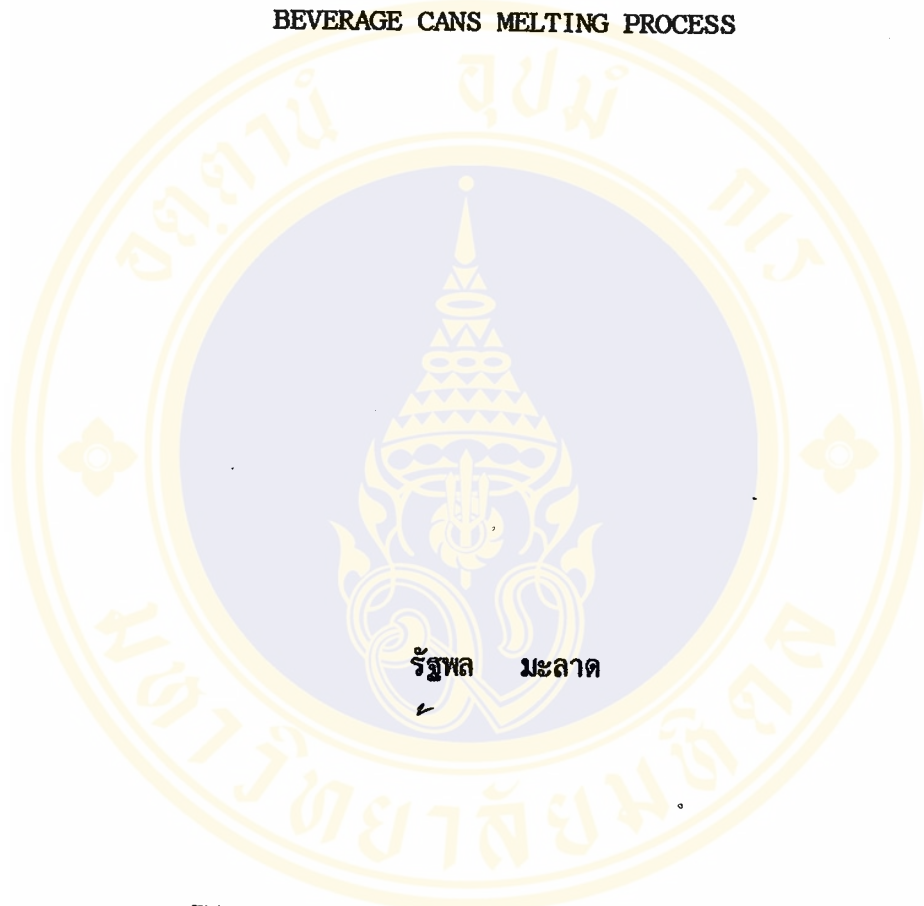




๒๕ ก.ค. ๒๕๓๙

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านโค้กและก๊าซแอลพีจี
เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการหลอมภาชนะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม

THE EXPERIMENTAL STUDY TO COMPARE THE EFFECTIVENESS OF
USING COKE AND L.P.G. AS A FUEL FOR ALUMINUM TYPE
BEVERAGE CANS MELTING PROCESS



อธิปัทนการ

จาก

มณฑลอุดรธานี ม.๖๔๓๐

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. ๒๕๓๙

กพ

๖๖๖๖

๖๖๖

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

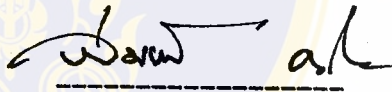
การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านโค้กและก๊าซแอลพีจี
เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการหลอมภาชนะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม

THE EXPERIMENTAL STUDY TO COMPARE THE EFFECTIVENESS OF
USING COKE AND L.P.G. AS A FUEL FOR ALUMINUM TYPE
BEVERAGE CANS MELTING PROCESS



รัฐพล มะลาด

ผู้วิจัย



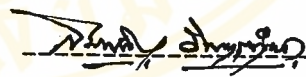
สมพงษ์ ชงไชย ,วท.ม.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์, วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



สมศักดิ์ อินทรกานแหง ณ ราชสีมา, วท.ม.

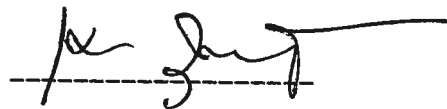
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



มนตรี จุลสมัย, พบ., Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย



เกษม กุลประดิษฐ์, วท.ม.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชา

เทคโนโลยีเหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

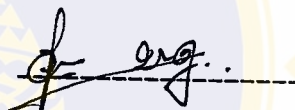
เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านโค้กและก๊าซแอลพีจี
เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการหลอมภาชนะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม

THE EXPERIMENTAL STUDY TO COMPARE THE EFFECTIVENESS OF
USING COKE AND L.P.G. AS A FUEL FOR ALUMINUM TYPE
BEVERAGE CANS MELTING PROCESS

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 17 มีนาคม 2539



รัฐพล มะลาด

ผู้วิจัย



รุ่งจรัส หูตะเจริญ, วท.บ., วท.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



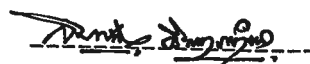
สมพงษ์ ชงไชย, วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



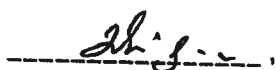
อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์, วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



สมศักดิ์ อินทรกำแหง ณ ราชสีมา, วท.ม.

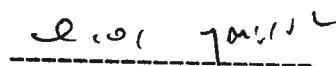
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



มนตรี จุลสมัย, พบ., Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล



รุ่งจรัส หูตะเจริญ, วท.บ., วท.ม.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	รัฐพล มะลาด
วัน เดือน ปี เกิด	4 ตุลาคม 2510
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, พ.ศ.2530-2532 ครุศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต) (วิศวกรรมศาสตร) มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ.2533-2538 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขา เทคโนโลยีที่ เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร) คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
ทุนการศึกษา	-

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความแนะนำ ช่วยเหลือ
แก้ไขและสนับสนุนการค้นคว้าจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์ ท่านอาจารย์
สมศักดิ์ อินทรกานแหง ณ.ราชสีมา ท่านอาจารย์สมพงษ์ ธงไชย และท่านอาจารย์สุภชัย
ประเสริฐสกุล ตลอดจนคณาจารย์สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น ทำให้
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

นอกเหนือสิ่งใดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมถึงพี่น้องและเพื่อน ๆ ที่
คอยให้การสนับสนุนทั้งด้านกำลังใจ กำลังกาย และกำลังทรัพย์ ตลอดระยะเวลาที่ทำการ
ศึกษาวิจัย กราบขอบพระคุณยิ่ง

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์นี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและเป็นแนวทาง
สำหรับการจัดการปัญหาด้านขยะอีกทางหนึ่ง

รัฐพล มะลาด

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ด้านโค้กและก๊าซแอลพีจี
เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการหลอมภาชนะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม
ประเภทอลูมิเนียม

ผู้วิจัย รัฐพล มะลาด

ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

สมพงษ์ ธงไชย, วท.ม.

อดิศักดิ์ วรณะวัลย์, วท.ม.

สมศักดิ์ อินทรกำแหง ณ ราชสีมา, วท.ม.

วันสำเร็จการศึกษา 17 มีนาคม พ.ศ. 2539

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คัดเลือกกระบวนการที่เหมาะสมในการ
นำของเสียประเภทอลูมิเนียมจากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม มาหลอมเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรม
ชนิดใหม่ โดยพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการหลอม ด้านปริมาณการใช้
พลังงาน คุณสมบัติทางกายภาพภายหลังกระบวนการหลอม และค่าใช้จ่ายระหว่างกระบวนการ
หลอมโดยใช้ด้านโค้กและก๊าซ(LPG.)เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งการทดลองนำเข้าไปหลอม 2 ชนิด
คือ Clay Graphite และ Silicon Graphite เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณสมบัติกาย
ในของผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้จากกระบวนการหลอมทั้งสองชนิด โดยการทดลองได้จำลองสภาวะ
ของกระบวนการหลอมวัสดุที่ 5.6 กิโลกรัม(อลูมิเนียม) โดยต้นทุนในการสร้างเตาหลอมและ
ระบบของการหลอมชนิดใช้ด้านโค้กเป็นเชื้อเพลิง 5,120 บาท และชนิดที่ใช้ก๊าซ(LPG.)เป็น
เชื้อเพลิง 12,406 บาท

ผลการทดลอง ของเสียจากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอูมิเนียมมีน้ำหนัก โดยเฉลี่ย 16.4005 กรัมต่อ 1 กระป๋องหรือ 60,974 กระป๋องต่อ 1 ตัน จากการทดลองปรากฏว่า กระบวนการหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง มีอัตราการใช้พลังงาน 1.006 กิโลกรัมต่อผลผลิต 1 กิโลกรัม(อูมิเนียม) ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง 11.25 บาทต่อ 1 กิโลกรัม(อูมิเนียม) ประสิทธิภาพของการหลอมเท่ากับร้อยละ 79.16 อายุการใช้งานเตาหลอม 1 ปี ค่า NPV. เท่ากับ 28,990 บาท และค่า B/C Ratio เท่ากับ 1.14 ในขณะที่กระบวนการหลอมชนิดใช้ก๊าซ(LPG.)เป็นเชื้อเพลิง มีอัตราการใช้พลังงาน 0.42 กิโลกรัมต่อผลผลิต 1 กิโลกรัม(อูมิเนียม) ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง 6.25 บาทต่อ 1 กิโลกรัม(อูมิเนียม) ประสิทธิภาพของการหลอมเท่ากับร้อยละ 80.45 อายุการใช้งานเตาหลอม 4 ปี ค่า NPV. เท่ากับ 79,680 บาท และค่า B/C Ratio เท่ากับ 1.52 ในการเปรียบเทียบกระบวนการหลอมชนิดใช้ก๊าซ(LPG.)เป็นเชื้อเพลิง มีค่าประสิทธิภาพในกระบวนการหลอมสูงกว่า กระบวนการหลอมโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง และจากการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์ กระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซ (LPG.)เป็นเชื้อเพลิงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

Thesis Title The Experimental Study to Compare Effectiveness
 of Using Coke and L.P.G. as a Fuel for Aluminum Type
 Beverage Cans Melting Process

Name Rathapole Malard.

Degree Master of Science (Appropriate Technology for
 Resource Development)

Thesis Supervisory Committee

Sompong Thongchai, M.Sc.

Adisak Wonnawan, M.Sc.

Somsak Indrakom-kheng Na Rachasima, M.Sc.

Date of Graduation 17 March B.E.2539 (1996)

ABSTRACT

The main objective for this thesis to analysis beverage aluminum cans for new purposes. The retreat and foundry cans getting new material that cans use for manufacture. In the case studied which comparing the efficiency and phisical energy quantity. The cost of foundry pro-cesses used coke(coal) and Liquid Petroleum Gas (LPG.) fuel source for both crucibles the clay graphite and silicon graphite. Modem test process simulated with aluminum cans 5.6 kilograms. Structural essembly for both foundry systems set the cost for experimenting by coke fuel of ฿ 5,120 ; and by LPG. fuel of ฿ 12,406 respectively.

The data of each aluminum can by weight of 16.4005 gram [60,974 by 1 ton weight]. Through the line of process by using coke the fuel consumption for 1.006 kilogram(Kg.) by weight for 1 kilogram(Kg.) new product; It made fuel cost of $\text{฿ } 11.25$ per one kilogram product, the efficiency of 79.16 percent. The foundry life time limited at one year. The Net Present Value (NPV.) $\text{฿ } 28,990$, Benefit Cost of Ratio (B/C Ratio) up to 1.14. In case of Liquid Petroleum Gas (LPG.) the fuel consumption indicated at 0.42 kilogram by weight for 1 kilogram(Kg.) new product, fuel cost of $\text{฿ } 6.25$ per one kilogram. The efficiency of 80.45 percent, 4 years foundry life time. The Net Present Value (NPV.) $\text{฿ } 79,680$, Benefit Cost of Ratio (B/C Ratio) up to 1.52. In comparing during with two fuel sources indicated that LPG. fuel process has produced more efficiency than coke fuel. Conclusion for these experimenting processes the LPG. process could be worth for economic manufacture.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
สัญลักษณ์	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 แนวคิดของการศึกษา	5
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	7
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	7
1.5 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.1 อลูมิเนียม	10
2.2 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการหลอม	14
2.3 กระบวนการหลอมวัสดุโดยใช้ไฟฟ้า	15
2.4 กระบวนการหลอมวัสดุโดยใช้ก๊าซ แอลพีจี	15
2.5 การศึกษาประสิทธิภาพของเตาหลอม	16
2.6 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์	20
2.7 การตรวจสอบวัสดุทางโลหะวิทยา	25
2.8 การทดสอบความต้านทานแรงดึง	28
2.9 การทดสอบวิเคราะห์ปริมาณธาตุในโลหะด้วยสเปกโตรมิเตอร์	36

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 วิธีการศึกษาและการดำเนินการวิจัย	39
3.1 รูปแบบการวิจัย	39
3.2 สถานที่ทำการทดลอง	39
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	39
3.4 วิธีการศึกษา	40
3.4.1 การคัดเลือกตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง	40
3.4.2 การสร้างเตาและระบบการหลอม	41
3.4.3 การปฏิบัติทดลอง	48
3.4.4 การบันทึกผลและการคำนวณ	53
บทที่ 4 ผลการศึกษาและการอภิปรายผล	56
4.1 ผลการศึกษา	56
4.2 การประเมินค่าใช้จ่าย	70
4.3 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาหลอม	73
4.4 การอภิปรายผล	75
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	95
5.1 สรุปผลการศึกษา	95
5.2 ข้อเสนอแนะ	97
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.	
ภาคผนวก ข.	
ภาคผนวก ค.	
ภาคผนวก ง.	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. แสดงชนิดและส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ (ร้อยละ)	11
ตารางที่ 2. แสดงวิธีกักผิวของตุ๊กเกอร์	26
ตารางที่ 3. ใบรายงานที่ตรวจสอบคู่มือโครงสร้างมหภาคด้วยการกักผิว	27
ตารางที่ 4. มิติของชิ้นทดสอบภาคตัดวงกลม ความยาวก่อนดึง $L_0 = 5.65$	34
ตารางที่ 5. มิติของชิ้นทดสอบภาคตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก (ไม่ได้สัดส่วน)	35
ตารางที่ 6. แสดงค่าบันทึกผลการชั่งน้ำหนัก	57
ตารางที่ 7. ผลการทดลองหลอมวัสดุดิบโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง (1)	58
ตารางที่ 8. ผลการทดลองหลอมวัสดุดิบโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง (2)	59
ตารางที่ 9. แสดงผลการหลอมบรรจุภัณฑ์โดยเตาหลอมชนิด ใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง	60
ตารางที่ 10. ผลการทดลองหลอมวัสดุดิบโดยใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง (1)	61-62
ตารางที่ 11. ผลการทดลองหลอมวัสดุดิบโดยใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง (2)	62
ตารางที่ 12. แสดงผลการหลอมบรรจุภัณฑ์โดยเตาหลอมชนิด ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง	63-64
ตารางที่ 13. แสดงค่าบันทึกผลการรับภาระแรงดึง	67-68
ตารางที่ 14. ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาหลอม	70
ตารางที่ 15. ค่าใช้จ่ายในกระบวนการหลอมที่ 5.6 kgs.	71
ตารางที่ 16. ค่าใช้จ่ายในกระบวนการหลอมที่ 22.5 kgs.	72
ตารางที่ 17. เปรียบเทียบอายุการใช้งานเฉลี่ยของเตาหลอมจากสภาพสึกกร่อน	74-75
ตารางที่ 18. แสดงค่าต้นทุนคงที่เปรียบเทียบของเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด	78-79
ตารางที่ 19. แสดงค่าต้นทุนแปรผันเปรียบเทียบเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด	80

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 20 ค่าใช้จ่ายสุทธิของการหลอม 4 ปี	81
ตารางที่ 21 แสดงค่าใช้จ่ายของเข้าหลอมโลหะ (บาท)	82
ตารางที่ 22 แสดงค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด	83
ตารางที่ 23 แสดงราคารับซื้อ - ขาย อลูมิเนียมของร้านค้า(ปี 2536)	84-85
ตารางที่ 24 แสดงการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน ในกระบวนการหลอมโดยผ่านดัก	91
ตารางที่ 25 แสดงการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน ในกระบวนการหลอมโดยก๊าซ LPG.	92
ตารางที่ 26 แสดงค่าการลงทุนเพื่อคำนวณหา B/C Ratio ในการลงทุน ของกระบวนการหลอมโดยใช้ผ่านดักเป็นเชื้อเพลิง	93
ตารางที่ 27 แสดงค่าการลงทุนเพื่อคำนวณหา B/C Ratio ในการลงทุน ของกระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง	94

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1. พังการไหลของวัสดุดิบและผลิตภัณฑ์	5
รูปที่ 2. แสดงภาพรวมของบรรจุภัณฑ์เครื่องคั้นประเภทลูมียืน	12
รูปที่ 3. แสดงด้านโถกที่นำมาทำการลดขนาดให้เล็กลง	16
รูปที่ 4. เครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)	29
รูปที่ 5. หัวจับยึดชิ้นทดสอบแรงดึง	31
รูปที่ 6. แผนภาพความต้านแรงดึง-ความยืด	32
รูปที่ 7. ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดขวางกลม	33
รูปที่ 8. ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดขวางกลมและสี่เหลี่ยมผืนผ้า	35
รูปที่ 9. แสดงการเปลี่ยนแปลงของแสงต่าง ๆ ในอุปกรณ์สเปกโตรมิเตอร์	37
รูปที่ 10. แสดงลักษณะของเตาหลอมชนิดใช้ด้านโถกเป็นเชื้อเพลิง	42
รูปที่ 11. แสดงลักษณะของเตาหลอมชนิดใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง	44
รูปที่ 12. แสดงลักษณะของฟาครอบเตาหลอม	46
รูปที่ 13. แสดงผังการหลอมโดยใช้ก๊าซ LPG. เป็นเชื้อเพลิง	47
รูปที่ 15. แสดงลักษณะบรรจุภัณฑ์หลังการกดอัดขึ้นต้น	49
รูปที่ 16. แสดงเครื่องกดอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press)	50
รูปที่ 17. แสดงลักษณะบรรจุภัณฑ์หลังการกดด้วยเครื่องไฮดรอลิก	51
รูปที่ 18. แสดงลักษณะของแบบหล่อขึ้นทดสอบ	52
รูปที่ 19. แสดงขนาดของชิ้นงานทดสอบ (Specimen) สำหรับการทดสอบแรงดึง	65
รูปที่ 20. แสดงลักษณะของเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด	73
รูปที่ 21. แสดงการเกิดสารมลทินและการแตกร้าวภายในเนื้อวัสดุงาน	76
รูปที่ 22. ความสัมพันธ์ของต้นทุน, รายได้ และกำไร	86

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- $\varnothing$ = เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลม (มิลลิเมตร)
- C_t = ปริมาณด้านเร็กที่ใช้ในการหลอมเฉลี่ยต่อ 1 กิโลกรัม
- C_i = ปริมาณด้านเร็กที่เติมในระหว่างการหลอม (กิโลกรัม)
- C_0 = ปริมาณด้านเร็กที่คงเหลืออยู่หลังจากการหลอม (กิโลกรัม)
- W_1 = น้ำหนักถังบรรจุพร้อมด้วยก๊าซที่บรรจุ (กิโลกรัม)
- W_0 = น้ำหนักถังเปล่า (กิโลกรัม)
- W_2 = น้ำหนักของน้ำที่ถ่ายออกมาได้ (กิโลกรัม)
- Q_j = จำนวนก๊าซภายในถัง (ค.ม.³/ลิตร)
- P = ความดันที่วัดได้ภายในถัง (วัดจากมาตร) (bar.)(kg./cm.²)
- V = ปริมาตรถัง (ลิตร)
- Q_T = ปริมาณก๊าซที่ใช้เพื่อการหลอม (ค.ม.³/ลิตร)
- k = ค่าคงที่ของมวลก๊าซ LPG (ก.ก) ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร
- C_1 = ค่าใช้จ่ายของเตาหลอมต่อปริมาตรการหลอม (บาท)
- V = ปริมาตรการหลอม (ก.ก)
- C_2 = ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงต่อปริมาตร (บาท)
- A = ปริมาณของเตาหลอมที่หลอมได้ (ก.ก)
- C_3 = ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น ค่าติดตั้ง ฯลฯ (บาท)
- C_a = จำนวนเงินต่อหน่วยเวลา (บาท)
- CRF = Capital Recovery Factor
- i = อัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยราคา
- n = จำนวนหน่วยเวลา (ปี)
- M = ค่าบำรุงรักษาต่อปี (บาท)
- S' = มูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน (บาท)

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย

SFF	=	Sink Fond Factor
a	=	รายรับต่อหน่วยเวลา
b	=	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรวมถึงค่าซ่อมบำรุงรักษาต่อหน่วยเวลา
B_t	=	ผลตอบแทนในปีที่ t
C_t	=	ค่าใช้จ่ายในปีที่ t และ
t	=	ปีของการลงทุนมีค่า 1,2,...,n
i	=	อัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสม
F_m	=	แรงดึงสูงสุด (N)
R_m	=	ความเค้นแรงดึงสูงสุด (Tonf/mm. ²) (N/mm. ²)
S_0	=	พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง (mm. ²)
L_0	=	ความยาวก่อนดึง (mm.)
L	=	ความยาวหลังจากดึง (mm.)
A	=	ความยืด.....%
ϵ	=	ระยะยืด %
E	=	โมดูลัสยืดหยุ่น (N/mm.)
σ_{all}	=	ความเค้นอนุญาต (Allowance Stress) (N/mm. ²)
v	=	ค่าความปลอดภัย (Safety Factor)
Z	=	การลดทอนพื้นที่หลังจากขาด (%)
S_0	=	พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง (mm. ²)
S_1	=	พื้นที่หน้าตัดหลังดึง (mm. ²)
B_1	=	อายุการใช้งานหนึ่งเดคาที่ 50 % เมื่อทำการหลอมต่อเนื่อง
B_2	=	ค่าซ่อมแซมหนึ่งเดคา 4 ครั้ง (≈ 96 บาท/ 1 ครั้ง)

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- B_3 = อายุการใช้งานเตา เมื่อหลอม 4 วัน/ 1 ครั้ง
 B_4 = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาหลอม 20 กก.(บาท)
 B_5 = อัตราส่วนประสิทธิภาพของเตาหลอม
 B_6 = ค่าใช้จ่ายของเตาคำนวณจากประสิทธิภาพเตา(บาท)
 B_7 = ค่าใช้จ่ายของเตาหลอม รวมค่าซ่อมแซม (บาท)
 B_8 = ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการหลอม(บาท)
 B_9 = วัสดุในงานหล่อ อาทิ ทรายหล่อ, ตะแกรงร่อนทราย, แบบหล่อ, ฟิลล์หล่อ เป็นต้น (บาท)
 B_{10} = รวมค่าใช้จ่ายสุทธิ ($B_{10} = B_7+B_8+B_9$) (บาท)
 a = ปริมาณวัตถุดิบ (Input) ที่ใช้ในการหลอมทั้งหมด (ก.ก.)
 b = ค่าเฉลี่ยของราคารับซื้อต่อปี (บาท/ก.ก.)
 p = ปริมาณผลผลิต (Output) ที่ต้องการได้จากการหลอม (ก.ก.)
 Q = จำนวนของผลผลิตที่ผลิตและขายของแต่ละช่วงเวลา (Quantity)
 p = ราคายขายผลผลิตต่อหน่วย (Price)
 I = Qp คือ รายรับทั้งหมดจากการขายผลผลิต Q หน่วย (Income หรือ Revenue) และกำไรทั้งหมด (Total profit = TP)
 F = ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)
 V = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วยของผลผลิต (Variable Cost)
 C = $F + QV$ ผลรวมของต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผันสำหรับการผลิต Q หน่วย (Total Cost)
 $TP (\%)$ = $I - C$ (กำไรทั้งหมด (ค่าบวก), ค่าลบคือขาดทุน)
 PWF = Present Worth Factor
 $B/C \text{ Ratio}$ = อัตราผลตอบแทนต่อเงินลงทุน(Benefit Cost Ratio)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของการศึกษา

ในการดำรงชีวิตของมนุษย์นั้น มีกิจกรรมต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย และจากกิจกรรมส่วนใหญ่มักเกิดวัสดุที่เหลือใช้และไม่เป็นที่ต้องการ ซึ่งจะถูกทิ้งไปในรูปของขยะมูลฝอยกล่าวคือมนุษย์(9) เมื่อดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันในสังคมก็ย่อมมีกิจกรรม ซึ่งเป็นธุรกิจ (Business Activities) ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งผลจากธุรกิจเหล่านี้ คือผลิตภัณฑ์ (Products) และผลิตภัณฑ์พลอยได้ (Byproducts) ซึ่งอาจนำมาใช้ประโยชน์ได้ หรืออาจจะเป็นสิ่งซึ่งไร้ประโยชน์โดยสิ้นเชิงก็ได้ สำหรับผลิตภัณฑ์นั้นจะถูกซื้อ-ขาย แลกเปลี่ยนหมุนเวียน และถูกใช้งานจนคุณค่าของมันในสายตาของผู้ครอบครองลดลงเรื่อย ๆ และผลสุดท้ายหากไม่ถูกขายต่อหรือให้ผู้อื่นไปหรือปรับสภาพเสียใหม่ให้ดีขึ้นเพื่อนำกลับไปใช้งานต่อไป ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นก็จะถูกทิ้งไปในรูปของมูลฝอย ขยะมูลฝอยซึ่งรวบรวมมาจากแหล่งที่อยู่อาศัยนั้นพบว่าประกอบด้วยวัสดุต่าง ๆ หลากหลายชนิด ในขณะที่ขยะมูลฝอยที่เกิดจากกิจกรรมทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ประกอบด้วยวัสดุประเภทเดียวกันเป็นส่วนหนึ่งในสังคมที่มนุษย์มาอยู่ร่วมกันยังมีจำนวนประชากรมากเท่าไรปริมาณของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นก็จะมากเป็นเงาตามตัว และการกำจัดขยะมูลฝอยเหล่านี้ก่อนที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ซึ่งต้องอาศัยเงินจำนวนไม่น้อยทีเดียว ปัจจุบันที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิดและลักษณะของขยะมูลฝอยทั่วไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้

- 1.ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์
- 2.ฤดูกาล
- 3.รายได้
- 4.โครงสร้างของครอบครัว

5. อุปนิสัยในการเลือกซื้อสินค้า

6. พฤติกรรมในการบริโภค

7. รูปแบบการดำรงชีวิต

8.ทัศนคติในการดำรงชีวิต

9. กฎหมายข้อบังคับ

เป็นที่ทราบเป็นอย่างดีแล้วว่า ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ภายใต้องค์ประกอบที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งเป็นสิ่งบ่งชี้ให้เห็นแนวโน้มของปัญหาขยะมูลฝอยว่าจะมีมากหรือน้อยเพียงใด นั่นก็คือ มนุษย์ เมื่อมนุษย์ได้สร้างปัญหามลพิษ มนุษย์ก็ต้องการหาทางแก้ไขปัญหามลพิษ เพื่อให้มนุษย์สามารถอยู่ในโลกได้อย่างมีความสุข การแก้ไขปัญหามลพิษที่ดีวิธีหนึ่งก็คือ การรีไซเคิล หรือการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งของเสียที่นิยมมารีไซเคิลส่วนใหญ่มักเป็นขยะมูลฝอย

ขยะหรือของเสียหรือมูลฝอยอาจแบ่งได้ คือ มูลฝอยธรรมดาทั่วไป และของเสียที่เป็นอันตราย

มูลฝอยธรรมดาทั่วไป ได้แก่ มูลฝอยสด เศษอาหาร กระดาษ โฟม พลาสติก ขวด แก้ว โลหะ หนัง ยาง ผ้า ไม้ ฯลฯ มูลฝอยธรรมดาทั่วไปนี้ศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์อย่างสูง ซึ่งผู้ประกอบการอาชีพเก็บและรับซื้อของเก่าจะนำมูลฝอยประเภทนี้มาซื้อขาย กันเป็นจำนวนมาก

ของเสียที่เป็นอันตราย ได้แก่ มูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาล กากสารเคมี สารยาฆ่าแมลง กากน้ำมัน ของเสียจากห้องทดลอง หลอดน็อน แบตเตอรี่เก่า ฯลฯ มูลฝอยประเภทนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ต้องดำเนินการภายใต้วิธีการที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการนำของเสียที่เป็นอันตรายมาใช้ประโยชน์ แต่ละชนิดจะค่อนข้างแตกต่าง

แหล่งกำเนิดมูลฝอยที่สำคัญ ได้แก่ ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่เกษตรกรรม โดยที่มูลฝอยจากชุมชนมักจะเป็นมูลฝอยธรรมดาทั่วไปเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นมูลฝอยธรรมดาทั่วไป และของเสียที่เป็นอันตราย สำหรับมูลฝอยจากพื้นที่เกษตรกรรมจะเป็นมูลสัตว์และเศษพืชผลทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่

มูลฝอยเป็นวัฏการสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมูลฝอยจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี(ยกตัวอย่างเช่น มูลฝอยในเขตกรุงเทพมหานคร เมื่อปี พ.ศ. 2531 มีประมาณ 5000 ตัน/วัน แต่ในปี พ.ศ.2538 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 6,000 ตัน/วัน การที่มูลฝอยจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรม ซึ่งอัตราการผลิตมูลฝอยของประชากรในเขตกรุงเทพมหานครจะตก ประมาณ 1 กก./คน/วัน สำหรับในเขตเทศบาลและสุขาภิบาลต่าง ๆ จะมีอัตราการผลิตมูลฝอยของประชากร ประมาณ 0.4-0.84 กก./คน/วัน เมื่อมูลฝอยจำนวนมากแต่ชุมชนไม่สามารถเก็บขนและกำจัดมูลฝอยได้หมด หรือจัดการมูลฝอยไม่ถูกสุขลักษณะ (15)

