความเร็วของหม้อบดที่ใช้กับหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) และหม้อบดขนาด 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) มีความเร็วรอบเป็น 63 รอบต่อนาที (71.2 % ของความเร็วรอบวิกฤต) แสดงผลการทดสอบดังตารางผลการทดสอบที่ 14 และภาพที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบขนาดของหม้อบด

ขนาดหม้อบด	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
22.8 เซนติเมตร	5.19	4.52	3.16	2.41	1.90	1.29
12.70 เซนติเมตร	5.11	4.61	3.15	2.59	1.64	1.26

การวิเคราะห์อัตราส่วนลูกบดที่ใช้ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two Way ANOVA) ซึ่งมีสมมุติฐานคือ

สมมุติฐานสำหรับตัวแปรที่ 1 เวลา

H_0 : เวลาในการบดที่มากขึ้นไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

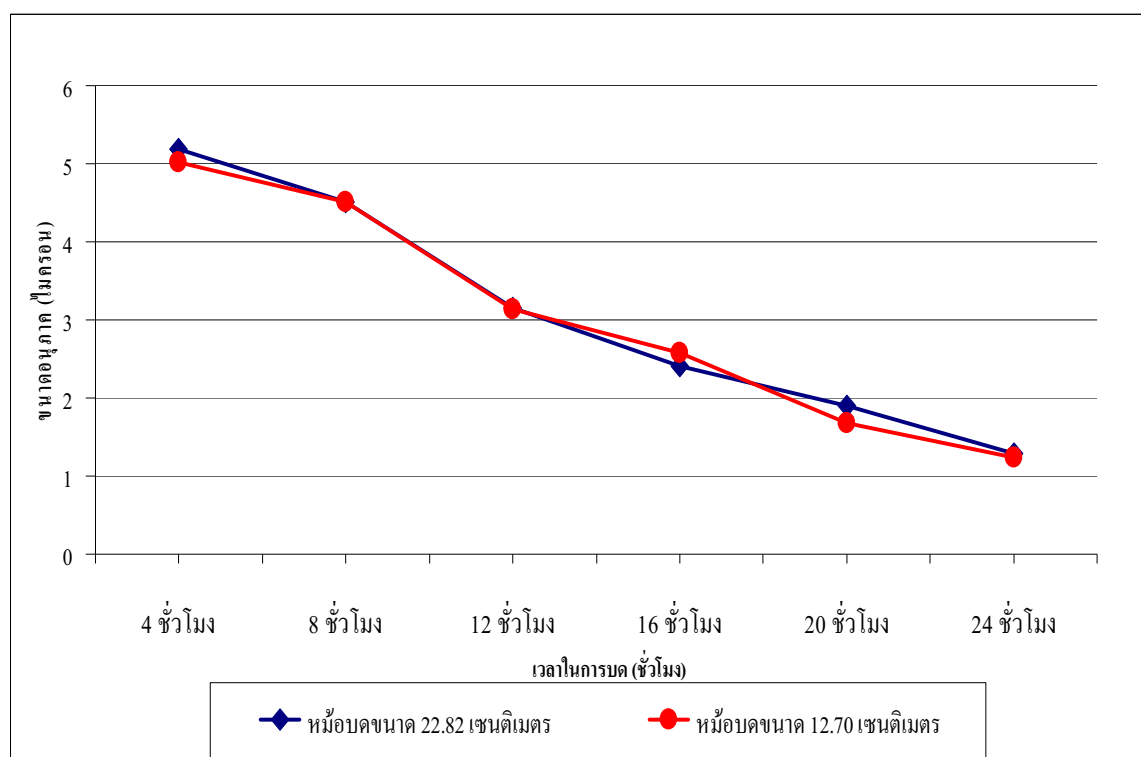
H_1 : เวลาในการบดที่มากขึ้นมีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

สมมุติฐานสำหรับตัวแปรที่ 2 อัตราส่วนลูกบด

H_0 : ขนาดหีบไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

H_1 : ขนาดหีบอบคมีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

โดยผลการทดสอบจะปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ถ้า Sig. ในโปรแกรมคำนวณทางสถิติมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α ที่กำหนดไว้ในที่นี้คือ 0.05 ซึ่งได้ผลการคำนวณในตารางที่ 15



ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่างๆ ภายในหม้อบดแต่ละขนาด

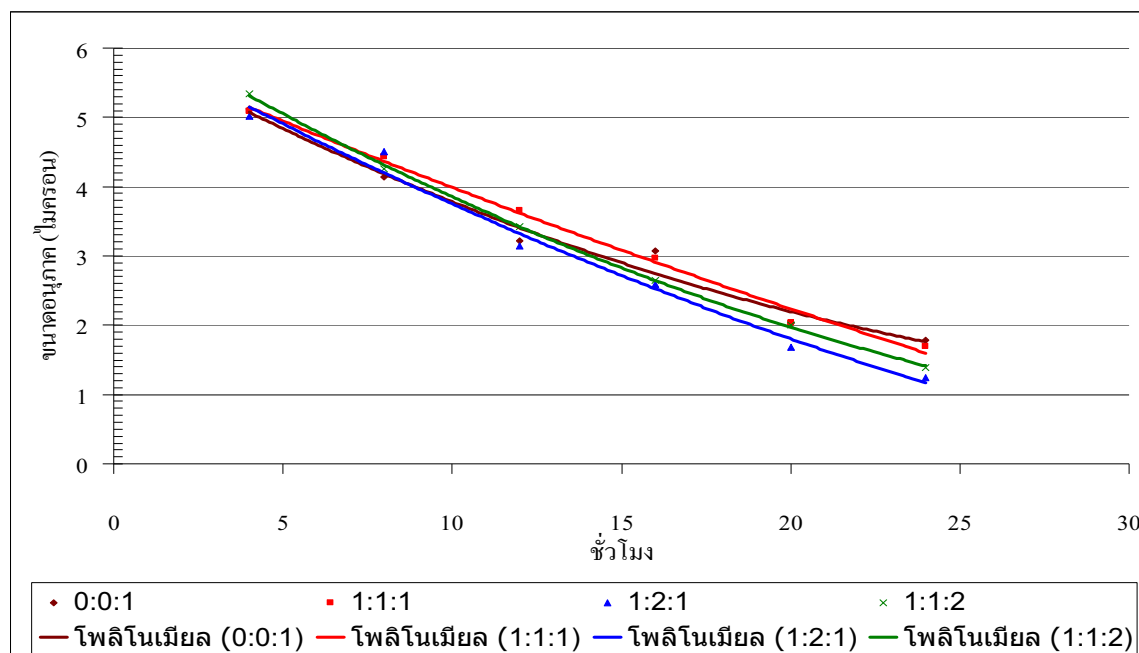
ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของปริมาณสารที่มีต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

ตัวแปร	df	Mean Square	F	Sig.
เวลาในการบด	5	4.57	466.16	0.00
ขนาดหม้อบด	1	0.01	0.75	0.42

เวลาที่ใช้ในการบดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เพราะมีค่า Sig. น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าทั้งเวลาที่ใช้บดมีผลต่อขนาดอนุภาคที่บดได้ แต่ขนาดหม้อบดให้ระดับนัยสำคัญมากกว่า 0.05 แสดงว่าขนาดหม้อบดไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

ดังนั้นถ้าหากต้องการบดสารเคมีครั้งละมาก ๆ สามารถใช้หม้อบดขนาด 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) ได้โดยจะให้ขนาดของสารเคมีไม่แตกต่างจากขนาดของสารเคมีที่บดได้จากหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว)

เมื่อได้ผลการทดสอบทั้ง 3 ผลการทดสอบ นำผลการทดสอบที่เลือกไว้ได้แก่ อัตราส่วนลูกบดทั้ง 4 อัตราส่วนคือ (เล็ก:กลาง:ใหญ่) ได้แก่ 0:0:1, 1:1:1, 1:2:1, 1:1:2 และปริมาณสารที่ใช้ 63.35 % ของปริมาตรหม้อบดภายในหม้อบด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ดังภาพที่ 15 และสามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการบดเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคตามที่ต้องการได้ ในตารางที่ 16



ภาพที่ 15 กราฟแสดงแนวโน้มเพื่อใช้ประกอบการเลือกอัตราส่วนลูกบดที่ใช้ในการบดเวลาต่าง ๆ เพื่อให้ได้อนุภาคสารเคมีตามต้องการ

ตารางที่ 16 ตารางสรุปผลเวลาในการบดสารเคมี

ขนาด (ไมครอน)	เวลาที่ใช้ในการบด (ชั่วโมง)			
	อัตราส่วนลูกบด			
	1:1:1	1:2:1	1:1:2	ลูกใหญ่
1.50	-	21.80	23.30	-
2.00	21.50	18.80	19.80	21.50
2.50	17.50	16.20	16.80	17.70
3.00	15.50	13.60	14.20	14.50

จากตารางสรุปผลการบดภายใต้การทดสอบภายในหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ปริมาณสารเท่ากับ 63.35 % โดยปริมาตร ปริมาณลูกบดเท่ากับ 30 % โดยปริมาตร ความเร็วรอบในการบดที่เท่ากันโดยใช้เส้นแนวโน้มแบบโพลิโนเมียล ทำให้สามารถทำนายเวลาที่จะบดสารเคมี เมื่อต้องการขนาดอนุภาคของสารเคมีขนาดต่าง ๆ เพื่อนำไปเลือกใช้ตามความเหมาะสมต่อไป

จากผลการทดสอบในตารางที่ 16 จะพบว่าอัตราส่วนลูกบดเหมาะสมที่สุดเป็นอัตราส่วน 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) จากเส้นกราฟเส้นแนวโน้มจะได้สมการเพื่อใช้คำนวณเวลาในการบดให้ได้ขนาดอนุภาคตามต้องการ คือ สมการ $y = 0.0024x^2 - 0.2675x + 6.1834$ โดย y แทนขนาดอนุภาค หน่วยไมครอน และ x แทนชั่วโมงในการบด

4.6 ผลการทดสอบการบดสารเคมีอื่น ๆ

โดยการนำลูกบดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมบดสารเคมีภายในหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว เพื่อทดสอบหาเวลาในการบดสารเคมีแต่ละชนิด ในการทดสอบจะใช้ลูกบดที่มีอัตราส่วนที่ 30 % ของปริมาตรของหม้อบด ปริมาณสารเคมี 63.35 % ของปริมาตรทั้งหมด ความเร็วของหม้อบดที่ใช้กับหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) แสดงผลการทดสอบดังตารางผลการทดสอบที่ 17 และภาพที่ 16

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบการบดสารเคมีอื่น ๆ

สารเคมี	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)			
	12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
ซิงค์ออกไซด์	1.87	1.29	1.12	0.98
แซดดีซี (ZDC)	2.52	1.34	1.29	1.11
กำมะถัน	6.53	4.32	2.44	1.26
ดีพีจี (DPG)	3.14	2.67	1.34	1.10
แคลเซียมคาบอเนต	2.76	1.26	1.03	0.88
Lowinox CPL	2.61	1.35	1.23	1.14

การวิเคราะห์ชนิดของสารเคมีที่ใช้ที่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two Way ANOVA) ซึ่งมีสมมุติฐานคือ

สมมุติฐานสำหรับตัวแปรที่ 1 เวลา

H_0 : เวลาในการบดที่มากขึ้นไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

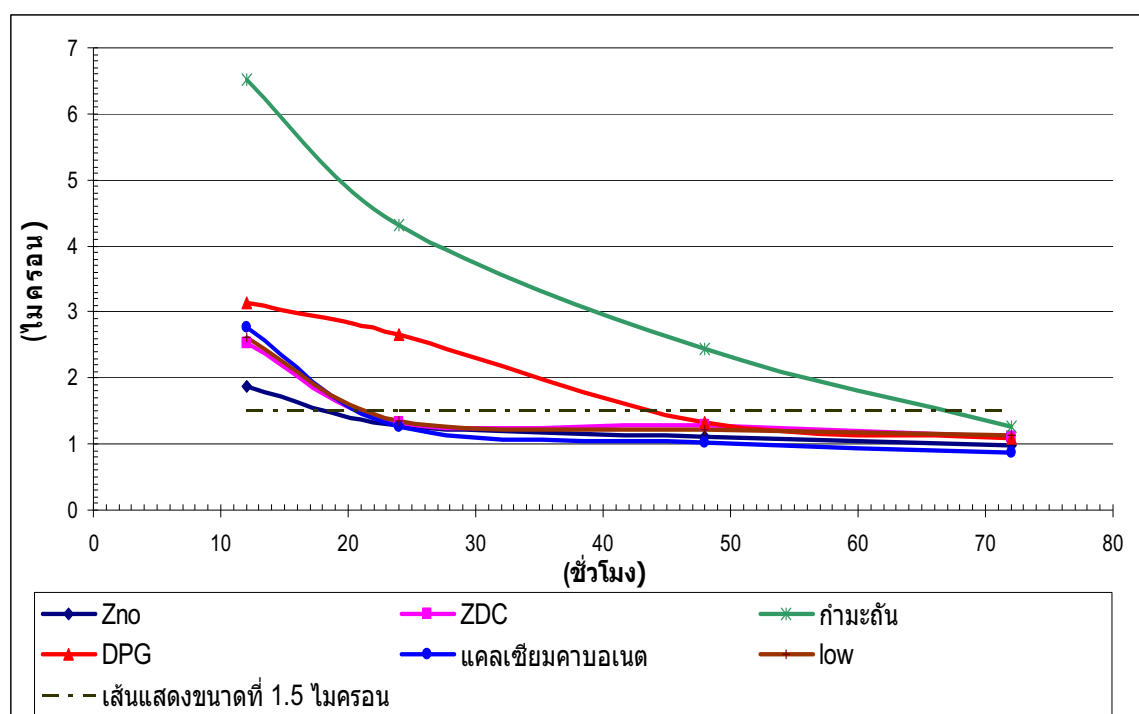
H_1 : เวลาในการบดที่มากขึ้นมีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

สมมุติฐานสำหรับตัวแปรที่ 2 อัตราส่วนลูกบด

H_0 : ชนิดของสารเคมีไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

H_1 : ชนิดของสารเคมีมีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

โดยผลการทดสอบจะปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ถ้า Sig. ในโปรแกรมคำนวณทางสถิติมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α ที่กำหนดไว้ในที่นี้คือ 0.05 ซึ่งได้ผลการคำนวณในตารางที่ 18



ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ของการบดสารเคมีแต่ละชนิด

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของชนิดสารเคมีที่มีต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

ตัวแปร	df	Mean Square	F	Sig.
เวลาในการบด	3	5.441	10.256	0.001
ชนิดของสารเคมี	5	3.012	5.677	0.004

เวลาที่ใช้ในการบดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เพราะมีค่า Sig. น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าทั้งเวลาที่ใช้บดมีผลต่อขนาดอนุภาคที่บดได้ และชนิดของสารเคมีให้ระดับนัยสำคัญน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าชนิดสารเคมีมีผลต่อขนาดอนุภาคสารเคมีที่บดได้

ดังนั้นจากภาพที่ 16 สามารถทราบเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีแต่ละชนิด เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคของสารเคมีที่เหมาะสม แต่ในการทดสอบนี้กำหนดให้สารเคมีที่ต้องการเท่ากับ 1.5 ไมครอนและจากภาพที่ 16 สามารถสรุปเวลาที่บดได้ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ตารางสรุปเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีแต่ละชนิด

ขนาดอนุภาคที่ ต้องการ (ไมครอน)	เวลาที่ใช้ในการบด(ชั่วโมง)					
	ชนิดของสารเคมี					
	ซิงค์ออกไซด์	แซดดีซี (ZDC)	กำมะถัน	ดีพีจี (DPG)	แคลเซียม- คาบอเนต	Lowinox CPL
1.50	17.50	20.50	66.50	43.50	20.00	21.00

จากผลการทดสอบสารเคมีอื่น ๆ ทดสอบภายใต้การทดสอบความสามารถของลูกบดและประสิทธิภาพของหม้อบดจากการทดสอบข้างต้น ทำให้ทราบว่าสารเคมีแต่ละชนิดมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการบดทั้งนี้เพราะคุณสมบัติบางประการของสารเคมีเองที่มีความเข้มข้นและความหนาแน่นของสารเคมีที่แตกต่างกัน ดังนั้นจากการทดสอบทำให้ทราบเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีแต่ละชนิดได้