ดังนั้นมูลฝอยจึงเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ

2.1 อากาศเสีย เกิดจากการเผามูลฝอยกลางแจ้ง ทำให้เกิดควันและสารมลพิษทางอากาศ ทำให้คุณภาพอากาศเสื่อมโทรม

2.2 น้ำเสีย เกิดจากการกองมูลฝอยบนพื้น เมื่อฝนตกลงมาบนกองมูลฝอยจะเกิดน้ำเสียมีความสกปรกมาก ซึ่งจะไหลลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดมลพิษของแหล่งน้ำ

2.3 แหล่งพาหะนำโรค เกิดจากการกองมูลฝอยบนพื้นเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของหนูและแมลงวัน ซึ่งเป็นพาหะนำโรคติดต่อ ทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

2.4 เหตุรำคาญและความไม่น่าดู เกิดจากการเก็บขนมูลฝอยไม่หมด รวมทั้งการกองมูลฝอยบนพื้น ซึ่งจะส่งกลิ่นเหม็นรบกวนประชาชนและเกิดภาพไม่สวยงาม ไม่เป็นสุนทรียภาพ

นอกจากปัญหาสิ่งแวดล้อมข้างต้นแล้ว มูลฝอยยังเป็นวัฏการสำคัญสำหรับปัญหาการจัดการมูลฝอยของหน่วยงานที่รับผิดชอบ ซึ่งจะต้องเพิ่มงบประมาณ บุคลากร อุปกรณ์การจัดการมูลฝอย รวมทั้งการให้ความรู้ทางวิชาการและเทคโนโลยีแก่เจ้าหน้าที่เพิ่มขึ้น ตามอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณมูลฝอย

เพื่อเป็นการป้องกันและแก้ไขปัญหาล้างแวดล้อม และปัญหาการจัดการมูลฝอย ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่งประการหนึ่ง รัฐบาลได้มีนโยบายและมาตรการในการส่งเสริมและสนับสนุนการลดปริมาณของเสียและการนำของเสียมาใช้ประโยชน์มาตั้งแต่ปี พ.ศ.2524

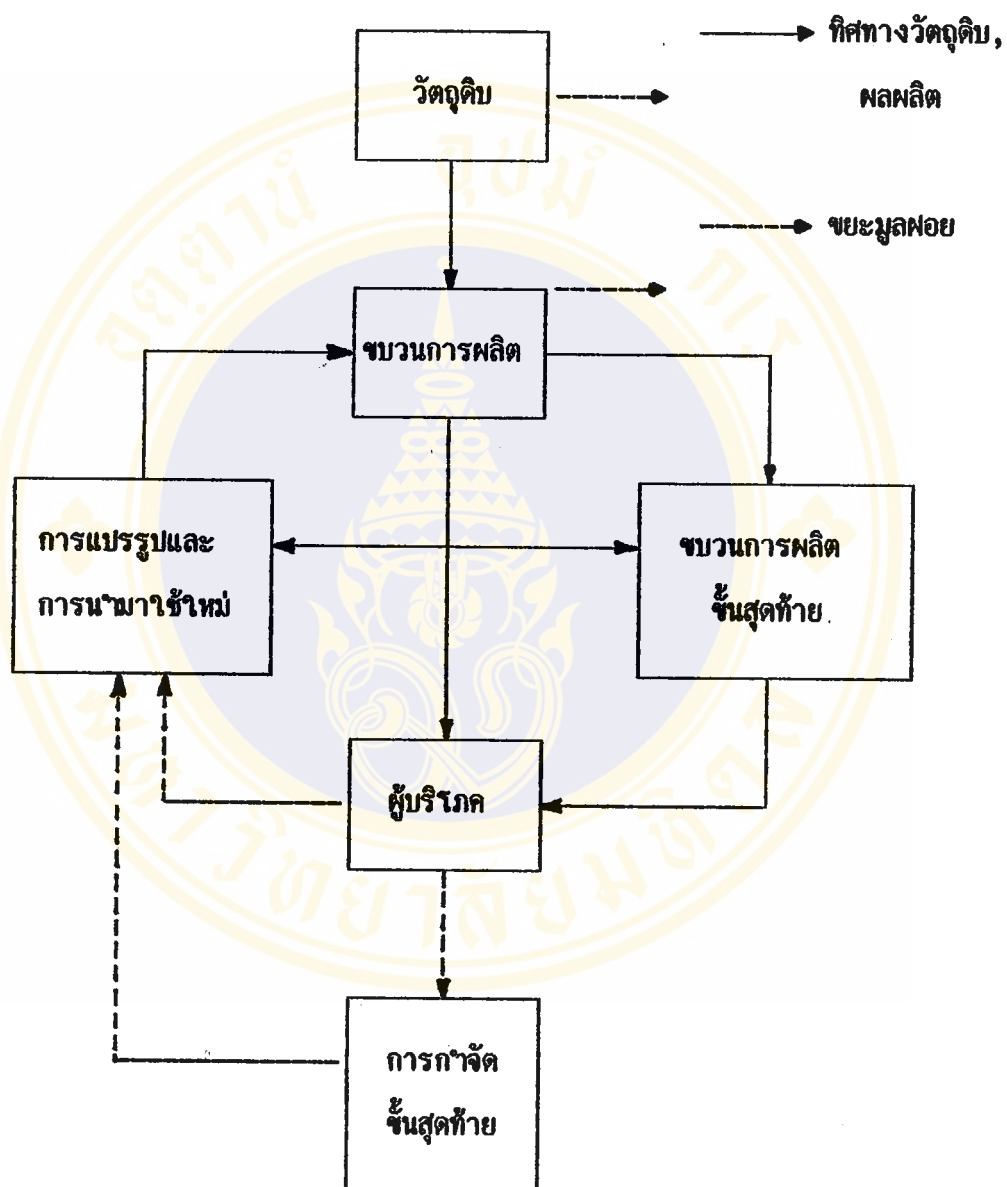
โดยในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2524 คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบให้มีนโยบายและมาตรการด้านการจัดการมูลฝอย ซึ่งพอสรุปได้ว่า จะให้มีการปรับปรุงกฎหมายเกี่ยวกับการรักษาความสะอาด ส่งเสริมการวิจัยและเทคโนโลยีเกี่ยวกับการจัดการของเสีย หาวีลลดปริมาณมูลฝอย เช่น การควบคุมมาตรฐานของขบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณมูลฝอย (Reduce) หาทางนำวัสดุเหลือใช้หรือผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุกลับมาใช้ใหม่เป็นวัสดุในการผลิต (Recycle) เป็นต้น

การลดปริมาณของเสีย หรือ รีไซเคิล เป็นการทำให้จำนวนหรือปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้นมีน้อยก่อนที่จะทิ้งของเสียเข้าสู่ระบบเก็บขนและระบบกำจัดของเสีย ยกตัวอย่างเช่น ก่อนเราจะทิ้งมูลฝอยลงถังรองรับมูลฝอย ก็ควรพิจารณาว่ามูลฝอยที่จะทิ้งนั้น สกปรกมากหรือไม่ หรือมูลฝอยนั้นจะเอาไปทำประโยชน์อย่างอื่นได้หรือไม่ ถ้าพิจารณาแล้วว่ามูลฝอยไม่สกปรกมาก และจะสามารถเอาไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ เราก็ไม่ทิ้งมูลฝอยนั้น ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของเสียนั่นเอง

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้และประสิทธิผลเมื่อมีการนำบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอูมิเนียม(กระป๋อง) กลับเข้าสู่กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ซึ่งบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอูมิเนียม(กระป๋อง)นี้ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Reused) ได้เหมือนดังเช่น บรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Reused) ได้ และในแนวคิดเพื่อการศึกษาี้ กระบวนการที่จะสามารถลดปริมาณของเสียก็คือกระบวนการหลอม ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งของกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ของของเสียประเภทโลหะ การนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและยังช่วยประหยัดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการจัดการปัญหาด้านขยะมูลฝอยอีกทางหนึ่งด้วย

ปัจจุบันมีการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพียงเพื่อที่จะสนองความต้องการของมนุษย์เพียงเท่านั้น จึงก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมามากมาย ผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ทำให้เขามารองรับความต้องการของมนุษย์มากมาย ทำให้เกิดการลดลงของทรัพยากรต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง และในขณะที่เดียวกันหากมีวิธีการหรือแนวทางในการลดการใช้ทรัพยากรได้ มนุษย์ก็สมควรยิ่งที่จะเลือกและนำาไปปฏิบัติ

1.2 แนวคิดของการศึกษา



รูปที่ 1. ห่วงการไหลของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 1. จะเห็นว่า ขยะมูลฝอยเกิดขึ้นได้อย่างไร และ ณ. จุดใดบ้างของสังคมที่มีการพัฒนาทางเทคโนโลยี และในการลดปริมาณขยะที่จะกำจัดในขั้นสุดท้ายให้น้อยลงได้นั้น สามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ (11)

1. การจำกัดปริมาณการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต

2. การเพิ่มอัตราการนำวัตถุดิบมาใช้ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ

ซึ่งวิธีการทั้ง 2 วิธีนี้ทั้งคู่เป็นวิธีที่ง่าย แต่ในทางปฏิบัติแล้วเป็นการยากมากทีเดียว เพราะในสังคมมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีในระดับสูง มักจะมีปริมาณความต้องการสินค้าสูงและนิยมที่จะใช้สิ่งของที่ใช้เพียงครั้งเดียว เช่น การใช้ถ้วยน้ำอัดลม กระป๋องน้ำอัดลม หรือแม้กระทั่งกล่องใส่อาหาร ซึ่งขยะมูลฝอยจากจุดนี้ถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างไม่เหมาะสมยิ่ง เพราะก่อให้เกิดประโยชน์น้อยมากเพียงชั่วระยะเวลาสั้น ๆ ในขณะที่ของเสียหรือขยะที่เกิดขึ้นนั้นมีปริมาณมาก และขยะต่าง ๆ เหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมอย่างยาวนาน

การที่จะใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพียงครั้งเดียวนี้อาจทำได้ในแนวทางหนึ่งนั่นคือ การเพิ่มอัตราการนำวัตถุดิบมาใช้ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ แต่ทั้งนี้ควรคำนึงถึงความเหมาะสม อีกทั้งจะต้องวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ทางเทคนิค, เศรษฐกิจ, สังคม และสิ่งแวดล้อม เข้าร่วมพิจารณาด้วย

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้เบื้องต้นในการนำบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม (กระป๋อง) กลับมาเข้าสู่กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) สามารถลดปริมาณการใช้ทรัพยากรในขนาดใด อีกทั้งถือเป็นการศึกษาการประหยัดต้นทุนในการผลิตได้อีกทางหนึ่งเช่นกัน

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.3.1 ศึกษากระบวนการใช้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการหลอม สำหรับผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม

1.3.2 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านโค้ก(Coke) กับ ก๊าซ-หุงต้ม(L.P.G.) เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการหลอมอลูมิเนียม

1.3.2 วิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้ ของการใช้เชื้อเพลิง สำหรับกระบวนการหลอมอลูมิเนียม

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 พื้นที่ศึกษาครอบคลุมเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยใช้สถานที่ทดลอง ณ.สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

1.4.2 ระยะเวลาทำการทดลอง เดือนมิถุนายน พ.ศ.2537 ถึง เดือน-กุมภาพันธ์ พ.ศ.2538

1.4.3 ศึกษาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการหลอมขยะจากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม

1.5 คำนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

กระบวนการหลอม (Melting process)	คือ	วิธีการที่ทำให้เกิดการหลอมตัวของวัสดุประเภทของแข็ง จนกลายเป็นของเหลว ณ.อุณหภูมิหลอมละลาย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับจากเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ
บรรจุภัณฑ์	คือ	ขยะจากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม(กระป๋องน้ำอัดลม)

อัตราการคืนมวล (Mass Rate of Return)	คือ	ความสามารถในการให้ผลตอบแทนผลผลิต เมื่อนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต
Heating Value (H.V.)	คือ	ค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงคายออกมาขณะเกิดการเผาไหม้ (Kcal/kg.)
ความเค้น (Stress)	คือ	กำลังดันที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุสองชิ้น หรือ กำลังดันภายในวัสดุชิ้นเดียวกัน
จุดอุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature Point)	คือ	จุด ณ. อุณหภูมิที่วัสดุได้รับความร้อนแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากสถานะของแข็งเป็นสถานะของเหลว
สารมลทิน (Slag)	คือ	กากของเสียที่เกิดขึ้นในเบ้าหลอมขณะที่วัสดุภายในเบ้าหลอมเกิดการหลอมเหลวแล้ว
เบ้าชนิด Clay Graphite	คือ	เบ้าหลอมชนิดที่ใช้ดินเหนียวและกราไฟท์เป็นส่วนผสมของวัสดุทำเบ้าหลอม
เบ้าชนิด Silicon Graphite	คือ	เบ้าหลอมชนิดที่ใช้ซิลิกอนและกราไฟท์เป็นส่วนผสมของวัสดุทำเบ้าหลอม
กระบวนการหลอมแบบไม่ต่อเนื่อง (Uncontinuous Melting Process)	คือ	วิธีการหลอมวัสดุ ซึ่งเมื่อทำการหลอมวัสดุหนึ่งเบ้าแล้วจะทิ้งให้เตาหลอมและเบ้าหลอมเย็นตัวสนิทจึงจะทำการหลอมครั้งต่อไป
กระบวนการหลอมแบบต่อเนื่อง (Continuous Melting Process)	คือ	วิธีการหลอมวัสดุ ซึ่งเมื่อทำการหลอมวัสดุหนึ่งเบ้าแล้ว สามารถทำการหลอมเบ้าต่อไปได้โดยไม่ต้องทิ้งให้เตาหลอมและเบ้าหลอมเย็นสนิทก่อนจะทำการหลอมครั้งต่อไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 เป็นแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอยประเภทที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสภาพแวดล้อม
- 1.6.2 สามารถลดปริมาณการใช้ทรัพยากรในกระบวนการผลิตได้
- 1.6.3 สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ จากขยะได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อลูมิเนียม (Al)(1)

สัญลักษณ์ A1

ความหนาแน่น 2.7 กก./คม.³

จุดหลอมเหลว 658°C

ความแข็งแรงดึง

อลูมิเนียมหล่อ 9-12 กก./มม.²

อลูมิเนียมอบเหนียว 7 กก./มม.²

อลูมิเนียมรีดแข็ง 13-20 กก./มม.²

อัตรายืดตัว 3-35%

อลูมิเนียมจัดอยู่ในจำพวกโลหะเบา (Light Metals) คือ อลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 4 กก./คม.³. อลูมิเนียมเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดีตัวหนึ่ง คุณสมบัติในการนำไฟฟ้าวัดได้ประมาณ 2/3 เท่าของทองแดง แต่เบากว่าทองแดง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเหมาะสมอย่างยิ่งกับงานขึ้นรูปโลหะ คือกระทำได้ง่ายไม่ว่าจะ ดึง อัด รีด ตัด เจาะ หล่อ-หลอมได้ง่าย รวมถึงการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องจักรเช่น กลึง ใส กัด ตัด และเจาะ ได้ดีอีกด้วย

อลูมิเนียม เป็นวัสดุประสมที่มีประโยชน์มากอย่างหนึ่งเพียงแต่ใช้อลูมิเนียมจำนวนเพียงเล็กน้อยประสมลงไปในโลหะประสมที่มีทองแดง แมงกานีส และแมกนีเซียม จะทำให้ความแข็งแรงและคุณสมบัติในงานกลึงให้ดีขึ้นอย่างมากอย่างประหลาด

บรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

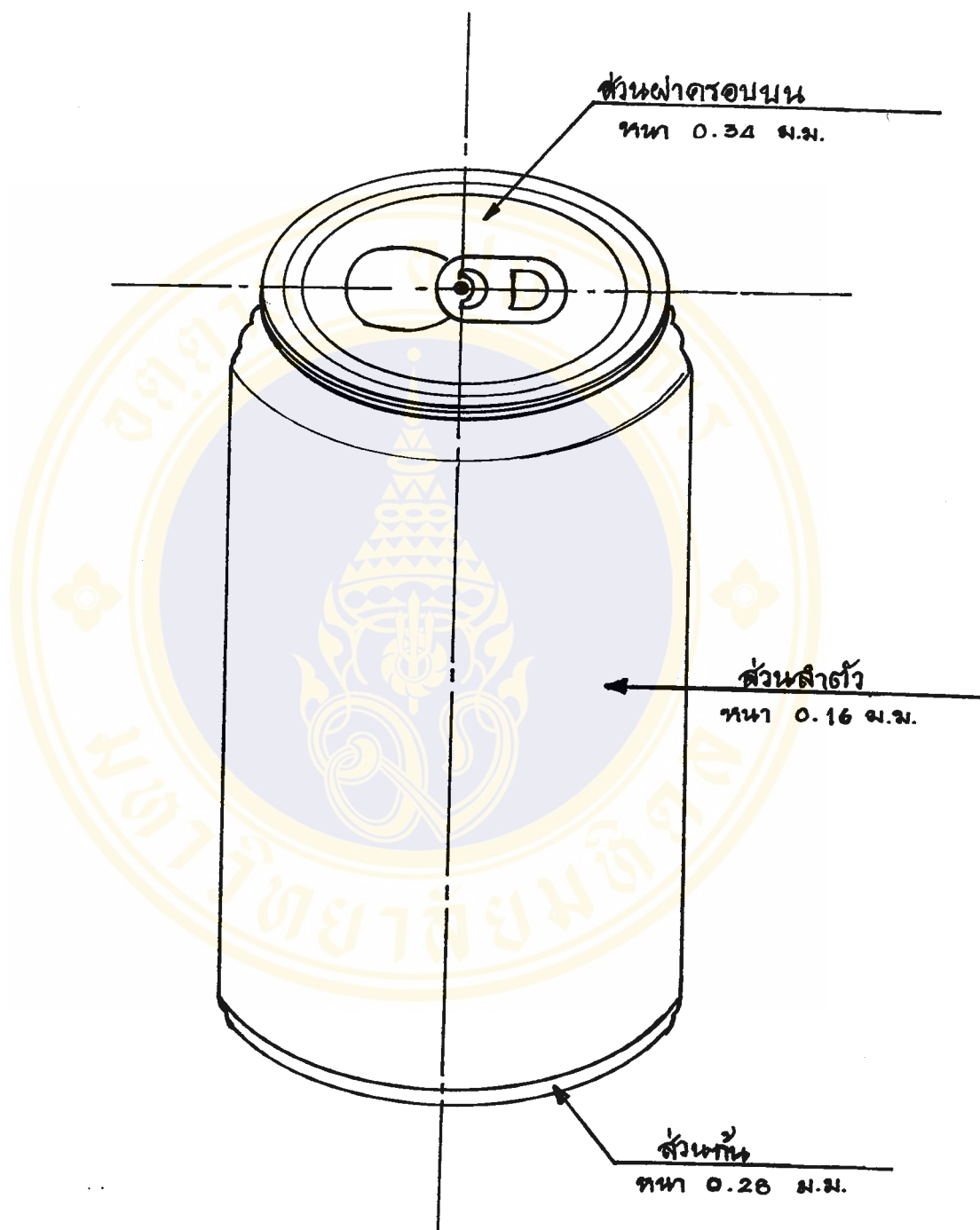
1. ตัวกระป๋อง (Body)
2. ฝาปิด (Cover)

ซึ่งจะใช้อลูมิเนียมผสม (Aluminium Alloy) ตาม The Aluminum Association Inc. ดังปรากฏในรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1. แสดงชนิดและส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ (ร้อยละ)

ธาตุที่ผสม	ชิ้นส่วน(ชนิด)	ตัวกระป๋อง (3004)	ฝาปิด (5052)
ซิลิกอน (Si)		ไม่เกิน 0.30	ไม่เกิน 0.25
เหล็ก (Fe)		ไม่เกิน 0.70	ไม่เกิน 0.40
ทองแดง (Cu)		ไม่เกิน 0.25	ไม่เกิน 0.10
แมงกานีส (Mn)		1.00 – 1.50	ไม่เกิน 0.10
แมกนีเซียม (Mg)		0.80 – 1.30	2.20 – 2.80
โครเมียม (Cr)		-	0.15 – 0.35
นิกเกิล (Ni)		-	-
สังกะสี (Zn)		ไม่เกิน 0.25	ไม่เกิน 0.10
ติตานิยม (Ti)		-	-
ธาตุอื่น ๆ		ไม่เกิน 0.15	ไม่เกิน 0.15
อลูมิเนียม (Al) MAX :		96.55	96.55
MIN :		95.55	95.75

- : ที่มา 1. บริษัททางกอกแคน จำกัด ฝ่ายการผลิตผลิตภัณฑ์
2. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม "อลูมิเนียมแผ่นหนาและแผ่นบาง"
มอก.331-2523. เล่มที่ 97 ตอนที่ 58. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์
อุตสาหกรรม, 14 เมษายน พ.ศ. 2523 ; 25 หน้า



รูปที่ 2. แสดงภาพรวมของบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทออลูมิเนียม

รายละเอียดประกอบบรรจุภัณฑ์เครื่องเค็ม

หัวข้อ

รายละเอียด

1. ส่วนฝาครอบบน ทำจาก Aluminum Alloy (5052)
มีความหนาโดยเฉลี่ย 0.34 มม.
Ø ภายใน = 58.80 มม.
Ø ภายนอก = 59.62 มม.
2. ส่วนลำตัวบรรจุภัณฑ์
ประกอบด้วย - ส่วนลำตัว ทำจาก Aluminum Alloy (3004)
มีความหนาโดยเฉลี่ย 0.16 มม.
Ø ภายนอก = 65.60 มม.
- ส่วนก้น ทำจาก Aluminum Alloy (3004)
มีความหนาโดยเฉลี่ย 0.28 มม.
Ø ส่วนแคบสุด = 48.10 มม.
Ø ส่วนกว้างสุด = 56.60 มม.

โดยส่วนฝาครอบบนจะมีน้ำหนักเฉลี่ย 5.2744 กรัม หรือประมาณ 32.16 %
ของน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด และ ส่วนลำตัวบรรจุภัณฑ์จะมีน้ำหนักเฉลี่ย 11.1261 กรัม
หรือประมาณ 67.84 % ของน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด

2.2 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการหลอม

พลังงานที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้พลังงานจาก 2 แหล่งใหญ่คือ(17)

1. พลังงานจากถ่านโค้ก (Coke)
2. พลังงานจากก๊าซหุงต้ม (L.P.G.)

2.2.1 พลังงานจากถ่านโค้ก(Coke)

ถ่านโค้ก(Coke) เป็นคาร์บอนชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous carbon) สัญลักษณ์ทางเคมี คือ "C" ซึ่งถ่านโค้ก(Coke) มีค่า Heating Value (H.V.) = 2118 Kcal/kg.

ในกระบวนการหลอมเมื่อใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงนั้น การคำนวณหาปริมาณถ่านโค้กจะไม่มีปริมาณที่ตายตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ คือ

- ก. ขนาดของเตาหลอม (เส้นผ่าศูนย์กลางภายในเตาหลอม)
- ข. ขนาดของเบ้าหลอม (ขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกเบ้าให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการที่จะหลอมวัสดุ)
- ค. ชนิดของวัสดุที่จะหลอม

ฉะนั้นจึงไม่มีทฤษฎีตายตัวในการคำนวณหาปริมาณการใช้ถ่านโค้กในการหลอม เว้นแต่จะทราบขนาดของเบ้าหลอม ขนาดของเตาหลอม และชนิดของวัสดุที่จะใช้หลอมจึงจะสามารถระบุปริมาณของถ่านโค้กที่จะใช้ในการหลอมได้

2.2.2 พลังงานจากก๊าซแอลพีจี(L.P.G.)

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่ในประเทศ เป็นผลผลิตส่วนที่เบาที่สุดที่ควบแน่นได้ ภายใต้อุณหภูมิและความดันไม่สูงนักจากการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งมีส่วนผสมระหว่าง โพรเพน (C_3H_8) และ บิวเทน (C_4H_{10}) ที่เรียกกันว่าก๊าซหุงต้ม(Cooking Gas) หรือศัพท์ที่ถูกต้องทางอุตสาหกรรมคือ ก๊าซแอลพีจี(Liquefied Petroleum Gas,L.P.G.) ซึ่งก๊าซชนิดนี้ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนเป็นเชื้อเพลิงหลัก และมีค่า Heating Value (H.V.)= 11,158 Kcal/kg.(12)

อนึ่งพลังงานจากก๊าซแอลพีจี (L.P.G.) ในกระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซแอลพีจี เป็นเชื้อเพลิงนั้น สามารถระบุปริมาณการใช้ก๊าซในการหลอมได้ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด กล่าวคือ ปริมาณการสันดาปสามารถควบคุมให้สม่ำเสมอได้ง่าย การสูญเสียพลังงานความร้อนขณะหลอมมีน้อย เนื่องจากไม่ต้องทำการเปิดฝาท่อเตาบ่อย ๆ การสันดาปเป็นไปโดยสมบูรณ์ก่อให้เกิดมลภาวะน้อยมาก

2.3 กระบวนการหลอมวัสดุโดยใช้ถ่านโค้ก

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการหลอมโดยใช้ถ่านโค้กประกอบด้วย

1. เตาหลอม (Furnace)
2. ฝาท่อเตา (Furnace cover)
3. เบ้าหลอม (Crucible)
4. ถ่านโค้ก (Coke)
5. เครื่องเป่าลม (Air Blower)

2.4 กระบวนการหลอมวัสดุโดยใช้ก๊าซแอลพีจี

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการหลอมนี้จะประกอบด้วย

1. เตาหลอม (Gas Furnace)
2. ฝาท่อเตา (Furnace Cover)
3. เบ้าหลอม (Crucible)
4. ระบบท่อส่งก๊าซ (Piping System)
5. หัวพ่นก๊าซ (Nozzle Burner)
6. ลิ้นควบคุมปริมาณก๊าซเผาไหม้ (Valve)
7. มาตรวัดความดัน (Pressure Gauge)
 - 7.1 มาตรวัดความดันใช้งาน
 - 7.2 มาตรวัดความดันหัวถัง
8. ถังก๊าซ (Gas Tank)

2.5 การศึกษาประสิทธิภาพของเตาหลอม

การศึกษาประสิทธิภาพของเตาหลอมจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะศึกษา คือ (18)

1. ศึกษาจากอัตราการสึกกร่อนของผนังเตา (Corrosive) ที่เกิดขึ้นจากการหลอมภายใต้กระบวนการหลอมนั้น ๆ
2. ศึกษาจากความเสี่ยงเชื้อเพลิงและความต่อเนื่องในการหลอม ซึ่งการศึกษานี้จะทำให้ทราบถึงความเหมาะสมที่จะเลือกใช้งานของกระบวนการหลอมนั้น ๆ ได้

การคำนวณปริมาณด้านเร็กเพื่อการหลอม

ด้านเร็กที่ใช้ในการหลอมจะต้องนำมาทำการลดขนาดให้เล็กลง โดยจะควบคุมขนาดประมาณ 2.5 - 5 ซม. ดังรูปที่ 3.



รูปที่ 3. แสดงด้านเร็กที่นำมาทำการลดขนาดให้เล็กลง

ทั้งนี้ เพื่อการควบคุมปริมาณการลุกไหม้ของด้านเร็กให้มีปริมาณการลุกไหม้ให้ทั่วถึงทั้งก่อนด้านเร็กและทั่วถึงทั้งเตาหลอม

ปริมาณด้านเร็กที่ใช้ในการหลอมโดยเฉลี่ยต่อกิโลกรัม สามารถคำนวณได้จาก ปริมาณด้านเร็กที่ใช้ในการหลอมทั้งหมด (ก.ก) ลบ ปริมาณด้านเร็กคงเหลือภายหลังการหลอม (ก.ก)

โดยกำหนดสัญลักษณ์ในการคำนวณด้านเร็ก

$$C_t = C_i - C_0$$

C_t = ปริมาณด้านเร็กที่ใช้ในการหลอมเฉลี่ยต่อ 1 กิโลกรัม

C_i = ปริมาณด้านเร็กที่เติมในระหว่างการหลอม (กิโลกรัม)

C_0 = ปริมาณด้านเร็กที่คงเหลืออยู่หลังจากการหลอม (กิโลกรัม)

การคำนวณปริมาณก๊าซเพื่อการหลอม

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หมายถึง ก๊าซไฮโดรคาร์บอนชั้นคุณภาพทางการค้าดังต่อไปนี้ อย่างเป็นอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างผสมกันทั้งที่อยู่ในสภาพก๊าซและของเหลว

โพรเพน (Propane)

โพรเพน (Propene)

บิวเทน (Butanes)

บิวทีน (Butenes)

คุณลักษณะของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG.)