5. สรุปผลการทดสอบ

5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะจำเพาะของเครื่องบดสารเคมี

การออกแบบเครื่องบดสารเคมีต้นแบบสำหรับเตรียมดิสเพอซัน ได้มีการออกแบบให้มีการปรับความเร็วรอบให้เหมาะสมกับขนาดหม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และ 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว) โดยใช้ฟู่เกลี้อยู่ในการเปลี่ยนความเร็วรอบสำหรับผลการทดสอบเพื่อให้หม้อบดหมุนด้วยความเร็วรอบไม่เกิน 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต มอเตอร์ต้นกำลังทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที การทดสอบพบว่า หม้อบด 5 นิ้ว มีความเร็วรอบเป็น 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) และหม้อบด 9 นิ้ว มีความเร็วรอบเป็น 63 รอบต่อนาที (71.2 % ของความเร็วรอบวิกฤต) ภาระน้ำหนักของหม้อบดที่สามารถบดได้ต่อ 1 ชุดทดสอบ (เพลารองรับ 1 คู่) รับได้ 10 กิโลกรัม และ 1 ชุดเพลาน้ำหนักหม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว) สามารถเตรียมสารเคมีแคลเซียมคาบอเนตความเข้มข้น 50 % โดยมวล ได้สูงสุด 3,800 กรัม

5.2 ผลการทดสอบการบดสารเคมี

การทดสอบการบดสารเคมีทั้ง 3 การทดสอบคือ การทดสอบประสิทธิภาพของลูกบด การทดสอบความสามารถในการบดของหม้อบด และขนาดหม้อบด ผลการทดสอบได้ว่า ลูกบดที่ทำารบดได้เหมาะสมที่สุดคือต้องประกอบด้วยลูกบดขนาดต่าง ๆ สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สามารถบดได้ ขนาดอนุภาคเล็กที่สุดในเวลาสั้นที่สุด คือ 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) โดยใช้ปริมาณลูกบดเป็น 30 % ของปริมาตรหม้อบด ปริมาณสารเคมีภายในหม้อบดที่เหมาะสมที่ทำให้อนุภาคหลังการบดเล็กที่สุด คือใช้

สารเคมีรวมกับน้ำ เป็น 63.35 % ของปริมาตรหม้อบด และขนาดของหม้อบดทั้งสองขนาดไม่มีผลต่อการบด จากการทดสอบโดยใช้หม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความเร็วรอบของหม้อบด 80 รอบต่อนาที ใช้อัตราส่วนลูกบด 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) โดยสามารถเตรียมแคลเซียมคาบอเนตความเข้มข้น 50 % โดยมวล ได้ 800 กรัม สามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีได้ดังนี้

ตารางที่ 20 สรุปเวลาที่ใช้บดสารเคมีโดยใช้หม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว)

ขนาดอนุภาคของสารเคมี (ไมครอน)	เวลาที่ใช้ในการบด (ชั่วโมง)
1.50	21.80
2.00	18.80
2.50	16.20
3.00	13.60

ในการบดสารเคมีอื่น ๆ ที่ทำการทดสอบเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคสารเคมีที่ใช้สำหรับการบ่มน้ำยางธรรมชาติมีขนาดเป็น 1.5 ไมครอนทดสอบภายใต้การทดสอบความสามารถของลูกบดและประสิทธิภาพของหม้อบดจากการทดสอบข้างต้น ทำให้ทราบว่าสารเคมีแต่ละชนิดมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการบดทั้งนี้เพราะคุณสมบัติบางประการของสารเคมีเองที่มีความเข้มข้นและความหนาแน่นของสารเคมีที่แตกต่างกัน ดังนั้นจากการทดสอบทำให้ทราบเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีแต่ละชนิดได้ สามารถสรุปเวลาที่ใช้บดสารเคมีแต่ละชนิดตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ตารางแสดงเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีอื่น ๆ เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคของสารเคมีเท่ากับ 1.5 ไมครอน

ชนิดสารเคมี	เวลาที่ใช้ในการบด (ชั่วโมง)
ซิงค์ออกไซด์	17.50
แซดดีซี (ZDC)	20.50
กำมะถัน	66.50
ดีพีจี (DPG)	43.50
แคลเซียมคาบอเนต	20.00
Lowinox CPL	21.00

6. ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

6.1. ข้อเสนอแนะ

การนำผลวิจัยไปใช้ในการใช้ประกอบการผลิตในอุตสาหกรรมน้ำอย่างธรรมชาติ ในเชิงธุรกิจควรคำนึงถึงความคุ้มค่าและเวลาในการบด ซึ่งจากการทดสอบ ทางผู้วิจัยออกแบบโดยคำนึงถึงการนำเครื่องบดสารเคมีที่ออกแบบได้สามารถดัดแปลงให้ใช้กับขนาดของหม้อบดได้หลายขนาด จำนวนหม้อบดหลายใบเพื่อลดเวลาการทดสอบ ผู้ที่สนใจควรตัดสิ่งที่ไม่จำเป็นในส่วนเครื่องต้นแบบออกได้ โดยลดจำนวนชุดการบดลงและตัดการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบออก

6.2. ประเด็นวิจัยใหม่

- ก. ควรศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมี
- ข. ควรปรับปรุงให้ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบให้มีความสะดวกขึ้น
- ค. ควรศึกษาการบดด้วยสารเคมีอื่น ๆ

เอกสารอ้างอิง

- จำรูญ ตันติพิศาลกุล. 2542. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 2. บริษัท ว. เพ็ชรสกุล จำกัด.
กรุงเทพฯ ฯ.
- ชาญ ถนัดงาน และ วรวิทย์ อึ้งภากรณ์. 2536. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. นำอักษรการพิมพ์,
กรุงเทพฯ ฯ.
- บุญธรรม นิธิอุทัย. 2532. ปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ. 2538. เทคโนโลยีน้ำยาง สมบัติ และผลิตภัณฑ์. คณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2535. เทคนิคการออกสูตร. ภาควิชาเทคโนโลยียางและโพลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- วิริยะ ทองเรือง. 2548. การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ. รายงานผลการศึกษาคือ
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุนทร โหม่งปรานีต. 2536. การลดขนาด. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมการแปรรูปผลผลิต-
เกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- อนันต์ วงศ์กระจ่าง. 2533. ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.
- Attritor. 1993. (online). Available. <http://www.abigailenterprises.com/attritor.html>
- Blackley, D.C. 1966. High Polymer Latices. Vol.1 Maclaren&Sons Ltd, London
- Division of Aaron Engineered Process Equipment. 2002. (online). Available.
<http://www.pauloabbe.com/productLines/millingEquipment/grindingMedia/index.cfm>
- Division of Aaron Engineered Process Equipment. 2002. (online). Available.
<http://www.pauloabbe.com/productLines/millingEquipment/steelBallMills>
- DIYSite.com Limited. 2005. (online). Available. <http://www.ebigchina.com/ebcps/4/pd/853624.html>
- Fisher , E.K. 1941. Ind. Eng. Chem.
- J.Payne Ltd. (online). Available. <http://www.ejpayne.com/TRMill.htm>
- NETZSCH Incorporated. 2003. (online). Available.
http://www.netzschusa.com/Grinding/HVS_Dispersers02.htm

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Sand mill. 1993. (online). Available. <http://www.abigailenterprises.com/sandmill.html>

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

Sigma Engineering. 2002. (online). Available. <http://www.sigmaus.com/used/pm125texh.html>

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ ผลการทดสอบและแบบเครื่อง Ball Mill

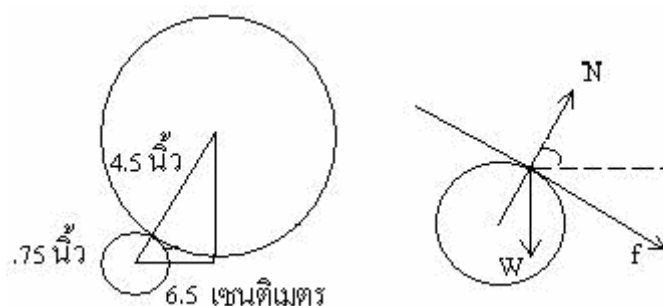
1. การคำนวณเพื่อการออกแบบ

1.1 การคำนวณแรงที่ใช้ขับของเครื่องบด

ถังบดหนัก 10 กิโลกรัม

ถังบดรับด้วย 2 แกนเพลลา ฉะนั้นน้ำหนักที่แต่ละเพลลาได้รับจะเท่ากับ 5 กิโลกรัม

รัศมีเพลลาที่รับน้ำหนักถึง 0.75 นิ้ว = 0.019 เมตร



ภาพที่ ก.1 ลักษณะแรงที่ถังกระทำกับเพลลา

	$\cos \alpha$	=	6.5/13.335
	α	=	60.82 \text{ องศา}
จาก	f	=	μN
	N	=	$\cos 29.18 \times (5)(9.81)$
	μ	=	1
	f	=	42.83 \text{ นิวตัน}

แรงบิดของแต่ละเพลลาที่รับน้ำหนักถึง

$$\begin{aligned} \text{แรงบิด (Torque)} &= Fr \\ T &= 42.83 \times 0.019 \\ &= 0.814 \text{ นิวตัน-เมตร} \end{aligned}$$

แถวบนมีเพลลา 6 ชิ้น

$$\text{แรงบิดรวมของชั้นบน} \quad 0.814 \times 6 = 4.884 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$\text{แรงบิด (Torque)} = Fr$$

$$T = 42.83 \times 0.019$$

$$= 0.814 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

แฉวล่างมีเพลลา 6 ชั้

$$\text{แรงบิดรวมของชั้นล่าง} \quad 0.814 \times 6 = 4.884 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$\text{แรงบิดรวมที่เพลลาส่งกำลัง} = 4.884 + 4.884 = 9.768 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

1.2 การคำนวณหาการหาขนาดมอเตอร์

$$\text{แรงบิดรวมที่เพลลาส่งกำลัง} = 9.768 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$T = Fr$$

โดยที่

$$T_1 \text{ คือ แรงบิดที่เพลลาส่งกำลัง (นิวตัน-เมตร)}$$

$$T_2 \text{ คือ แรงบิดที่เพลลาทครอบ (นิวตัน-เมตร)}$$

ดังนั้น

$$F_2 = 9.768 / (6/2 \times 0.0254)$$

$$= 128.189 \text{ นิวตัน}$$

$$T_2 = 128.189 \times (4/2 \times 0.0254)$$

$$= 6.512 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$F_1 = 6.512 / (5/2 \times 0.0254)$$

$$= 102.55 \text{ นิวตัน}$$

$$T_1 = 102.55 \times (2/2 \times 0.0254)$$

$$= 2.605 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$\text{จาก} \quad P = T \omega$$

$$P = 2.605 \times 2\pi(1,450/60)$$

$$= 395.55 \text{ วัตต์}$$

$$\text{กำหนดให้ 1 แรงม้า} = 746 \text{ วัตต์}$$

$$H_p = 0.53 \text{ แรงม้า}$$

$$\text{คูณค่าความปลอดภัย 1.5} = .795 \text{ แรงม้า}$$

เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า 1,450 รอบต่อนาที

1.3 การคำนวณหาความเร็วรอบที่ใช้ในการบด

การคำนวณสำหรับถังบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว)

ใช้ถังบดที่มีรัศมี 0.208 ฟุต หรือ 2.5 นิ้ว

$$\text{ความเร็ววิกฤต} = \frac{54.19}{\sqrt{R}}$$

โดยที่

R คือ รัศมีของถังบด (ฟุต)

$$\begin{aligned}\text{ความเร็ววิกฤต} &= \frac{54.19}{\sqrt{R}} \\ &= \frac{54.19}{\sqrt{0.208}}\end{aligned}$$

$$\text{ความเร็ววิกฤต} = 118.82 \text{ รอบต่อนาที}$$

ความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ใช้ในการบดเท่ากับ 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต

$$\begin{aligned}\text{ความเร็วที่เหมาะสม} &= \text{ความเร็ววิกฤต} \times 0.75 \\ &= 118.82 \times 0.75\end{aligned}$$

$$\text{ความเร็วที่เหมาะสม} = 89.12 \text{ รอบต่อนาที}$$

ความเร็วที่เหมาะสมสำหรับถังบดขนาด 5 นิ้วคือ 89.12 รอบต่อนาที

การคำนวณสำหรับถังบดขนาด 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว)

ใช้ถังบดที่มีรัศมี 0.375 ฟุต หรือ 4.5 นิ้ว

$$\text{ความเร็ววิกฤต} = \frac{54.19}{\sqrt{R}}$$

โดยที่

R คือ รัศมีของถังบด (ฟุต)

$$\begin{aligned}\text{ความเร็ววิกฤต} &= \frac{54.19}{\sqrt{R}} \\ &= \frac{54.19}{\sqrt{0.375}}\end{aligned}$$

$$\text{ความเร็ววิกฤต} = 88.49 \text{ รอบต่อนาที}$$

ความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ใช้ในการบดเท่ากับ 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต

$$\begin{aligned}\text{ความเร็วที่เหมาะสม} &= \text{ความเร็ววิกฤต} \times 0.75 \\ &= 88.49 \times 0.75\end{aligned}$$

$$\text{ความเร็วที่เหมาะสม} = 66.37 \text{ รอบต่อนาที}$$

ความเร็วที่เหมาะสมสำหรับถังบดขนาด 9 นิ้วคือ 66.37 รอบต่อนาที

1.4 การคำนวณขนาดฟูลีย์

ขนาดของฟูลีย์นั้นจะกำหนดตามความเร็วของถังและความเร็วของมอเตอร์เท่ากับ 1,450 รอบต่อนาที

$$\frac{n}{N} = \frac{D}{d}$$

โดยที่

- n คือ ความเร็วรอบของฟูลีย์ตัวขับ (รอบต่อนาที)
- N คือ ความเร็วรอบของฟูลีย์ตัวตาม (รอบต่อนาที)
- d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของฟูลีย์ตัวขับ (เซนติเมตร)
- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของฟูลีย์ตัวตาม (เซนติเมตร)

1.4.1 ความเร็วรอบที่ได้จากเครื่องบดสำหรับถังบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว)

เลือกใช้ฟูลีย์ขนาด 17.78 เซนติเมตร (7 นิ้ว) สำหรับถังบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว)

ความเร็วรอบจากมอเตอร์ถึงฟูลีย์ที่ครอบชุดที่ 1

โดย $n = 1,450$ รอบต่อนาที $D = 17.78$ เซนติเมตร (7 นิ้ว) $d = 5.08$ เซนติเมตร (2 นิ้ว)

$$\frac{1,450}{N} = \frac{17.78}{5.08}$$

$$N = 414.3 \text{ รอบต่อนาที}$$

ความเร็วรอบจากฟูล์ทครอบชุดที่ 1 ถึงฟูล์ทครอบชุดที่ 2

โดย $n = 414.3$ รอบต่อนาที $D = 15.24$ เซนติเมตร (6 นิ้ว) $d = 10.16$ เซนติเมตร (4 นิ้ว)

$$\frac{414.3}{N} = \frac{15.24}{10.16}$$

$$N = 276.2 \quad \text{รอบต่อนาที}$$

ความเร็วรอบจากฟูล์ทครอบชุดที่ 2 ถึง ความเร็วของถังบด

โดย $n = 276.2$ รอบต่อนาที $D = 12.70$ เซนติเมตร (5 นิ้ว) $d = 3.81$ เซนติเมตร (1.5 นิ้ว)

$$\frac{276.2}{N} = \frac{12.70}{3.81}$$

$$N = 82.9 \quad \text{รอบต่อนาที}$$

1.4.2 ความเร็วรอบที่ได้จากเครื่องบดสำหรับถังบดขนาด 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว)

เลือกใช้ฟูล์ทขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) สำหรับถังบดขนาด 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว)

ความเร็วรอบจากมอเตอร์ถึงฟูล์ทครอบชุดที่ 1

โดย $n = 1,450$ รอบต่อนาที $D = 12.70$ เซนติเมตร (5 นิ้ว) $d = 5.08$ เซนติเมตร (2 นิ้ว)

$$\frac{1,450}{N} = \frac{12.70}{5.08}$$

$$N = 580 \quad \text{รอบต่อนาที}$$

ความเร็วรอบจากฟูล์ทครอบชุดที่ 1 ถึงฟูล์ทครอบชุดที่ 2

โดย $n = 580$ รอบต่อนาที $D = 15.24$ เซนติเมตร (6 นิ้ว) $d = 10.16$ เซนติเมตร (4 นิ้ว)

$$\frac{580}{N} = \frac{15.24}{10.16}$$

$$N = 386.67 \quad \text{รอบต่อนาที}$$

ความเร็วรอบจากฟูล์ทครอบชุดที่ 2 ถึง ความเร็วของถังบด

โดย $n = 386.67$ รอบต่อนาที $D = 22.86$ เซนติเมตร (9 นิ้ว) $d = 3.81$ เซนติเมตร (1.5 นิ้ว)

$$\frac{386.67}{N} = \frac{22.86}{3.81}$$

$$N = 64.44 \quad \text{รอบต่อนาที}$$

1.5 ความยาวของสายพาน

$$L_P = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

$$\theta_s = \pi - 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{D - d}{2C}\right)\right]$$

$$\theta_L = \pi + 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{D - d}{2C}\right)\right]$$

โดยที่

C คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของฟูล์ (นิ้ว)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของฟูล์ตัวใหญ่ (นิ้ว)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของฟูล์ตัวเล็ก (นิ้ว)