1. มีกลิ่นของเมอแคปเทน (Mercaptan)
2. ความดันไอที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส ต้องไม่เกิน 1380 กิโลปาสกาลมาตร (200 psig) และมีค่าไม่เกินค่าความดันไอที่คำนวณได้จากค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส จากสูตร

$$\text{ความดันไอ} = 6.89 (1167 - 1880 \times \text{ความหนาแน่นสัมพัทธ์})$$

(กิโลปาสกาล)

3. จุดเดือดที่ความดัน 101 กิโลปาสกาล (760 มิลลิเมตรปรอท) ของส่วนที่เหลือเมื่อก๊าซปิโตรเลียมเหลวระเหยไปแล้ว 95 % ของปริมาตร ต้องไม่สูงกว่า 2.2 องศาเซลเซียส

4. เพนเทนและสารไฮโดรคาร์บอนอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าเพนเทนมีได้ไม่เกิน 2 % ของปริมาณก๊าซปิโตรเลียมเหลว
5. น้ำ ต้องไม่มีน้ำให้เห็น เมื่อตรวจพินิจตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่าความหนาแน่น

วิธีคำนวณน้ำหนักสุทธิของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่บรรจุ

$$\text{น้ำหนักสุทธิ} = W_1 - W_0 - W_2$$

(กิโลกรัม)

เมื่อ W_1 = น้ำหนักถังบรรจุพร้อมด้วยก๊าซที่บรรจุ (กิโลกรัม)

W_0 = น้ำหนักถังเปล่า (กิโลกรัม)

W_2 = น้ำหนักของน้ำที่ถ่ายออกมาได้ (กิโลกรัม)

ก๊าซ LPG ที่ใช้ในการหลอมใช้ก๊าซซึ่งมีถังบรรจุขนาด 50 ลิตร ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ขึ้นตอนต่าง ๆ ในการหลอมชนิดนี้ควบคุมแรงดันใช้งานที่ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งในการหลอมชนิดนี้สามารถคำนวณได้ปริมาณการใช้ก๊าซได้จากสูตร

$$1 + 2 + 3$$

$$\text{ปริมาณการใช้ก๊าซ} = \text{ปริมาณก๊าซทั้งหมด} - \text{ปริมาณก๊าซภายในถัง} \\ \text{เพื่อการหลอม (P)}$$

1

โดยปริมาณก๊าซภายในถัง คำนวณได้จากสูตร 2

$$Q_j = P \times V$$

2

เมื่อ Q_j = จำนวนก๊าซภายในถัง (คม.³/ลิตร)

P = ความดันที่วัดได้ภายในถัง (วัดจากมาตร) (bar.) (kg./cm.²)

V = ปริมาตรถัง (ลิตร)

ปริมาณก๊าซที่ใช้ทั้งหมดเพื่อการหลอมจริงจะ เท่ากับ

$$Q_T = \frac{Q_j \times k}{1000}$$

3

เมื่อ Q_T = ปริมาณก๊าซที่ใช้เพื่อการหลอม (คม.³/ลิตร)

k = ค่าคงที่ของมวลก๊าซ LPG (ก.ก) ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร
= 0.5077 ก.ก

: ที่มา มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม "ก๊าซปิโตรเลียมเหลว" มอก.450-2525
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม:กระทรวงอุตสาหกรรม. 11 มีนาคม
พ.ศ. 2526 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 100 ตอน 33.

2.6 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

จุดประสงค์สำคัญของผู้เลือกใช้กระบวนการหลอม คือ ต้องเป็นกระบวนการที่เชื่อมั่นได้ในระดับราคาต้นทุนและค่าใช้จ่ายดำเนินการที่ประหยัด มีการได้เปรียบเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างเด่นชัดให้ผลตอบแทนคุ้มทุน ซึ่งจะไม่ต้องพิจารณาเพราะเกิดความชัดเจนในด้านค่าใช้จ่ายและอายุการใช้งานของกระบวนการนั้น ๆ แล้ว โดยทั่วไปไม่มีกระบวนการใดที่ได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์อย่างเด่นชัด กระบวนการหนึ่งอาจมีราคาที่ถูกลงกว่า แต่มีความยุ่งยากของกระบวนการมากกว่า การลงทุนเริ่มต้นสูงกว่ามาก เกินไปก็อาจจะถูกตัดจากการพิจารณาไม่ได้ เป็นต้น ฉะนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตนั้น ๆ

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการหลอมวัสดุมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ เช่น ต้นทุนของกระบวนการ ประสิทธิภาพของกระบวนการ อายุการใช้งานราคาพลังงานในท้องถิ่น ค่าบำรุงรักษา ความซับซ้อนของการปฏิบัติงานในกระบวนการนั้น ๆ ซึ่งต้องนำมาประกอบการตัดสินใจ ดังนั้นรายละเอียดของการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ จึงขึ้นอยู่กับขอบเขตของการศึกษาด้วย(6)

พหุวิธีทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเปรียบเทียบความได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์ของการเลือกกระบวนการหลอมโดยส่วนใหญ่จะ เปรียบเทียบในลักษณะของ

1. มูลค่าปัจจุบัน (Present worth)
2. มูลค่าเทียบเท่าในระยเวลานาน ๆ (Annual Equivalent)
3. อัตราผลตอบแทน (Rate of Return)
4. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ซึ่งจะเปรียบเทียบการได้เปรียบเสียเปรียบทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการหลอมที่ใช้ก๊าซและถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง สามารถเปรียบเทียบได้ 2 ลักษณะคือ

1. เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย
2. เปรียบเทียบผลตอบแทนการลงทุน

1. ต้นทุนเริ่มแรก (Initial Cost)

ต้นทุนเริ่มแรก (C_i) สามารถคำนวณค่าใช้จ่าย

$$C_i = C_1.V + C_2.A.V. + C_3V$$

เมื่อ C_1 = ค่าใช้จ่ายของเตาหลอมต่อปริมาตรการหลอม (บาท)

V = ปริมาตรการหลอม (ก.ก)

C_2 = ค่าใช้จ่ายของเบ้าหลอมต่อปริมาตร (บาท)

A = ปริมาณของเตาหลอมที่หลอมได้ (ก.ก)

C_3 = ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น ค่าติดตั้ง ฯลฯ (บาท)

2. ค่าใช้จ่ายระหว่างอายุการใช้งาน (Operating Cost)(14)

ค่าใช้จ่ายในช่วงระยะเวลา n ปีของการใช้งาน

มูลค่าเทียบเท่าของค่าใช้จ่ายระหว่างอายุการใช้งาน (The Annual Operating Cost) ของกระบวนการหลอมขึ้นด้วย

1. ต้นทุนทั้งหมด
2. ค่าบำรุงรักษา
3. มูลค่าซาก

การคำนวณต้นทุนรายปี สามารถคำนวณได้โดย

$$\begin{aligned} C_a &= (C_1.V + C_2 AV + C_3V) CRF + M \\ &= (C_i.CRF) + M - S'(SFF) \end{aligned}$$

เมื่อ C_a = จำนวนเงินต่อหน่วยเวลา (บาท)

CRF = Capital Recovery Fator

$$[i(1+i)^n / (1+i)^n - 1]$$

i = อัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยราคา

n = จำนวนหน่วยเวลา (ปี)

M = ค่าบำรุงรักษาต่อปี (บาท)

S' = มูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน (บาท)

SFF = Sink Fond Factor

$$[i / ((1+i)^n - 1)]$$

เกณฑ์การตัดสินใจเลือกกระบวนการหลอม

ในการตัดสินใจเลือกกระบวนการหลอม จะต้องพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์ กล่าวคือจะต้องพิจารณาในส่วนของการใช้จ่าย ผลตอบแทนหรือผลตอบแทนสุทธิ แล้วนำไปวินิจฉัยว่าการลงทุนนั้น ๆ จะได้รับผลตอบแทนคุ้มหรือไม่

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

วิเคราะห์จากพลังงานที่ใช้สู่กระบวนการเปรียบเทียบกับพลังงานชนิดอื่น แล้วหาผลตอบแทนการลงทุน ซึ่งมีค่าเท่ากับ ราคาพลังงานที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงลบค่าใช้จ่ายดำเนินการ

$$CI (CRF) - S' (SFF) = a - b$$

เมื่อ a = รายรับต่อหน่วยเวลา

b = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

ค่าซ่อมบำรุงรักษาต่อหน่วยเวลา

เกณฑ์การตัดสินใจจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value method หรือ NPV.)

มูลค่าสุทธิในปัจจุบันของการลงทุน คือ ผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับค่าของเวลา เพื่อพิจารณาว่าการลงทุนจะให้ผลตอบแทนคุ้มหรือไม่ มีกำไรต่อส่วนรวมหรือไม่ กล่าวคือหากค่าของ NPV. ที่ได้ออกมามีค่า มากกว่า 0 หรือเป็น (+) ก็เป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่หากค่าของ NPV. ที่ได้ออกมามีค่าต่ำกว่า 0 หรือเป็น (-) แสดงว่าการลงทุนนั้นจะไม่คุ้มค่า เกณฑ์นี้จึงนำมาใช้เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธการลงทุน

ส่วนการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถดำเนินการได้ในสองวิธีด้วยกัน คือ เริ่มด้วยการปรับค่าของเวลาของการใช้จ่าย และ ของผลตอบแทนเป็นรายปีไปจนถึงตลอดอายุของการลงทุนเพื่อให้เป็นค่าปัจจุบัน เมื่อนำมาหักลบกันจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน หรือจะคำนวณหาโดย นำค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นของการลงทุนหักออกจากผลตอบแทนเป็นรายปี เพื่อให้ได้ผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสด (Cash Flow) ในแต่ละปี หลังจากนั้นทำการปรับค่าของเวลาของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ซึ่งก็คือ คูณด้วย PWF. หรือ

$1/(1+i)^n$ ซึ่งการหาค่าของ PWF. จะไม่ยุ่งยากแต่ประการใด เมื่อปรับค่าของเวลาแล้วก็จะได้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดเป็นรายปี และเมื่อรวมเข้าด้วยกันทุกปีจะเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน บางครั้งเราเรียกวิธีการวัดค่าการลงทุนแบบนี้ว่า "Discounted Cash Flow Method"

สำหรับการลงทุนนี้ ได้กำหนดให้อัตราดอกเบี้ยหรือผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ " 13 % "

อัตราผลตอบแทนต่อเงินลงทุน(Benefit Cost Ratio หรือ B/C Ratio)

การวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อการลงทุน (Benefit-Cost) เป็นวิธีหลักที่ใช้กันในการประเมินค่าของการลงทุนต่าง ๆ และจะยอมรับการลงทุนนั้นเมื่ออัตราส่วนของผลประโยชน์กับเงินลงทุนมีค่ามากกว่า 1 หรือมีค่าความแตกต่างของผลประโยชน์และเงินลงทุนเป็นบวก การเพิ่มของอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน(B/C) ควรจะมีค่าเกิน 1 และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนที่มีค่ามากกว่า 1 คือ กฎเกณฑ์มาตรฐานของการยอมรับขั้นต่ำ แต่จะไม่มีผลต่อหลักเกณฑ์ในการจัดอันดับ สำหรับวิธีการคิดส่วนลดการคำนวณทางปฏิบัติและพิจารณาการจัดสรรเงินลงทุนจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันทุก ๆ การลงทุน

อัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสม สำหรับการประเมินค่าสำหรับการลงทุนจะใช้อัตราผลตอบแทนที่ต่ำสุด นอกจากนั้นถึงแม้ว่าหลักเกณฑ์เบื้องต้นสำหรับการตัดสินใจ อาจจะใช้คำนวณในเทอมของผลประโยชน์และเงินลงทุน แต่การเลือกค่าหนึ่งจะเป็นการกำหนดมาตรฐานสำหรับการตัดสินใจในการลงทุน

เกณฑ์นี้แสดงถึง อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย ซึ่งในที่นี้ก็คือ ค่าใช้จ่ายทางด้านทุน(Capital) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาหรือกล่าวอีกนัยคือ หมายถึงค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นที่ไม่มีการแบ่งแยกว่าเป็นค่าใช้จ่ายประเภทใด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ B/C Ratio คือ

$$\begin{aligned} B/C &= PV \text{ of Benefits} / PV \text{ of Costs} \\ &= [\sum_{t=1}^n B_t / (1+i)^t] / [\sum_{t=1}^n C_t / (1+i)^t] \end{aligned}$$

เมื่อ B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t
 C_t = ค่าใช้จ่ายในปีที่ t และ
 t = ปีของการลงทุนมีค่า $1, 2, \dots, n$
 i = อัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสม

เกณฑ์การวัดค่าการลงทุนตามวิธีนี้ อาจจะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับ NPV. ทั้งนี้ เพื่อป้องกันความผิดพลาด เพราะการลงทุนโครงการใหญ่ ๆ ที่มีผลตอบแทนสูงและในขณะ เดียวกันก็มีค่าใช้จ่ายที่สูงตามไปด้วย ฉะนั้นถึงแม้ B/C จะเกิน 1 แต่อาจจะไม่มากทั้งที่ โครงการนี้อาจทำให้รายได้ทั้งหมดมากกว่าโครงการอื่นที่เล็กกว่า และมีค่า B/C ratio สูงกว่าก็เป็นได้

:ที่มา ประกอบ บุญยงค์. "วิเคราะห์การตัดสินใจลงทุนสำหรับการบริหารและวิศวกรรม". พิมพ์ครั้งที่ 2/2532.

2.7 การตรวจสอบวัสดุทางโลหะวิทยา

(Metallographic Investigation Methods)

จุดประสงค์: เพื่อที่จะดูโครงสร้างเม็ดเกรนของชิ้นทดสอบด้วยวิธีมหภาค(Macroscopic) และวิธีจุลภาค (Microscope) ในการให้ข้อมูลและความหมายคุณสมบัติให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทราบได้ ส่วนเนื้อหาของธาตุอื่นจะทำให้ทราบถึงปฏิกิริยาที่มีผลต่อกรรมวิธีการผลิตหรือต่อการรับภาระที่แน่นอนได้

การตรวจสอบวิธีนี้ เป็นวิธีการตรวจสอบทางโลหะวิทยาวิธีหนึ่งที่จะหาข้อผิดพลาดในการผลิตหรือให้ข้อมูลเกี่ยวกับกรณีความเสียหายของวัสดุได้(5)

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macroscopic)

เป็นการตรวจสอบที่สามารถมองด้วยตาเปล่าหรือขยายไม่เกิน 50 เท่า โดยผิวชิ้นทดสอบไม่จำเป็นต้องผ่านการเตรียมพิเศษก็ได้ การตรวจสอบนี้เพื่อจะทราบรอยร้าว รุพ-run การแยกชั้น การตรวจคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูป และการใช้ประโยชน์ทางมาโครแฟร็กโตกราฟี(Macro-fractography) ในการวิเคราะห์ของรอยแตกประเภทต่าง ๆ เช่น การทดสอบแรงดึง ดีกระแทก หรือเกิดจากกรณีการเสียหายที่เกิดขึ้น โดยการใช้เลนส์ขยายส่องดูลักษณะรอยแตกเหนียว(Ductile Fracture) หรือรอยแตกเปราะ(Brittleness Fracture) ตำหนิของวัสดุ เช่น ขี้ตะกรันฝังใน เป็นต้น

วิธีการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ

วิธีการใช้สารสกัด (Etching Macroscopic)(16)

เป็นวิธีการที่ให้ข้อมูลในการตรวจสอบตำแหน่งที่แน่นอนตามหน้าตัดชิ้นทดสอบได้

เช่น ก) ตำหนิ : รุอาภาศ รุพ-run รอยร้าว ผิวเกย(Overlapping) รอยแตก

ข) การเปลี่ยนโครงสร้าง (Transition Structure): การเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) ของโครงสร้างของวัสดุที่ผ่านกระบวนการผลิต ตลอดจนถึงอิทธิพลของความร้อนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของวัสดุ

การเตรียมการตรวจสอบ

จะต้องมีการตัดหน้าตัวอย่างมาทดสอบ การตัดจะต้องระวังไม่ให้โครงสร้างเสียรูปโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากนั้นจึงนำมาขัดผิวให้ละเอียด (จะกล่าวในขั้นตอนการปฏิบัติต่อไป) มีการใช้สารกัดผิว (ก่อนกัดกรดผิวต้องปราศจากจาระบี น้ำมัน)

วิธีกัดผิวของตุกเกอร์ (Tucker-etching) เป็นวิธีการพิสูจน์หาขนาดเม็ดเกรนจากขบวนการตกผลึกใหม่ (Recrystallization) สำหรับอะลูมิเนียมเจือที่นำมาทำการเตรียมผิวชิ้นงาน (13)

ตารางที่ 2. แสดงวิธีกัดผิวของตุกเกอร์

วิธีกัดผิวของตุกเกอร์		
การกัดผิวเพื่อพิสูจน์หาขนาดเม็ดเกรนหลักจากการตกผลึกใหม่		สำหรับอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเจือ
1	การกัดผิว เวลากัดผิว 1/2 ถึง 1 นาที ล้างด้วยน้ำอย่างระมัดระวัง ล้างด้วยแอลกอฮอล์แล้วเป่าให้แห้ง	สารละลายกัดตามตุกเกอร์ 15 ml กรดฟลูออโรไฮดริก 40% 42ml กรดเกลือ (1,19) 16 ml กรดดินประสิว (1,4) 27ml น้ำกลั่น
2	การวิเคราะห์ผลของชิ้นงานกัดผิวให้เห็นความเด่นชัดของโครงสร้างได้	

ตารางที่ 3. ใบรายงานที่ตรวจสอบคู่มือโครงสร้างมหภาคด้วยการกัดผิว

การทดสอบที่	รายงานที่ตรวจสอบคู่มือโครงสร้างมหภาคด้วยการกัดผิว		ใบงานที่
วัน เดือน ปี ทดสอบ	กลุ่มที่.....	ระดับชั้น.....	ผู้ตรวจสอบ.....
วิธีการกัดผิว ตุกเกอร์	สารละลายกัดผิวตาม - กรด HF (ไฮดรอฟลูออริกซ์) 1/2-2 ml. ฟลูออไฮดริก 40 % - น้ำกลั่น 120 ml		ส่วนเจือของสารละลายกัดผิว: HF 1.5 ml น้ำกลั่น 20 ml เหมาะสำหรับ :
ชิ้นทดสอบ	วัสดุ อลูมิเนียมหล่อ	ข้อสังเกต เป็นวัสดุที่หลุดจากบรรจุภัณฑ์	
เงื่อนไขการทดสอบ	ระยะเวลากัดผิว อุณหภูมิกัดผิวและอื่น ๆ 1/4 - 1/2 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น - ล้างด้วยแอลกอฮอล์ แล้วเป่าให้แห้ง Temp. 25°C		
การอ้างอิงทางเอกสาร	รูปถ่าย แผ่นภาพพิมพ์ หรืออื่น ๆ (บอกมาตราส่วนถ้ามี)		
ผลที่ได้	สรุปผล :		

2.8 การทดสอบความต้านแรงดึง (TENSILE TEST)

วิธีทดสอบแรงดึงแมคานิกส์ (Mechanical Test)

ประเภทของการทดสอบแบบแมคานิกส์(13)

การทดสอบความเค้นแบบสถิต (Static Strength Test) เช่น การทดสอบด้วยการดึง (Tensile Test) ซึ่งมีความสำคัญที่สุดในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุประเภทโลหะและอโลหะ วัสดุที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าชนิดเดียวกันว่าจะสามารถรับภาระได้สูงกว่าวัสดุที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่าได้เท่าไร ในการหาความเค้นจึงจำเป็นต้องมีแท่งทดสอบหรือชิ้นทดสอบ(Specimen) ที่มีขนาดสัดส่วนเป็นมาตรฐาน เช่น ชิ้นทดสอบที่มีสัดส่วนกัน (Proportional) จะมีความยาวก่อนดึง $L_c = L_0 + d_0$ ชิ้นทดสอบที่มีสัดส่วนเท่ากัน จะนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบได้ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นสอบจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากก็ได้

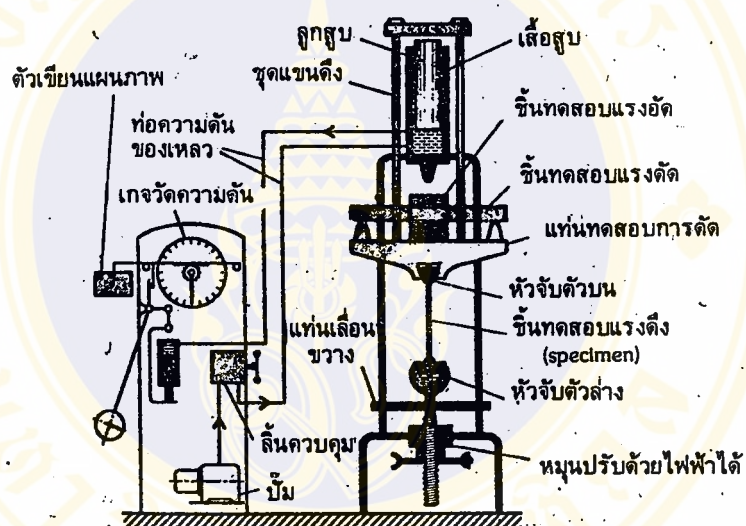
จุดประสงค์การทดสอบด้วยแรงดึง : เพื่อหาความต้านแรงดึง (Tensile Stress), จีดจำกัดความยืดหยุ่น(Elastic limit) และความยืดหยุ่น (Elongation) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย A

ก่อนการทดสอบแรงดึง จะกำหนดแรงที่กระทำต่อพื้นที่เป็นความเค้น = แรงดึง/พื้นที่หน้าตัดชิ้นทดสอบก่อนดึง = F/S_0 ค่าความเค้นที่กำหนดตามเส้นแผนภาพจะอยู่แกน Y และค่าความยืดของชิ้นทดสอบจะเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อความยาวแกน X

R_m = ความเค้นดึงอันติมา(Ultimate Stress) ที่ชิ้นทดสอบหรือวัสดุนั้น ๆ รับไว้ได้ จะสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ความเค้นดึงสูงสุด } (R_m) = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด } (F_m)}{\text{พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง } (S_0)}$$

σ_B ความเค้นแตกหัก (Breaking Stress หรือ Fracture Stress หรือ Rupture Stress) เมื่อแรงถึงถึงจุด R_m แล้ว ชิ้นทดสอบจะยืดตัวออกเองโดยพื้นที่หน้าตัดในชิ้นทดสอบจะลดน้อยลง (Reduction In Area) เมื่อถึงจุด σ_u ก็ขาดออกจากกันความยืดตัวจนขาด (A) ที่จุด σ_u จะสามารถบอกได้ว่า วัสดุนั้นเปลี่ยนรูปหรือมีความเหนียวเป็นอย่างไร ด้วยเหตุนี้วัสดุที่มีความยืดที่ยาวกว่าย่อมจะเหมาะสำหรับการเปลี่ยนรูปได้ดีกว่าวัสดุที่สั้นกว่า



รูปที่ 4. เครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

ในการทดสอบแรงดึงชิ้นทดสอบจะถูกยึดอยู่ที่หัวจับทั้งสอง นั้นมันไฮดรอลิกจากปั๊มที่ไหลตามท่อล่าง จะดันลูกสูบไปดันแท่นบนสุดให้ดึงแท่นข้างล่าง ให้ดึงชิ้นทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะที่ความดันของเหลวในท่อนจะมาดันให้ระบบกลไกทางกลให้มาตรวัดขึ้นบอกความเค้นได้ และกลไกจะดันให้ตัวเขียนเส้นแผนภาพความต้านแรงดึงความยืดของชิ้นทดสอบจนขาดออกจากกัน ในเครื่องนี้ยังสามารถทดสอบ แรงอัด แรงดึง แรงเฉือน ของชิ้นงานได้อีกด้วย

กฎของฮุก (Hook's Law)

เส้นตรงที่เริ่มจาก 0 ไปถึงจุด σ_p ค่าความต้านแรงดึงจะเป็นสัดส่วนกับความเครียด(Strain) จะได้ (3)

$$\text{ความต้านแรงดึง/ความเครียด} = \text{ค่าคงที่}$$

$\tan \alpha = \sigma/\epsilon = E = \text{โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)}$
หรือโมดูลัสของยัง (Young's Modulus) เมื่อความต้านทานแรงดึงอยู่ ณ จุดใด (ถึง R_m) จะใช้สูตรความต้านแรงดึง (N/mm^2)

เมื่อ F = แรงดึง (N)

S_0 = พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง (mm^2)

L_0 = ความยาวก่อนดึง (mm.)

L = ความยาวหลังจากดึง (mm.)

A = ความยืด.....%

ϵ = ระยะยืด %

E = โมดูลัสยืดหยุ่น (N/mm^2)

$$\sigma = F$$

$$S_0$$

$$A = (L - L_0) \cdot 100 / L_0$$

$$E = (\sigma \cdot 100) / \epsilon$$

ตัวอย่าง ชิ้นทดสอบที่มีความยาวก่อนดึง $L_0=125$ mm. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $d_0 = 25$ mm. มีแรงดึงสูงสุด $F_m=340$ kN ความยาวหลังดึง $L=143$ mm. ให้หาความต้านแรงดึง และความยืด

$$S_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4 = \pi \cdot (25\text{mm.})^2 = 490,9 \text{ mm}^2$$

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} = (340000 / 490.9^2) = 693 \text{ N/mm}^2$$

$$S_0$$

$$A = (L - L_0) 100 \% / L_0$$

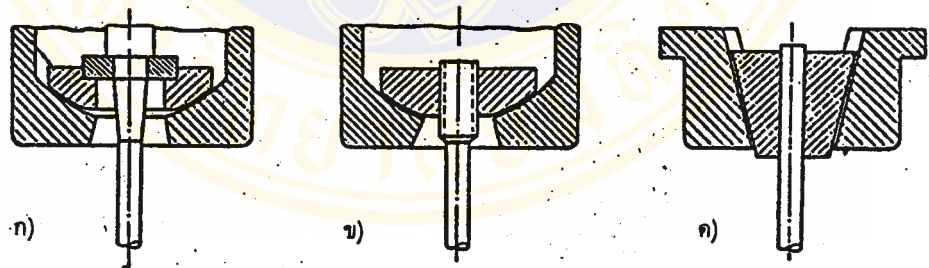
$$A = (143 - 125) \text{ mm} \cdot 100 \% / 125 \text{ mm} = 14.4 \%$$

$$\sigma_{all} = \frac{R_{p0,2}}{\gamma}$$

$$\text{หรือ } \sigma_{all} = \frac{R_e}{\gamma}$$

σ_{all} = ความเค้นอนุญาต (Allowance Stress) (N/mm.²)

γ = ค่าความปลอดภัย (Safety Factor)



ก) สำหรับขันทดสอบที่มีปารับ

ข) สำหรับขันทดสอบยึดด้วยเกลียว

ค) สำหรับขันทดสอบผิวเรียบทรงกระบอก (หัวจับเป็นลิ้มจับ)

รูปที่ 5. หัวจับยึดขันทดสอบแรงดึง

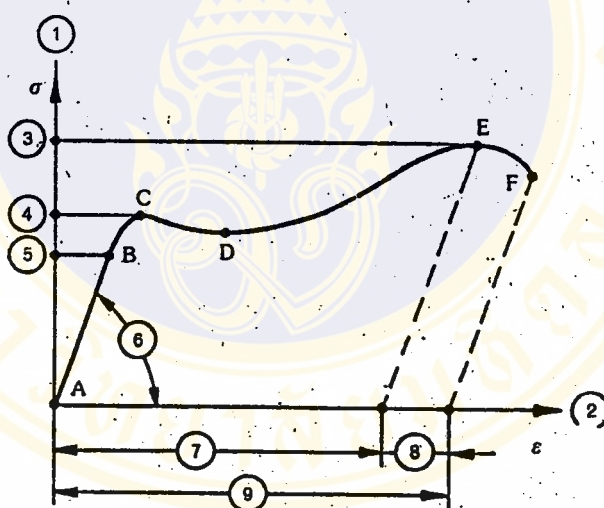
ค่าการลดทอนพื้นที่ Z (Reduction of Area) ขึ้นทดสอบที่ถูกดึงจนขาด จะมี
การคิดคำนวณหาค่า % ของ พื้นที่บริเวณรอยขาด ต่อพื้นที่เดิมก่อนดึง

$$Z = (S_0 - S_1) \cdot 100 / S_0$$

Z = การลดทอนพื้นที่หลังจากขาด (%)

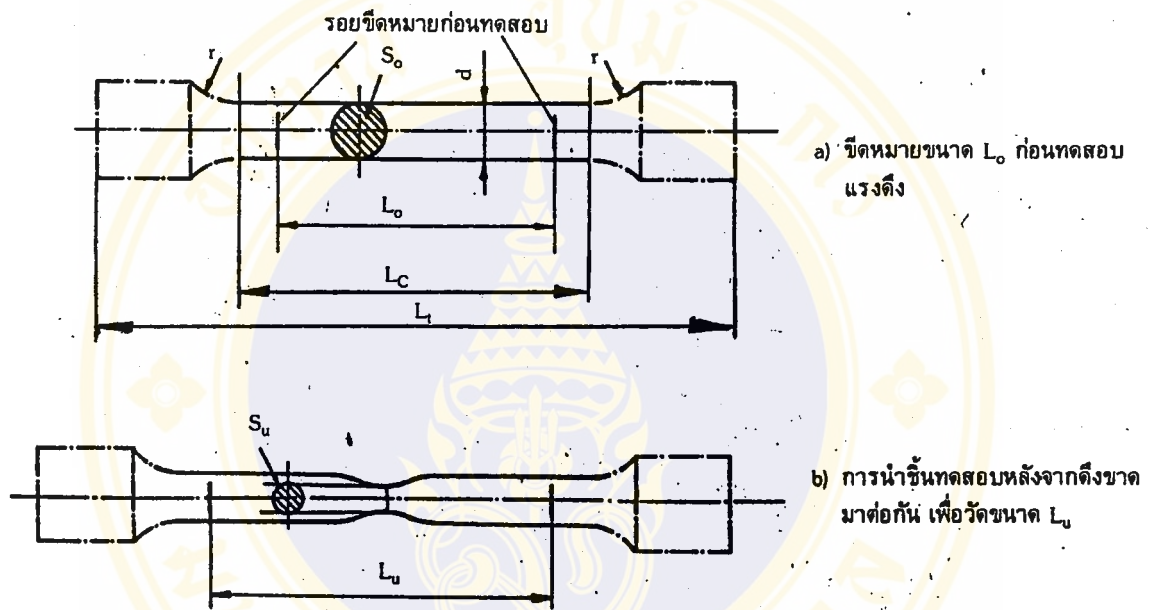
S_0 = พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง (mm^2)

S_1 = พื้นที่หน้าตัดหลังดึง (mm^2)



รูปที่ 6. แผนภาพความต้านแรงดึง-ความยืด (1)ความต้านแรงดึง(σ) (2)
อัตรายืด(ϵ) (3)ความเค้นอันติมะ(R_m) (4)ความเค้นครากตัว(R_e) (5)จุดจากคัสคัสส่วน
(σ_p) (6)มม $\propto$ =โมดูลัสยืดหยุ่น (7)อัตรายืดก่อนลดทอนพื้นที่(A_g) (8)การลดทอนพื้นที่หลัง
จากขาด (Reduction of Area After Fracture;Z) (9)ความยืด (Percentage
Elongation after Fracture;A)

จาก มอก.244 เล่ม 4-2525

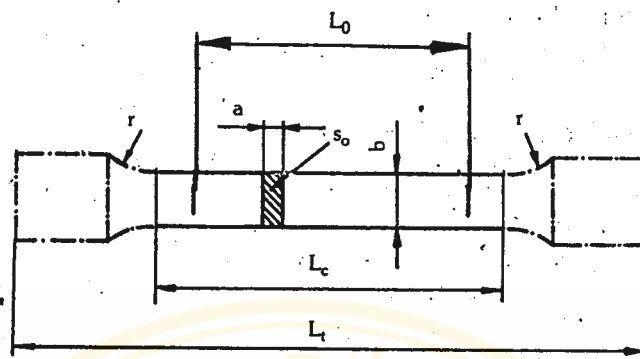


รูปที่ 7. ลักษณะชิ้นทดสอบมาตรฐานคังกลม

ตารางที่ 4 มิติของชิ้นทดสอบภาคตัดวงกลม ความยาวก่อนดึง $L_0 = 5.65$

พื้นที่ภาคตัด ขวาง (S_0) (mm. ²)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (d) (mm.)	ความยาว ก่อนดึง (L_0) (mm.)	ความยาว ขนาน ต่ำสุด ($L_e = 5.5d$) (mm.)	รัศมีของ ปาดต่ำสุด (r) (mm.)	เกณฑ์ความคลาด เคลื่อนของเส้น ผ่านศูนย์กลาง ($\pm$)(mm.)
12.5	3.99	20	22	4	0,02
25	5.64	28	31	5	0,03
50	7.89	40	44	8	0,04
100	11.28	56	62	10	0,06
150	13.82	69	76	13	0,07
200	15.96	80	88	15	0,08
400	22.56	113	124	23.5	0,13

- หมายเหตุ 1. ปลาวยึดและส่วนขนานของชิ้นทดสอบจะต้องมีแกนร่วมกัน โดยเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของการร่วมแกนจะต้องอยู่ภายในกำหนด 0.03 mm.
2. เส้นผ่านศูนย์กลางตลอดความยาวขนานจะต้องต่างกันไม่เกิน 0.03 mm.
3. ในกรณีพิเศษชิ้นทดสอบซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างจากตารางที่อาจใช้ได้ถ้าความยาวก่อนดึงเท่ากับ $5.65\sqrt{S_0}$ คือประมาณ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง



รูปที่ 8. ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดขวางกลมและสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ตารางที่ 5 มิติของชิ้นทดสอบภาคตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ไม่ได้สัดส่วน)

ความกว้าง (b)	ความยาวก่อนดึง (L_0)	รัศมีต่ำสุดของบ่าขึ้นทดสอบ (r)	ความยาวรวมโดยประมาณ (L_t)
3	12	6	50
6	24	12	100
12.5	50	25	200
25	100	25	300

หมายเหตุ 1. นอกจากขนาดที่กล่าวไว้ตามตารางที่ 3 ให้ใช้ชิ้นทดสอบที่มีความยาวก่อนดึงเท่ากับ $5.65\sqrt{s_0}$

2. ชิ้นทดสอบที่มีความกว้างตั้งแต่ 3 ถึง 25 mm. อาจใช้ความยาวก่อนดึงเท่ากับ 50 mm. โดยมีความยาวรวมประมาณ 200 mm.