L_P คือ ความยาวของสายพาน (นิ้ว)

1.5.1 ความยาวสายพานระหว่างฟูล์มอเตอร์กับฟูล์ชุดที่ 1

โดย $C = 50.32$ เซนติเมตร (19.81 นิ้ว) $D = 12.70$ เซนติเมตร (5 นิ้ว)

$d = 5.08$ เซนติเมตร (2 นิ้ว)

$$\theta_s = \pi - 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{D - d}{2C}\right)\right]$$

$$\theta_s = \pi - 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{5 - 2}{2 \times 19.81}\right)\right]$$

$$\theta_s = 2.99 \text{ เรเดียน}$$

$$\theta_L = \pi + 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{D - d}{2C}\right)\right]$$

$$\theta_L = \pi + 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{5-2}{2 \times 19.81}\right)\right]$$

$$\theta_L = 3.29 \text{ เรเดียน}$$

$$\begin{aligned} L_P &= 2C + 1.57(D+d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \\ &= (2 \times 19.81) + 1.57(5+2) + \frac{(5-2)^2}{4 \times 19.81} \\ &= 50.72 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะเลือกใช้เลือกสายพานร่อง B ยาว 51 นิ้ว

1.5.2 ความยาวสายพานระหว่างฟุ่เลย์ชุดที่ 1 กับฟุ่เลย์ชุดที่ 2

โดย $C = 42.11$ เซนติเมตร (16.58 นิ้ว) $D = 15.24$ เซนติเมตร (6 นิ้ว)

$d = 10.16$ เซนติเมตร (4 นิ้ว)

$$\theta_s = \pi - 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{D-d}{2C}\right)\right]$$

$$\theta_s = \pi - 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{6-4}{2 \times 16.58}\right)\right]$$

$$\theta_s = 3.02 \text{ เรเดียน}$$

$$\theta_L = \pi + 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{D-d}{2C}\right)\right]$$

$$\theta_L = \pi + 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{6-4}{2 \times 16.58}\right)\right]$$

$$\theta_L = 3.26 \text{ เรเดียน}$$

$$\begin{aligned} L_P &= 2C + 1.57(D+d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \\ &= (2 \times 16.58) + 1.57(6+4) + \frac{(6-4)^2}{4 \times 16.58} \\ &= 48.92 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะเลือกใช้เลือกสายพานร่อง B ยาว 49 นิ้ว

1.5.3 ความยาวสายพานระหว่างพู่เล่ย์ชุดที่ 2 กับพู่เล่ย์ชุดที่ 3

โดย $C = 48.74$ เซนติเมตร (19.19 นิ้ว) $D = 10.16$ เซนติเมตร (4 นิ้ว)

$$d = 10.16 \text{ เซนติเมตร (4 นิ้ว)}$$

$$\theta_s = \pi - 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{D-d}{2C}\right)\right]$$

$$\theta_s = \pi - 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{4-4}{2 \times 19.19}\right)\right]$$

$$\theta_s = 3.14 \text{ เรเดียน}$$

$$\theta_L = \pi + 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{D-d}{2C}\right)\right]$$

$$\theta_L = \pi + 2\sin^{-1}\left[\left(\frac{4-4}{2 \times 19.19}\right)\right]$$

$$\theta_L = 3.14 \text{ เรเดียน}$$

$$\begin{aligned} L_P &= 2C + 1.57(D+d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \\ &= (2 \times 19.19) + 1.57(4+4) + \frac{(4-4)^2}{4 \times 19.19} \\ &= 50.94 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะเลือกใช้เลือกสายพานร่อง B ยาว 51 นิ้ว

1.6 หาแรงตึงในสายพาน

กำหนดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพู่เล่ย์กับสายพานเท่ากับ 0.7

1.6.1 ระหว่างพู่เล่ย์มอเตอร์กับพู่เล่ย์ชุดที่ 1

โดย $\theta_s = 2.99$ เรเดียน และ $D = 12.70$ เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \frac{F_1}{F_2} &= e^{\mu\theta} \\ F_1 &= (e^{\mu\theta}) F_2 \end{aligned}$$

$$F_1 = (e^{(0.7 \times 2.99)}) F_2$$

$$F_1 = 8.11 \times F_2 \quad \dots(1)$$

จาก $(F_1 - F_2) r = T$

$$(F_1 - F_2) r = 2.605$$

$$F_1 - F_2 = 2.605 / (0.127 / 2) = 41.02 \text{ นิวตัน} \quad \dots(2)$$

จากสมการที่ (1) และสมการที่ (2) จะได้

$$F_1 = 46.79 \text{ นิวตัน}$$

$$F_2 = 5.77 \text{ นิวตัน}$$

$$F_1 + F_2 = 52.56 \text{ นิวตัน}$$

ดังนั้น แรงดึงในสายพาน เท่ากับ 52.56 นิวตัน

1.6.2 ระหว่างพู่แฉะชุดที่ 1 กับพู่แฉะชุดที่ 2

โดย $\theta_s = 3.02$ เรเดียน และ $D = 15.24$ เซนติเมตร

จาก $\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\theta}$

$$F_1 = (e^{\mu\theta}) F_2$$

$$F_1 = (e^{(0.7 \times 3.02)}) F_2$$

$$F_1 = 8.28 \times F_2 \quad \dots(3)$$

จาก $(F_1 - F_2) r = T$

$$(F_1 - F_2) r = 6.512$$

$$F_1 - F_2 = 6.512 / (0.1524 / 2) = 85.46 \text{ นิวตัน} \quad \dots(4)$$

จากสมการที่ (3) และสมการที่ (4) จะได้

$$F_1 = 97.2 \text{ นิวตัน}$$

$$F_2 = 11.74 \text{ นิวตัน}$$

$$F_1 + F_2 = 108.94 \text{ นิวตัน}$$

ดังนั้น แรงดึงในสายพาน เท่ากับ 108.94 นิวตัน

1.6.3 ระหว่างพู่เล่ย์ชุดที่ 2 กับพู่เล่ย์ชุดที่ 3

โดย $\theta_s = 3.14$ เรเดียน และ $D = 10.16$ เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{F_1}{F_2} &= e^{\mu\theta} \\ F_1 &= (e^{\mu\theta}) F_2 \\ F_1 &= (e^{(0.7 \times 3.14)}) F_2 \\ F_1 &= 9.01 \times F_2 \end{aligned} \quad \dots(5)$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } (F_1 - F_2) r &= T \\ (F_1 - F_2) r &= 4.884 \\ F_1 - F_2 &= 4.884 / (0.1016 / 2) = 96.14 \text{ นิวตัน} \end{aligned} \quad \dots(6)$$

จากสมการที่ (5) และสมการที่ (6) จะได้

$$F_1 = 108.14 \text{ นิวตัน}$$

$$F_2 = 12.0 \text{ นิวตัน}$$

$$F_1 + F_2 = 120.14 \text{ นิวตัน}$$

ดังนั้น แรงดึงในสายพาน เท่ากับ 120.14 นิวตัน

1.7 การคำนวณหาแรงที่โซ่ส่งกำลัง

กำลังที่ต้องส่งถ่ายในระบบขับเคลื่อนของเฟืองโซ่ตัวนอกคือ 47.09 วัตต์

กำลังที่ต้องส่งถ่ายในระบบขับเคลื่อนของเฟืองโซ่ตัวในคือ 70.63 วัตต์

ความเร็วรอบที่เพลลา 386.67 รอบต่อนาที

จำนวนฟันของจานโซ่ 22 ฟัน

โซ่โซ่เบอร์ 40

$$\begin{aligned} \text{จาก } v &= pZn \\ &= \frac{0.0127 \times 22 \times 386.67}{60} \\ &= 1.80 \text{ เมตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

เฟืองโซ่ตัวนอก

แรงในแนวสัมผัส

จาก
$$F_t = \frac{W_p}{v}$$

$$= \frac{47.09}{1.80}$$

$$= 26.16 \quad \text{นิวตัน}$$

แรงหนีศูนย์กลาง

จาก
$$F_{ct} = \frac{W}{g} v^2$$

$$= \frac{0.61}{9.81} \times 1.8^2$$

$$= 201.47 \quad \text{นิวตัน}$$

แรงดึงในโซ่

จาก
$$F = F_t + F_{ct}$$

$$= 26.6 + 201.47$$

$$= 228.07 \quad \text{นิวตัน}$$

เฟืองโซ่ตัวใน

แรงในแนวสัมผัส

จาก
$$F_t = \frac{W_p}{v}$$

$$= \frac{70.63}{1.80}$$

$$= 39.24 \quad \text{นิวตัน}$$

แรงหนีศูนย์กลาง

จาก
$$F_{ct} = \frac{W}{g} v^2$$

$$= \frac{0.61}{9.81} \times 1.8^2$$

$$= 201.47 \quad \text{นิวตัน}$$

แรงดึงในโซ่

จาก
$$F = F_t + F_{ct}$$

$$= 39.24 + 201.47$$

$$= 240.71 \quad \text{นิวตัน}$$

1.8 การคำนวณหาขนาดของเพลลาที่ใช้ส่งกำลังและรองรับถังบด

เมื่อพิจารณาแรงที่กระทำต่อเพลลา เนื่องจากน้ำหนักของถังบดหนึ่งถังจะรองรับด้วยเพลลา 2 ตัว เพลลาทั้ง 2 ตัวรับแรงเท่ากันจึงคิดแค่ตัวเดียว ซึ่งเพลลาทุกตัวมีขนาดเท่ากัน จากการคำนวณหาแรงดึงของสายพานและการหาแรงบิดที่ฟูลเลย์ จะเห็นได้ว่าเพลลาที่รับแรงมากที่สุดคือ เพลลาที่รับการส่งกำลังจากมอเตอร์ ซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดของเพลลาได้ดังต่อไปนี้

โดยที่

A และ B เป็นจุดที่แบร์ริงรองรับ

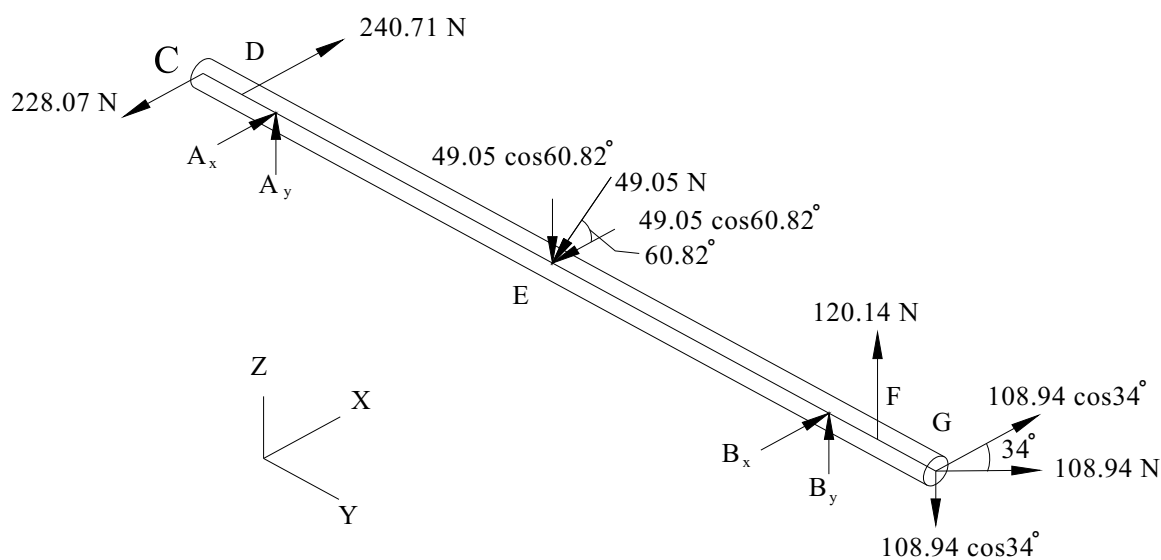
C แรงดึงที่กระทำโดยโซ่ 228.07 นิวตัน

D แรงดึงที่กระทำโดยโซ่ 240.71 นิวตัน

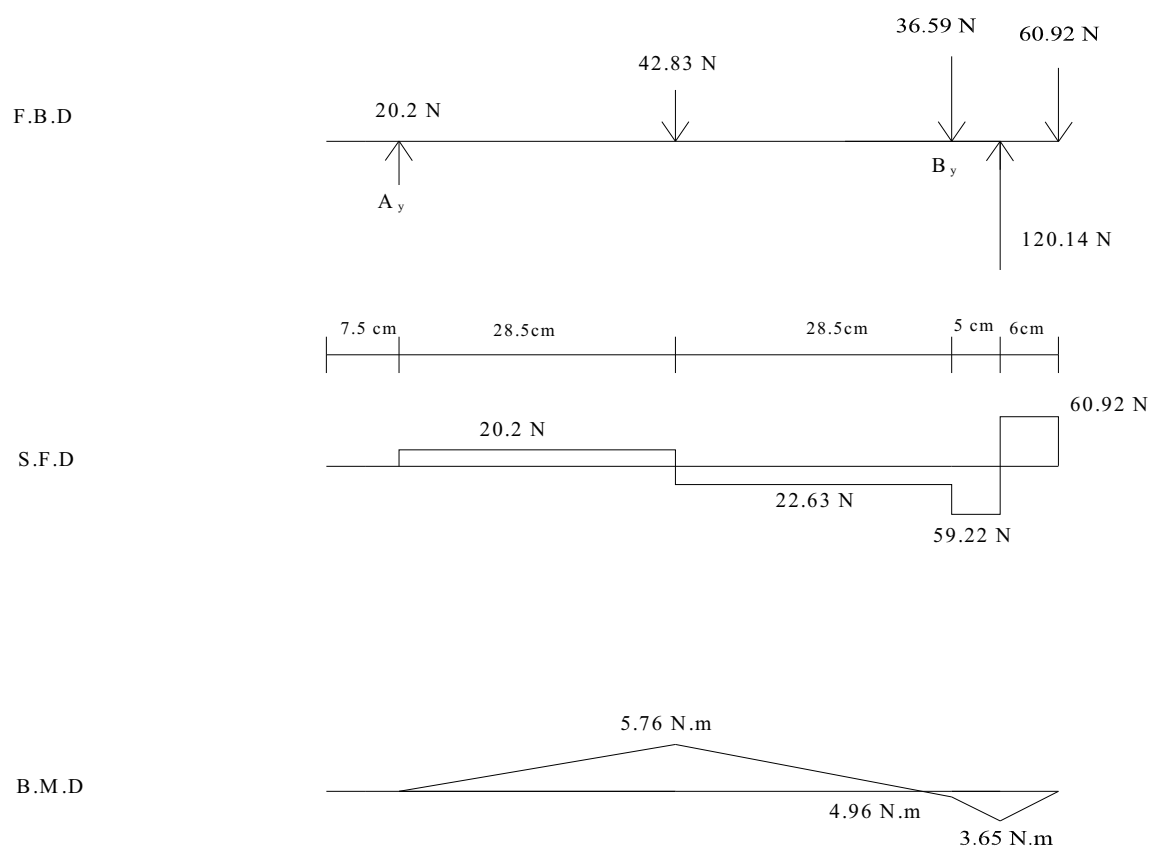
E จุดกึ่งกลางที่วางถังรับแรง 49.05 นิวตันทำมุมกับแกน x 60.82 องศา

F จุดฟูลเลย์เท่ากับ 120.14 นิวตัน

G จุดฟูลเลย์เท่ากับ 108.94 นิวตัน ทำมุมกับแกน x 34 องศา



ภาพที่ ก.2 ลักษณะแรงที่กระทำกับเพลลา



ภาพที่ ก.3 ลักษณะแรงและโมเมนต์ที่กระทำกับเพลาระนาบ XY

พิจารณาในระนาบ XY

$$\sum M_A = 0$$

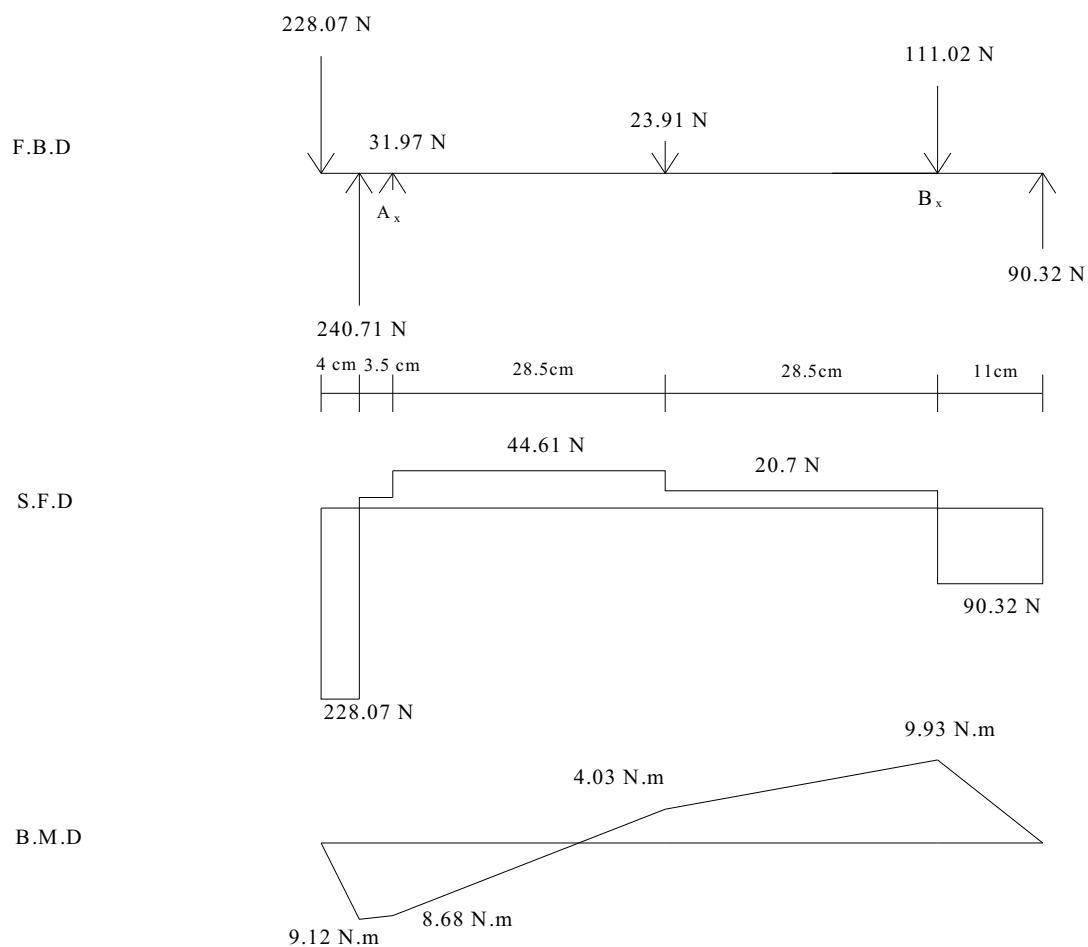
$$(120.14 \times 0.335) - (42.83 \times 0.285) - (60.92 \times 0.395) - (120.14 \times 0.335) + (B_y \times 0.57) = 0$$

$$B_y = 36.59 \text{ นิวตัน}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + 120.19 - 42.83 - 36.59 - 60.92 = 0$$

$$A_y = 20.2 \text{ นิวตัน}$$



ภาพที่ ก.4 ลักษณะแรงและโมเมนต์ที่กระทำกับเฟลาระนาบ XZ

พิจารณาในระนาบ XZ

$$\sum M_A = 0$$

$$(90.32 \times 0.395) - (23.91 \times 0.285) - (158.22 \times 0.035) + (139.97 \times 0.075) + (B_x \times 0.57) = 0$$

$$B_x = 111.02 \text{ นิวตัน}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x - 228.07 - 23.91 - 111.02 + 90.32 + 240.71 = 0$$

$$A_x = 31.97 \text{ นิวตัน}$$

พิจารณา

โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดบนเพลาคือจุด B

$$M = 9.93 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

จากตารางที่ ก.1 เลือกใช้เหล็ก AISI 1010 CD

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad S_y &= 300 \text{ เมกกะปาสกาล} \\ S_{ut} &= 370 \text{ เมกกะปาสกาล} \end{aligned}$$

$$T = 9.77 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$M = 9.93 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

จากสมการที่ 2.18

$$\begin{aligned} S'_e &= 0.5 S_{ut} \\ &= 0.5 (370) = 186.5 \text{ เมกกะปาสกาล} \end{aligned}$$

จากกฎของโซเดอร์เบิร์ก (Soderberg)

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

โดยที่

$$k_a = 0.85$$

$$k_b = 1 \text{ (เนื่องจากยังไม่ทราบค่า)}$$

$$k_c = 0.897 \text{ (จากตารางที่ 2.7 เลือกใช้ความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 90)}$$

$$k_d = 1$$

$$k_f = 0.7 \text{ กำหนดค่าเนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ}$$

$$k_e = 1/k_f = 0.625$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$= 0.85 \times 1 \times 0.897 \times 1 \times 0.7 \times 0.625 \times 186.5$$

$$= 62.21 \text{ เมกกะปาสกาล}$$

กำหนดค่าความปลอดภัย (n_s) = 1.8

$$d = \left[\frac{32 \times 1.8}{\pi} \left\{ \left(\frac{9.77}{300 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{9.93}{62.21 \times 10^6} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.0144 \text{ เมตร}$$

$$d = 1.44 \text{ เซนติเมตร}$$

ดังนั้นเลือกใช้เพลานา 2.54 เซนติเมตร (1 นิ้ว)

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็ก (มาตรฐาน ASTM)

UNS NO.	SAE And/or AISI NO.	Processing	Tensile Strength (S_u) Kpa(kpsi)	Yield Strength (S_y) Kpa(Kpsi)	Elongtion In 2 in %	Reduction In Area %	Brinell Hardness
G10060	1006	HR*	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD**	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	329
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

*HR: Hot Rolled

**CD: Cold Drawn

ที่มา: Shigley. 1986.

2. งบประมาณในการสร้างเครื่องบดสารเคมีบดมิล

ตารางที่ ก.2 งบประมาณ

ส่วนประกอบ	จำนวน	งบประมาณ (บาท)
1. เหล็กเส้นฉาก	3 เส้น	660.00
2. เหล็กกลมตัน	2 เส้น	900.00
3. แบร้ง 205	26 ชุด	3,120.00
4. เฟืองโซ่	16 ตัว	5,600.00
5. โซ่ เบอร์ 40	10 เส้น	1,500.00
6. ข้อต่อโซ่	10 ตัว	300.00
7. ยางหุ้มเพลลา	12 ชุด	960.00
8. สายพาน B 51	2 เส้น	102.00
9. สายพาน B 49	1 เส้น	49.00
10. พู่เล่ย์ 4 นิ้ว	3 ตัว	120.00
11. พู่เล่ย์ 5 นิ้ว	1 ตัว	130.00
12. พู่เล่ย์ 6 นิ้ว	1 ตัว	134.00
13. พู่เล่ย์ 7 นิ้ว	1 ตัว	145.00
14. พู่เล่ย์ 2 นิ้ว	1 ตัว	80.00
15. มอเตอร์	1 ตัว	3,000.00
16. เบรกเกอร์	1 ตัว	120.00
17. สายไฟ	1 เส้น	10.00
18. สกรูและนัท	2 ชุด	34.96
19. สี	1 กระป๋อง	300.00
20. ปลั๊ก	1 ตัว	30.00
21. ลูกบด	3 ขนาด	800.00
22. ถังบด 5 นิ้ว	6 ใบ	360.00
23. ถังบด 9 นิ้ว	6 ใบ	420.00
24. ค่าตรวจวิเคราะห์ขนาดอนุภาค		2,700.00
25. อื่น ๆ		1,000.00
รวม		22,574.96

3. ผลการทดสอบ

ตารางที่ ก.3 การทดสอบประสิทธิภาพลูกบด โดยใช้ลูกบดขนาดเล็กทั้งหมด

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	7.56	5.64	4.76	2.54	1.35	1.23
2	8.65	6.53	4.36	3.54	1.98	1.56
3	3.53	2.35	2.39	2.68	2.56	1.84
4	3.44	3.29	2.87	5.68	0.94	3.24
5	7.83	5.69	2.56	3.94	2.15	2.4
6	5.96	6.89	3.57	1.11	2.89	1.57
7	6.66	8.74	5.68	1.68	2.67	1.64
8	4.53	9.86	5.67	6.89	5.46	1.12
9	4.68	13.2	9.5	4.23	4.58	1.32
10	9.56	9.5	8.42	2.14	3.24	1.56
11	11.3	3.25	4.39	2.36	2.89	1.27
12	2.5	2.45	10.86	2.22	1.36	1.56
13	3.87	4.56	2.11	2.14	1.85	1.2
14	2.56	3.98	1.26	3.96	1.54	1.11
15	4.63	4.58	4.88	3.13	1.11	0.97
16	6.54	4.76	3.67	2.11	0.81	1.01
17	8.67	4.01	4.68	2.47	0.46	2.54
18	7.85	6.23	2.11	3.12	1.12	2.34
เฉลี่ย	6.13	5.86	4.65	3.11	2.16	1.64

ตารางที่ ก.4 การทดสอบประสิทธิภาพลูกบด โดยใช้ลูกบดขนาดกลางทั้งหมด

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	7.57	3.21	3.24	2.31	1.19	1.23
2	5.69	2.56	3.87	4.69	1.86	0.97
3	5.32	4.68	4.26	3.57	1.23	0.86
4	6.45	5.98	2.19	5.26	2.45	0.78
5	4.21	5.46	3.22	2.03	2.13	1.26
6	4.86	4.66	5.63	3.11	0.86	1.97
7	3.21	5.39	2.73	2.01	1.13	2.08
8	5.47	2.14	3.46	2.58	2.08	2.06
9	2.34	3.82	6.81	6.79	3.26	1.34
10	4.86	8.95	4.99	2.26	2.43	0.82
11	9.87	4.62	5.63	1.13	2.34	0.43
12	7.65	5.87	2.76	1.76	1.96	1.22
13	5.68	7.49	3.56	2.45	1.42	1.57
14	5.47	5.89	5.41	0.95	1.22	1.56
15	4.23	5.46	4.35	1.97	1.65	2.03
16	8.95	4.69	5.02	2.07	1.78	2.01
17	4.67	7.65	4.48	1.83	1.23	1.28
18	5.98	3.45	4.12	2.44	2.01	1.65
เฉลี่ย	5.69	5.11	4.21	2.73	1.79	1.40

ตารางที่ ก.5 การทดสอบประสิทธิภาพลูกบด โดยใช้ลูกบดขนาดใหญ่ทั้งหมด

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	6.53	5.23	2.6	3.14	1.98	0.86
2	5.62	5.12	2.48	3.89	1.86	0.43
3	4.89	2.46	5.9	5.64	2.34	2.43
4	3.67	3.56	4.21	2.34	1.56	2.24
5	4.89	6.35	6.75	2.56	2.46	1.89
6	8.76	6.24	3.21	4.68	0.64	1.24
7	7.6	2.56	2.14	3.42	1.23	3.42
8	3.46	8.46	3.56	2.18	2.43	2.11
9	6.81	4.01	2.89	2.01	2.01	1.97
10	4.99	3.21	4.86	1.46	1.28	1.19
11	5.63	3.46	2.11	2.34	3.42	2.05
12	4.32	3.83	2.88	3.22	2.14	2.14
13	3.56	4.06	1.56	3.76	2.64	1.56
14	4.68	2.14	1.79	2.16	1.56	1.99
15	4.35	3.75	2.43	2.78	2.78	2.08
16	5.02	2.65	2.86	3.15	2.64	1.35
17	4.65	3.14	2.75	3.77	1.68	1.65
18	2.78	4.21	3.04	2.84	2.01	1.47
เฉลี่ย	5.12	4.14	3.22	3.07	2.04	1.78

ตารางที่ ก.6 การทดสอบประสิทธิภาพลูกบด โดยใช้อัตราส่วนลูกบด 1:1:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่)

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	4.62	4.65	2.31	1.66	2.13	0.88
2	4.36	4.23	2.45	2.35	1.46	0.45
3	5.63	8.65	6.23	3.56	1.86	2.31
4	2.35	7.56	4.21	3.24	1.44	1.56
5	8.56	2.34	1.86	5.38	2.37	1.54
6	4.56	3.43	2.76	2.11	2.69	1.26
7	2.89	3.46	3.46	2.87	2.15	2.16
8	4.18	4.68	3.78	2.35	1.56	2.61
9	7.65	4.23	2.15	4.89	1.2	1.88
10	8.65	5.64	2.46	8.65	5.96	2.34
11	4.32	2.46	5.43	1.23	2.36	1.48
12	2.68	3.55	2.36	1.68	2.1	1.59
13	5.67	5.63	6.66	2.33	1.54	1.57
14	4.59	4.57	5.37	1.87	1.44	2.65
15	5.47	4.33	2.86	2.17	2.13	2.78
16	4.82	2.34	3.76	2.3	2.08	1.24
17	5.26	3.56	4.65	2.76	1.23	0.89
18	5.36	4.45	3.04	2.04	0.89	1.47
เฉลี่ย	5.09	4.43	3.66	2.97	2.03	1.70

ตารางที่ ก.7 การทดสอบประสิทธิภาพลูกบด โดยใช้อัตราส่วนลูกบด 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่)

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	5.48	2.56	2.74	1.23	1.78	0.81
2	6.79	3.78	2.79	2.56	0.52	0.59
3	9.46	8.56	5.6	4.44	0.78	2.31
4	4.23	4.59	2.14	3.63	2.55	1.25
5	2.47	2.55	2.46	2.78	2.14	1.61
6	3.56	2.74	1.27	2.98	2.43	1.82
7	3.57	3.48	2.36	3.46	2.16	1.67
8	4.98	2.79	2.48	1.96	1.56	1.46
9	5.68	4.69	5.42	2.42	1.47	1.94
10	5.23	5.26	4.26	3.71	2.11	0.46
11	2.86	3.24	3.75	2.04	1.88	0.57
12	3.56	8.56	3.12	1.96	2.64	1.14
13	5.87	5.77	2.95	2.31	1.23	2.1
14	6.45	2.34	3.74	2.41	1.58	0.84
15	5.38	2.89	2.96	1.86	1.81	0.61
16	5.47	5.76	2.35	2.17	1.34	0.42
17	3.54	5.22	3.75	2.34	1.37	0.87
18	5.67	6.41	2.42	2.25	0.87	1.86
เฉลี่ย	5.01	4.51	3.14	2.58	1.68	1.24

ตารางที่ ก.8 การทดสอบประสิทธิภาพลูกบด โดยใช้อัตราส่วนลูกบด 1:1:2 (เล็ก:กลาง:ใหญ่)

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	5.12	6.23	2.34	2.47	1.69	1.2
2	6.45	4.25	3.47	2.1	1.92	0.84
3	4.56	5.81	3.63	1.78	2.31	0.23
4	4.71	3.21	2.13	1.41	2.11	0.41
5	2.98	3.44	4.54	2.89	2.74	2.13
6	5.89	6.71	5.21	2.43	3.66	1.57
7	8.41	2.46	7.41	3.74	2.38	1.64
8	7.56	3.47	2.1	3.96	2.02	2.35
9	4.35	2.15	2.46	2.64	2.74	2.11
10	5.26	3.75	2.74	2.65	1.32	1.6
11	5.74	6.41	3.75	3.16	2.32	1.22
12	4.12	3.76	1.74	2.23	1.41	1.31
13	3.23	4.19	2.43	1.23	1.62	0.74
14	7.16	4.27	3.46	3.47	2.37	1.67
15	4.26	3.66	2.52	2.56	1.84	1.52
16	4.81	3.26	3.87	3.3	1.64	2.43
17	6.47	4.95	3.46	2.43	0.85	0.57
18	5.12	4.61	4.44	3.32	1.24	1.46
เฉลี่ย	5.34	4.26	3.43	2.65	2.01	1.39

ตารางที่ ก.9 การทดสอบประสิทธิภาพลูกบด โดยใช้อัตราส่วนลูกบด 2:1:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่)

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	8.5	5.64	4.21	1.59	2	1.32
2	7.64	5.36	3.58	2.34	1.72	2.16
3	9.41	3.74	9.54	2.37	0.77	1.41
4	4.35	4.26	2.41	3.66	3.91	2.1
5	2.47	2.59	2.56	3.2	4.89	0.68
6	3.54	5.67	3.71	1.87	2.41	1.64
7	5.64	5.1	3.9	4.56	3.57	2.13
8	5.68	2.34	3.65	1.84	5.2	0.66
9	4.22	2.36	5.36	1.54	2.1	1.88
10	3.38	3.54	5.05	3.69	1.85	1.46
11	6.47	6.4	4.14	3.23	1.65	2.42
12	5.52	3.38	2.85	2.85	1.34	1.78
13	2.64	5.54	3.41	5.62	1.27	1.91
14	6.57	6.41	3.66	4.88	0.86	1.35
15	10.84	9.54	5.64	2.59	0.71	2.34
16	11.57	8.41	6.35	2.55	1.35	2.14
17	4.23	6.45	4.21	1.35	2.57	1.67
18	4.56	5.11	3.22	3.56	1.44	1.72
เฉลี่ย	5.96	5.10	4.30	2.96	2.20	1.71

ตารางที่ ก.10 การทดสอบความสามารถหมักโดยใช้หมัก 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ปริมาณสารเคมี
ภายในหมักเท่ากับ 55 % ของปริมาตรหมัก