3. ชิ้นทดสอบที่มีความกว้างไม่เกิน 12.5 mm. ความกว้างของภาคตัดในส่วขนานแตกต่างกันได้ไม่เกิน 0.03 mm. ส่วนชิ้นทดสอบที่มีความกว้างมากกว่า 12.5 mm. ความกว้างของภาคตัดในส่วขนานแตกต่างกันได้ไม่เกิน 0.1 mm.

4. ชิ้นทดสอบที่ตรงและมีความกว้างสม่ำเสมอจนตลอด ให้หามาทดสอบได้โดยตรงไม่ว่าจะเป็นขนาดใด

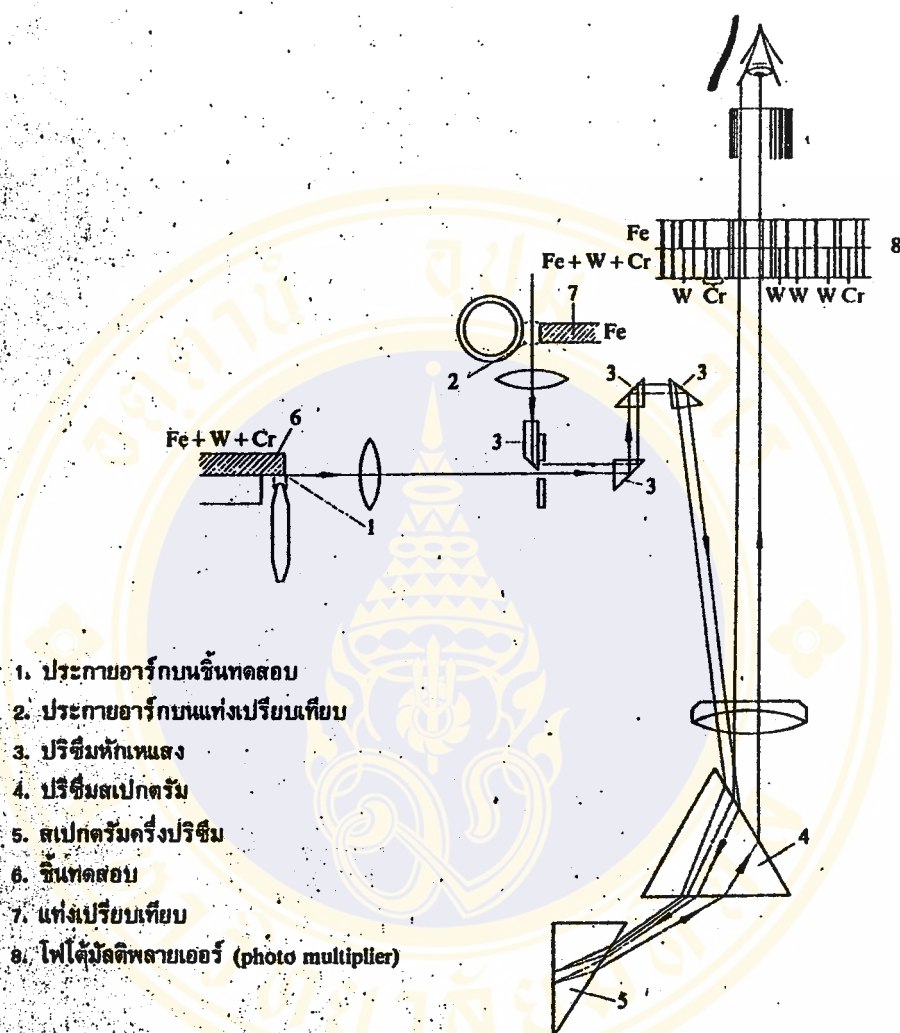
การทดสอบวิเคราะห์ปริมาณธาตุในโลหะด้วยสเปกโตรมิเตอร์

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในโลหะด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มีชื่อเรียกเต็มเป็นภาษาอังกฤษว่า "Optical Emission Spectrometer" มีชื่อเรียกตามภาษาการค้าว่า คิก-แวค (Q-Vac)

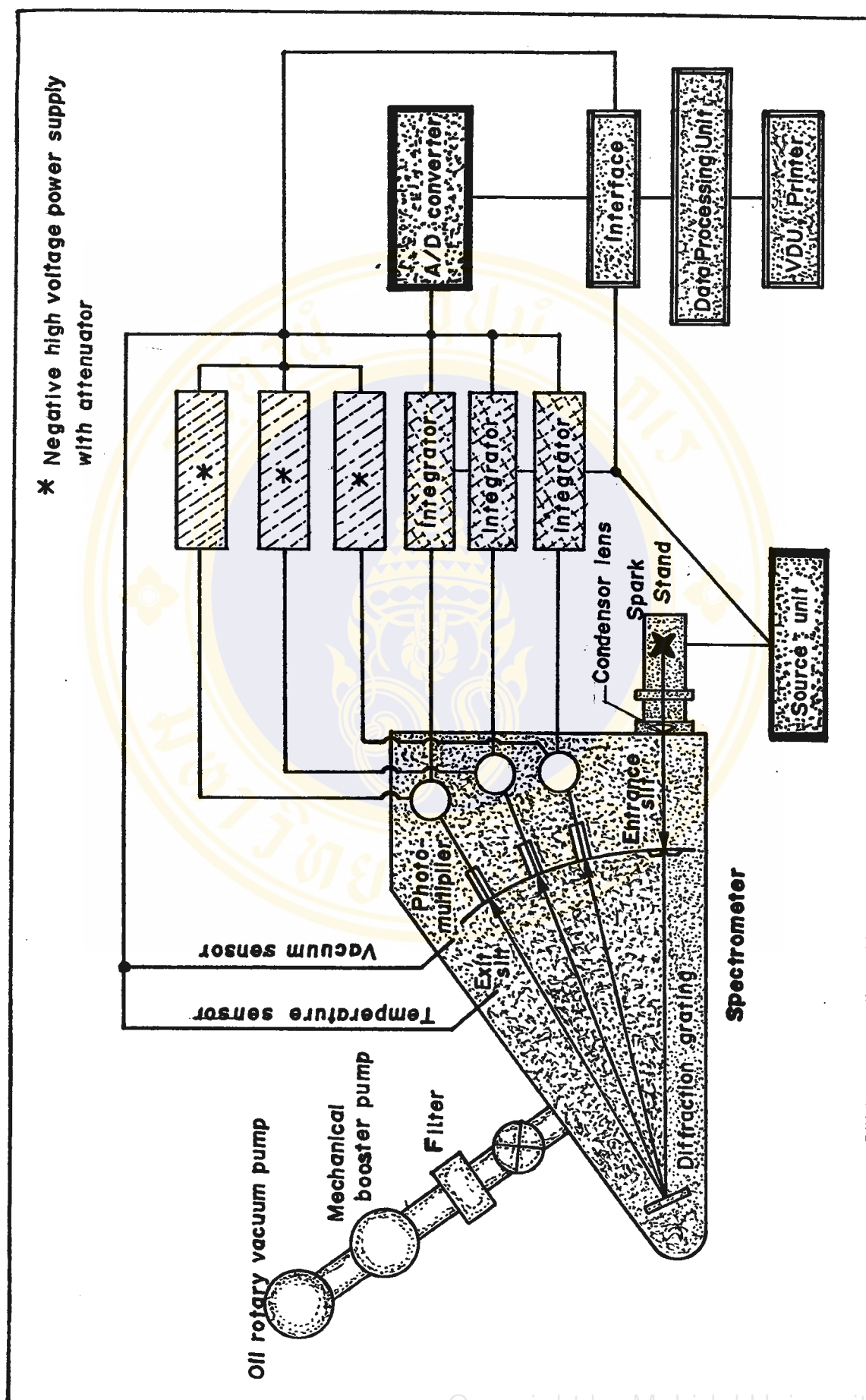
หลักการทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้อุตสาหกรรมการผลิต

ธาตุแต่ละธาตุจะให้ความยาวคลื่นแสง (Wave Length) ไม่เท่ากัน เมื่อมีการทำให้ธาตุเปล่งแสงออกมาด้วยการกระตุ้นด้วยแรงเคลื่อนระหว่าง 800 ถึง 1000 v ธาตุเปล่ง (Emiss) แสงออกมา เพราะในการทดสอบนี้จะใช้ฮีลิโกลิโธกราฟกับชิ้นทดสอบทำให้เกิดความยาวคลื่นไม่เท่ากัน เช่น ชิ้นทดสอบเหล็กจะมีธาตุหลายชนิดเจืออยู่ แสงที่เปล่งออกมาจะผ่านเลนส์กรอง (Condensing Lens) จะเป็นเลนส์นูนและปริซึมสามเหลี่ยมแสงจะเกิดการหักเหเป็นสเปกตรัม (Spectrum) ที่ต่าง ๆ กัน ความเข้มของแสง (Light Intensity) ที่เกิดขึ้นจะถูกแปรสภาพเป็นความเข้มกระแสไฟฟ้าในขณะอาร์กชิ้นทดสอบ ก็จะมีการอาร์กแท่งเปรียบเทียบ (เป็นเหล็กบริสุทธิ์ Fe) ขึ้นพร้อมกันในเวลาเดียวกัน และก็ถูกแปรสภาพเป็นความเข้มกระแสไฟฟ้าเช่นกัน ด้วยอุปกรณ์โฟโตมัลติพลายเออร์ ผ่านเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์พิมพ์ค่าเปอร์เซ็นต์ของแต่ละธาตุที่เจืออยู่ในเหล็กได้ (18)

ซึ่งการทดสอบด้วยสเปกโตรมิเตอร์ ผลจากการทดสอบที่ได้จะสามารถนำมาเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐานส่วนผสมของวัสดุ เพื่อจำแนกกลุ่มของวัสดุนั้น ๆ



รูปที่ 9. แสดงการแปลงของแสงต่าง ๆ ในอุปกรณ์สเปกโตรมิเตอร์



รูปที่ 10 แสดงโครงสร้างหลักการทำงานของ SPECTROMETER.

บทที่ 3

วิธีการศึกษาและการดำเนินงานวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research)

3.2 สถานที่ทำการทดลอง

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (17)

1. เตาเผาหลอมโลหะ ขนาด I.D. $\varnothing$ = 250 มิลลิเมตร.
O.D. $\varnothing$ = 400 มิลลิเมตร.
2. เตาหลอมโลหะ ขนาด I.D. $\varnothing$ = 156 มิลลิเมตร.
ความสูง = 184 มิลลิเมตร.
ความจุ = 5.5 กิโลกรัม.
3. แบบหล่อโลหะ ทำจากทราย
4. ถังก๊าซหุงต้ม (L.P.G.)
5. ชุดมาตรควบคุมความดันก๊าซ (Pressure Gauge)
6. เครื่องเป่าลม (Air Blower)
7. เครื่องมือวัดอุณหภูมิงานหล่อโลหะ
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด ไม่น้อยกว่า 0.001 กรัม
9. เครื่องมือทดสอบแรงดึง (Tensile Test)
10. เครื่องทดสอบส่วนผสมวัสดุ (Spectrometer)
11. เครื่องกลึง (Lathe)
12. เลื่อย

3.4 วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้จำแนกวิธีการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การคัดเลือกตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

ตอนที่ 2 การปฏิบัติการทดลอง

ตอนที่ 3 การบันทึกผลและการคำนวณ

3.4.1 การคัดเลือกตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

ในการวิจัยนี้ คัดเลือกตัวอย่างจากขยะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มซึ่งทำจากอลูมิเนียม (Aluminium) และมีสภาพสมบูรณ์จากแหล่งขยะต่าง ๆ ทั่วไป มาทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม วิธีการชั่งน้ำหนัก ชั่งครั้งละ 1 ชิ้นตัวอย่าง (กระป๋อง) แล้วบันทึกค่าน้ำหนัก โดยใช้ค่าความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.001 กรัม ทั้งนี้ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มแต่ละชนิดแต่ละหน่วย จะมีน้ำหนักไม่เท่ากัน อันจะมีผลต่อปริมาณพลังงานความร้อนที่เข้าไป เพื่อการหลอมละลายของชิ้นงานหลอมจากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มนี้

การเลือกสุ่มตัวอย่างชั่งน้ำหนักบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มนี้ ได้เลือกสุ่มตัวอย่างจากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม ชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาดปัจจุบัน โดยการเลือกสุ่มมาทั้งสิ้น 14 ชนิด อันได้แก่

1. เซเว่น-อ๊อฟ
2. มिरินดำ น้ำเขียว
3. มिरินดำ น้ำส้ม
4. มिरินดำ น้ำแดง
5. แพนด้า น้ำเขียว
6. แพนด้า น้ำส้ม
7. แพนด้า น้ำแดง
8. สปร้าท
9. ไร้ขีด

10. เป็ปซี่ (ชนิดฝาเปิดหลุดออกจากตัวกระป๋องเมื่อเปิดกระป๋อง)
11. เป็ปซี่ (ชนิดฝาเปิดไม่หลุดออกจากตัวกระป๋องเมื่อเปิดกระป๋อง)
12. เปียร์ลิ่งห์ (ชนิดฝาเปิดหลุดออกจากตัวกระป๋องเมื่อเปิดกระป๋อง)
13. เปียร์ลิ่งห์ (ชนิดฝาเปิดไม่หลุดออกจากตัวกระป๋องเมื่อเปิดกระป๋อง)
14. เปียร์คาสเบอร์ก

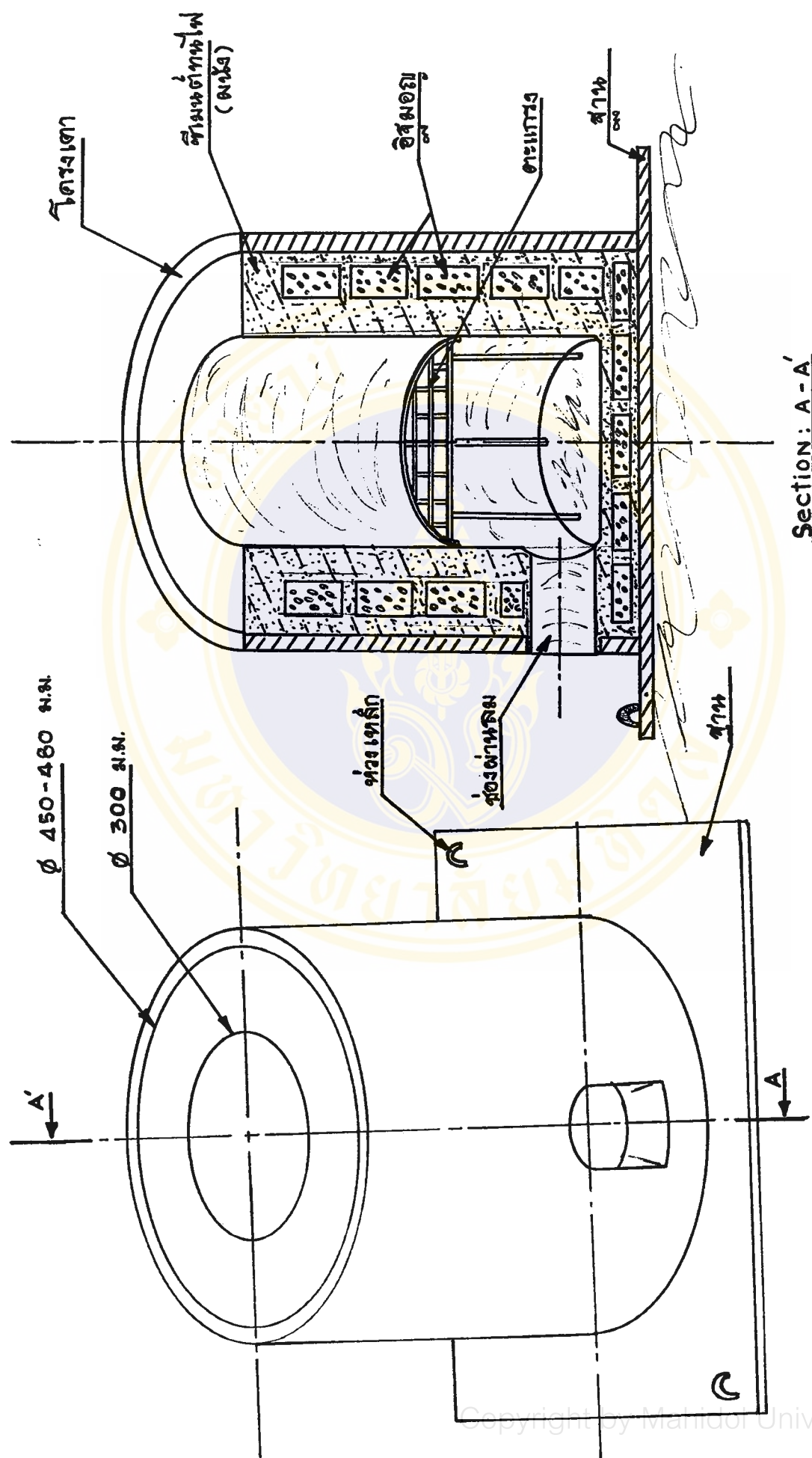
โดยทำการเลือกสุ่มตัวอย่างเพื่อชั่งน้ำหนัก บรรจุภัณฑ์ชนิดละ 12 ตัวอย่าง
รวมทั้งสิ้น 168 ตัวอย่าง

3.4.2 การสร้างเตาและเตรียมกระบวนการหลอม

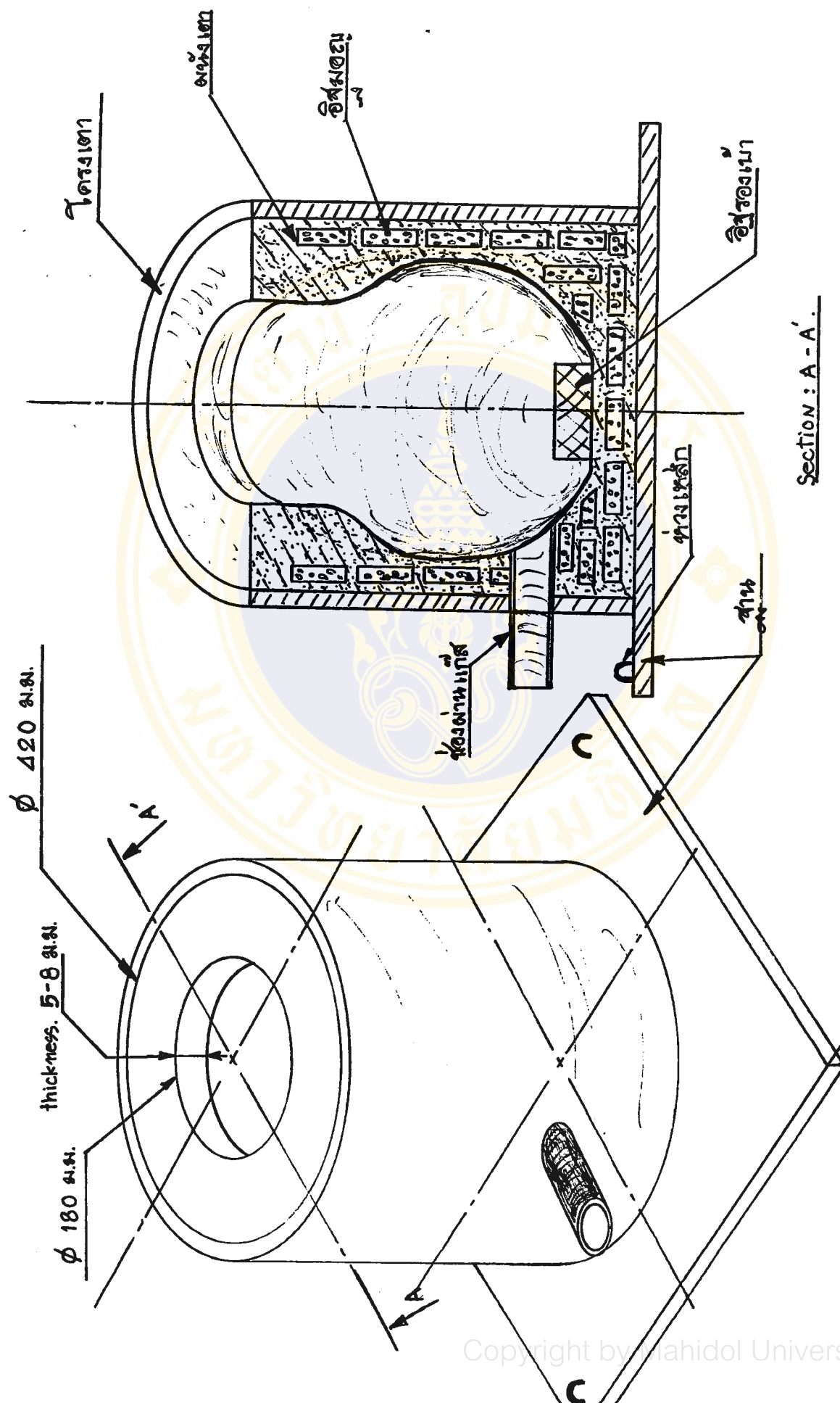
รายละเอียดประกอบของเตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง

<u>หัวข้อ</u>	<u>รายละเอียด</u>
1. โครงเตา	ขนาด $\varnothing$ 450 - 480 ม.ม. สูง 500 ม.ม. ทำจากเหล็กแผ่นหนา 2 ม.ม.
2. ฐาน	ขนาด 550 ม.ม. x 550 มม. ทำจากเหล็กแผ่นหนา 5 มม.
3. ซีเมนต์ทนไฟ	มีส่วนผสมของ - เบนโทไนด์ - ซีเมนต์ทนไฟ - ทราย ผสมในอัตราส่วน 1:1:1
4. อิฐมอญ	เป็นอิฐมอญสีแดงชนิดที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด
5. ท่อเหล็ก	ทำจากเหล็กเส้นดัดโค้งเชื่อมติดกับฐานเพื่อการขนย้าย
6. ช่องผ่านลม	ตัดโครงเตาทะลุขนาดกว้าง 120 มม. สูง $\approx$ 150 มม.
7. ตะแกรง	ทำจากเหล็กเส้นเชื่อมต่อกัน เพื่อรองรับเข้าหลอมถ่านโค้ก และช่วยให้การผ่านลมสะดวกยิ่งขึ้น

หมายเหตุ : ผนังเตาทั้ง 2 ข้าง จะมีความหนารวมกันไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของ
ขนาดของปากเข้าหลอม



ตอนที่ 11 แสดงลักษณะของเตาหลอมชนิดที่ใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 12 แสดงลักษณะของเตาหลอมชนิดที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง

รายละเอียดประกอบฝาคกรอบเตาหลอม

หัวข้อ

รายละเอียด

1. โครงฝาคกรอบ ทำจากเหล็กแผ่นหนา 3 มม.
ขนาด $\varnothing$ ภายนอก 420 มม.
 $\varnothing$ ภายใน 100-120 มม.
มุมลาดเอียง $\approx 45^{\circ} - 50^{\circ}$
ความหนาของฝาคกรอบ ≈ 140 มม.
2. มือจับ ทำจากท่อเหล็ก $\varnothing 12$ มม.
ยาวข้างละ 800 มม.
ทำการเชื่อมติดกับโครงฝาคกรอบ
3. ขอบฝาคกรอบ ทำจากเหล็กแผ่นหนา 3 มม.
ทำการม้วนขึ้นรูปให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 420 มม.
จากนั้นนำมาเชื่อมเข้ากับโครงฝาคกรอบ
4. อิฐมอญ เป็นอิฐมอญชนิดที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด
5. ซีเมนต์ทนไฟ เป็นส่วนผสมของ - เบนโทไนต์
- ซีเมนต์ทนไฟ
- ทราย
ผสมในอัตราส่วน 1:1:1

หมายเหตุ : ฝาคกรอบเตาหลอมจัดทำขึ้น เพื่อลดปริมาณการสูญเสียความร้อน, อุณหภูมิในการหลอมต่อบรรยากาศภายนอก เป็นการช่วยทำให้การหลอมเหลวมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.4.3 การปฏิบัติการทดลอง

การปฏิบัติการทดลอง สามารถจำแนกได้ 4 ลำดับ คือ

ลำดับที่ 1 การกดอัดขยะบรรจุภัณฑ์

ลำดับที่ 2 การหลอมขยะบรรจุภัณฑ์

2.1 การหลอมโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง

2.2 การหลอมโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง

ลำดับที่ 3 การเทแบบหล่อ

ลำดับที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.1 การทดสอบแรงดึง

4.2 การทดสอบลักษณะโครงสร้างและการสร้างตัวของผลิตภัณฑ์

4.3 การตรวจสอบส่วนผสมของผลิตภัณฑ์

ลำดับที่ 1 การกดอัด (Press) ขยะบรรจุภัณฑ์เครื่องเดิมมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดพื้นที่ที่ใช้ในการขนส่งจัดเก็บ และพื้นที่ในการหลอมภายในเบ้าหลอม

การกดอัด ขยะบรรจุภัณฑ์เครื่องเดิม สามารถจำแนกลักษณะปฏิบัติได้ 2 ขั้นตอน คือ

1.1 การกดอัดขั้นต้น

การกดอัดขั้นต้นนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดพื้นที่เพื่อการจัดเก็บได้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนสะดวกต่อการขนส่งลำเลียงขยะบรรจุภัณฑ์ที่จะนำมากดอัด โดยก่อนการกดอัดจะทำการบีบบริเวณด้านข้างของขยะให้เกิดการยุบตัวเสียก่อน เพื่อความง่ายและประสิทธิภาพในการกดอัดที่ดี แรงที่ใช้ในการกดอัดขั้นต้นนี้สามารถใช้แรงอัดกระทก (Impact) ขยะลงจากเดิมได้ 60-80% ดังรูปที่ 15.



รูปที่ 15. แสดงลักษณะบรรจุภัณฑ์หลังการกดอัดขึ้นต้น

1.2 การกดอัดเพื่อการหลอม

การกดอัดเพื่อการหลอมนี้ จะนำเอาบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการกดอัดขึ้นต้นมาทำการกดอัดใหม่อีกครั้ง โดยการกดอัดใหม่นี้จะใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydrolic Press) ซึ่งจะสามารถทำให้ขยะบรรจุภัณฑ์ถูกอัดรวมกันเป็นก้อนได้

วัตถุประสงค์การกดอัดนี้ เพื่อลดพื้นที่ในการหลอมและเพื่อลดอัตราการระเหยตัวของวัสดุ เนื่องจากการหลอมใช้อุณหภูมิสูงมาก การที่จะหลอมวัสดุผิวบางจะทำให้วัสดุระเหยตัวไปพร้อมกับความร้อนขณะที่ได้รับความร้อนจนถึงจุดอุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature Point) จึงทำให้อัตราการเสื่อมของวัสดุต่ำ ฉะนั้นจะต้องเพิ่มความหนาของผิวให้เพิ่มมากขึ้น โดยใช้การอัดวัสดุให้เป็นก้อนเพื่อเพิ่มอัตราการเสื่อมให้สูงขึ้น อนึ่งความหนาของผิวบรรจุภัณฑ์ประมาณ 0.1859 มม.