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	5.68	5.22	2.34	1.87	2.34	1.87
2	4.36	3.46	3.52	3.58	2.08	1.24
3	3.84	6.58	3.74	1.85	1.66	0.86
4	5.68	3.57	3.63	1.64	1.42	0.71
5	6.43	5.69	4.55	2.23	2.14	0.42
6	7.5	5.22	4.92	3.66	1.24	0.96
7	4.68	3.74	2.99	2.42	1.06	1.66
8	4.35	2.92	4.81	3.87	0.86	1.58
9	4.11	3.67	3.84	2.04	0.71	1.37
10	6.36	5.89	4.21	1.65	1.67	0.58
11	3.39	5.34	1.85	2.67	1.37	0.98
12	5.82	4.23	1.67	0.94	1.51	1.26
13	4.71	4.95	3.64	1.53	2.04	1.33
14	4.39	4.11	3.23	5.68	1.16	1.24
15	2.14	3.67	2.28	2.76	2.02	1.02
16	5.68	4.79	2.41	2.21	1.91	0.82
17	5.57	3.88	2.78	2.94	1.85	0.57
18	5.34	4.78	2.06	2.1	1.24	1.24
เฉลี่ย	5.00	4.54	3.25	2.54	1.57	1.10

ตารางที่ ก.11 การทดสอบความสามารถหมักโดยใช้หมัก 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ปริมาณสารเคมี
ภายในหมักเท่ากับ 63.35 % ของปริมาตรหมัก

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	5.68	4.44	3.11	2.23	1.46	0.84
2	2.37	5.61	5.64	1.68	1.2	0.65
3	4.96	2.54	4.23	4.02	1.67	1.23
4	7.84	3.67	2.23	3.56	1.41	1.57
5	4.31	5.89	3.32	4.36	2.21	2.41
6	3.22	6.74	2.26	2.11	1.65	1.87
7	5.66	3.65	2.58	1.67	1.06	1.88
8	2.89	3.94	3.24	2.01	0.84	1.68
9	8.41	5.52	2.68	1.64	0.56	1.41
10	8.68	4.25	1.86	2.65	1.64	2.16
11	5.64	4.28	3.54	2.47	1.84	2.03
12	4.41	4.03	2.84	2.68	2.07	0.84
14	3.99	3.67	2.72	1.67	1.95	1.07
15	5.04	5.68	2.68	2.08	1.74	1.24
16	4.16	3.16	1.67	2.13	2.35	0.81
17	4.87	3.87	3.07	1.14	2.15	1.24
18	5.13	3.66	3.22	1.84	2.01	1.59
เฉลี่ย	5.08	4.36	3.03	2.40	1.66	1.39

ตารางที่ ก.12 การทดสอบความสามารถหมักโดยใช้หมัก 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ปริมาณสารเคมี
ภายในหมักเท่ากับ 71.5 % ของปริมาตรหมัก

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	5.48	2.56	2.74	1.23	1.78	0.81
2	6.79	3.78	2.79	2.56	0.52	0.59
3	9.46	8.56	5.6	4.44	0.78	2.31
4	4.23	4.59	2.14	3.63	2.55	1.25
5	2.47	2.55	2.46	2.78	2.14	1.61
6	3.56	2.74	1.27	2.98	2.43	1.82
7	3.57	3.48	2.36	3.46	2.16	1.67
8	4.98	2.79	2.48	1.96	1.56	1.46
9	5.68	4.69	5.42	2.42	1.47	1.94
10	5.23	5.26	4.26	3.71	2.11	0.46
11	2.86	3.24	3.75	2.04	1.88	0.57
12	3.56	8.56	3.12	1.96	2.64	1.14
13	5.87	5.77	2.95	2.31	1.23	2.1
14	6.45	2.34	3.74	2.41	1.58	0.84
15	5.38	2.89	2.96	1.86	1.81	0.61
16	5.47	5.76	2.35	2.17	1.34	0.42
17	3.54	5.22	3.75	2.34	1.37	0.87
18	5.67	6.41	2.42	2.25	0.87	1.86
เฉลี่ย	5.01	4.51	3.14	2.58	1.68	1.24

ตารางที่ ก.13 การทดสอบความสามารถหมักโดยใช้หมัก 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ปริมาณสารเคมี
ภายในหมักเท่ากับ 80 % ของปริมาตรหมัก

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	4.26	5.23	4.51	1.92	2.16	1.86
2	7.84	3.67	5.29	2.69	2.54	1.47
3	6.55	7.41	2.21	3.67	1.46	1.59
4	4.95	5.26	2.66	2.56	1.57	1.02
5	3.74	3.54	3.84	1.67	1.22	0.84
6	3.68	2.37	5.51	2.54	1.38	0.62
7	5.64	4.29	2.56	1.89	2.45	0.87
8	5.87	3.51	3.45	1.42	2.06	1.56
9	6.81	5.28	2.34	2.07	2.13	1.27
10	6.95	4.26	2.47	2.09	2	2.04
11	3.41	3.24	2.87	2.19	1.68	1.68
13	4.41	9.5	1.87	2.38	1.44	1.58
14	4.65	4.21	2.55	3.42	1.48	1.81
15	4.23	3.64	2.64	1.87	2.03	2.07
16	5.61	5.24	3.82	2.68	2.51	1.14
17	4.27	5.94	3.44	2.58	1.23	0.85
18	5.28	3.78	3.11	2.21	2.08	1.49
เฉลี่ย	5.26	4.79	3.24	2.32	1.81	1.42

ตารางที่ ก.14 การทดสอบขนาดหม้ออบ ขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว)

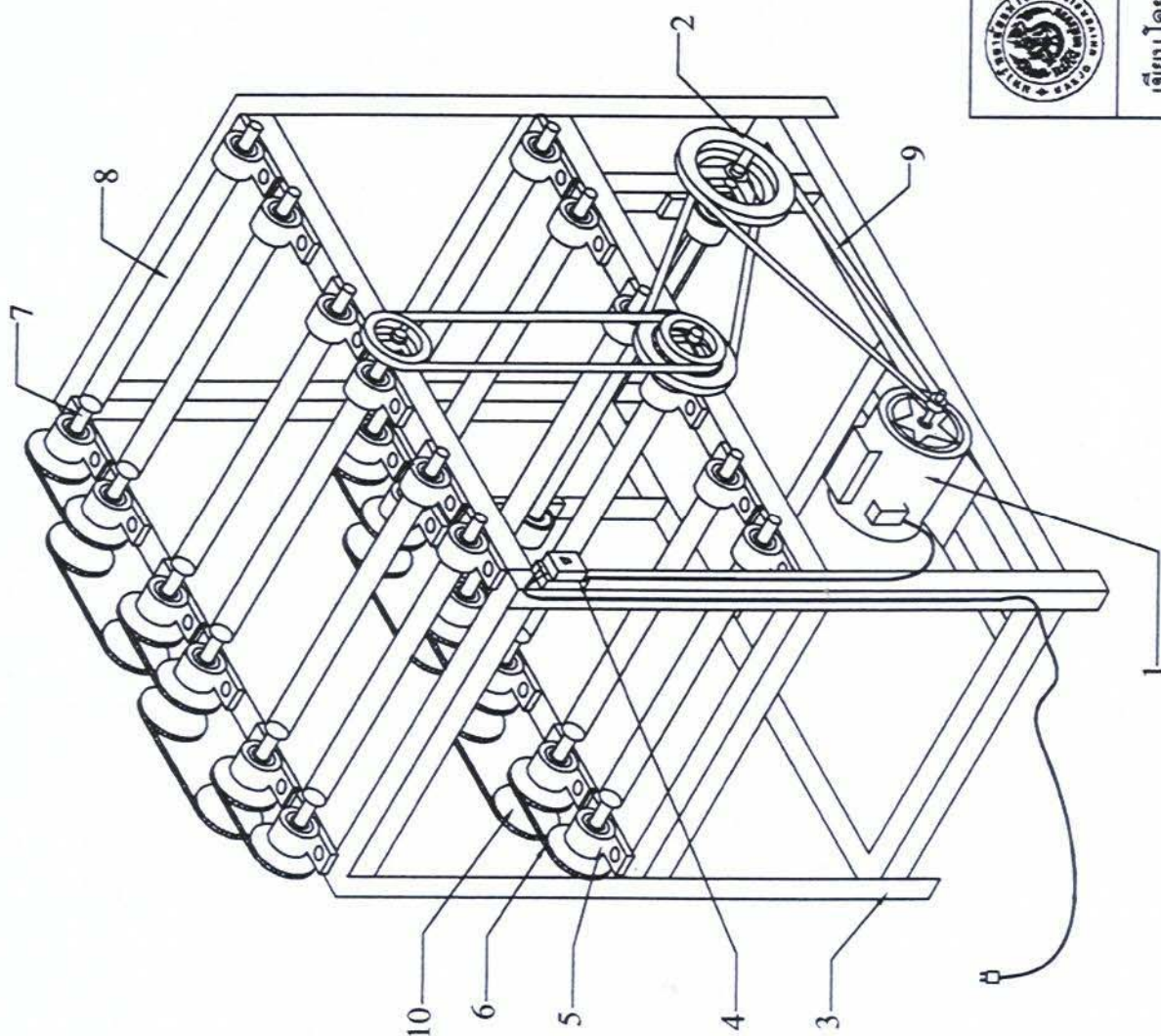
ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	5.78	5.28	2.09	2.04	2.06	1.57
2	9.57	4.02	3.49	2.88	1.54	1.56
3	6.41	2.67	5.26	3.67	1.67	0.57
4	3.57	4.38	2.47	1.89	1.87	0.82
5	3.15	5.89	2.71	1.52	3.24	0.67
6	5.27	6.55	3.24	3.57	0.87	1.68
7	4.58	5.87	2.85	2.22	1.57	1.57
8	4.21	3.57	2.64	2.58	3.24	1.26
9	3.68	3.26	2.77	2.64	2.06	1.41
10	5.04	4.59	5.28	1.64	1.68	2.03
11	5.99	4.21	2.66	3.24	1.57	1.24
12	4.38	3.85	2.14	2.44	1.69	1.33
13	4.66	3.58	2.06	2.03	2.06	0.87
14	5.7	3.63	3.57	2.41	2.17	0.99
15	6.07	5.85	3.84	2.38	1.56	1.27
16	5.46	4.65	3.18	1.67	1.44	1.69
17	5.08	5.37	3.36	2.37	1.89	1.64
18	4.81	4.05	3.24	2.21	2.03	1.11
เฉลี่ย	5.01	4.51	3.14	2.58	1.68	1.24

ตารางที่ ก.15 การทดสอบขนาดหม้ออบขนาด 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว)

ครั้งที่	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)					
	4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	16 ชั่วโมง	20 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1	5.48	2.56	2.74	1.23	1.78	0.81
2	6.79	3.78	2.79	2.56	0.52	0.59
3	9.46	8.56	5.6	4.44	0.78	2.31
4	4.23	4.59	2.14	3.63	2.55	1.25
5	2.47	2.55	2.46	2.78	2.14	1.61
6	3.56	2.74	1.27	2.98	2.43	1.82
7	3.57	3.48	2.36	3.46	2.16	1.67
8	4.98	2.79	2.48	1.96	1.56	1.46
9	5.68	4.69	5.42	2.42	1.47	1.94
10	5.23	5.26	4.26	3.71	2.11	0.46
11	2.86	3.24	3.75	2.04	1.88	0.57
12	3.56	8.56	3.12	1.96	2.64	1.14
13	5.87	5.77	2.95	2.31	1.23	2.1
14	6.45	2.34	3.74	2.41	1.58	0.84
15	5.38	2.89	2.96	1.86	1.81	0.61
16	5.47	5.76	2.35	2.17	1.34	0.42
17	3.54	5.22	3.75	2.34	1.37	0.87
18	5.67	6.41	2.42	2.25	0.87	1.86
เฉลี่ย	5.19	4.52	3.16	2.41	1.90	1.29

ตารางที่ ก.16 การทดสอบการบดสารเคมีชนิดต่าง

สารเคมี	ขนาดของสารเคมีที่บดได้ ณ เวลาต่าง ๆ (ไมครอน)			
	12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
ซิงค์ออกไซด์	1.87	1.29	1.12	0.98
Zinc diethyl dithiocarbamate	2.52	1.34	1.29	1.11
กำมะถัน	6.53	4.32	2.44	1.26
Diphenyl Guanidine	3.14	2.67	1.34	1.10
แคลเซียมคาบอเนต	2.76	1.26	1.03	0.88
Lowinox CPL	2.61	1.35	1.23	1.14



1. มอเตอร์
2. พูลี่
3. โครงหลัก
4. สวิทช์
5. ตั้บดูกป็น
6. ไ้
7. เฟลา
8. ยางหุ้ม
9. สายพาน
10. เฟือง



คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ภาพเครื่องบดสารเคมีสำหรับเตรียมดินสอพอ์ชัน

เขียนโดย
ออกแบบโดย

วิษณุ และ ศฎากัพัชร

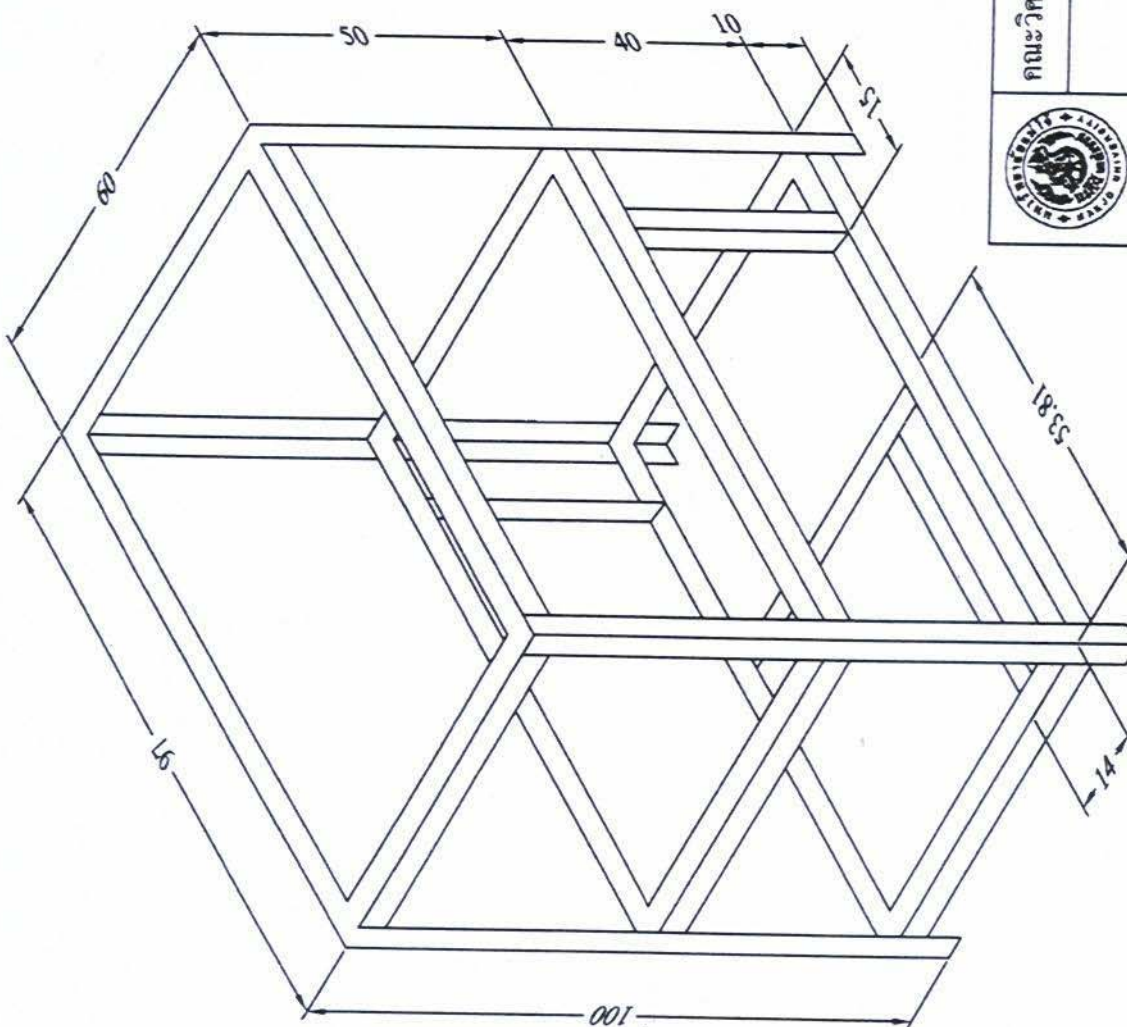
วิษณุ และ ศฎากัพัชร

มาตราส่วน
1:8

วันที่ 12/06/48

หน่วย

เซนต์ปีเตอร์

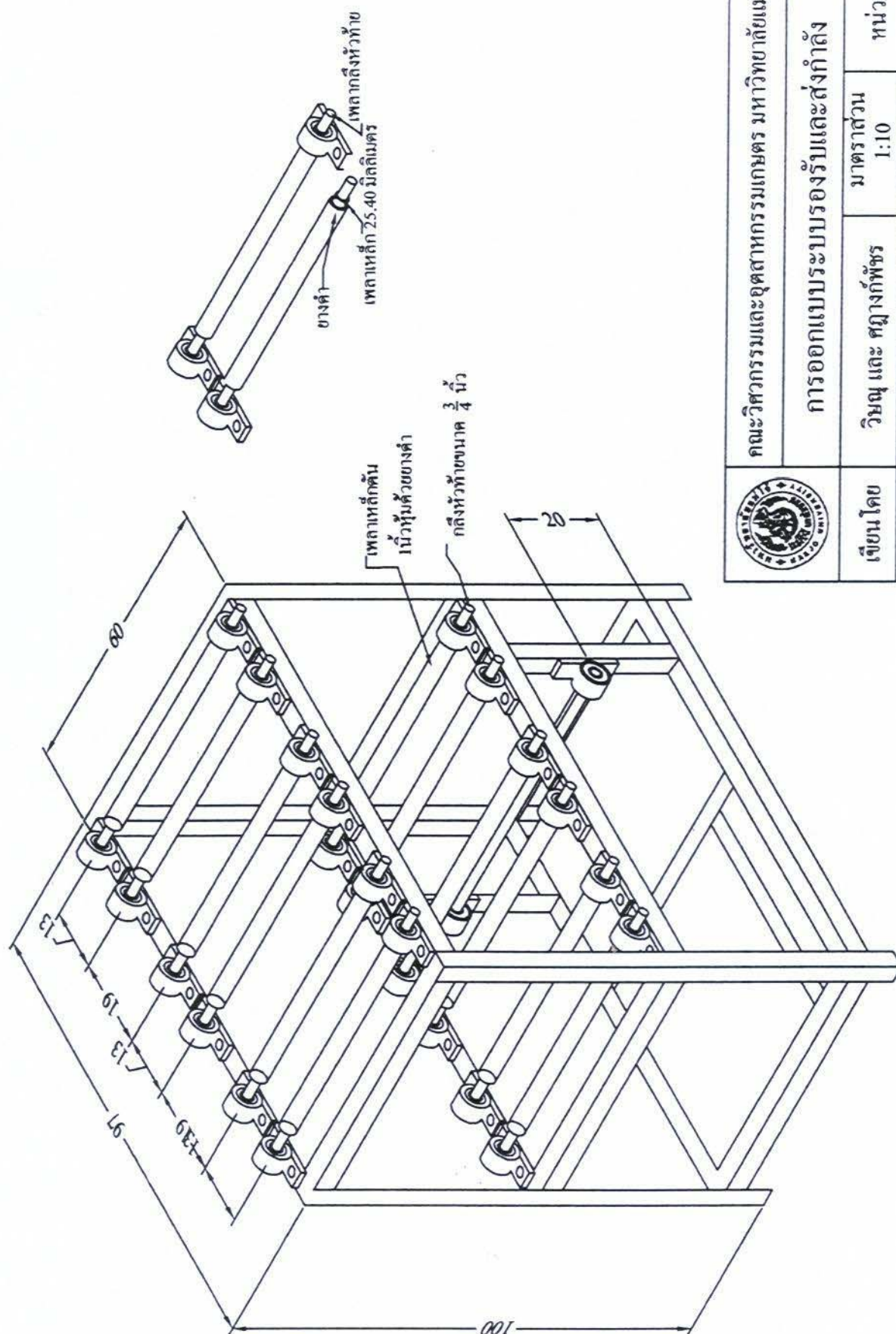


คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ภาพโครงสร้างเครื่องบดสารเคมี ฯ

เขียน โดย	วิษณุ และ ศฎาภักพัชร	มาตรฐาน 1:8	หน่วย
	ออกแบบโดย	วิษณุ และ ศฎาภักพัชร	วันที่ 12/06/48

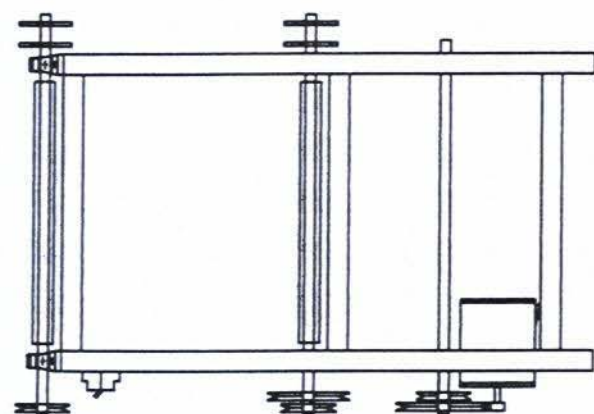
เสนอแนะ



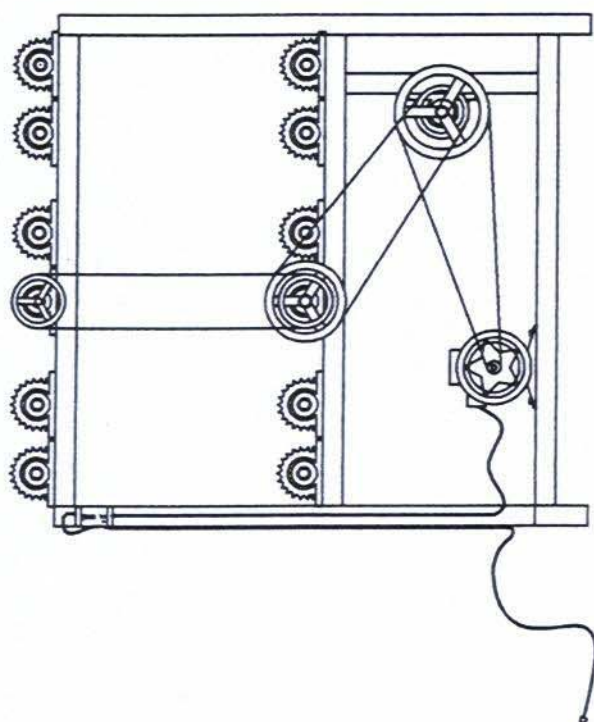
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การออกแบบระบบรองรับและส่งกำลัง

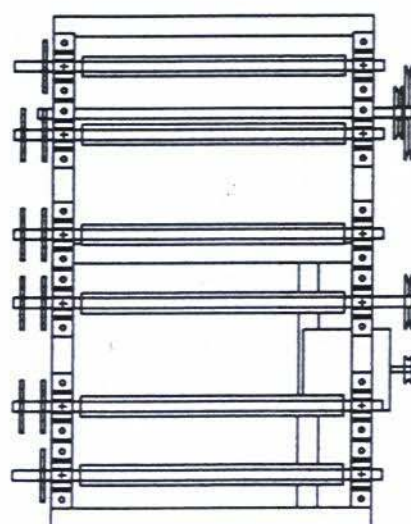
เขียนโดย	วิษณุ และ ศฎาภักดิ์	มาตราส่วน	หน่วย
	วิษณุ และ ศฎาภักดิ์	1:10	เซนติเมตร
ออกแบบโดย	วิษณุ และ ศฎาภักดิ์	วันที่ 21/05/48	



SIDE VIEW

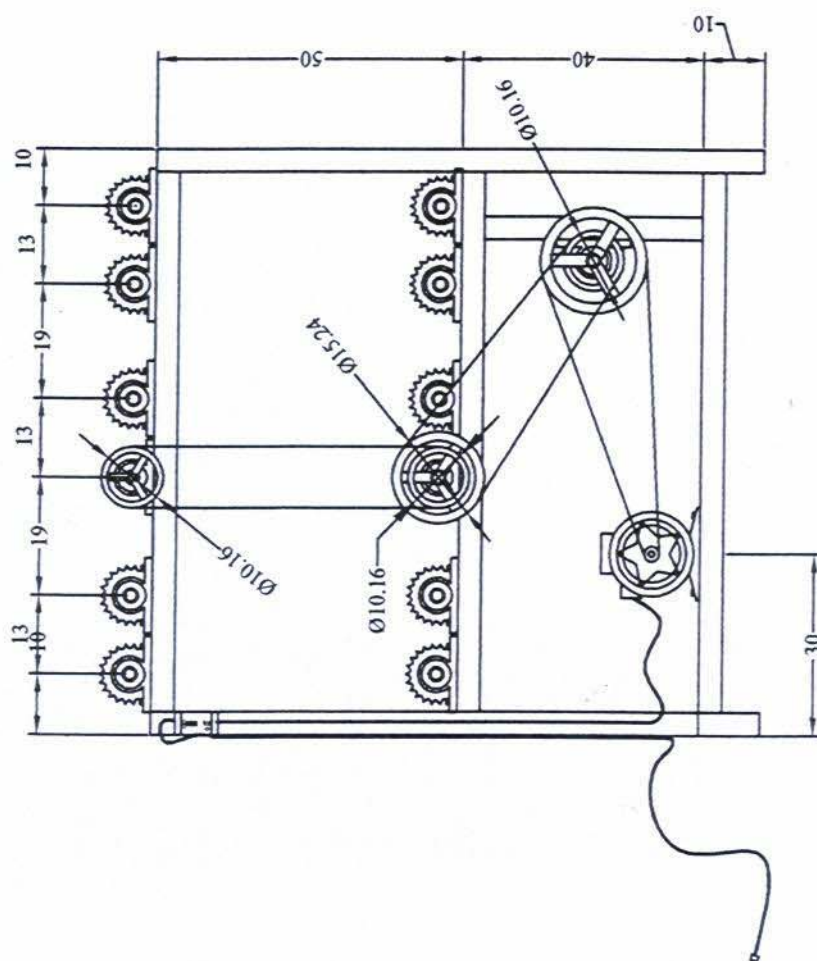


FRONT VIEW

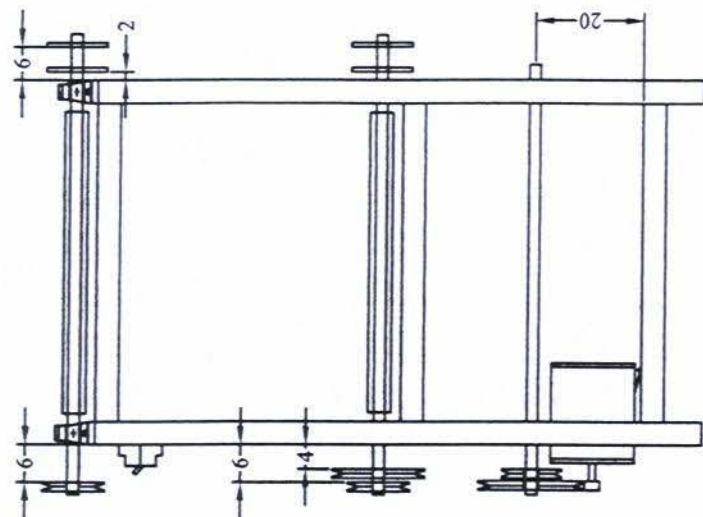


TOP VIEW

	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้		
	ภาพ คำนวณ ด้านบน และด้านข้าง เครื่องบดสารเคมี		
เขียนโดย	วิชญ และ ศญาภัพัชร	มาตราส่วน 1:7	หน่วย
ออกแบบโดย	วิชญ และ ศญาภัพัชร	วันที่ 12/06/48	เช่นเดิม

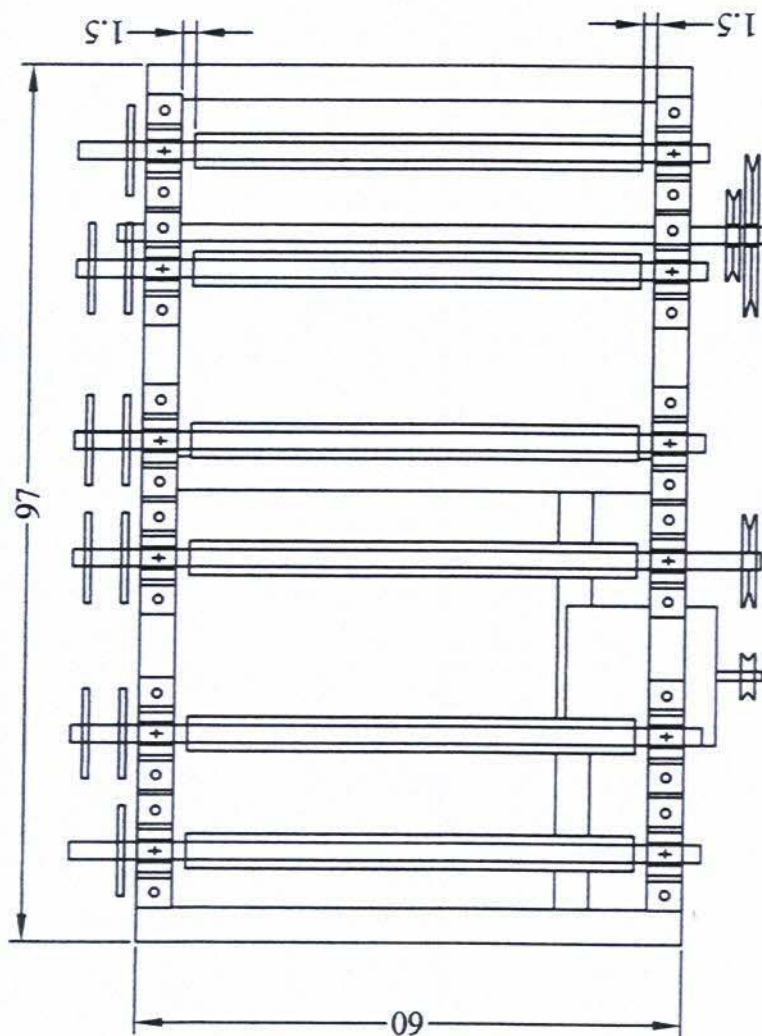


FRONT VIEW



SIDE VIEW

	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้			
	ภาพ ด้านหน้า และด้านข้าง เครื่องบดสารเคมี			
เขียน โดย	วิษณุ และ ศฎาภักษ์พร	มาตราส่วน 1:8	หน่วย	
ออกแบบ โดย	วิษณุ และ ศฎาภักษ์พร	วันที่ 21/05/48	เซนติเมตร	



TOP VIEW

	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์			
	ภาพ ด้านบน เครื่องบดสารเคมี			
เขียน โดย	วิษณุ และ ศุภางค์พัชร	มาตรฐาน 1:12	หน่วย	
ออกแบบ โดย	วิษณุ และ ศุภางค์พัชร	วันที่ 21/05/48	เซนต์ไมเคิล	

ภาคผนวก ข.

บทความทางวิชาการ

การออกแบบและสร้างเครื่อง Ball mill สำหรับเตรียมดิสเพอซัน (The Design and Fabrication of The Ball Mill Model for Dispersion)

ธนศัญญ์ วงศ์ศิริอานวย

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ศิวโรฒ บุญราศรี

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

นายวิษณุ บุญชิต และนายศุภางค์พัชร คันธวงศ์

หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ. สันทราย

จ.เชียงใหม่ ไปรษณีย์ 50290 โทร 053-498902

บทคัดย่อ

เครื่องบอลมิล เป็นเครื่องบดสารเคมีที่เป็นของแข็งซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ โดยทำให้อยู่ในรูปดิสเพอซันเพื่อใช้สำหรับผสมกับน้ำยาง โดยส่วนประกอบของเครื่องบดประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนระบบส่งกำลังและส่วนของหม้อบด ส่วนของระบบส่งกำลังประกอบด้วยเพลาส่งกำลังขนาด 2.54 เซนติเมตร (1 นิ้ว) ชุดละ 2 เพลา จำนวน 6 ชุด ทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังส่งไปยังหม้อบด ทุ้มเพลาด้วยยางดำหนา 0.63 เซนติเมตร (1/4 นิ้ว) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 746 วัตต์ (1 แรงม้า) เป็นต้นกำลัง ส่วนของหม้อบดมี 2 ขนาด คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และ 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) ลูกบด ที่ใช้มี 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 11, 15.5 และ 25 มิลลิเมตร

การทดสอบการบดแบ่งออกเป็น 4 การทดสอบ การทดสอบที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพลูกบดที่มีอัตราส่วนลูกบดในแต่ละขนาด ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนลูกบดในการบดที่ดีที่สุดในการบด 24 ชั่วโมง คือ 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) การทดสอบที่ 2 ทดสอบปริมาณสารที่สามารถบดได้ภายในหม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม คือ 63.35 % โดยปริมาตรของหม้อบด การทดสอบที่ 3 ทดสอบผลความแตกต่างระหว่างหม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และ 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) พบว่า หม้อบดทั้ง 2 ขนาดมีความสามารถในการบดไม่แตกต่างกัน การทดสอบที่ 4 ทดสอบความแตกต่างในการบดสารเคมีแต่ละชนิดให้ได้ขนาดเท่ากับ 1.5 ไมครอน ได้เวลาในการบดดังนี้ ซิงค์ออกไซด์ใช้เวลาบด 17.50 ชั่วโมง แคลเซียมใช้เวลาบด 20.50 ชั่วโมง กำมะถันใช้เวลาบด 66.50 ชั่วโมง ดีพีจีใช้เวลาบด 43.50 ชั่วโมง แคลเซียมคาบอเนตใช้เวลาบด 20.00 ชั่วโมง และ Lowinox CPL ใช้เวลาบด 21.00 ชั่วโมง

Abstract

A ball mill is equipment for milling water-insoluble chemical compound. This results in chemical compound dispersion for mixing with latex. The ball mill consists of two components; a shaft transmission system and a milling system. A shaft transmission system consists of six sets of two 2.54 cm-diameter shafts (1 in.). All shafts are covered by 0.63 cm-thick black rubber (1/4 in.). Power source is from a 746-watt (1 HP) electrical motor. A milling system includes 12.7 cm-diameter milling reactor (5 in.) and 22.8 cm-diameter milling reactor (9 in.). The grinding media includes 3 sizes; small, medium and large having diameter of 11.0, 15.5 and 25 mm.