รูปที่ 16. แสดงเครื่องกดอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press)



รูปที่ 17. แสดงลักษณะบรรจุภัณฑ์หลังการกวดด้วยเครื่องไฮดรอลิก

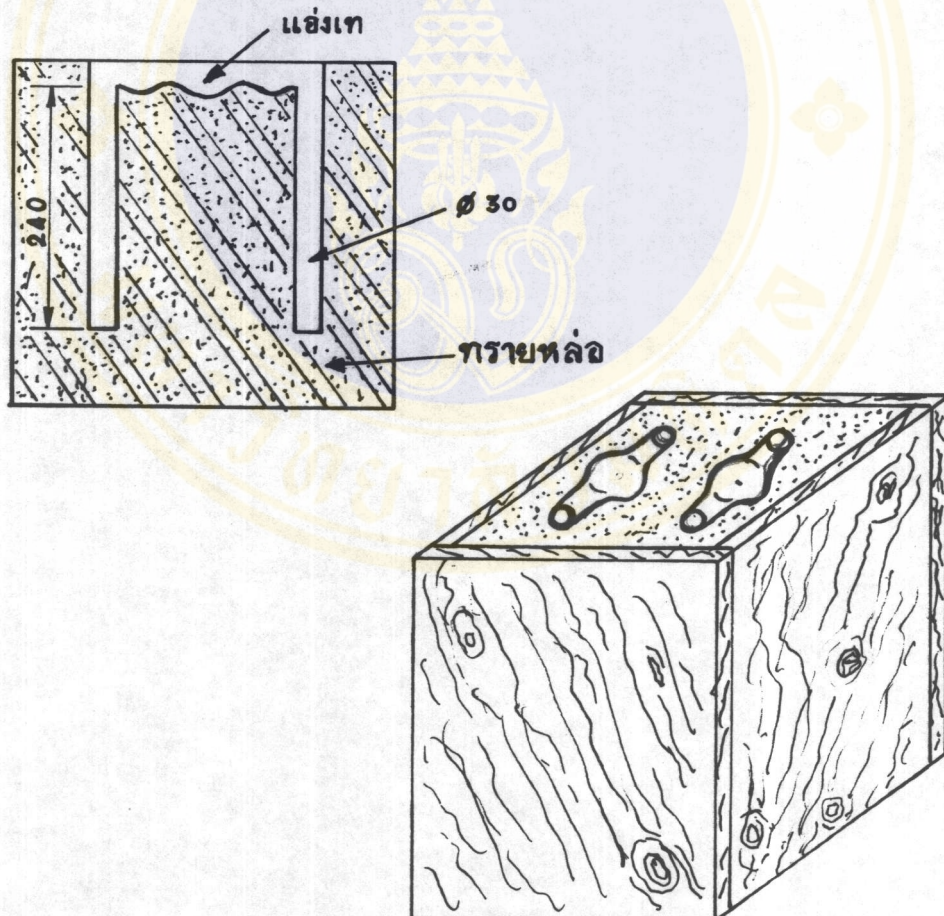
ลำดับที่ 2 การหลอมขยะบรรจุภัณฑ์ โดยใช้เตาเบ้าหลอมโลหะ (Crucible Furnace) โดยใช้ก๊าซหุงต้ม (L.P.G.) และถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงในการหลอมโลหะ ขั้นตอนในการหลอมขยะบรรจุภัณฑ์

1. อุ่นเบ้าหลอมให้มีอุณหภูมิประมาณ $250^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$ โดยสังเกตจากสีของผิวเบ้าหลอมที่ร้อนแดง ดังรูปในภาคผนวก ข.
2. นำขยะบรรจุภัณฑ์ใส่ลงในเบ้าหลอมที่อุ่นแล้ว ดังรูปในภาคผนวก ข.

3. ทำการหลอมโลหะ ขณะทำการหลอมโลหะจะต้องควบคุมอุณหภูมิในการหลอมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการหล่ออลูมิเนียม คือประมาณ $680 - 750^{\circ}\text{C}$ การควบคุมอุณหภูมิจะใช้วิธีการควบคุมความดันก๊าซและปริมาณก๊าซในการสันดาป ตลอดจนการควบคุมการหลอมโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงด้วย (ดังภาพแสดงการหลอมในภาคผนวก ข.)

4. ทำการจัดสารมลทินออกจากน้ำโลหะ

ลำดับที่ 3 การเทแบบหล่อ เมื่อได้น้ำโลหะที่ผ่านกระบวนการหลอมแล้ว นำน้ำโลหะที่ได้มาเทลงสู่แบบหล่อ ซึ่งจัดทำขึ้นโดยใช้ทรายหล่อและเมื่อขึ้นงานหล่อเรียบร้อยแล้ว จึงแกะขึ้นงานออกจากแบบ (ดังภาพแสดงการเทแบบหล่อภาคผนวก ข.)



รูปที่ 18. แสดงลักษณะของแบบหล่อขึ้นทดสอบ

ลำดับที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหล่อโลหะ
บรรจุภัณฑ์ ในการวิจัยนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ อันได้แก่วิธีการทดสอบแบบ

1. การทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ
(Tensileability of Material test)
2. การทดสอบทางโลหะวิทยาของวัสดุ
(Metallurgy of Material test)
3. การตรวจสอบส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ ในเนื้อวัสดุ
(Compounant of Material test)

โดยทำการทดสอบกับชิ้นทดสอบ (Specimens) ที่ได้เตรียมขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหล่อโลหะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม และในการทดสอบจะทำการทดสอบ อย่างน้อยวิธีการทดสอบละ 4 ครั้ง

3.4.4 การบันทึกผลและการคำนวณ

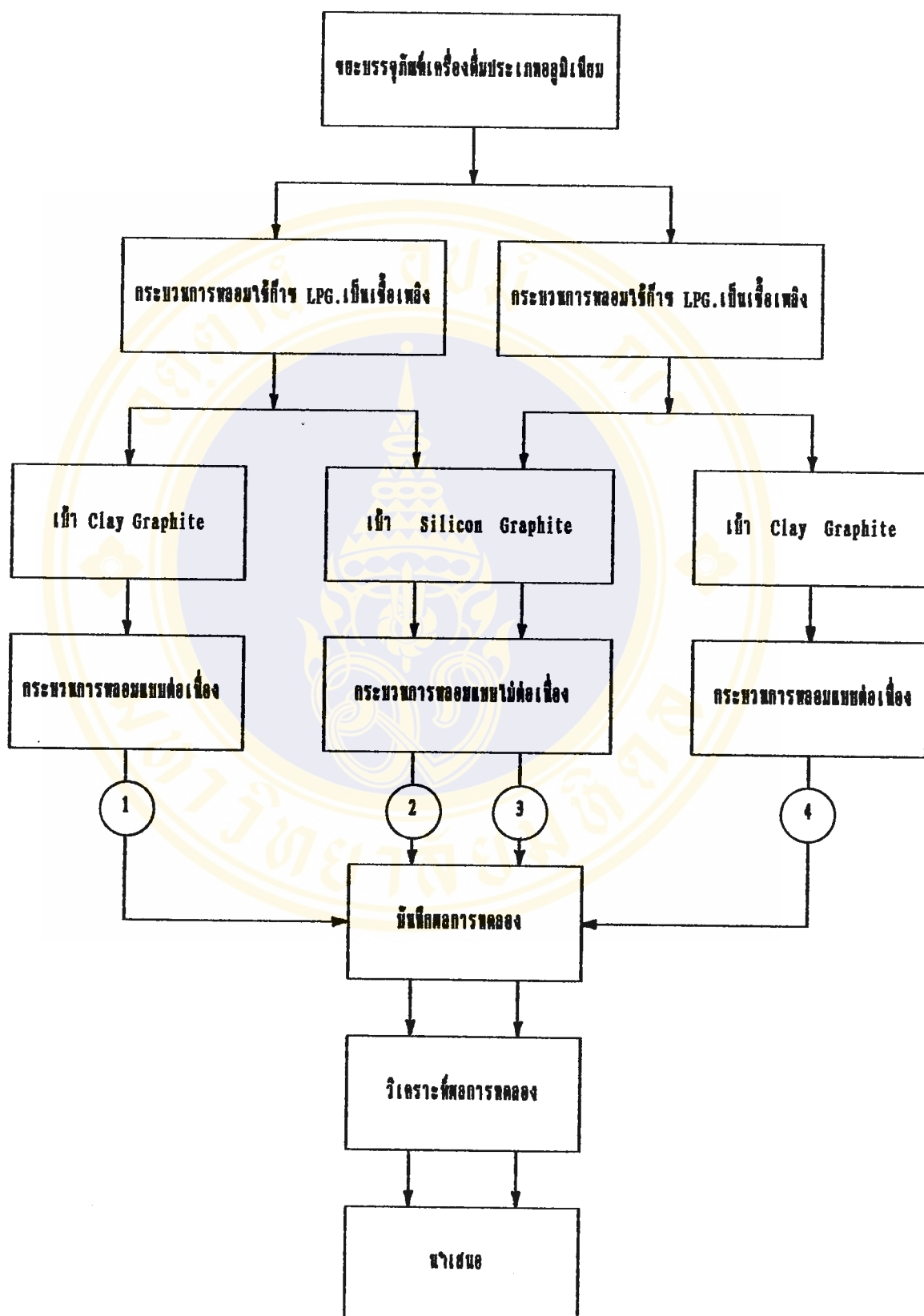
การบันทึกผลในการวิจัยครั้งนี้ จะบันทึกเกี่ยวกับ

1. ระยะเวลาในการหลอมโลหะ
2. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหลอมโลหะ
3. ค่าที่ได้จากการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ
4. ปริมาณส่วนผสมทางโลหะวิทยาที่ได้จากชิ้นทดสอบ

การบันทึกผลในการหลอมวัสดุดิบ จะทำการหลอม 12 ครั้ง ครั้งละ 5 กิโลกรัม เพื่อความแม่นยำของการศึกษา

การคำนวณในการวิจัยครั้งนี้ จะทำการศึกษาด้าน

1. การใช้พลังงาน
2. ค่าใช้จ่ายในการหลอมวัสดุดิบ
3. กระบวนการที่เหมาะสมเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling)
4. ผลิตภัณฑ์ที่จะได้จากกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling)



หนึ่งในกระบวนการหลอมแบบไม่ต่อเนื่องจะต้องทิ้งเข้าหลอมให้เป็น
สนิทก่อนทำการหลอมครั้งต่อไป โดยใช้เวลา 20-40 ชั่วโมง

แผนการวิจัย "การศึกษา เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านรีกและ
ก๊าซแอล พี จี เป็นเชื้อเพลิง สำหรับกระบวนการหลอม
ภาชนะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม"

ระยะเวลา หัวข้อ	เดือน มิถุนายน	เดือน กรกฎาคม	เดือน สิงหาคม	เดือน กันยายน	เดือน ตุลาคม	เดือน พฤศจิกายน	เดือน ธันวาคม	เดือน มกราคม
1. เสนอหัวข้อวิทยานิพนธ์	←→							
2. เสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์	←→							
3. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น (Primary Data)		←→						
4. ออกแบบการวิจัย - ออกแบบเตาหลอม - ออกแบบระบบการหลอม(ก๊าซ)		←→	←→					
5. จัดซื้ออุปกรณ์				←→				
6. จัดสร้างเตาหลอม(พร้อมทดสอบ) - เตาหลอมถ่านรีก - เตาหลอมก๊าซ LPG.				←→	←→			
7. จัดสร้างระบบการหลอม(ก๊าซ)				←→	←→			

แผนการวิจัย "การศึกษา เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ถ่านร้กและ
ก๊าซแอล พี จี เป็นเชื้อเพลิง สำหรับกระบวนการหลอม
ภาชนะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอูมิเนียม" (ต่อ)

ระยะเวลา	เดือน	เดือน	เดือน	เดือน	เดือน	เดือน	เดือน	เดือน
หัวข้อ	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม
8. จัดหาวัตถุดิบในการวิจัย (ขณะบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม)								
9. เตรียมวัตถุดิบ (อัดก้อน)								
10. ปฏิบัติการทดลอง (พร้อมบันทึกข้อมูล)								
11. วิเคราะห์ข้อมูล								
12. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์								
รวมระยะเวลา	1 8 0 วัน							

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน คือ

1. การเตรียมวัตถุดิบ (จากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทออลูมิเนียม) ในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดขอนแก่น

2. การหลอมวัตถุดิบ

การทดลองปฏิบัติการหลอมวัตถุดิบที่ได้จากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทออลูมิเนียมโดยใช้เตาไฟฟ้าและก๊าซ LPG. เป็นเชื้อเพลิงเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการหลอมวัตถุดิบโดยวิเคราะห์เปรียบเทียบในด้านค่าใช้จ่าย

3. การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ทำการหลอมได้เพื่อจะได้จัดประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกประเภทของการใช้งานให้เหมาะสมต่อไป

ตอนที่ 1

การเตรียมวัตถุดิบ เริ่มจากการจัดเก็บวัตถุดิบในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยจะจัดเก็บตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 16.00 น. ของทุกวัน จัดเก็บเป็นระยะเวลา 30 วัน เพื่อหาปริมาณขยะโดยรวม จากนั้นคัดแยกชนิดจากเครื่องหมายการค้าต่าง ๆ เพื่อนำมาชั่งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของขยะวัตถุดิบ โดยการคัดแยกจะแยกและเลือกตัวอย่างชั่งน้ำหนัก ชนิดละ 12 หน่วย

จากตารางที่ 6 จะพบว่าน้ำหนักของขยะวัตถุดิบ (กระป๋องออลูมิเนียม) จะมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 15.5341 กรัม/หน่วย ถึง 17.4083 กรัม/หน่วย ซึ่งคำนวณให้อยู่ในระยะเวลาที่หาเฉลี่ยขึ้นคือ น้ำหนักอยู่ในช่วง 59-63 กระป๋อง/กก. และค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกระป๋องโดยทั่วไป จะมีขยะออลูมิเนียม 1 ตัน จะมีกระป๋องน้ำหนักเฉลี่ยเหล่านี้ ประมาณ 59,000 - 63,000 กระป๋อง

ตารางที่ 6 แสดงค่าบันทึกผลการชั่งน้ำหนัก

ลำดับที่	ชื่อผลิตภัณฑ์	ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก (กรัม)	จำนวนตัวอย่าง (n)
1	มิรินดำ น้ำส้ม	16.4027	12
2	มิรินดำ น้ำแดง	15.8520	12
3	โศภิต	16.1398	12
4	เบียร์ (เก่า)	16.2404	12
5	เบียร์ (ใหม่)	17.0999	12
6	เบียร์สิงห์ (ใหม่)	17.0515	12
7	เบียร์สิงห์ (เก่า)	16.4997	12
8	สปร็อก	16.4625	12
9	แพนด้า น้ำส้ม	16.4438	12
10	แพนด้า น้ำเขียว	16.5917	12
11	แพนด้า น้ำแดง	16.4017	12
12	มิรินดำ น้ำเขียว	15.8161	12
13	เซเวน-อัพ	15.9214	12
14	เบียร์คาลาสเบอร์รี่	16.6844	12
	ค่าเฉลี่ยมาตรฐาน	16.4005	รวม 168

ตอนที่ 2

การศึกษาประสิทธิภาพของเตาหลอมโลหะชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง

(Coke Furnace Efficiency)

โดยการทดสอบการหลอมกำหนดให้หลอมวัสดุดิบในอัตราครั้งละ 5 กิโลกรัม

พร้อมบันทึกผลการทดลอง

- (1) เมื่อวัสดุดิบเกิดการหลอมละลายก่อนเติมวัสดุดิบใหม่ลงเข้าหลอม ซึ่งการทดลองทุกครั้งจะต้องให้เข้าและเตาหลอมเย็นสนิท ก่อนทำการทดลองใหม่ทุกครั้ง
- (2) เมื่อทำการทดลองหลอมวัสดุดิบอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ปล่อยให้เข้าและเตาหลอมเย็นก่อนทำการทดลองครั้งต่อไป

ตารางที่ 7 ผลการทดลองหลอมวัสดุดิบโดยใช้ถ่านรีกเป็นเชื้อเพลิง (1)

ครั้งที่	ปริมาณถ่านรีก (ก.ก)*	เวลาหลอม (นาที)	Waste (ก.ก.)	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณไฟฟ้า (kw-h)**	ค่าใช้จ่าย (บาท)***
1	6.0	93	1.35	720	3.2	64.00
2	6.0	94	1.20	728	3.3	64.50
3	6.0	92	1.50	724	3.0	64.00
4	6.0	95	1.05	738	3.5	65.50
5	6.0	97	0.95	742	3.7	66.50
6	6.0	92	1.45	730	3.0	64.00
7	6.0	101	0.75	748	4.0	68.00
8	6.0	98	0.95	740	3.8	67.50
9	6.0	102	0.75	750	4.0	68.50
10	6.0	104	0.70	758	4.2	69.00
ค่าเฉลี่ย	6.0	96.80	1.065	737.8	3.57	66.05

*** ค่าใช้จ่าย = (* x 8.00) + (** x 5.00)

= ซึ่งการทดลองนี้ใช้เข้าหลอมชนิด Clay Graphite

ตารางที่ 8 ผลการทดลองหลอมวัสดุโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง (2)

ครั้งที่	ปริมาณถ่านโค้ก (ก.ก)*	เวลาหลอม (นาที)	Waste เชื้อเพลิง (ก.ก)	อุณหภูมิ (°c)	ปริมาณไฟฟ้า (kw-h)**	ค่าใช้จ่าย (บาท)***
1	6.0	94	0	724	3.3	64.50
2	4.7	83	0	736	2.5	50.10
3	5.2	85	0	728	2.7	55.10
4	5.3	82	0	742	2.7	55.90
5	5.1	80	0	738	2.5	53.30
6	4.8	83	0	744	2.4	50.40
7	4.6	76	0	732	2.4	48.80
8	4.5	76	0	740	2.4	48.00
9	5.1	81	0	752	2.5	53.30
10	5.0	82	1.14	746	2.5	52.50
ค่าเฉลี่ย	5.03	82.2	0.114	738.2	2.59	53.19

*** ค่าใช้จ่าย = (* x 8) + (** x 5.00)

๖ ซึ่งการทดลองนี้ใช้เข้าหลอมชนิด Silicon Graphite

จากตารางที่ 7 และ 8 จะพบว่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการหลอมแบบต่อเนื่อง(2) น้อยกว่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรในกระบวนการหลอมแบบไม่ต่อเนื่อง(1) แสดงว่ากระบวนการหลอมแบบต่อเนื่อง(2) มีประสิทธิภาพในการหลอมที่สูงกว่ากระบวนการหลอมแบบไม่ต่อเนื่อง(1)

ตารางที่ 9 แสดงผลการหลอมบรรจุภัณฑ์ โดยเตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง

ครั้งที่	วัตถุดิบ (ก.ก.)	ผลผลิต (ก.ก.)	ของเสีย (ก.ก.)	ประสิทธิภาพ ในการหลอม (%)
1	5.00	3.9864	1.0136	79.73
2	5.00	3.8820	1.1180	77.64
3	5.00	4.1332	0.8668	82.66
4	5.00	3.7421	1.2579	74.84
5	5.00	4.0894	0.9106	81.79
6	5.00	3.9833	1.0167	79.67
7	5.00	3.8445	1.1555	76.89
8	5.00	4.1746	0.8254	83.49
9	5.00	4.3006	0.6994	86.01
10	5.00	4.0215	0.9785	80.43
11	5.00	4.1180	0.8820	82.36
12	5.00	4.0026	0.9974	80.05
13	5.00	3.8262	1.1738	76.52
14	5.00	3.7088	1.2912	74.18
15	5.00	3.8815	1.1185	75.63
16	5.00	4.1436	0.8564	82.87
17	5.00	3.9575	1.0425	79.15
18	5.00	4.0163	0.9837	80.33
19	5.00	3.6332	1.3668	72.66
20	5.00	3.7125	1.2875	74.25
X	5	3.9579	1.0421	79.16

จากข้อมูลตารางที่ 9 พบว่า หากต้องการหลอมวัตถุดิบ เพื่อให้ได้ผลผลิต 2,000 กิโลกรัม จะต้องใช้วัตถุดิบ 2,500 กิโลกรัม - 2,560 กิโลกรัม หรือเฉลี่ยโดยประมาณ 2,530 กิโลกรัม

การศึกษาประสิทธิภาพของเตาหลอมโลหะชนิดใช้ก๊าซ LPG. เป็นเชื้อเพลิง

(LPG. Furnace Efficiency)

โดยการทดสอบการหลอมกำหนดให้หลอมวัตถุดิบในอัตราครึ่งละ 5 กิโลกรัม บันทึกผลการทดลอง

(1) เมื่อวัตถุดิบเกิดการหลอมละลายก่อนเติมวัตถุดิบใหม่ลงเข้าหลอม ซึ่งการทดลองทุกครั้งจะต้องให้เข้าและเตาหลอมเย็นสนิท ก่อนทำการทดลองใหม่ทุกครั้ง

(2) เมื่อทำการทดลองหลอมวัตถุดิบอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ปล่อยให้เข้าและเตาหลอมเย็นก่อนทำการทดลองครั้งต่อไป

ตารางที่ 10 ผลการทดลองหลอมวัตถุดิบโดยใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง (1)

ครั้งที่	ปริมาณก๊าซ (lb/in. ²)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	หมายเหตุ
					ชนิดเข้าหลอม
1	6.0	53	712	32.40	clay graphite
2	8.0	58	746	43.20	clay graphite
3	7.0	56	736	37.80	clay graphite
4	8.0	53	722	43.20	clay graphite
5	7.0	55	728	37.80	clay graphite
6	7.0	54	730	37.80	clay graphite
7	8.0	57	738	43.20	clay graphite
8	8.0	58	744	43.20	clay graphite
เฉลี่ย	—	—	—	—	

ตารางที่ 10 ผลการทดลองหลอมวัสดุโดยใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง (1) (ต่อ)

ครั้งที่	ปริมาณก๊าซ (lb/in. ²)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	หมายเหตุ
					ชนิดเข้าหลอม
9	6.0	54	728	32.40	clay graphite
10	7.0	55	732	37.80	clay graphite
เฉลี่ย	7.20	55.18	731.6	38.88	

ตารางที่ 11 ผลการทดลองหลอมวัสดุโดยใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง (2)

ครั้งที่	ปริมาณก๊าซ (lb/in. ²)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	หมายเหตุ
					ชนิดเข้าหลอม
1	8.0	61	740	43.20	silicon graphite
2	5.0	43	764	27.00	silicon graphite
3	6.0	45	736	32.40	silicon graphite
4	4.0	39	742	21.60	silicon graphite
5	4.0	36	744	21.60	silicon graphite
6	4.0	36	744	21.60	silicon graphite
7	3.0	32	732	16.20	silicon graphite
8	4.0	40	750	21.60	silicon graphite
9	4.0	36	746	21.60	silicon graphite
10	4.0	37	752	21.60	silicon graphite
เฉลี่ย	4.60	40.5	745	25.29	

จากตารางที่ 10 และ 11 จะพบว่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการหลอมแบบต่อเนื่อง(2) น้อยกว่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรในกระบวนการหลอมแบบไม่ต่อเนื่อง(1) แสดงว่ากระบวนการหลอมแบบต่อเนื่อง(2) มีประสิทธิภาพในการหลอมที่สูงกว่ากระบวนการหลอมแบบไม่ต่อเนื่อง(1)

ตารางที่ 12 แสดงผลการหลอมบรรจุภัณฑ์ โดยเตาหลอมชนิดใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง

ครั้งที่	วัตถุดิบ (ก.ก.)	ผลผลิต (ก.ก.)	ของเสีย (ก.ก.)	ประสิทธิภาพ ในการหลอม (%)
1	5.00	4.1270	0.8730	82.54
2	5.00	3.7625	1.2375	75.25
3	5.00	3.9644	1.0356	79.29
4	5.00	4.0662	0.9338	81.32
5	5.00	3.8433	1.1567	76.87
6	5.00	3.9338	1.0332	78.68
7	5.00	4.2245	0.7755	84.49
8	5.00	4.0873	0.9127	81.75
9	5.00	4.0147	0.9853	80.29
10	5.00	3.6638	1.3362	73.28
11	5.00	3.9855	1.0145	79.71
X	5	4.0226	0.9774	80.45

ตารางที่ 12 แสดงผลการหลอมบรรจุภัณฑ์ โดยเตาหลอมชนิดใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง(ต่อ)

ครั้งที่	วัตถุดิบ (ก.ก.)	ผลผลิต (ก.ก.)	ของเสีย (ก.ก.)	ประสิทธิภาพ ในการหลอม (%)
12	5.00	4.3520	0.6480	87.04
13	5.00	4.0187	0.9813	80.37
14	5.00	3.9963	1.0037	79.93
15	5.00	4.2372	0.7628	84.74
16	5.00	4.1184	0.8816	82.37
17	5.00	3.8650	1.1350	77.30
18	5.00	4.0501	0.9499	81.00
19	5.00	4.3105	0.6895	86.21
20	5.00	3.8304	1.1696	76.61
X	5	4.0226	0.9774	80.45

จากข้อมูลตารางที่ 12 พบว่า เมื่อต้องการผลผลิต 2,000 ก.ก. จะต้องใช้วัตถุดิบ 2,470 ก.ก. - 2,530 ก.ก. หรือเฉลี่ยโดยประมาณ 2,500 ก.ก. ผลผลิตที่ได้เฉลี่ยโดยประมาณเท่ากับ 4.0226 กิโลกรัม และจากข้อมูลตารางที่ 9 และตารางที่ 12 จะพบว่าเตาหลอมทั้ง 2 ชนิดใช้ปริมาณวัตถุดิบใกล้เคียงกันมาก ประสิทธิภาพในการหลอม 79.16 % และ 80.45 % หรือประมาณ 80 %

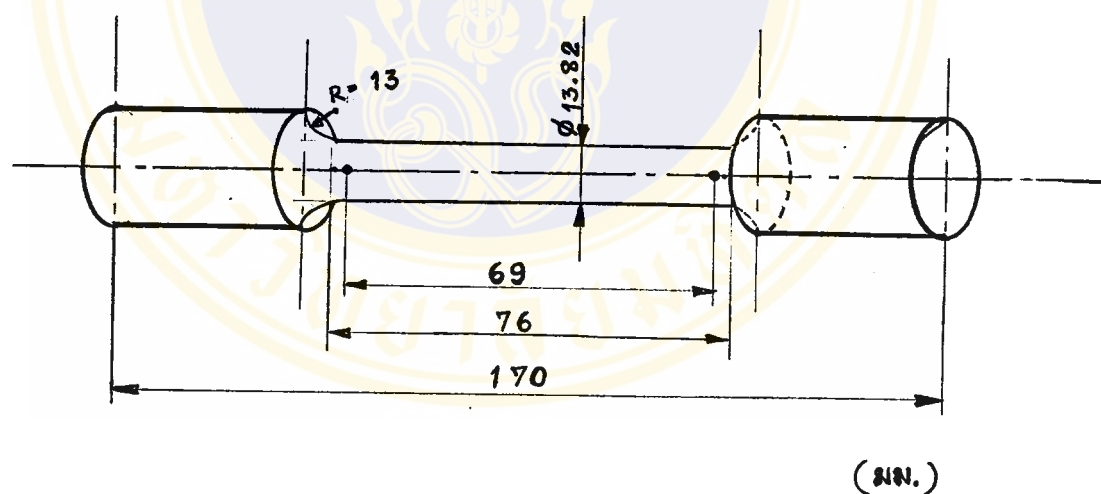
การศึกษาคูสมบัติทางกล

การศึกษาคูสมบัติทางกลในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึง

1.ความสามารถในการรับแรงดึง(Tensile Test) ของวัสดุงานที่ได้จากกระบวนการหลอม

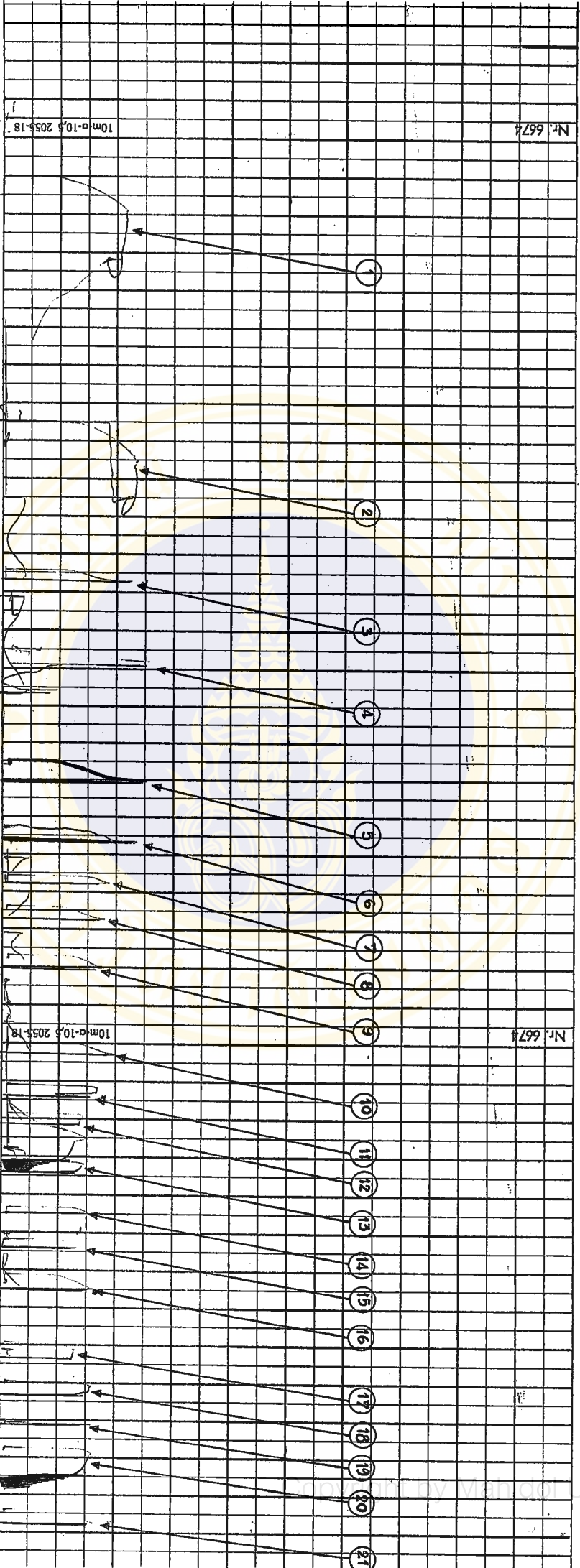
2.คุณสมบัติของธาตุต่าง ๆ ที่ผสมอยู่ในวัสดุงานที่ได้จากกระบวนการหลอม

การศึกษาศามารถในการรับแรงดึง(Tensile Test) ของวัสดุงานที่ได้จากกระบวนการหลอม จะศึกษาทางด้านของการรับภาระ (Load) แรงดึงของวัสดุ



รูปที่ 19 แสดงขนาดของชิ้นงานทดสอบ(Specimen) สำหรับการทดสอบแรงดึง

HAFTFÄHIGKEITSTEST (Tensile Test)



AMSLER Otto Wolpert-Werke GmbH, Prüfmaschinen und Apparatebau Ludwigshafen am Rhein

AMSLER Otto Wolpert-Werke GmbH, Prüfmaschinen und Apparatebau Ludwigshafen am Rhein

ตารางที่ 13 แสดงค่าบันทึกผลการรับภาระแรงดึง

ชิ้น ทดสอบ	แรง ดึงสูงสุด (FM)	ความ เค้นสูงสุด (RM)	พท.หลังขาด (๕) (SU) (mm ²)	ความยืด จนขาด (A) (%)	การลดของ พื้นที่ (Z)
1	21.80	14.533	142.72 (1348)	9.1 (6.3)	4.85 (7.28)
2	23.00	15.333	147.34 (1370)	10.3 (7.1)	1.77 (2.66)
3	22.00	14.667	146.91 (1368)	10.1 (6.9)	2.06 (3.09)
4	26.50	17.667	139.70 (1334)	14.6 (10.1)	6.87 (10.3)
5	24.80	16.533	140.96 (1340)	14.3 (9.9)	6.03 (9.04)
6	23.40	15.6	143.49 (1352)	12.5 (8.6)	4.54 (6.51)
7	18.80	12.533	145.62 (1362)	8.0 (5.5)	2.92 (4.38)
8	17.80	11.867	141.38 (1342)	8.4 (5.8)	5.75 (8.62)
9	17.00	11.333	146.05 (1364)	8.4 (5.8)	2.63 (3.95)
10	20.50	13.667	144.77 (1358)	8.8 (6.1)	3.49 (5.23)
11	16.80	11.2	141.80 (1344)	8.0 (5.5)	5.47 (8.20)
12	14.50	9.667	143.07 (1350)	6.1 (4.2)	4.62 (6.93)
13	14.80	9.867	138.07 (1330)	5.8 (4.0)	7.43 (11.14)
14	15.00	10.0	141.38 (1322)	4.9 (3.4)	5.75 (8.62)
15	14.50	9.667	136.36 (1318)	6.1 (4.2)	9.09 (13.64)
16	15.45	10.3	138.44 (1328)	6.7 (4.6)	7.71 (11.56)
17	16.00	10.667	139.70 (1334)	6.7 (4.6)	6.87 (10.30)
18	15.80	10.533	143.92 (1354)	5.8 (4.0)	4.05 (6.08)

ตารางที่ 13 แสดงค่าบันทึกผลการรับภาระแรงดึง (ต่อ)

ชั้นทดสอบ	แรงดึงสูงสุด (FM)	ความเค้นสูงสุด (RM)	พท.หลังขาด ($\varnothing$) (SU) (mm ²)	ความยืดจนขาด (A) (%)	การลดของพื้นที่ (Z)
19	15.80	10.533	145.62 (1362)	4.9 (3.4)	2.92 (4.38)
20	15.80	10.533	144.77 (1358)	6.4 (4.4)	3.49 (5.23)
$\bar{X}$	18.50	12.335	142.64	8.29	4.91
Σx	370.05	246.7	2852.86 (1348)	165.8	98.11
SD	3.71.599	2.4773	2.9723 (1348)	2.7869	1.9826
SS^2	3.81.253	2.5417	3.0496 (1348)	2.8593	2.0341
Σx^2	7123.022	3165.785	407117.20	1529.82	559.89
n	20	20	20	20	20

คุณสมบัติของธาตุต่าง ๆ ที่พบอยู่ในวัสดุงานที่ได้จากระบวนการหลอมและ
องค์ประกอบโครงสร้างส่วนผสม เพื่อจะจัดจำแนกชนิดของวัสดุที่ได้โดยเทียบ
กับมาตรฐาน



MATERIALS SCIENCE LABORATORY

Production Engineering Department
 King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok



TEST REPORT

Report No. MSL 178/55

Company : คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
 Test problem : Determination of Chemical Composition
 Test method : Emission Spectroscopy
 Test object : Cast Aluminiums
 Date of test : 09/06/1995

THIS IS TO REPORT that the specimens were submitted to our laboratory for the purpose of tests. The results of tests were as follows

CHEMICAL COMPOSITIONS

Element	Specimen No.			
	GSQ	CSQ 3	GCG 3	CCG 3
Si	0.174	0.208	0.185	0.236
Fe	0.341	0.369	0.374	0.395
Cu	0.138	0.154	0.147	0.153
Mn	0.860	0.854	0.863	0.8519
Mg	1.450	1.730	1.670	1.560
Cr	0.0238	0.0229	0.0225	0.0227
Ni	0.0024	0.0037	0.003	0.003
Zn	0.0382	0.0348	0.0372	0.0393
Ti	0.0236	0.0912	0.0184	0.212
Al	96.9457	96.5326	96.6715	96.5230

This report reflects our findings at time and place of inspection only.

Tested by :

Examined and approved by :

A. Troset

W. Chaysuan

(Mr. Jaroon Troset)

(Mr. Washira Chaysuan)

Acting Head of Materials Science Lab.

CENTER OF DESTRUCTIVE AND NONDESTRUCTIVE TESTING SERVICES

Production Engineering Department (PE) , 1518 Piboonsongkram Road, Bangsue, Bangkok 10800
 Tel. 5858541-8 Ext./8203, 8215 Fax 5856149

จากผลการวิเคราะห์ส่วนผสมภายในของชิ้นทดสอบ ที่ได้จากระบวนการหลอม
 โดยวิธี Emission Spectroscopy สามารถที่จะระบุได้ว่า ชนิดของชิ้นทดสอบนี้
 จัดอยู่ในประเภท Wrought Aluminium Alloys Which Are Not Heat-treated
 อยู่ในกลุ่มระหว่าง ALCAN GB-3S และ ALCAN GB M57S.

4.2 การประเมินค่าใช้จ่าย

การพิจารณาเปรียบเทียบความเหมาะสมในการเลือกใช้กระบวนการหลอม จำต้องมีการประเมินค่าใช้จ่ายเพื่อประกอบการพิจารณา ซึ่งได้ข้อมูลต่าง ๆ จากการทดลองจริง และวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของกระบวนการหลอมแต่ละชนิด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับ ต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน ค่าบำรุงรักษา และอายุการใช้งาน ดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน

จากการทดลอง การใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีข้อเด่นและข้อด้อยที่ต่างกัน กล่าวคือ กระบวนการหลอมโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงจะเสียค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง และค่าไฟฟ้า แต่กระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะเสียค่าใช้จ่ายเฉพาะเชื้อเพลิงเท่านั้น

4.2.2 ราคาต้นทุนของวัสดุและอุปกรณ์ในกระบวนการหลอม

ตารางที่ 14 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาหลอม

รายการ	ราคา (บาท)	
	ชนิดถ่านโค้ก	ชนิดก๊าซLPG.
1. โครงถึง (เหล็ก) Ø 48 มม.	320	365
2. โครงฝาครอบ (เหล็ก) Ø 42 มม.	280	280
3. ซีเมนต์ทนไฟ	394	370
4. เบนโทไนต์ (ตัวประสาน)	295	245
5. ทราย	35	30
6. อิฐมอญ	38	35
รวม	1,362	1,325

ตารางที่ 15 ค่าใช้จ่ายยานกระบวนการหลอมที่ 5.6 kgs.

รายการ	ราคา (บาท)	
	ชนิดถ่านรี้ก	ชนิดก๊าซLPG.
1.เครื่องเป่าลม (Air Blower)	3,640	-
2.ถ่านรี้ก 50 กก. ละ 8 บาท	400	-
3.เบ้าหลอม	1,080	1,080
4.ท่อแรงดันสูง Ø 12 มม. ยาว 10.5 เมตร	-	280
5.Gate Valve Ø 12 มม. 2 ตัว	-	520
6.ข้อต่อท่อ Ø 12 มม.	-	120
7.เข็มจัดรัศมีสาย	-	45
8.สายก๊าซ (200 PSI) 2 เมตร (30)	-	60
9.Ball Valve Ø 18 มม.	-	247
10.ท่อทองแดง Ø 9 มม. 12 เมตร (52)	-	624
11.ชุด Fair ท่อทองแดง	-	226
12.Nozzle Burner	-	130
13.ชุดควบคุมความดันหัวถัง 2 ชุด	-	4,950
14.ถังก๊าซ 48 ลิตร 2 ถัง	-	3,700
รวม	5,120	12,406

ตารางที่ 16 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการหลอมที่ 22.5 kgs.

รายการ	ราคา (บาท)	
	ชนิดถ่านโค้ก	ชนิดก๊าซLPG.
1.เครื่องเป่าลม (Air Blower)	3,640	-
2.ถ่านโค้ก 50 กก. ละ 8 บาท	400	-
3.เบ้าหลอม	3,220	3,220
4.ท่อแรงดันสูง Ø 12 มม. 10.5 เมตร	-	280
5.Gate Valve Ø 12 มม. 2 ตัว	-	520
6.ข้อต่อท่อ Ø 12 มม.	-	120
7.เข็มจัดรัศมีสาย	-	45
8.สายก๊าซ (200 PSI) 2 เมตร (30)	-	60
9.Ball Valve Ø 18 มม.	-	247
10.ท่อทองแดง Ø 9 มม. 12 เมตร (52)	-	624
11.ชุด Fair ท่อทองแดง	-	226
12.Nozzle Burner	-	130
13.ชุดควบคุมความดันหัวถัง 2 ชุด	-	4,950
14.ถังก๊าซ 48 ลิตร 2 ถัง	-	3,700
รวม	7,260	14,546

4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาหลอม

การศึกษาเปรียบเทียบนี้จะเปรียบเทียบจากอัตราการสึกกร่อนของผนังเตาหลอม จะทราบถึงอายุการใช้งานเฉลี่ยของเตาหลอม จากสภาพสึกกร่อนจริงในขณะทำการทดลอง โดยกำหนดให้ความสำเร็จของเตาหลอมก่อนทำการทดลองหลอม เท่ากับ 1



รูปที่ 20 แสดงลักษณะของเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด

(ซ้าย) เตาหลอมชนิดใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง

(ขวา) เตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบอายุการใช้งานเฉลี่ยของเตาหลอมจากสภาพสึกกร่อน

ครั้งที่	เตาผ่านรีดิก*	เตาก้าว
1	0.02	0.01
2	0.05	0.01
3	0.07	0.01
4	0.09	0.01
5	0.13	0.01
6	0.15	0.01
7	0.18	0.01
8	0.20	0.02
9	0.22	0.02
10	0.25	0.03
11	0.27	0.03
12	0.29	0.03
13	0.31	0.04
14	0.32	0.04
15	0.35	0.05
16	0.37	0.06
17	0.38	0.06
18	0.41	0.07
19	0.43	0.07
20	0.44	0.07

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบอายุการใช้งานเฉลี่ยของเตาหลอมจากสภาพสึกกร่อน (ต่อ)

ครั้งที่	เตาถ่านโค้ก*	เตาก๊าซ
21	0.45	0.08
22	0.46	0.09
23	0.47	0.10
24	0.49	0.10
25	0.52	0.11
รวม	0.52	0.11

* ค่าความคลาดเคลื่อน 1 - 5 % เนื่องจากส่วนผสมของวัสดุผนังเตา

4.5 การอภิปรายผล

จากข้อมูลในตารางที่ 13 ค่าแรงดึงสูงสุด(FM) และค่าความเค้นสูงสุด(RM) มีหน่วยเป็น 1,000 กิโลกรัม-แรงต่อตารางมิลลิเมตร(kgf/150 mm.²) หรือมีค่าเท่ากับ 1 ตัน-แรงต่อตารางมิลลิเมตร(tonf/mm.²) สามารถคำนวณปรับหน่วยของค่า Tensile strength ที่ได้จากการทดลอง เพื่อความเหมาะสมเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับตารางวัสดุมาตรฐานดังนี้

$$\text{แรงดึงสูงสุด(FM)เฉลี่ย} = 18.50 \text{ tonf/mm.}^2$$

แปลงหน่วย mm.² ำให้เป็น in.²

$$\text{จะได้ แรงดึงสูงสุด(FM)เฉลี่ย} = 18.50 \text{ tonf.} \times 150 \text{ mm.}^2 / (25.4^2) \text{ in.}^2$$

$$\text{ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ} = 4.3013 \text{ tonf/in.}^2$$

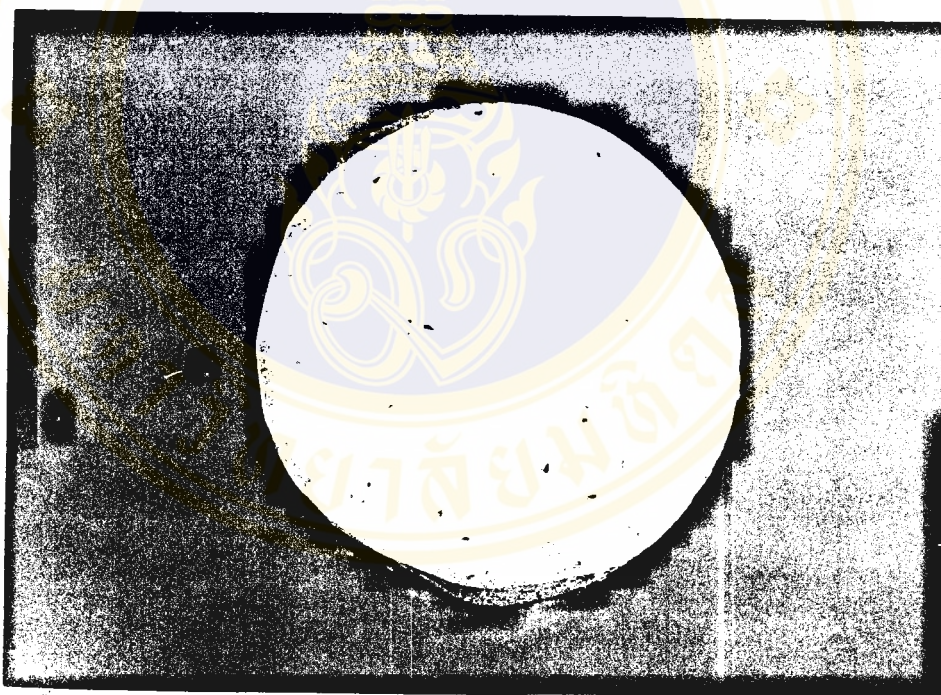
และ แรงดึงสูงสุด(FM) จากขึ้นทดสอบที่ 4 = 26.50 tonf/mm.²

แปลงหน่วย mm.² ให้เป็น in.²

จะได้ แรงดึงสูงสุด(FM)เฉลี่ย = 26.50 tonf. x 150 mm.² / (25.4²)in.²)

ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ = 6.1613 tonf/in.²

จากการทดสอบแรงดึงค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานที่ระบุไว้ ทั้งนี้เนื่องมาจากในกระบวนการหลอมเกิดสารมลทินขึ้นในเนื้อวัสดุงานที่ได้ ส่งผลให้วัสดุงานมีความสามารถในการรับแรงดึงทดสอบได้ต่ำกว่าต่อการสรุปว่าวัสดุงานที่หลอมได้ จาแนกอยู่ในกลุ่มวัสดุจำพวกใด (พิจารณาจากรูปที่ 21)



รูปที่ 21 แสดงการเกิดสารมลทินและการแตกร้าวภายในเนื้อวัสดุงาน

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 21 พบว่าการเกิดรอยแตกและรูพรุนในเนื้อของวัสดุงานมีกระจายอยู่ทั่วไปในบริเวณพื้นที่หน้าตัด ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้วัสดุงานขาดความแข็งแรง เกิดการเปราะหัก และขาด ใ้ง่ายเมื่อต้องรับภาระแรง(Load) กระทำจากภายนอก

จากตารางที่ 17 แสดงให้เห็นว่า ในการหลอมบรรจุภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง เตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กจะมีประสิทธิภาพในการหลอมโดยประมาณ 25 ครั้ง ครั้งละ 3 ใบ โดยใส่เข้าหลอมขนาด 20 กิโลกรัม ดังนั้นในการหลอม 1 ครั้ง จะหลอมประมาณ 60 กิโลกรัม เตาหลอมชนิดนี้จะสามารถหลอมวัสดุได้ 1,500 กิโลกรัม และจะมีอัตราการสึกกร่อนของผนังเตา ประมาณ 50 % ซึ่งเป็นค่าอัตราการสึกกร่อนของผนังเตาสูงสุดที่ยอมรับได้ เพราะหากผนังเตามีอัตราการสึกกร่อนของผนังเตามากเกินกว่า 50 % จะทำให้การหลอมสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ถ่านโค้ก) ประมาณ 30-40 % เมื่อกำหนดเกณฑ์การหลอมวัสดุดิบให้มีความถี่ที่ 4 วันต่อครั้ง ฉะนั้นเตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงจะมีอายุการใช้งานประมาณ 100 วัน (3 เดือน 10 วัน) หลังจากนั้นจะต้องทำการซ่อมแซมผนังเตาหลอมซึ่งในการซ่อมแซมผนังเตาหลอมสามารถทำได้ด้วยการฉาบผนังเตาหลอมใหม่ โดยใส่ทรายผสมกับซีเมนต์ทนไฟ และเบนโทไนต์ ในอัตราส่วนทราย 8 ก.ก. : ซีเมนต์ทนไฟ 6 ก.ก. : เบนโทไนต์ 6 ก.ก. คิดเป็นค่าใช้จ่าย $12 + 48 + 36$ บาท รวมเป็นเงิน 96 บาท

อนึ่ง เตาหลอมจะสามารถทำการฉาบผนังเตาได้ 4 ครั้ง โดยประมาณ นั้นหมายถึงเตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงจะมีอายุการใช้งานประมาณ 1 ปี จากนั้นจะต้องทำการเปลี่ยนเตาหลอมใหม่ จึงจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการที่เตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงจะมีอัตราการสึกกร่อนของผนังเตา 25 ครั้ง ที่ประมาณ 11 % นั้นหมายความว่า เตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงจะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าเตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง ประมาณ 4.5-5 เท่า จึงจะทำการฉาบผนังเตาใหม่ ดังจะพิจารณาได้จากตารางที่ 17

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายโดยวิธีหาต้นทุนรายปี

ตารางที่ 18 แสดงค่าต้นทุนคงที่เปรียบเทียบของเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด

ตัวแปร	หัวเรื่อง	เตาชนิดใช้ถ่านโค้ก เป็นเชื้อเพลิงหลอม	เตาชนิดใช้ก๊าซ เป็นเชื้อเพลิงหลอม
B ₁	อายุการใช้งานผนังเตาที่ 50 % เมื่อทำการหลอมต่อเนื่อง	25 ครั้ง	112 ครั้ง
B ₂	ค่าซ่อมแซมผนังเตา 4 ครั้ง (≈ 96 บาท/ 1 ครั้ง)	384 บาท	384 บาท
B ₃	อายุการใช้งานเตา เมื่อหลอม 4 วัน/ 1 ครั้ง	1 ปี	4 ปี 9 เดือน
B ₄	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาหลอม 20 กก. (เลือก 22.5 กก.)	2967.29 บาท (2967.50 บาท)	2574.22 บาท (2574.25 บาท)
B ₅	อัตราส่วนประสิทธิภาพของเตาหลอม	4 เตา	1 เตา
B ₆	ค่าใช้จ่ายของเตาคำนวณจากประสิทธิภาพเตา	$B_6 = B_4 \times B_5$ $= 11,870$ บาท	$B_6 = B_4 \times B_5$ $= 2574.25$ บาท
B ₇	ค่าใช้จ่ายของเตาหลอมรวมค่าซ่อมแซม	$B_7 = B_6 + (B_2 \times B_5)$ $= 13,406$ บาท	$B_7 = B_6 + (B_2 \times B_5)$ $= 4,110.25$ บาท

ตารางที่ 18 แสดงค่าต้นทุนคงที่เปรียบเทียบของเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด (ต่อ)

ตัวแปร	หัวเรื่อง	เตาชนิดใช้ถ่านโค้ก เป็นเชื้อเพลิงหลอม	เตาชนิดใช้ก๊าซ เป็นเชื้อเพลิงหลอม
B ₈	ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการหลอม	7,260 บาท	14,546 บาท
B ₉	วัสดุในงานหล่อ		
	- ทรายหล่อ 2 m ³	950 บาท	950 บาท
	- ตะแกรงร้อนทราย	320 บาท	320 บาท
	- แบบหล่อ 20 ชุด	700 บาท	700 บาท
	- พิมพ์หล่อ 20 พิมพ์	400 บาท	400 บาท
	- อื่น ๆ	300 บาท	300 บาท
	รวม	2,670 บาท	2,670 บาท
B ₁₀	รวมค่าใช้จ่ายสุทธิ		
	B ₁₀ = B ₇ +B ₈ +B ₉	23,336 บาท	21,326.25 บาท

ตารางที่ 19 แสดงค่าต้นทุนแปรผันเปรียบเทียบเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด

ต้นทุนแปรผัน	เตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้ก เป็นเชื้อเพลิงหลอม	เตาหลอมชนิดใช้ก๊าซ เป็นเชื้อเพลิงหลอม
พลังงานในการ หลอมต่อ ก.ก.	11.13 บาท (11.25 บาท)	6.21 บาท (6.25 บาท)
วัตถุดิบเพื่อการ หลอม $\frac{a \times b}{p}$	$\frac{2530 \times 11.5}{2000}$ = 14.55 บาท = 14.75 บาท/ก.ก.	$\frac{2490 \times 11.5}{2000}$ = 14.32 บาท = 14.50 บาท/ก.ก.
พลังงานในการ หลอม/1 ปี	2530×11.25 = 28,462.50 บาท	2410×6.25 = 15,812.50 บาท

เมื่อ a = ปริมาณวัตถุดิบ (Input) ที่ใช้ในการหลอมทั้งหมด (ก.ก.)

b = ค่าเฉลี่ยของราคารับซื้อต่อปี (บาท/ก.ก.)

p = ปริมาณผลผลิต (Output) ที่ต้องการได้จากการหลอม (ก.ก.)

ตารางที่ 20 ค่าใช้จ่ายสุทธิของการหลอม 4 ปี

ค่าใช้จ่าย	เตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้ก เป็นเชื้อเพลิงหลอม	เตาหลอมชนิดใช้ก๊าซ เป็นเชื้อเพลิงหลอม
1. ต้นทุนคงที่	23,336 บาท	21,326.25 บาท
2. ต้นทุนแปรผัน (พลังงาน)	$28,462.50 \times 4$ ปี = 113,850 บาท	$15,812.50 \times 4$ ปี = 63,250 บาท
(วัตถุดิบ)	$2,530 \text{ ก.ก.} \times 11.5 \text{ บาท} \times 4$ ปี = 116,380 บาท	$2,490 \times 11.5 \times 4$ ปี = 114,540 บาท
รวม	253,566 บาท	199,116.25 บาท

ตารางที่ 21 แสดงค่าใช้จ่ายของเบ้าหลอมโลหะ (บาท)

ชนิด CLAY – GRAPHITE

ขนาด (A)	ความจุหลอมอลูมิเนียม		ราคา (บาท)	หมายเหตุ
	(Kgs.)	(lbs.)		
10	8.0	18	1,220	* ชนิดที่เลือก
12	8.0	18	1,400	
16	10.5	23	1,536	
20	13.5	30	1,772	
25	16.5	36	1,988	
30	19.5	43	2,156	
40	22.5	50	3,220	
50	27.0	60	3,588	
60	34.5	77	3,704	
80	47.0	105	5,248	
100	54.0	120	6,000	
120	62.0	138	6,940	

ที่มา : บริษัท สหเศรษฐภัณฑ์ จำกัด. ข้อมูลการตลาด ธันวาคม 2537.

ตารางที่ 22 แสดงค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด

ความจุในการหลอม (Kgs.)	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตา (บาท)		หมายเหตุ
	เตาชนิดใช้ถ่านโค้ก	เตาชนิดใช้ก๊าซ	
5.6	1362.20	1325.80	* ชนิดที่เลือก
8.0	1653.87	1476.42	
10.5	1799.80	1665.70	
13.5	2091.68	1892.83	
16.2	2354.36	2097.24	
19.5	2675.42	2347.09	
22.5	2967.29	2574.22	
27.0	3405.09	2914.91	
34.5	4134.76	3482.74	
47.0	5350.89	4429.11	
54.0	6031.92	4959.08	
62.0	6810.24	5564.76	

สัมประสิทธิ์ในการคำนวณค่าใช้จ่าย

- เตาชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงความจุ 6 กิโลกรัมแรก ค่าใช้จ่าย 243.25 บาท / 1 กิโลกรัม กิโลกรัมต่อไป ค่าใช้จ่าย 40 % ต่อหน่วย หรือเท่ากับ 97.29 บาท / 1 กิโลกรัม *

- เตาชนิดใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงความจุ 6 กิโลกรัมแรก ค่าใช้จ่าย 236.75 บาท / 1 กิโลกรัม กิโลกรัมต่อไป ค่าใช้จ่าย 32 % ต่อหน่วย หรือเท่ากับ 75.71 บาท / 1 กิโลกรัม *

* อัตราการเพิ่มคำนวณจากอัตราการชั่ววิสัยในการสร้างเตาหลอมที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 23 แสดงราคารับซื้อ - ขาย อลูมิเนียมของร้านค้า (ปี 2536)

เดือน	อลูมิเนียมแผ่นบาง		อลูมิเนียม หนา - ก้อน	
	รับซื้อ	ขาย	รับซื้อ	ขาย
ม.ค.	6 - 8	22	24 - 28	34 - 42
ก.พ.	6 - 9	23	24 - 28	34 - 42
มี.ค.	8 - 12	26	24 - 27	34 - 42
เม.ย.	12	25	23 - 27	34 - 42
พ.ค.	12	25	24 - 27	34 - 42
มิ.ย.	14 - 15	29	24 - 30	45
ก.ค.	10 - 13	25	22 - 28	42
ส.ค.	12 - 13	25	20 - 26	40
ก.ย.	13	26	22 - 26	40
ต.ค.	13	26	24 - 29	34 - 42
พ.ย.	10 - 15	25	22 - 27	42
ธ.ค.	10 - 15	28	24 - 29	34 - 42
$\bar{X}$	10.5	25.4	23.08	36.75
$\bar{Y}$	12.5	25.4	27.66	41.75
Σx	126	305	277	441
Σx^2	1402	7791	6413	16449
Σy	150	305	332	501
Σy^2	1928	7791	9202	20937

ตารางที่ 23 แสดงราคาซื้อ - ขาย อลูมิเนียมของร้านค้า (ปี 2536) (ต่อ)

เดือน	อลูมิเนียมแผ่นบาง		อลูมิเนียม หนา - ก้อน	
	รับซื้อ	ขาย	รับซื้อ	ขาย
Σxy	1620	13725	7675	18433
$(SD) x \ n$	2.5658	1.8008	1.2554	4.4931
$(SS^2) x \ n-1$	2.6799	1.8809	1.3114	4.6928
$(SD) y \ n$	2.1016	1.8008	1.1785	1.299
$(SS^2) y \ n-1$	2.1950	1.8809	1.2309	1.3568

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point Analysisist)

หากรายรับทั้งหมดและต้นทุนแปรผันอยู่ในลักษณะ เส้นตรงของปริมาณการผลิตแล้ว เราสามารถที่จะนำมาวิเคราะห์ถึงการผลิตได้

กำหนดให้ Q = จำนวนของผลผลิตที่ผลิตและขายของแต่ละช่วงเวลา (Quantity)

p = ราคาขายผลผลิตต่อหน่วย (Price)

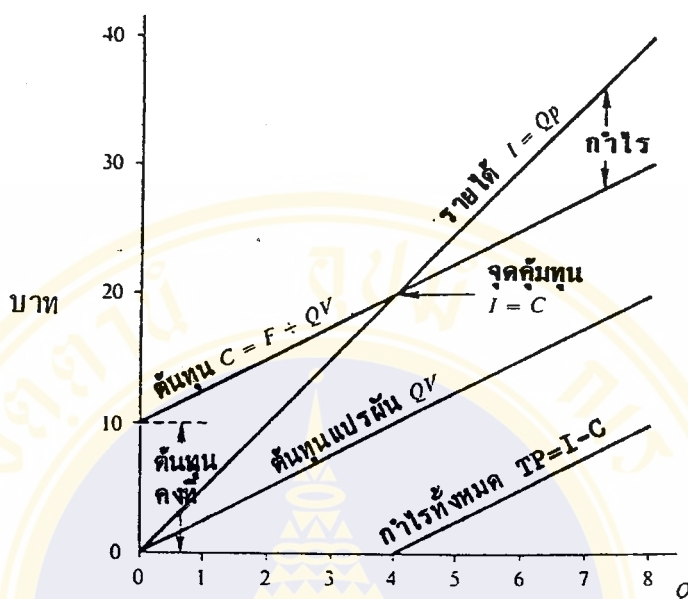
I = Qp คือ รายรับทั้งหมดจากการขายผลผลิต Q หน่วย (Income หรือ Revenue) และกำไรทั้งหมด (Total profit = TP)

F = ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

V = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วยของผลผลิต (Variable Cost)

C = $F + QV$ ผลรวมของต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผันสำหรับการผลิต Q หน่วย (Total Cost)

$TP (\text{฿}) = I - C$ (กำไรทั้งหมด (ค่าบวก), ค่าลบคือขาดทุน)



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ของต้นทุน, รายได้ และกำไร

จุดคุ้มทุนของการผลิตในการศึกษาี้ จะพิจารณาระหว่างกระบวนการหลอมโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง กับกระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง

การคำนวณหาจุดคุ้มทุน สามารถคำนวณได้ดังนี้

กระบวนการหลอมโดยใช้ถ่านโค้ก เป็นเชื้อเพลิง			กระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซ เป็นเชื้อเพลิง		
ต้นทุนคงที่ (F)	23,336	บาท	21,326.25	บาท	
ต้นทุนแปรผัน (V)	26.00	บาท/หน่วย	20.75	บาท/หน่วย	
ราคาผลผลิต (p)	39.25	บาท/หน่วย	39.25	บาท/หน่วย	
ความสามารถในการผลิต(N)	2,000	หน่วย	2,000	หน่วย	

จุดคุ้มทุน(Break Even Point = BEP) ของกระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง

$$\text{จากสูตร } BEP = Q_p = F + QV$$

$$Q = \frac{F}{P - V} \quad \text{โดยที่ } F = 21,326.25 \text{ บาท}$$

$$V = 20.75 \text{ บาท/กก.}$$

$$Q = \frac{21,326.25}{(39.25 - 20.75)} \text{ บาท} \quad P = 39.25 \text{ บาท/กก.}$$

$$N = 2,000 \text{ กก.}$$

$$Q = 1152.8 \text{ กก.}$$

ที่จุด BEP นี้ $I = C$ และค่า $I = Q_p$ หรือ $C = F + QV$

$$\text{แต่ค่า } Q = F / (P - V)$$

$$\text{ดังนั้น } I = P \left[\frac{F}{(p - v)} \right] \text{ หรือ } C = F + V \left[\frac{F}{(p - v)} \right]$$

$$\text{จากข้อมูลข้างต้นจะได้ } I = 39.25 \text{ บาท/กก.} \left[\frac{21,326.25 \text{ บาท}}{39.25 - 20.75 \text{ บาท/กก.}} \right]$$

$$I = 45,246.25 \text{ บาท}$$

$$C = 21,326.25 \text{ บาท} + \left[20.75 \text{ บาท/กก.} \left(\frac{21,326.25 \text{ บาท}}{39.25 - 20.75 \text{ บาท/กก.}} \right) \right]$$

$$39.25 - 20.75 \text{ บาท/กก.}$$

$$C = 45,246.25 \text{ บาท}$$

$$\text{จากสูตร } TP = I - C$$

$$\text{ดังนั้น } TP = Q_p - (F + QV)$$

$$TP = Q (p - v) - F$$

จากสูตรข้างต้น ถ้าผลิต 2,000 กก.,

$$TP = 2,000 \text{ กก.} (39.25 - 20.75 \text{ บาท/กก.}) - 21,326.25 \text{ บาท}$$

$$TP_{2000} = 15,673.75 \text{ บาท (กำไร)}$$

ถ้าผลิต 1,500 กก.,

$$TP = 1,500 \text{ กก.} (39.25 - 20.75 \text{ บาท/กก.}) - 21,326.25 \text{ บาท}$$

$$TP_{1500} = 6,423.75 \text{ บาท (กำไร)}$$

ถ้าผลผลิต 1,000 กก.,

$$TP = 1,000 \text{ กก. } (39.25 - 20.75 \text{ บาท/กก.}) - 21,326.25 \text{ บาท}$$

$$TP_{1,000} = -2,826.25 \text{ บาท (ขาดทุน)}$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า TP 2,000 กก. มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ 73.50 %

TP 1,500 กก. มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ 30.12 %

TP 1,000 กก. มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ -13.25 %

จุดคุ้มทุน (Break Even Point = BEP) ของกระบวนการหลอมโดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง

จากสูตร $BEP = Q_p = F + QV$

$$Q = F / (p - v) \quad \text{โดยที่ } F = 23,336.00 \text{ บาท}$$

$$V = 26.00 \text{ บาท/กก.}$$

$$Q = \frac{23,336.00}{(39.25 - 26.00)} \text{ บาท} \quad P = 39.25 \text{ บาท/กก.}$$

$$N = 2,000 \text{ กก.}$$

$$Q = 1761.2 \text{ กก.}$$

ที่จุด BEP นี้ $I = C$ และค่า $I = Q_p$ หรือ $C = F + QV$

แต่ค่า $Q = F / (P - V)$

ดังนั้น $I = P \left[\frac{F}{(p - v)} \right] \text{ หรือ } C = F + V \left[\frac{F}{(p - v)} \right]$

จากสูตรข้างต้นจะได้

$$I = 39.25 \text{ บาท/กก. } \left[\frac{23,336.00 \text{ บาท}}{39.25 - 26.00 \text{ บาท/กก.}} \right]$$

$$I = 69,127.39 \text{ บาท}$$

$$C = 23,336.00 \text{ บาท} + [26.00 \text{ บาท/กก.} (\underline{23,336.00 \text{ บาท}})]$$

$$39.25-26.00 \text{ บาท/กก.}$$

$$C = 69,127.39 \text{ บาท}$$

จากสูตร $TP = I - C$

ดังนั้น $TP = Q_p - (F + Qv)$

$$TP = Q (p - v) - F$$

จากสูตรข้างต้น

ถ้าผลผลิต 2,000 กก.,

$$TP = 2,000 \text{ กก.} (39.25-26.00 \text{ บาท/กก.}) - 23,336 \text{ บาท}$$

$$TP_{2000} = 3,164 \text{ บาท (กำไร)}$$

ถ้าผลผลิต 1,500 กก.,

$$TP = 1,500 \text{ กก.} (39.25-26.00 \text{ บาท/กก.}) - 23,336 \text{ บาท}$$

$$TP_{1500} = -3,461 \text{ บาท (ขาดทุน)}$$

ถ้าผลผลิต 1,000 กก.,

$$TP = 1,000 \text{ กก.} (39.25-26.00 \text{ บาท/กก.}) - 23,336 \text{ บาท}$$

$$TP_{1000} = -10,086 \text{ บาท (ขาดทุน)}$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า TP 2,000 กก. มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ 13.56 %

TP 1,500 กก. มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ - 14.83 %

TP 1,000 กก. มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ - 43.22 %

เกณฑ์การตัดสินใจเลือกกระบวนการหลอม

ในการตัดสินใจเลือกกระบวนการหลอม จะต้องพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์ กล่าวคือ จะต้องพิจารณาในส่วนของค่าใช้จ่าย ผลตอบแทนหรือผลตอบแทนสุทธิ แล้วนำไปวินิจฉัยว่าการลงทุนนั้น ๆ จะได้รับผลตอบแทนคุ้มหรือไม่

สำหรับการลงทุนนี้ ได้กำหนดให้ อัตราดอกเบี้ยหรือผลตอบแทนจากการลงทุน เท่ากับ 13 %

เกณฑ์การตัดสินใจจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value method หรือ NPV.)

การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถดำเนินการได้ในสองวิธีด้วยกัน คือ เริ่มด้วยการปรับค่าของเวลาของค่าใช้จ่ายและของผลตอบแทนเป็นรายปีไปจนตลอดอายุของการลงทุนเพื่อให้เป็นค่าปัจจุบัน เมื่อนำมาหักลบกันจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน หรือจะคำนวณหา โดยนำค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นของการลงทุนไปหักออกจากผลตอบแทนเป็นรายปี เพื่อให้ได้ผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสด (Cash flow) ในแต่ละปี หลังจากนั้นทำการปรับค่าของเวลาของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ซึ่งก็คือ คูณด้วย PWF. หรือ $1/(1+i)^n$ ซึ่งการหาค่าของ PWF. จะไม่ยุ่งยากแต่ประการใด เมื่อปรับค่าของเวลาแล้วก็จะได้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดเป็นรายปี และเมื่อรวมเข้าด้วยกันทุกปีจะเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุน

สูตรคำนวณค่า PWF. (Present Worth Factor)

$$(P/F, i\%, N) = 1/(1+i)^N$$

เมื่อ i = interest rate per period (ตามปกติ 1 ปี)

N = number of period หรือ n

จาก Tables for Discrete Compounding สามารถหาคำนวณหาค่า
Present Worth Factor (PWF.) ได้จากสูตร

$$(P/F, i \%, N) = 1 / (1 + i)^N$$

เมื่อ $i = 13 \%$

$N =$ จำนวนของเวลา (ปี)

ซึ่งจากสูตรดังกล่าวสามารถหาคำนวณหาค่า PWF. ของแต่ละปีได้ดังนี้

$$(P/F, i \%, N) = 1 / (1 + i)^N$$

แทนค่า $(P/F, i=13 \%, N=0) = 1/(1 + 0.13)^0 = 1.0000$

$$(P/F, i=13 \%, N=1) = 1/(1 + 0.13)^1 = 0.8850$$

$$(P/F, i=13 \%, N=2) = 1/(1 + 0.13)^2 = 0.7831$$

$$(P/F, i=13 \%, N=3) = 1/(1 + 0.13)^3 = 0.6931$$

$$(P/F, i=13 \%, N=4) = 1/(1 + 0.13)^4 = 0.6133$$

ตารางที่ 24 แสดงการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนในกระบวนการหลอมโดยผ่านเหล็ก

ปี	ค่าลงทุน	ค่าดำเนินงาน	ผลตอบแทน	ผลตอบแทนสุทธิ	PWF. 13 %	PV.
0	23,336	-	-	-23,336	1.0000	-23,336
1	-	60,909	78,500	17,591	0.8850	15,568
2	-	60,909	78,500	17,591	0.7831	13,776
3	-	60,909	78,500	17,591	0.6931	12,193
4	-	60,909	78,500	17,591	0.6133	10,789
NPV =						28,990

ตารางที่ 25 แสดงการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนในกระบวนการหลอมโดยก๊าซ

ปี	ค่าลงทุน	ค่าดำเนินงาน	ผลตอบแทน	ผลตอบแทนสุทธิ	PWF. 13 %	PV.
0	21,326	-	-	-21,326	1.0000	-21,326
1	-	44,543	78,500	33,957	0.8850	30,052
2	-	44,543	78,500	33,957	0.7831	26,592
3	-	44,543	78,500	33,957	0.6931	23,536
4	-	44,543	78,500	33,957	0.6133	20,826
NPV =						79,680

จากข้อมูลที่ปรากฏดังตารางทั้งสองพบว่าการลงทุนทั้งสองกระบวนการก่อให้เกิดความคุ้มค่าของการลงทุน แต่ในการพิจารณาจะต้องพิจารณาเลือกกระบวนการที่ทำให้ผลตอบแทนการลงทุนมากที่สุด นั่นคือการลงทุนในกระบวนการหลอมโดยก๊าซ

อัตราผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio หรือ B/C Ratio)

เกณฑ์นี้แสดงถึง อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย ซึ่งในที่นี้ก็คือ ค่าใช้จ่ายทางด้านทุน(capital) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และบำรุงรักษาหรือกล่าวอีกนัยคือ หมายถึงค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นที่ไม่มีการแบ่งแยกว่าเป็นค่าใช้จ่ายประเภทใด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ B/C Ratio คือ

$$\begin{aligned}
 B/C &= PV \text{ of Benefits} / PV \text{ of Costs} \\
 &= [\sum_{t=1}^n B_t / (1+i)^t] / [\sum_{t=1}^n C_t / (1+i)^t]
 \end{aligned}$$

เมื่อ B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายในปีที่ t และ

t = ปีของการลงทุนมีค่า $1, 2, \dots, n$

i = อัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสม

ตารางที่ 26 แสดงค่าการลงทุนเพื่อคำนวณหา B/C Ratio ในการลงทุนของกระบวนการหลอมโดยใช้อ่างานรีกเป็นเชื้อเพลิง

ปี	ค่าลงทุน	ค่า ดำเนินงาน	รวมค่า ใช้จ่าย	PWF. 13 %	PV. ค่าใช้จ่าย	ผลตอบแทน	PWF. 13 %	PV. ผลตอบแทน
0	23,336	-	23,336	1.0000	23,336	-	1.0000	-
1	-	60,909	60,909	0.8850	53,905	78,500	0.8850	69,473
2	-	60,909	60,909	0.7831	47,698	78,500	0.7831	61,473
3	-	60,909	60,909	0.6931	42,216	78,500	0.6931	54,408
4	-	58,934	60,909	0.6133	37,356	78,500	0.6133	48,144
NPV =					204,511	NPV =		233,498

$$\begin{aligned} \text{B/C Ratio} &= \text{PV of Benefits} / \text{PV of Costs} \\ &= 233,498 / 204,511 \end{aligned}$$

$$\text{B/C Ratio} = 1.14$$

ค่า B/C Ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ายอมรับการลงทุนได้

ตารางที่ 27 แสดงค่าการลงทุนเพื่อคำนวณหา B/C Ratio ในการลงทุนของกระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง

ปี	ค่าลงทุน	ค่า ดำเนินงาน	รวมค่า ใช้จ่าย	PWF. 13 %	PV. ค่าใช้จ่าย	ผลตอบแทน	PWF. 13 %	PV. ผลตอบแทน
0	21,326	-	21,326	1.0000	21,326	-	1.0000	-
1	-	44,543	44,543	0.8850	39,421	78,500	0.8850	69,473
2	-	44,543	44,543	0.7831	34,882	78,500	0.7831	61,473
3	-	44,543	44,543	0.6931	30,873	78,500	0.6931	54,408
4	-	44,543	44,543	0.6133	27,318	78,500	0.6133	48,144
NPV =					153,820	NPV =		233,498

$$\begin{aligned} \text{B/C Ratio} &= \text{PV of Benefits} / \text{PV of Costs} \\ &= 233,498 / 153,820 \end{aligned}$$

$$\text{B/C Ratio} = 1.52$$

ค่า B/C Ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ายอมรับการลงทุนได้

จากผลของค่า B/C Ratio จากตารางข้างต้นแสดงว่ากระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง มีค่า B/C Ratio ที่คำนวณได้มีค่า 1.52 และกระบวนการที่ใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง คือ 1.14 ซึ่งสามารถสรุปการตัดสินใจเลือกการลงทุนของกระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากค่า อัตราผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (B/C Ratio) ที่ได้คำนวณมีค่ามากกว่า อีกทั้งค่าใช้จ่ายและเงินลงทุนก็น้อยกว่าด้วย

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

กระบวนการ Recycle วัสดุเหลือใช้จากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทอลูมิเนียม ประกอบด้วยส่วนประกอบย่อย คือ ชนิดของเตาหลอมจําแนกโดยเชื้อเพลิงที่ใช้ อุปกรณ์ กระบวนการหลอม เป้าหลอม ซึ่งกระบวนการหลอมจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value Contained) ต้นทุนในการผลิต และ ผลผลิตที่ได้รับ ซึ่งผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. อุณหภูมิหลอมของเตาด้านใต้มีประมาณ 738.2 องศาเซลเซียส ปริมาณ ด้านใต้ที่ใช้ในการหลอมเฉลี่ย 1.006 ก.ก.ต่อผลผลิต 1 กิโลกรัม ในขณะที่อุณหภูมิหลอมของเตาด้านข้างประมาณ 745 องศาเซลเซียส ปริมาณที่ใช้ในการหลอมเฉลี่ย 0.92 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ต่อผลผลิต 1 กิโลกรัม
2. อายุการใช้งานของเตาหลอมชนิดที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงมากกว่าเตาหลอม ชนิดที่ใช้ด้านใต้เป็นเชื้อเพลิง มีอัตราส่วนประมาณ 4.9:1
3. ระยะเวลาในการปฏิบัติการหลอม เมื่อใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะใช้เวลาในการหลอมน้อยกว่าการหลอมเมื่อใช้ด้านใต้เป็นเชื้อเพลิงเฉลี่ย 49.27 % หรือใช้เวลา น้อยกว่าในอัตรา 1:2.03 เท่า
4. ต้นทุนในการผลิตด้าน ต้นทุนคงที่ กระบวนการหลอมโดยใช้ด้านใต้เป็น เชื้อเพลิงจะมีต้นทุนประมาณ 23,336 บาท ในขณะที่กระบวนการหลอมโดยใช้ก๊าซเป็น เชื้อเพลิงมีต้นทุนประมาณ 21,326.25 บาท และ ต้นทุนแปรผัน กระบวนการหลอมโดยใช้ ด้านใต้เป็นเชื้อเพลิงจะมีต้นทุนประมาณ 26.00 บาท/ 1 กิโลกรัม แต่กระบวนการหลอม โดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะมีต้นทุนประมาณ 20.75 บาท/ 1 กิโลกรัม

5. จุดคุ้มทุน กระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิงจะมีจุดคุ้มทุนเร็วกว่า กระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิง คือ (1152.8 – 1761.2 กิโลกรัม) สรุปได้ว่ากระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิง มีจุดคุ้มทุนเร็วกว่ากระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 608.4 กิโลกรัม

6. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV.) ของกระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิง สูงกว่ากระบวนการหลอมชนิดใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิงมาก NPV. ของกระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้า = 79,680 บาท ในขณะที่ NPV. ของกระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้า = 28,990 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่า NPV. ของกระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิง จะสูงกว่ากระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้า 2.75 เท่า

7. อัตราผลตอบแทนการลงทุน (B/C Ratio) ของกระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิง = 1.14 ในขณะที่กระบวนการหลอมชนิดใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิง = 1.52 ซึ่งสามารถระบุได้ว่าเลือกกระบวนการหลอมชนิดใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิงจะให้ผลตอบแทนที่สูงกว่ามีกำไร 13237.25 บาท ที่ผลผลิต 2,000 กิโลกรัม

8. ผลการวิเคราะห์จากการทดสอบแรงดึงของชิ้นทดสอบที่ได้ ผลการทดลองที่ได้จะน้อยกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการหลอมที่ทดลองเป็นชนิดหลอมเปิด (OPEN Crucible) ทำให้เกิด Coring Effect และ Inclusion ขึ้นมาก แต่หากใช้การหลอมแบบ Electrolytic Melting Furnace) จะได้ผลใกล้เคียงกับมาตรฐานมาก

9. ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมของผลผลิต ค่าที่ได้อยู่ในชนิด 3004 และ 5052 รวมถึงสามารถจัดอยู่ใน Wrought Aluminum Allbys ชนิด ALCAN GB-M57 S และ ALCAN GB-54 S ตามมาตรฐานอังกฤษได้อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการหลอมทั้ง 2 ชนิดแล้ว กระบวนการหลอมโดยใช้อัลก้าเป็นเชื้อเพลิงเหมาะสมอย่างยิ่งในการเลือกใช้ เพราะเป็นกระบวนการที่ไม่มีความซับซ้อนมากลงทุนน้อย อัตราผลตอบแทนค่อนข้างสูง และเป็นพลังงานที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก ตลอดจนสามารถสร้างงานในครัวเรือน หรือจะสร้างในรูปแบบของสหกรณ์ชุมชนของท้องถิ่นนั้น ๆ ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เชื้อเพลิงก๊าซให้ประสิทธิภาพในการหลอมวัสดุได้เหมาะสมกว่าถ่านโค้ก ทั้งในด้านของราคาซึ่งถูกกว่า มลภาวะที่เกิดขึ้นน้อยกว่า และสะดวก หาซื้อง่ายตามท้องตลาดทั่วไป จึงเหมาะสมที่จะใช้ในงานหลอมวัสดุได้ดีกว่าถ่านโค้ก
2. กระบวนการหลอมวัสดุโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงไปใช้งาน จะต้องควบคุมเปลวไฟให้มีอุณหภูมิสูงสุด (ดูจากสีของเปลวไฟ จะต้องเป็นสีฟ้าอ่อน หรือสีฟ้าอมเขียวอ่อน) โดยควบคุมรูผ่านก๊าซให้มีขนาดรูที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพในการหลอมสูงขึ้น
3. ด้านการผลิตเตาหลอม จะต้องควบคุมส่วนผสมของซีเมนต์ทนไฟให้ดี เพื่อลดอัตราการสึกกร่อนของผนังเตา
4. การติดตั้งระบบนำก๊าซ จะต้องหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และควรติดตั้งในโรงเรือนที่มีหลังคาและอากาศถ่ายเทได้สะดวก
5. อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมของพื้นที่ แต่ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอันดับแรก
6. การกวนน้ำโลหะหรือการตัก Slag จะต้องกระทำให้รวดเร็ว และน้อยครั้งที่สุด เพื่อป้องกันการเกิด Diffusion จากวัสดุกวนและตัก Slag
7. ก่อนการหลอมวัสดุบรรจุภัณฑ์เครื่องตีประเภทอลูมิเนียม จะต้องอัดอากาศให้เป็นก้อน เพื่อเป็นการเพิ่มมวลวัสดุในการหลอม กล่าวคือ จะต้องลดช่องว่างระหว่างผิวของวัสดุให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกัน Oxidation ขณะหลอมเหลว
8. ผลผลิตที่ได้จากการหลอมนี้สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิต Casting Aluminum Alloy ได้ และจะสามารถเพิ่มผลกำไรสูงขึ้นอีกกว่า 100 % ได้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมอาชีวศึกษา. กระทรวงศึกษาธิการ. แบบเรียนวิชาช่างกลวัสดุช่าง. กรุงเทพฯ. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์คุรุสภา, พ.ศ. 2523; 338 หน้า.
2. คณาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ความน่าจะเป็นและสถิติ. กรุงเทพฯ. พิมพ์ครั้งที่ 5. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2532 ; 410 หน้า.
3. ชนะ กลินาร์. ความแข็งแรงของวัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 8/2527. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์; 460 หน้า.
4. ซีอีเคยูเคชั่น (บริษัท). คู่มือการเลือกซื้อวัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 2/ สิงหาคม 2535. เอเชียเพรสการพิมพ์; 328 หน้า.
5. บัณฑิต ใจชื่น. โลหะวิทยากายภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 7. สำนักพิมพ์ไพบ. พ.ศ. 2527 ; 281 หน้า.
6. ประกอบ บุญยงค์. วิเคราะห์การตัดสินใจลงทุนสำหรับการบริหารและวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2/2532; 422 หน้า.
7. ประจักษ์ ศกุนตะลักษณ์. เศรษฐศาสตร์การขนส่ง. 2529. สำนักพิมพ์ทองศิริเพรส; 325 หน้า.
8. ปิยะ ปิยะนุช และคณะ. แบบเรียนวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ 1/2519. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช; 9 หน้า.
9. พัชร ทองวิจิตร. การจัดการขยะมูลฝอย. สิงหาคม 2529. สำนักพิมพ์ไพบ; 281 หน้า.
10. มนต์ สนิธิจินดา. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พ.ศ. 2536; 218 หน้า.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

11. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ. รายงานแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับชุมชนเมืองหลัก และเมืองศูนย์กลางความเจริญในภูมิภาค, ฉบับที่ 2.พ.ศ. 2533; 358 หน้า.
12. มานพ พรหม ฌ.โชติ, สมรดี หักลงาม, กฤษณา ชูติมา และทองสุข พงศ์ทอง. เคมีทั่วไป 1. พ.ศ. 2527. มหาวิทยาลัยรามคำแหง; 214 หน้า.
13. มานพ ตันตระกูล. งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม.พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). มกราคม พ.ศ.2535; 120 หน้า.
14. รังสรรค์ แขวงโรสภา. เศรษฐศาสตร์การขนส่ง.พิมพ์ครั้งที่ 1/2528; 129 หน้า.
15. รังสรรค์ ปิ่นทอง. โลหะผสมกับรีไซเคิล. กรมควบคุมมลพิษ. ธันวาคม พ.ศ. 2536; 17 หน้า.
16. สมบูรณ์ เติ้งหงษ์เจริญ, บัณฑิต ใจเย็น และคณะ. การตรวจสอบงานเชื่อมโลหะ. กรกฎาคม พ.ศ.2528. พิมพ์ครั้งที่ 2; 219 หน้า.
17. สุทน พัฒนศิริ และ บัณฑิต ใจเย็น. หล่อโลหะ 1. สำนักพิมพ์ประกอบไตร. พิมพ์ครั้งที่ 2. พ.ศ. 2527; 358 หน้า.
18. สุทน พัฒนศิริ และ บัณฑิต ใจเย็น. หล่อโลหะ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. พ.ศ. 2526. สำนักพิมพ์ประกอบไตร; 343 หน้า.
19. Harry.W.Dietert. AFS. Foundry Cose Practice. American Foundrymen Society Chicago, Illinois; 445 P.
20. AFS MOLD AND CORE TEST HANDBOOK. Foundry Sands and Clay; 306 P.



การสร้างเตาหลอม

กระบวนการหลอมวัสดุโดยใช้ถ่านโค้ก

กระบวนการหลอมโดยถ่านโค้กประกอบด้วย

1. เตาหลอม (Furnace)
2. ฝาครอบเตา (Furnace cover)
3. เบ้าหลอม (Crucible)
4. ถ่านโค้ก (Coke)
5. เครื่องเป่าลม (Air Blower)

1. เตาหลอม (Furnace)

เตาหลอมโลหะนับเป็นอุปกรณ์ชิ้นหลักในการหลอม เตาหลอมจะทำงานเพื่อความเหมาะสมของการหลอมโดยจะพิจารณาจาก ปริมาณของวัสดุที่จะหลอม ขนาดของเบ้าหลอม เตาหลอมที่ผลิตขึ้นจะทำการสร้างผนังเตาด้านนอกหรืออาจเรียกว่าโครงเตา ซึ่งทำจากเหล็กขึ้นมาก่อน แล้วทำการก่อผนังเตาด้านในโดยผนังเตาด้านในจะประกอบด้วย

- ก. ซีเมนต์ทนไฟ (Insulating Cement)
- ข. เบนโทไนต์ (Bentonite)
- ค. ทราย (Sand)
- ง. อิฐมอญ (Red Brick)

ซึ่งกรรมวิธีการสร้างเตาจะเริ่มจากลำดับที่ 1 ทำการผสมซีเมนต์ทนไฟเข้ากับเบนโทไนต์ในอัตราส่วน 1:1 โดยใช้น้ำเป็นตัวผสม ดังรูปที่ 1 ก. อนึ่งในการผสมนี้จะเติมน้ำแล้วกวาดส่วนผสมจนมีลักษณะคล้ายโคลน จากนั้นนำโคลนซีเมนต์ที่ได้ทาผนังโครงเตาด้านใน แล้วตากลมทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที ดังรูปที่ 2 ก.

ขั้นตอนการเตรียมเตาหลอมวัสดุ



รูปที่ 1 ก. แสดงวัสดุประสานที่ใช้สร้างเตาหลอมวัสดุ(จากซ้ายไปขวา)

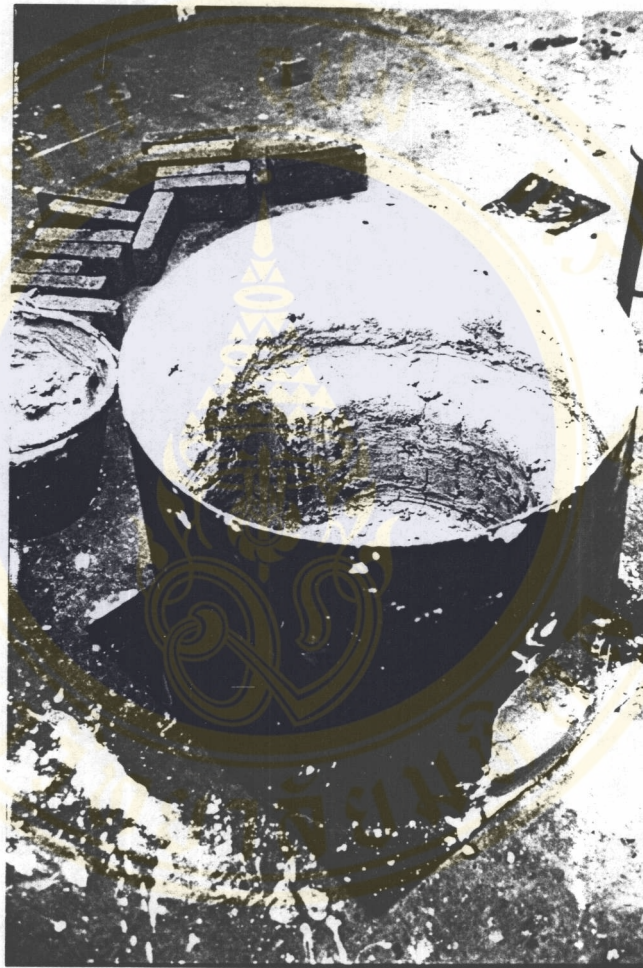
อันได้แก่ 1.เบนโทไนต์ 2. ทราย 3. น้ำ 4. ซีเมนต์ทนไฟ



รูปที่ 2 ก. แสดงการฉาบโคลนซีเมนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

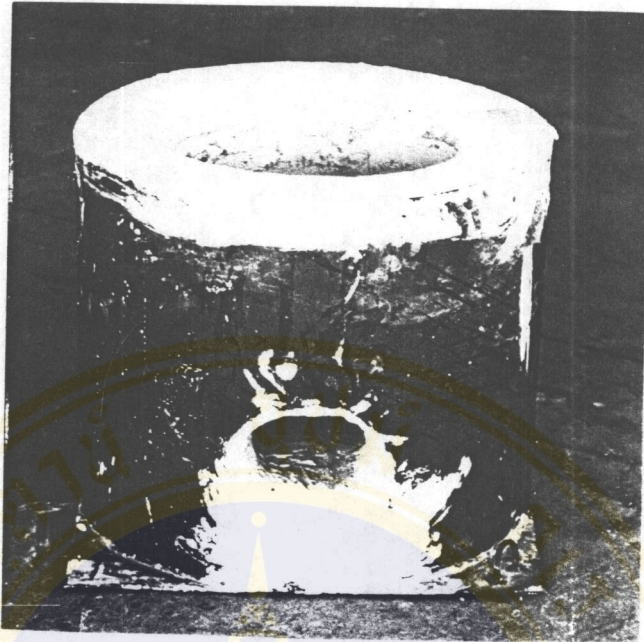
ในการปิดเกาะของผนังเตากับผิวโครงเตา

ลำดับที่ 2 ทำการผสมซีเมนต์ทนไฟ เบนโทไนต์ ททราย และน้ำ ในอัตรา ส่วนซีเมนต์ทนไฟ 1 ส่วน + เบนโทไนต์ 1 ส่วน + ททราย 1 ส่วน และน้ำเข้าด้วยกัน แล้วนำมาก่ออิฐมอดูเพื่อทำผนังเตาด้านใน โดยใช้อิฐมอดูก่อกันเตาก่อน จากนั้นจึงก่อผนัง เตาริยงขึ้นไปตามลำดับ ดังรูปที่ 3 ก.