Milling experiment includes 4 tests. The first test was to determine the best ratio of grinding media between small, medium and large size within 24 hours. It was found that best ratio was 1:2:1 (small : medium : large). The second test was to determine the suitable amount of chemical compound by a volume of a 12.7 cm-diameter milling reactor (5 in.). It was found that the suitable amount of chemical compound was 63.35 % by volume of a milling reactor. The third test was to determine the best milling reactor size. It was found that the milling performance of 12.7 cm-diameter milling reactor (5 in.) and 22.8 cm-diameter milling reactor (9 in.) were not different. The last test was to milling each chemical substances to get the proportion with 1.5 micron to get time of milling list as follow Zinc oxide use of time 17.5 hours, Zinc diethyl dithiocarbamate use of time 20.5 hours, Sulfur use of time 66.5 hours, Diphenyl Guanidine use of time 43.5 hours, Calcium carbonate use of time 20.0 hours, Lowinox CPL use of time 21.0 hours

Keywords

คำสำคัญ : บอลมิล ดิสเพอซัน

Keywords : Ball Mill , Dispersion

ความเป็นมา

ประเทศไทยมีการผลิตยางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ยางและผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราส่งออกมีมูลค่ารวมกันกว่าแสนล้านบาท โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ส่งออกไปในรูปวัตถุดิบที่ประกอบด้วย ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และยางอื่นๆ ส่วนที่เหลือเป็นการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ เพื่อผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ถุงมือยาง ยางยานพาหนะ ยางรัดของ ยางยืด ฯลฯ

ใน พ.ศ. 2545 ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกยางมากกว่า 12 ล้านไร่ โดยพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปัจจุบันเกษตรกรทางภาคเหนือเริ่มให้ความสนใจในการปลูกยางพาราโดยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐมากขึ้น ในอนาคตจะมีการแปรรูปยางพาราในภาคเหนือ ความเข้าใจในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์น้ำยางจึงมีความสำคัญ การที่จะเตรียมน้ำยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์จะต้องนำน้ำยางและสารเคมีมาผสมกันเพื่อให้มีคุณสมบัติพร้อมที่จะนำไปแปรรูป

สำหรับการเตรียมสารเคมีที่ใช้บ่มน้ำยางถ้าหากนำสารเคมีที่มีลักษณะผงแห้ง ใส่ลงไปผสมในน้ำยางธรรมชาติโดยตรงจะไม่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ สารเคมีจะตกตะกอนนอนก้น นอกจากนี้เมื่อนำสารเคมีนั้นใส่ลงไปน้ำยางอาจเกิดเป็นก้อนแข็งขึ้นในน้ำยาง และในเวลาต่อมา น้ำยางจะจับตัวกัน

สารเคมีที่เป็นของแข็ง ถ้าละลายน้ำได้จะอยู่ในรูปของสารละลาย แต่ถ้าละลายน้ำไม่ได้จะต้องบดให้เล็กลง ให้กระจายในน้ำ อยู่ในรูปของ ดิสเพอซัน (dispersion) ในการเตรียม ดิสเพอซันนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการบดสารเคมีให้เป็น ดิสเพอซัน มีอยู่หลายชนิดที่นิยมใช้ได้แก่ เครื่องบดมิล (Ball Mill) โดยเครื่องบดมิลจะอาศัยหลักการของการตกกระทบกันของลูกบดภายในหม้อบด Attritor Mill เครื่องบดที่อาศัยหลักการของการกวนลูกบดที่อยู่ภายในหม้อบดนี้ให้กระทบกับสารเคมี และ Colloid Mill เป็นต้น แต่บดมิลเป็นเครื่องมือหลักที่ใช้กันมากที่สุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบดสารเคมีบดมิล (Ball Mill) ต้นแบบขนาดเล็กสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำยางทางภาคเหนือ
2. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการบดสารเคมี
3. เพื่อให้ได้สารเคมีที่เหมาะสมสำหรับใช้ทดสอบในขั้นตอนการบ่มน้ำยาง

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. วัสดุอุปกรณ์

อุปกรณ์สำหรับสร้างเครื่องบดสารเคมี

- เครื่องเชื่อมโลหะ
- เครื่องตัดโลหะ
- เหล็กฉากเส้น
- แกนเพลลา
- แบร็ง
- แผ่นสแตนเลส
- มอเตอร์
- สายพาน
- สายไฟ
- หม้อพลาสติก
- ลูกบด (ลูกแก้ว) เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 11 11.5 และ 25 มิลลิเมตร

อุปกรณ์ทดสอบ

- กล้องจุลทรรศน์ชนิดถ่ายภาพได้
- กล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด (Scanningelectron microscope : SEM)
- เครื่องมือวัดความเร็วรอบ
- เครื่องชั่ง
- กระบอกตวง

2. วิธีการทดสอบ

แบ่งการทดสอบ ได้ 5 การทดสอบ

1. การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องบดสารเคมี

2. การทดสอบประสิทธิภาพของลูกบด

การทดสอบนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลูกบดขนาดต่าง ๆ โดยจะใช้หม้อบดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความเร็วรอบของหม้อบดไม่เกิน 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต ปริมาณของลูกบดภายในหม้อบดไม่เกิน 30 % ของปริมาณหม้อบดและใช้ปริมาณสารเคมีรวมกับน้ำและลูกบดเท่ากับ 85 % ของปริมาตรหม้อบด แบ่งออกเป็น 7 การทดสอบ คือ

1. ทดสอบลูกบดภายในหม้อบดเป็นขนาดเล็กทั้งหมด
2. ทดสอบลูกบดภายในหม้อบดเป็นขนาดกลางทั้งหมด
3. ทดสอบลูกบดภายในหม้อบดเป็นขนาดใหญ่ทั้งหมด
4. ทดสอบอัตราส่วนลูกบดภายในหม้อบดเป็น 2:1:1

(เล็ก:กลาง:ใหญ่)

5. ทดสอบอัตราส่วนลูกบดภายในหม้อบดเป็น 1:2:1

(เล็ก:กลาง:ใหญ่)

6. ทดสอบอัตราส่วนลูกบดภายในหม้อบดเป็น 1:1:2

(เล็ก:กลาง:ใหญ่)

7. ทดสอบอัตราส่วนลูกบดภายในหม้อบดเป็น 1:1:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่)

จากนั้นจะสุ่มผลการทดสอบจากเครื่องบดสารเคมีทุก ๆ 4 ชั่วโมงเพื่อนำผลการทดสอบไปวิเคราะห์ (ภาพที่ 1 และ 2)



ภาพที่ 1 การเตรียมสารสำหรับการทดสอบการวัดขนาดอนุภาค



ภาพที่ 2 การทดสอบการวัดขนาดอนุภาค

3. การทดสอบความสามารถของหม้อบด

เมื่อได้ผลการทดสอบจากการทดสอบที่ 1 แล้วจะได้ข้อมูลลูกบดที่จะนำมาใช้ในการหาความสามารถในการบดของหม้อบด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) กับเวลาที่ใช้ในการบด ความเร็วรอบของหม้อบดไม่เกิน 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต ปริมาณของลูกบดภายในหม้อบดไม่เกิน 30 % ของปริมาณหม้อบด แบ่งการทดสอบได้เป็น 3 การทดสอบ คือ

1. ทดสอบที่ 80.00 % (สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด) ที่มีปริมาณแคลเซียมคาบอเนต 600 กรัม น้ำ 576 กรัม Bentonite clay 12 กรัม และ Vultamol 12 กรัม
2. ทดสอบที่ 71.50 % (สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด) ที่มีปริมาณแคลเซียมคาบอเนต 500 กรัม น้ำ 480 กรัม Bentonite clay 10 กรัม และ Vultamol 10 กรัม
3. ทดสอบที่ 63.35 % (สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด) ที่มีปริมาณแคลเซียมคาบอเนต 400 กรัม น้ำ 384 กรัม Bentonite clay 8 กรัม และ Vultamol 8 กรัม

4. ทดสอบที่ 55.00 % (สารเคมีรวมกับน้ำและลูกบด) ที่มีปริมาณแคลเซียมคาบอเนต 300 กรัม น้ำ 288 กรัม Bentonite clay 6 กรัม และ Vultamol 6 กรัม

จากนั้นจะสุ่มผลการทดสอบจากเครื่องบดสารเคมีทุก ๆ 4 ชั่วโมงเพื่อนำผลการทดสอบไปวิเคราะห์

4. การทดสอบความแตกต่างของลูกบด

โดยการนำลูกบดที่เหมาะสมกับปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ทดสอบจากการทดสอบข้างต้นทดสอบประสิทธิภาพของหม้อบด ขนาด 5 นิ้ว และ 9 นิ้ว

5. การทดสอบการบดสารเคมีอื่น ๆ

โดยการนำลูกบดที่เหมาะสมกับปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ทดสอบการบดสารเคมีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการบ่มน้ำยางธรรมชาติ สารเคมีที่ใช้บัดมีดังนี้

1. ซิงค์ออกไซด์ 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentonite clay 1% และ Vultamol 1 %
2. แซดซีซี (ZDC) 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentonite clay 1% และ Vultamol 1 %
3. กำมะถัน 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentonite clay 1% และ Vultamol 1 %
4. ดีพีจี (DPG) 33 % โดยน้ำหนัก น้ำ 65 % Bentonite clay 1% และ Vultamol 1 %
5. แคลเซียมคาบอเนต 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentonite clay 1% และ Vultamol 1 %
6. Lowinox CPL 50 % โดยน้ำหนัก น้ำ 48 % Bentonite clay 1% และ Vultamol 1 %

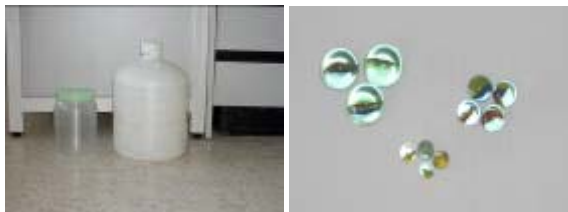
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

1. การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องบดสารเคมี

เครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิลล์ต้นแบบ ทำการทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการหมุนหม้อบดและปรับเปลี่ยนขนาดถังเพื่อให้ปริมาณใช้งาน ซึ่งคำนึงถึงความเร็วรอบที่เหมาะสมได้ผลการทดสอบดังนี้

ผลการทดสอบเครื่องบดสารเคมี พบว่า ขนาดเครื่องมีความกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 97 เซนติเมตร และสูง 100 เซนติเมตร หม้อบดทั้งสองขนาดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 12.7 เซนติเมตร และ 22.86 เซนติเมตร (ภาพที่ 3) มีความจุของหม้อบดเป็น 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 9,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ความเร็วของมอเตอร์ขณะไม่มีภาระ 1,450 รอบต่อนาที ความเร็วของหม้อบด 12.7 เซนติเมตร เมื่อปรับเปลี่ยนพู่เล่ย์ที่เหมาะสม มีความเร็วเป็น 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) และหม้อบด 22.86 เซนติเมตร มีความเร็วรอบเป็น 63 รอบต่อนาที

(71.2 % ของความเร็วรอบวิกฤต) เปิดทำการทดสอบทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่องโดยไม่หยุดพักเพื่อทดสอบคุณสมบัติของมอเตอร์ ผลคือมอเตอร์เดินถ่วงไม่เกิดการเสียหายแต่อย่างใด (ภาพที่ 4) และทำงานได้เป็นปกติและไม่เกิดการผิดพลาดระหว่างการทดสอบและ เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ข้างต้น



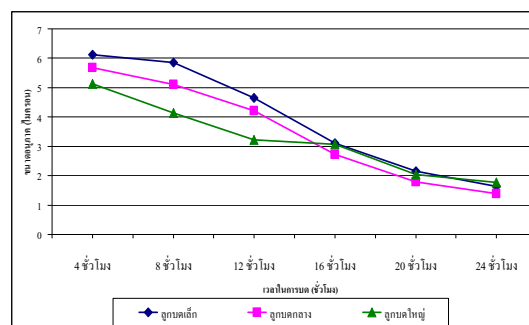
ภาพที่ 3 ภาพหม้อบดและลูกบดที่ใช้ทั้ง 3 ขนาด



ภาพที่ 4 ภาพขณะทดสอบทำงาน

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของลูกบด

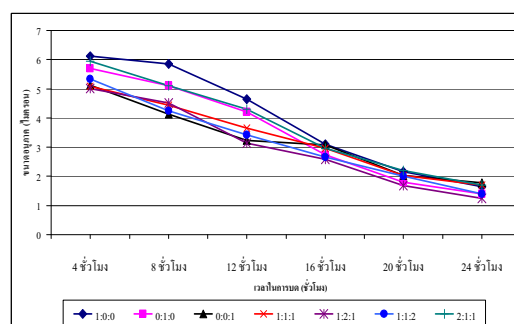
จากผลการทดสอบลูกบด 3 ขนาดภาพที่ 5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ภายในหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ของลูกบด 3 ขนาด จากกราฟทำให้ทราบว่าขนาดอนุภาคของสารเคมีจะเล็กลงเมื่อเวลาในการบดเพิ่มขึ้น โดยช่วงเวลาในการบด 14 ชั่วโมงแรก ลูกบดขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพในการบดสารเคมีต่ำ ซึ่งในช่วงเวลาเดียวกันลูกบดขนาดใหญ่ที่มีมวลมากกว่า ทำให้มีความสามารถในการบดสารเคมีให้มีขนาดเล็กกว่า เนื่องจากสารเคมีในช่วงเริ่มต้นมีความสามารถในการบดของลูกบดขนาดเล็กจึงน้อยกว่าลูกบดที่มีขนาดใหญ่ แต่หลังจากการบดผ่านไปหลังจาก 14 ชั่วโมง ลูกบดขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพในการบดเฉลี่ยน้อยกว่าลูกบดขนาดเล็ก อาจเป็นเพราะพื้นที่ผิวของลูกบดขนาดเล็กที่ปริมาณเท่ากันมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการบดมากกว่าลูกบดขนาดใหญ่



ภาพที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ภายในหม้อ บดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ของลูกบด 3 ขนาด

นอกจากนี้ภาพที่ 5 ยังแสดงว่าการทดสอบลูกบดขนาดกลางจะมีประสิทธิภาพในการบดใกล้เคียงกับการบดของลูกบดขนาดเล็ก แต่ขนาดอนุภาคสารเคมีเฉลี่ยที่ได้จากการบดจะมีขนาดเล็กกว่า

ดังนั้นจึงสรุปการทดสอบขั้นต้นได้ว่าลูกบดขนาดกลางน่าจะมีประสิทธิภาพในการบดมากกว่า นอกจากนั้นยังมีการทดสอบอัตราส่วนระหว่างลูกบดแต่ละขนาดเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่นำมาเลือกใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป ได้ผลดังภาพที่ 6



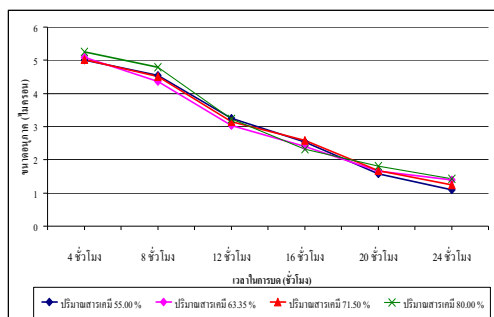
ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ภายในหม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ของอัตราส่วนลูกบดต่าง ๆ

จากผลการทดสอบโดยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS มาใช้ในการตัดสินใจในการเลือกอัตราส่วนลูกบดจากการทดสอบความแปรปรวนและการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบคั่นคั่น เลือกลูกบดที่ใช้และเวลาที่เหมาะสมคือ ใช้ลูกบดที่มีอัตราส่วน (เล็ก:กลาง:ใหญ่) 1:2:1 เวลาที่ใช้บดเป็น 24 ชั่วโมง

3. ผลการทดสอบความสามารถของหม้อบดที่มีปริมาณสารต่าง ๆ

เมื่อทำการทดสอบหาประสิทธิภาพลูกบดที่เหมาะสมเพื่อนำมาทดสอบปริมาณสารเคมีที่สามารถบดได้สูงสุดภายในหม้อบดอัตราส่วนลูกบดที่ใช้คือ 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) ในขั้นตอนนี้ยังคงใช้หม้อบดขนาด 5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที (67.3 %

ของความเร็วยรอบวิกฤต) ที่เวลาต่าง ๆ สำหรับสารที่ทำการทดสอบ คือ แคลเซียมคาบอเนต ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ภายในหม้อบดขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ของปริมาณสารเคมีต่าง ๆ

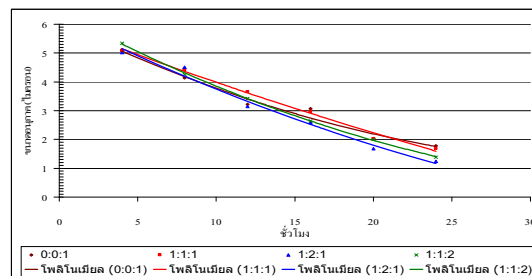
จากผลการทดสอบโดยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ทดสอบความแปรปรวนของการทดสอบปริมาณสารเคมีในปริมาณต่าง ๆ และการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบต้นคันในการบดที่ปริมาณสารเคมีที่ 63.35 % ให้ขนาดของสารเคมีมีค่าน้อยที่สุด โดยปริมาณสารทั้ง 4 ตัวอย่างนี้ให้ผลไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

ดังนั้นในการบดสารเคมีสามารถเลือกใช้ปริมาณสารเคมีได้ทั้ง 4 การทดสอบ ถ้าต้องการให้สารเคมีที่บดได้มีขนาดเล็กที่สุดที่เวลาในการบดเท่ากัน ให้เลือกใช้ปริมาณสารเคมีที่รวมกับน้ำใส่ในหม้อบดเป็น 55 % ของปริมาตรของหม้อบด แต่ถ้าต้องการใช้สารเคมีภายหลังการบดจำนวนมากอาจเลือกใช้ 80 % ได้เช่นกันเพราะในทางสถิติให้ผลไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

4. ผลการทดสอบขนาดของหม้อบด

โดยการนำลูกบดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมระหว่างหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และหม้อบดขนาด 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) ทดสอบความสามารถและประสิทธิภาพของหม้อบด แต่ละขนาด ในการทดสอบจะใช้ลูกบดที่มีอัตราส่วนที่ 30 % ของปริมาตรของหม้อบด ปริมาณสารเคมี 63.35 % ของปริมาตรทั้งหมด ความเร็วของหม้อบดที่ใช้กับหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) และหม้อบดขนาด 22.8 เซนติเมตร (9 นิ้ว) มีความเร็วรอบเป็น 63 รอบต่อนาที (71.2 % ของความเร็วรอบวิกฤต) แสดงผลการทดสอบดังภาพที่ 8

ผลการทดสอบโดยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ทดสอบความแปรปรวนทำให้สรุปได้ว่า ขนาดของหม้อบดทั้งสองชนิดให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 8 กราฟแสดงแนวโน้มเพื่อใช้ประกอบการเลือกอัตราส่วนลูกบดที่ใช้ในการบดเวลาต่าง ๆ เพื่อให้ได้อนุภาคสารเคมีตามต้องการ

เมื่อได้ผลการทดสอบทั้ง 3 ผลการทดสอบ นำผลการทดสอบที่เลือกไว้ได้แก่ อัตราส่วนลูกบดทั้ง 4 อัตราส่วนคือ (เล็ก:กลาง:ใหญ่) ได้แก่ 0:0:1, 1:1:1, 1:2:1, 1:1:2 และปริมาณสารที่ใช้ 63.35 % ของปริมาตรหม้อบดภายในหม้อบด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ดังภาพที่ 8 และสามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการบดเพื่อให้ได้อนุภาคตามที่ต้องการได้ในตารางที่ 1

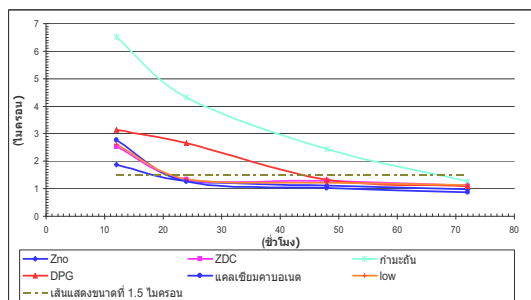
ตารางที่ 1 ตารางสรุปผลเวลาในการบดสารเคมี

ขนาด (ไมครอน)	เวลาที่ใช้ในการบด (ชั่วโมง)			
	อัตราส่วนลูกบด			
	1:1:1	1:2:1	1:1:2	ลูกใหญ่
1.50	-	21.80	23.30	-
2.00	21.50	18.80	19.80	21.50
2.50	17.50	16.20	16.80	17.70
3.00	15.50	13.60	14.20	14.50

จากผลการทดสอบในตารางที่ 1 จะพบว่าอัตราส่วนลูกบดเหมาะสมที่สุดเป็นอัตราส่วน 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) จากเส้นกราฟเส้นแนวโน้มจะได้สมการเพื่อใช้คำนวณเวลาในการบดให้ได้ขนาดอนุภาคตามต้องการ คือ สมการ $y = 0.0024x^2 - 0.2675x + 6.1834$ โดย y แทนขนาดอนุภาค หน่วยไมครอน และ x แทนชั่วโมงในการบด

5. ผลการทดสอบการบดสารเคมีอื่น ๆ

โดยการนำลูกบดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมบดสารเคมีภายในหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) เพื่อทดสอบหาเวลาในการบดสารเคมีแต่ละชนิด ในการทดสอบจะใช้ลูกบดที่มีอัตราส่วนที่ 30 % ของปริมาตรของหม้อบด ปริมาณสารเคมี 63.35 % ของปริมาตรทั้งหมด ความเร็วของหม้อบดที่ใช้กับหม้อบดขนาด 12.70 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) แสดงผลการทดสอบดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของสารเคมีที่บด ณ เวลาต่าง ๆ ของการบดสารเคมีแต่ละชนิด

จากผลการทดสอบสารเคมีอื่น ๆ ทดสอบภายใต้การทดสอบความสามารถของลูกบดและประสิทธิภาพของหม้อบดจากการทดสอบข้างต้น ทำให้ทราบว่าสารเคมีแต่ละชนิดมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการบดทั้งนี้เพราะคุณสมบัติบางประการของสารเคมีเองที่มีความเข้มข้นและความหนาแน่นของสารเคมีที่ต่างกัน ดังนั้นจากการทดสอบทำให้ทราบเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีแต่ละชนิดได้ สามารถสรุปเวลาที่ใช้บดสารเคมีแต่ละชนิด

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดสอบความสามารถของเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิลสำหรับเตรียมคิสเพอชั่น ข้อมูลที่ศึกษาเพื่อนำไปออกแบบเครื่องดันแบบตามเกณฑ์การออกแบบ การทดสอบปัจจัยที่มีผลในการบดและเวลาในการบดที่เหมาะสม โดยค่าที่ชี้ผลได้แก่ ประสิทธิภาพของลูกบด ความสามารถของหม้อบดและขนาดของหม้อบดที่มีผลต่อขนาดอนุภาคของสารเคมีหลังทำการบดที่เวลาต่าง ๆ

สรุปผลการทดสอบ

แบ่งได้ 2 การทดสอบคือ

1. ผลการทดสอบสมรรถนะจำเพาะของเครื่องบดสารเคมี

การออกแบบเครื่องบดสารเคมีดันแบบสำหรับเตรียมคิสเพอชั่น ได้มีการออกแบบให้มีการปรับความเร็วรอบให้เหมาะสมกับขนาดหม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) และ 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว) โดยใช้ฟูล์ในการเปลี่ยนความเร็วรอบสำหรับผลการทดสอบเพื่อให้หม้อบดหมุนด้วยความเร็วรอบไม่เกิน 75 % ของความเร็วรอบวิกฤต มอเตอร์ต้นกำลังทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที การทดสอบพบว่า หม้อบด 5 นิ้ว มีความเร็วรอบเป็น 80 รอบต่อนาที (67.3 % ของความเร็วรอบวิกฤต) และหม้อบด 9 นิ้ว มีความเร็วรอบเป็น 63 รอบต่อนาที (71.2 % ของความเร็วรอบวิกฤต) ภาชนะน้ำหนักของหม้อบดที่สามารถบดได้คือ 1 ชุดทดสอบ (เพลารองรับ 1 คู่) รับได้ 10 กิโลกรัม และ 1 ชุดเพลาน้ำหนักของหม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.86 เซนติเมตร (9 นิ้ว)

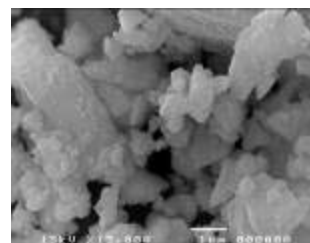
สามารถเตรียมสารเคมีแคลเซียมคาบอเนดความเข้มข้น 50 % โดยมวล ได้สูงสุด 3,800 กรัม

2. ผลการทดสอบการบดสารเคมี

การทดสอบการบดสารเคมีทั้ง 3 การทดสอบคือ การทดสอบประสิทธิภาพของลูกบด การทดสอบความสามารถในการบดของหม้อบด และขนาดหม้อบด ผลการทดสอบได้ว่า ลูกบดที่ทำการบดได้เหมาะสมที่สุดคือต้องประกอบด้วยลูกบดขนาดต่าง ๆ สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สามารถบดได้ขนาดอนุภาคเล็กที่สุดในเวลาน้อยที่สุด คือ 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) โดยใช้ปริมาณลูกบดเป็น 30 % ของปริมาตรหม้อบด ปริมาณสารเคมีภายในหม้อบดที่เหมาะสมที่ทำให้อนุภาคหลังการบดเล็กที่สุด คือ ใช้สารเคมีรวมกับน้ำเป็น 63.35 % ของปริมาตรหม้อบด และขนาดของหม้อบดทั้งสองขนาดไม่มีผลต่อการบด จากการทดสอบโดยใช้หม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) ความเร็วรอบของหม้อบด 80 รอบต่อนาที ใช้อัตราส่วนลูกบด 1:2:1 (เล็ก:กลาง:ใหญ่) โดยสามารถเตรียมแคลเซียมคาบอเนดความเข้มข้น 50 % โดยมวลได้ 800 กรัม สามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปเวลาที่ใช้บดสารเคมีโดยใช้หม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว)

ขนาดอนุภาคของสารเคมี (ไมครอน)	เวลาที่ใช้ในการบด (ชั่วโมง)
1.50	21.80
2.00	18.80
2.50	16.20
3.00	13.60



ภาพแคลเซียมคาบอเนดก่อนทำการบด



ภาพแคลเซียมคาบอเนดภายหลังการบดชั่วโมงที่ 24



ภาพเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิล

ในการบดสารเคมีอื่น ๆ ที่ทำการทดสอบเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคสารเคมีที่ใช้สำหรับการบ่มน้ำยางธรรมชาติมีขนาดเป็น 1.5 ไมครอน ทดสอบภายใต้การทดสอบความสามารถของลูกบดและประสิทธิภาพของหม้อบดจากการทดสอบข้างต้น ทำให้ทราบว่าสารเคมีแต่ละชนิดมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการบดทั้งนี้เพราะคุณสมบัติบางประการของสารเคมีเองที่มีความเข้มข้นและความหนาแน่นของสารเคมีที่แตกต่างกัน ดังนั้นจากการทดสอบทำให้ทราบเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีแต่ละชนิดได้ สามารถสรุปเวลาที่ใช้บดสารเคมีแต่ละชนิดตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงเวลาที่ใช้ในการบดสารเคมีอื่น ๆ เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคของสารเคมีเท่ากับ 1.5 ไมครอน

ชนิดสารเคมี	เวลาที่ใช้ในการบด (ชั่วโมง)
ซิงค์ออกไซด์	17.50
แซดดีซี (ZDC)	20.50
กำมะถัน	66.50
ดีพีจี (DPG)	43.50
แคลเซียมคาบอเนต	20.00
lowinox CPL	21.00

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการทำงานจริงของเครื่องบดสารเคมีแบบบอลมิลต้นแบบมีข้อเสนอแนะ 2 ประการ

การนำผลวิจัยไปใช้

การนำผลวิจัยไปใช้ในการใช้ประกอบการผลิตในอุตสาหกรรมน้ำยางธรรมชาติ ในเชิงธุรกิจควรคำนึงถึงความคุ้มค่าและเวลาในการบด ซึ่งจากการทดสอบ ทางผู้วิจัยออกแบบโดยคำนึงถึงการนำเครื่องบดสารเคมีที่ออกแบบได้สามารถดัดแปลงให้ใช้กับขนาดของหม้อบดได้หลายขนาด จำนวนหม้อบดหลายใบเพื่อลดเวลาการทดสอบ ผู้ที่สนใจควรตัดสิ่งที่ไม่จำเป็นในส่วนเครื่องต้นแบบออกได้ โดยลดจำนวนชุดการบดลงและตัดการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบออก

ประเด็นวิจัยใหม่

- ควรศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการหมุนของหม้อบด
- ควรศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคสารเคมี
- ควรปรับปรุงให้ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบให้มีความสะดวกขึ้น
- ควรศึกษาการบดด้วยสารเคมีอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการงานวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยแห่งชาติ (Small Project on Rubber : SPR) ที่ให้การสนับสนุนในการทำโครงการครั้งนี้ ตลอดโครงการ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร และภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือสำหรับการทดสอบในโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

- จำรูญ ดันติพิศาลกุล. 2542. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 2. บริษัท ว. เพ็ชรสกุล จำกัด. กรุงเทพฯ ๑.
- ชาญ ถนัดงาน และ วรวิทย์ อึ้งภากรณ์. 2536. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. นำอักษรการพิมพ์, กรุงเทพฯ ๑.
- บุญธรรม นิธิอุทัย. 2532. ปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ. 2538. เทคโนโลยีน้ำยาง สมบัติ และผลิตภัณฑ์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2535. เทคนิคการออกสูตร. ภาควิชาเทคโนโลยียางและโพลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- วิริยะ ทองเรือง. 2548. การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ. รายงานผลการศึกษาคือสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุนทร โหม่งปราชญ์. 2536. การลดขนาด. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมการผลิต-เกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- อนันต์ วงศ์กระจำ. 2533. ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

ภาคผนวก ค.
ตารางเทียบวัตถุประสงค์

ตารางสอบเทียบวัตถุประสงค์			
วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1. เพื่อสร้างเครื่องมือ Ball Mill ต้นแบบขนาดเล็ก สำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำยางทางภาคเหนือ	1.ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างเครื่อง Ball Mill 2. สร้างเครื่อง Ball Mill	1. ศึกษาความเร็วที่เหมาะสมของหม้อบดในการบดสารเคมี 2. ศึกษาปริมาณและขนาดของลูกหินที่ใส่ลงไปในหม้อบดขนาดต่างๆ 3. นำปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้ ทำการศึกษามาสร้างเครื่อง 4. ทำการประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นของเครื่องบดมิล	1.ทราบถึงความเร็วของหม้อบดที่ใช้ในการบดสารเคมี 2. ได้สัดส่วนของลูกบดที่เหมาะสมที่ใช้ในการบดสารเคมีสำหรับถังบดที่ใช้ 3.ได้เครื่องต้นแบบ Ball Mill ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพในการบดสารเคมี 4.ทราบถึงข้อมูลจำเพาะเบื้องต้นของเครื่องบดสารเคมี
2. ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการบดสารเคมี	2. ศึกษาประสิทธิภาพการเตรียม Dispersion ของเครื่อง Ball Mill	1. ศึกษาปริมาณสารเคมีที่จะใส่ลงไปในถังบด 2.ทดสอบหาสัดส่วนของลูกบดกับหม้อบดที่เหมาะสม 3.ทดสอบความสามารถในการบด เมื่อหม้อบดบรรจุ ลูกบด สารเคมีรวมกับน้ำที่มีปริมาตรต่างๆ กัน 4.ทดสอบบดสารเคมีต่างๆ เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการบด	1. ได้สารคิสพอชั่นที่เหมาะสมสำหรับใส่ลงไป ในน้ำยาง 2.ทราบเวลาในการบดที่เหมาะสมในการบดสารเคมี สำหรับถังแต่ละขนาดและสัดส่วนของลูกบดที่เหมาะสม 3.ได้เวลาที่เหมาะสมในการบดที่มีปริมาตรของลูกบด และสารเคมีรวมกับน้ำที่เหมาะสมต่างๆ กัน 4.ได้เวลาที่เหมาะสมในการบดสารเคมี