รูปที่ 3 ก. แสดงการก่อผนังเตา

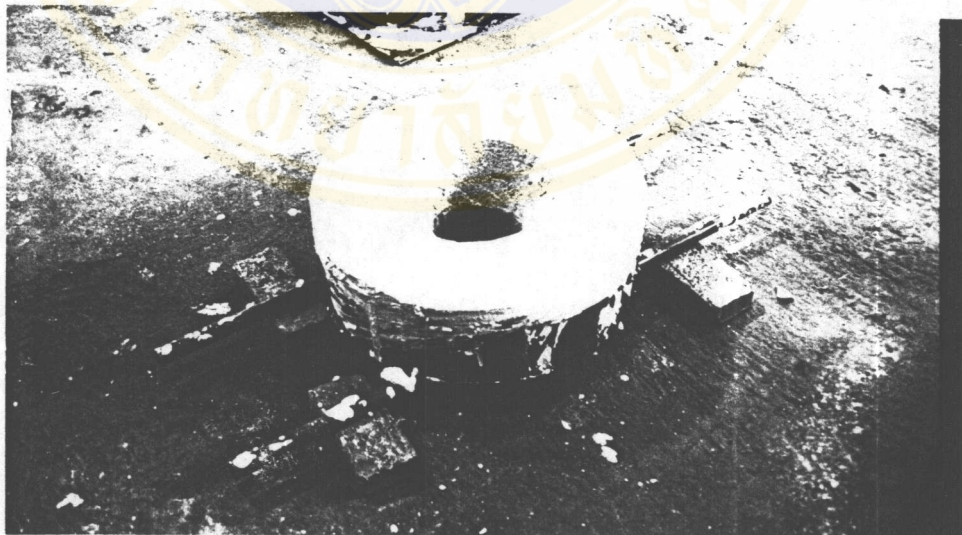
ลำดับที่ 3 ก่อผนังเตาโดยใช้อิฐมอดูเป็นไส้ผนังเตาตามความหนาที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่นในการศึกษาครั้งนี้ผนังเตาจะมีความหนาประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นฉาบผนังเตาให้มีความหนาเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 2-4 เซนติเมตรโดยรอบจะได้เตาหลอม ดังรูปที่ 4 ก.



รูปที่ 4 ก. แสดงเตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง

2. ฝาครอบเตา (Furnace Cover)

เป็นส่วนที่ป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนจากเตาหลอมสู่บรรยากาศภายนอกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหลอมวัสดุได้ รูปที่ 5 ก. จะเห็นว่าฝาครอบเตาจะมีรูปภายในปริมาณกลางฝา ซึ่งรูปนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 10-12 เซนติเมตร มุมลาดเอียง 45° - 50° ความหนาของฝาประมาณ 14 เซนติเมตร

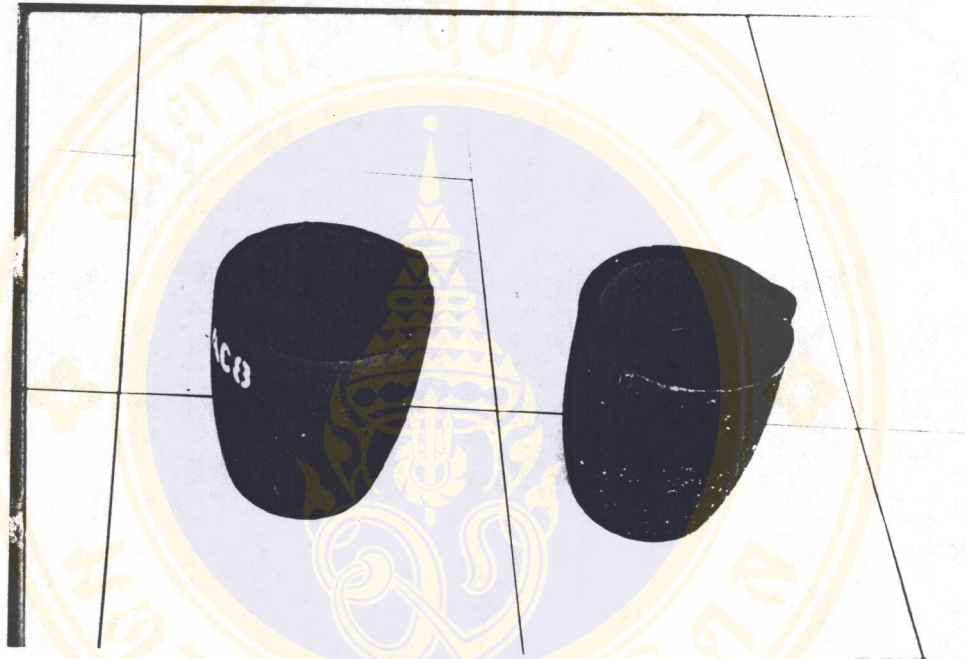


รูปที่ 5 ก. แสดงลักษณะของฝาครอบเตาหลอม

3. เบ้าหลอม (Crucible)

เป็นอุปกรณ์ที่ต้องจัดหาโดยการซื้อจากร้านจำหน่ายอุปกรณ์การหล่อโลหะ ซึ่งเบ้าหลอมจะมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ ที่ใช้งานหลอมทั่วไปคือ

1. เบ้าหลอม ชนิด Clay Graphite
2. เบ้าหลอม ชนิด Silicon Graphite



รูปที่ 6 ก. แสดงเบ้าหลอม ขวา คือ เบ้าหลอม ชนิด Clay Graphite
ซ้าย คือ เบ้าหลอม ชนิด Silicon Graphite

4. ถ่านโค้ก (Coke)

ถ่านโค้กที่ใช้ในการหลอมจะหาซื้อได้โดยทั่วไปในท้องตลาด แต่ถ่านโค้กที่ขายอยู่ทั่วไปจะมีขนาดใหญ่มาก จะต้องทำการลดขนาดลงก่อนทำการหลอม

5. เครื่องเป่าลม (Air Blower)

เป็นอุปกรณ์เพื่อช่วยเพิ่มออกซิเจนภายในเตาหลอมเพื่อช่วยให้การสันดาปเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์และทั่วทั้งเตา อนึ่งปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจากเครื่องเป่าลมจะต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม การสันดาปจึงจะสมบูรณ์สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา

กระบวนการหลอมวัสดุโดยใช้ก๊าซแอลพีจี

กระบวนการหลอมนี้จะประกอบด้วย

1. เตาหลอม (Gas Furnace)
2. ฝาครอบ (Furnace Cover)
3. เบ้าหลอม (Crucible)
4. ระบบท่อส่งก๊าซ (Piping System)
5. หัวพ่นก๊าซ (Nozzle Burner)
7. มาตรวัดความดัน (Pressure Gauge)
 - 7.1 มาตรวัดความดันใช้งาน
 - 7.2 มาตรวัดความดันหัวถัง
8. ถังก๊าซ (Gas Tank)

1. เตาหลอม (Gas Furnace)

เตาหลอมชนิดใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะแตกต่างจากเตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง คือ เตาหลอมก๊าซจะมีท่อนำก๊าซเข้าสู่เตา อยู่ในระดับสูงกว่าพื้นเตา ประมาณ 7.5 - 10 ม.ม. แต่ลำดับขั้นการสร้างอื่น ๆ จะคล้ายกัน ดังรูปที่ 7 ก.



รูปที่ 7 ก. แสดงลักษณะเตาหลอมชนิดใช้ก๊าซ LPG. เป็นเชื้อเพลิง

2. ฝาครอบ (Furnace Cover)

ลักษณะจะเหมือนฝาครอบที่ใช้กับเตาหลอมชนิดใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง
ทุกประการ

3. เบ้าหลอม (Crucible)

จะมีลักษณะดังรูปที่ 6 ก.

4. ระบบท่อส่งก๊าซ (Piping System)

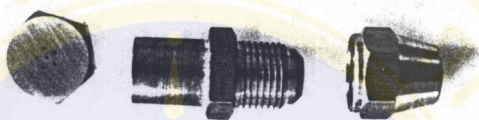
ใช้ท่อไร้ตะเข็บทนแรงดันสูงหรือที่เรียกในท้องตลาดว่า Stream Pipe
ขนาด $\varnothing$ 12 ม.ม. และข้อต่อต่าง ๆ จะต้องเชื่อมและ/หรือทำการ Seal ให้ดีไม่รั่วซึม
ดังรูปที่ 8 ก.



รูปที่ 8 ก. แสดงระบบท่อส่งก๊าซ

5. หัวพ่นก๊าซ (Nozzle Buener)

จะทำจากทองเหลืองลักษณะบางประการและเจาะรูขนาด ๑-2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 9 ก.



รูปที่ 9 ก. แสดงภาพหัวพ่นก๊าซ

6. ล้อควบคุมปริมาณก๊าซเผาไหม้ (Valve)

เป็น Ball Valve ควบคุมการไหลของก๊าซเพื่อจะเข้าสู่หัวฉีดก๊าซ ดังรูปที่ 10 ก.



รูปที่ 10 ก. แสดงภาพล้อควบคุมปริมาณก๊าซเผาไหม้

7. มาตรวัดความดัน (Pressure Gauge)

ใช้ควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซ ซึ่งจะสามารถควบคุมไม่ให้เกิดกรณีของ Over flow ได้ ลักษณะของมาตรวัดความดันจะดูได้จากรูปที่ 11 ก.

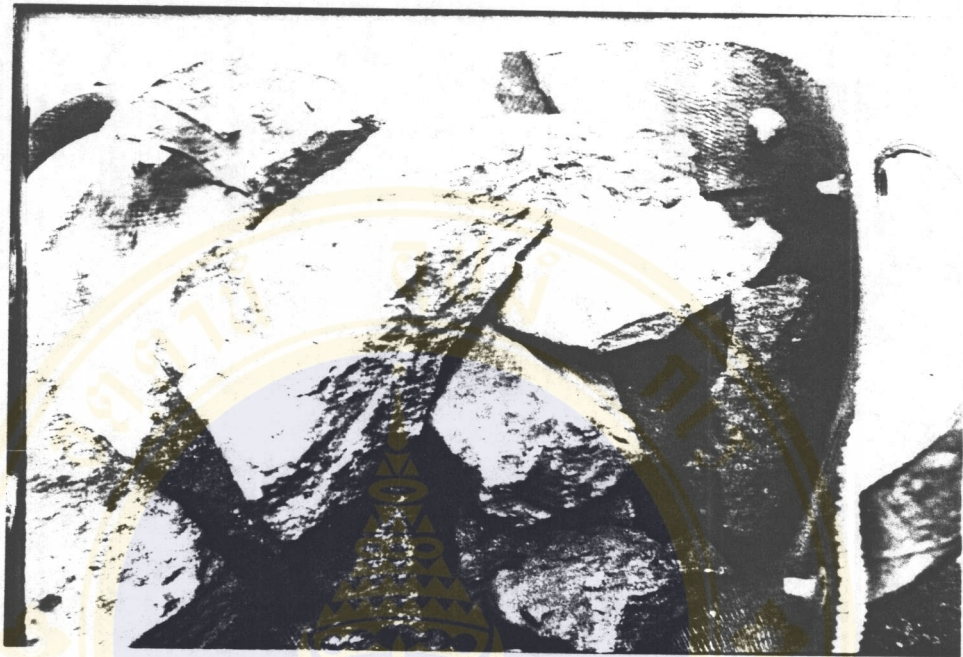


รูปที่ 11 ก. แสดงภาพมาตรวัดความดันก๊าซ

8. ถังก๊าซ (Gas Tank)

การหลอมจะเลือกใช้ถังบรรจุก๊าซชนิดใหญ่ขนาดความดัน 100 lb./in².
หรือถึง 48 กิโลกรัม ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

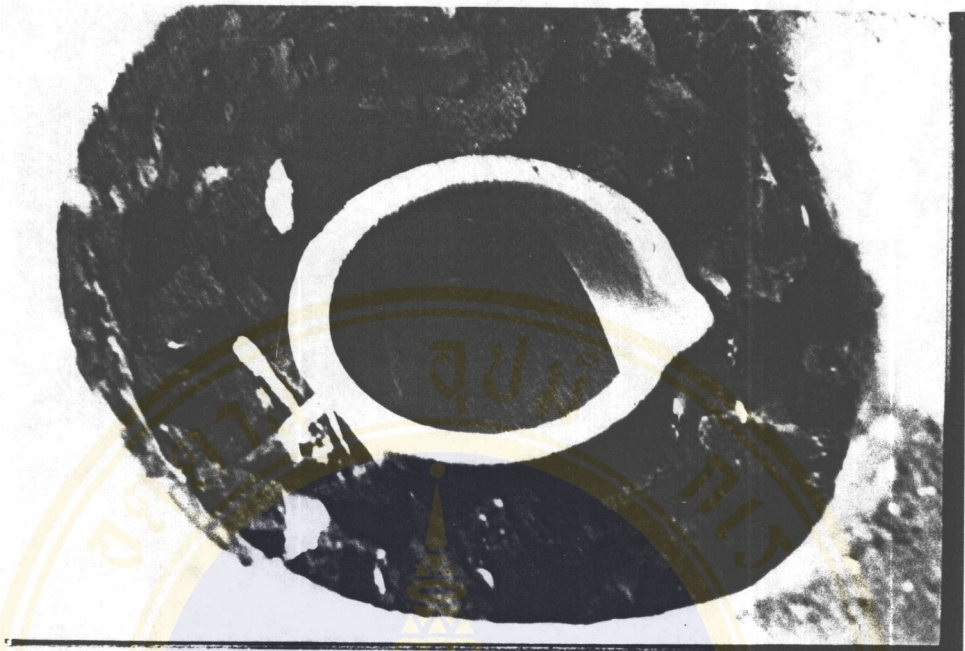
ขั้นตอนการหลอมโดยใช้ถ่านโค้ก (COKE) เป็นเชื้อเพลิง



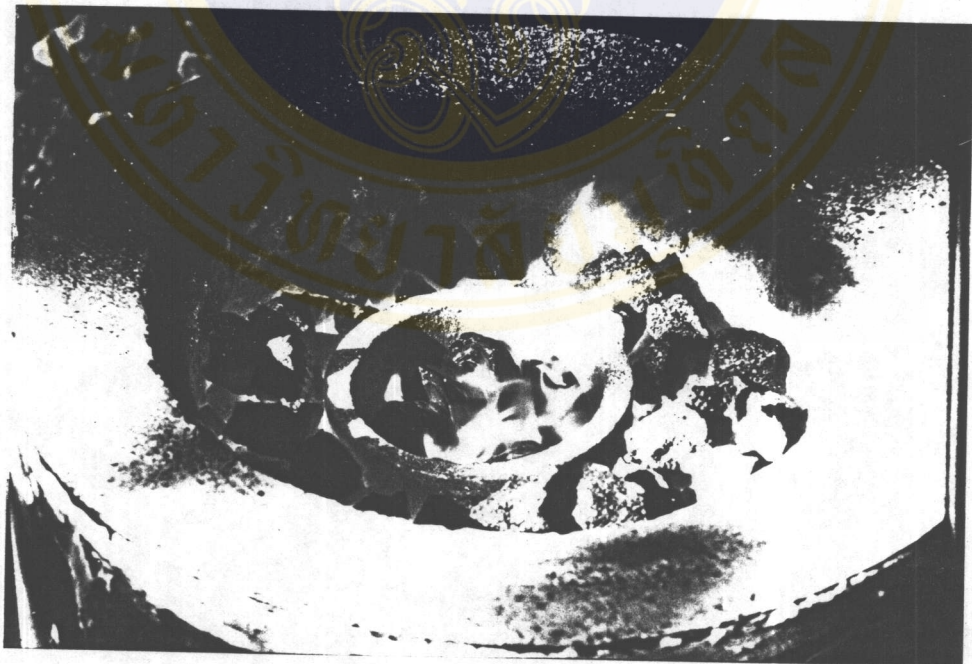
รูปที่ ๑ 1. ภาพถ่านโค้กซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหลอม



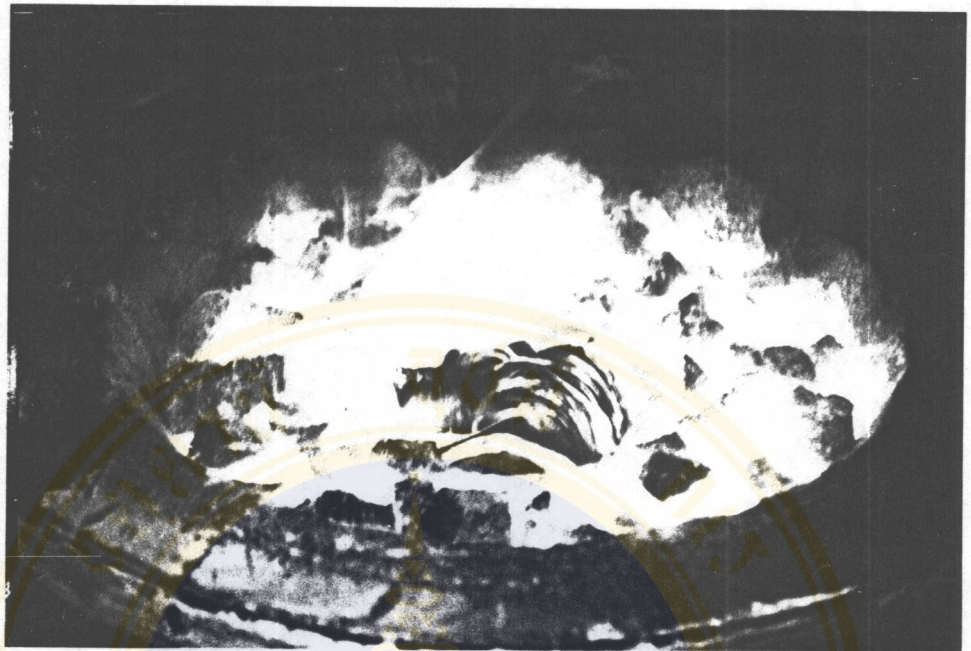
รูปที่ ๒ 2. แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ในการหลอมของเตาถ่านโค้ก
โดยจะต้องใช้เครื่องเป่าลม (BLOWER) เพื่อเพิ่มปริมาณ
ออกซิเจนช่วยการเผาไหม้ของถ่านโค้ก



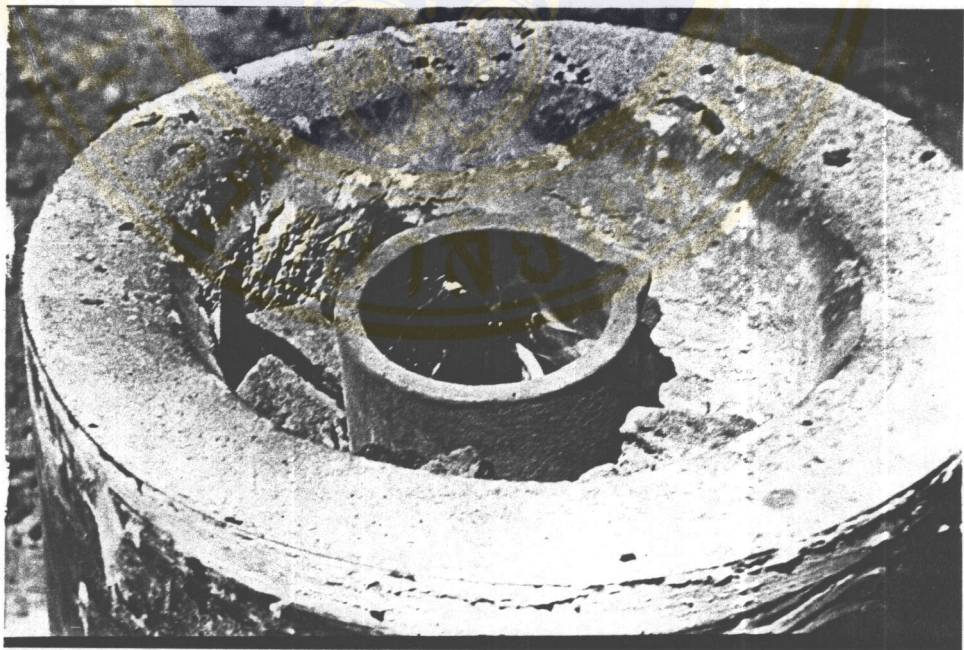
รูปที่ ข 3. แสดงลักษณะของการหลอม ตำแหน่งวางเบ้าหลอม และ
การบรรจุด้านโศกกลงในเตา ในภาพจะเห็นว่า 5 ใน 6 ของ
เบ้าเริ่มร้อนแดง อันเนื่องจากการได้รับความร้อนจากถ่านโค้ก



รูปที่ ข 4. แสดงการใส่วัตถุดิบเพื่อการหลอม ภายหลังจากเบ้าร้อนแดงทั้งใบ



รูปที่ ๗ 5. แสดงการหลอมเมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน เพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิ
ในการหลอมละลายวัตถุดิบ



รูปที่ ๗ 6. แสดงลักษณะการหลอมกรณีที่ดินี้มีขนาดใหญ่มากจะทำให้
อุณหภูมิในการหลอมน้อย และ เบบ้าไม่ร้อนแดง



รูปที่ ๗. แสดงถ่านโค้กภายหลังจากการหลอมแล้ว

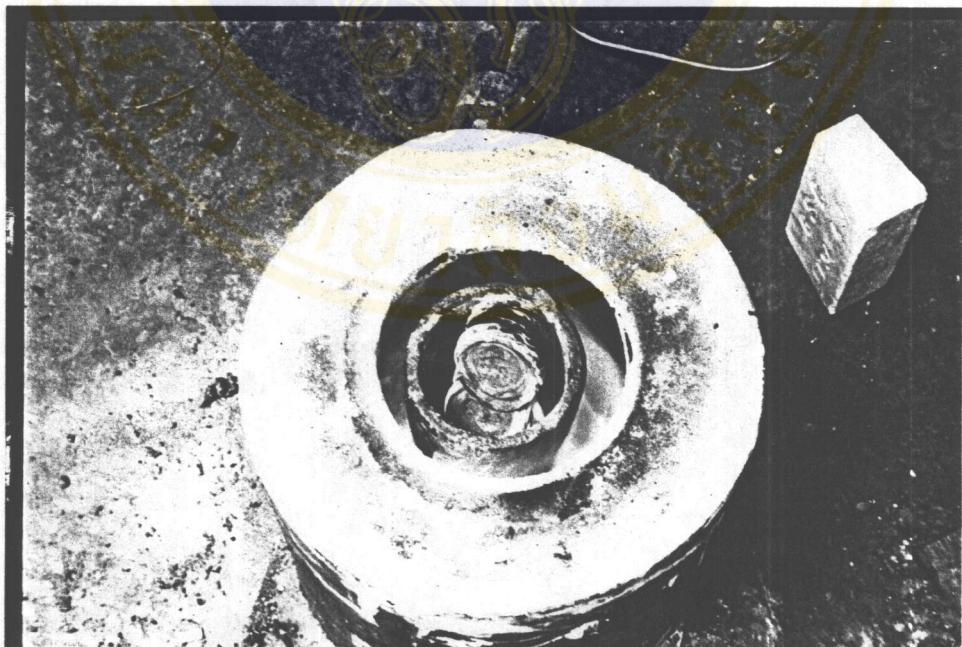
ขั้นตอนการหลอมโดยใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) เป็นเชื้อเพลิง



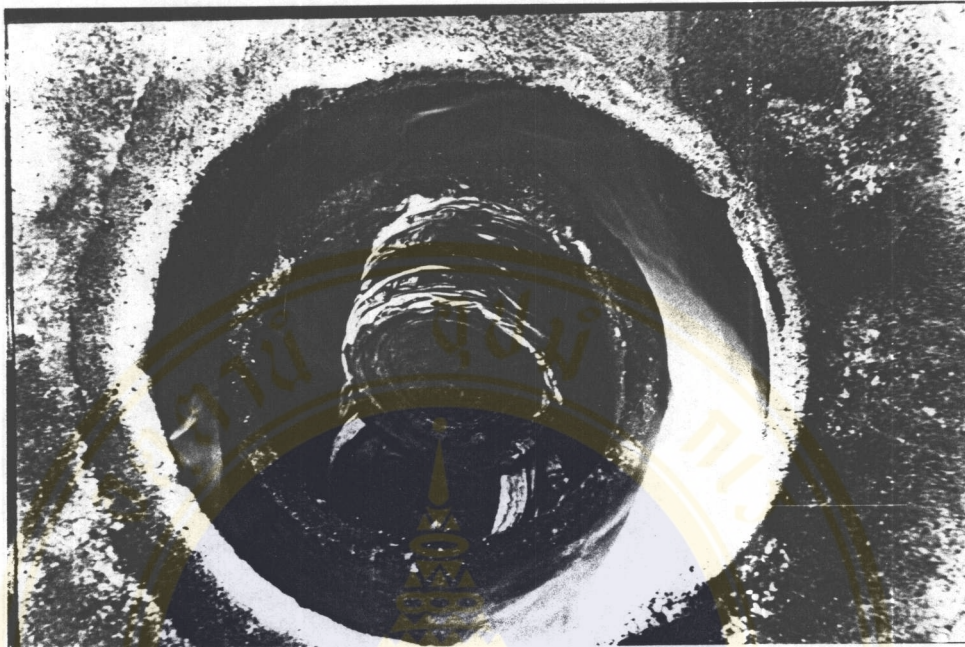
รูปที่ ๘. แสดงภาพการหลอมโดยใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง



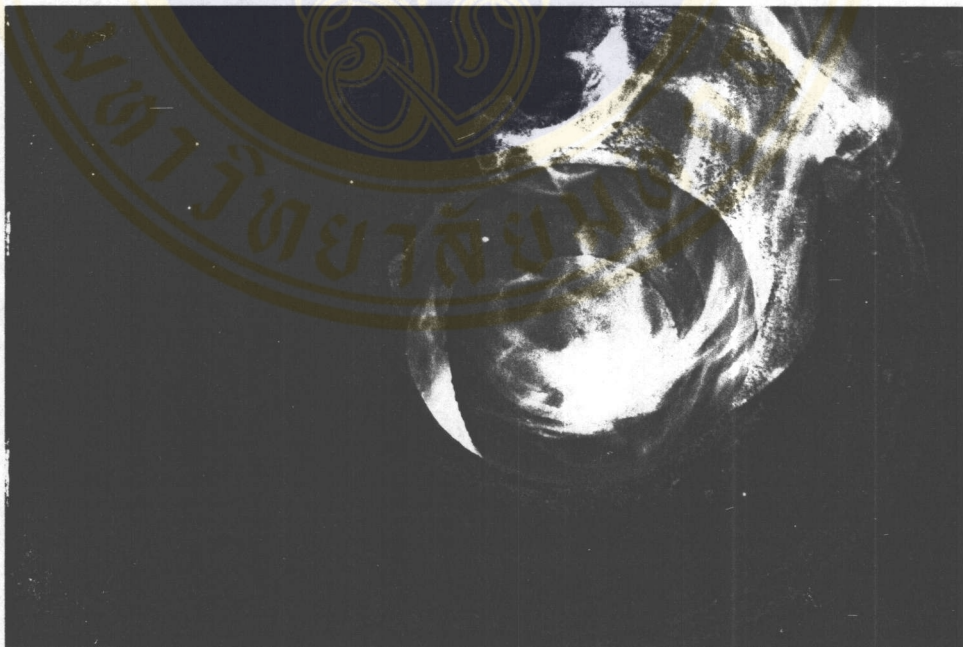
รูปที่ ๙ 9. แสดงการวัดควบคุมความดันหัวถังและความดันใช้งาน



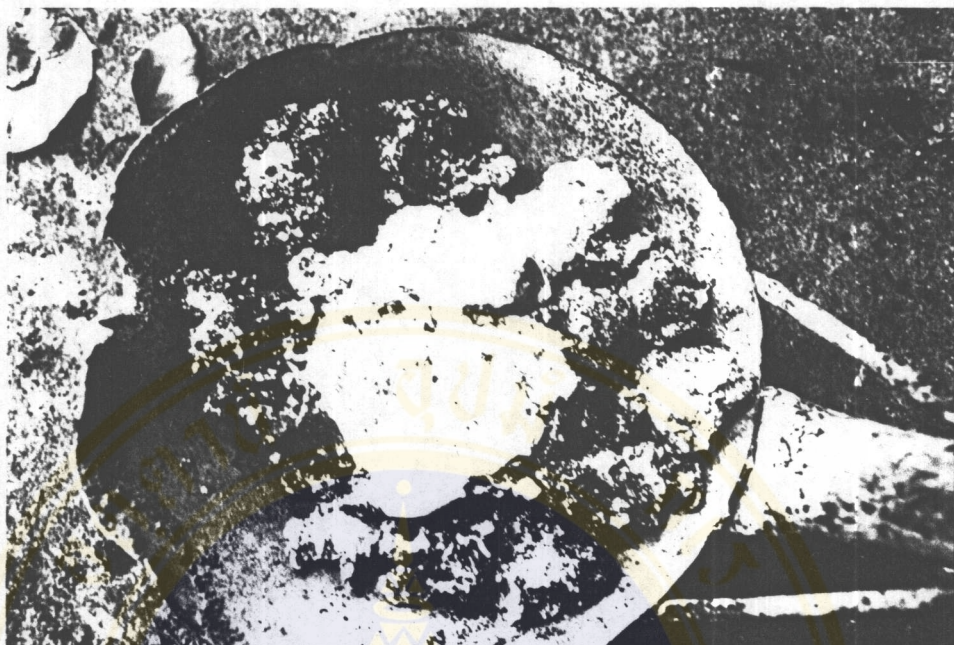
รูปที่ ๙ 10. แสดงภาพมุมบนของเตาหลอม ซึ่งแสดงตำแหน่งของเข้าหลอม



รูปที่ ข 11. แสดงลักษณะของเปลวไฟ ซึ่งจะหมุนเป็นวงกลมรอบเข่า



รูปที่ ข 12. แสดงโลหะที่หลอมได้จากวัตถุดิบ ภายหลังจากตัวสารมลทิน (SLAG) แล้ว

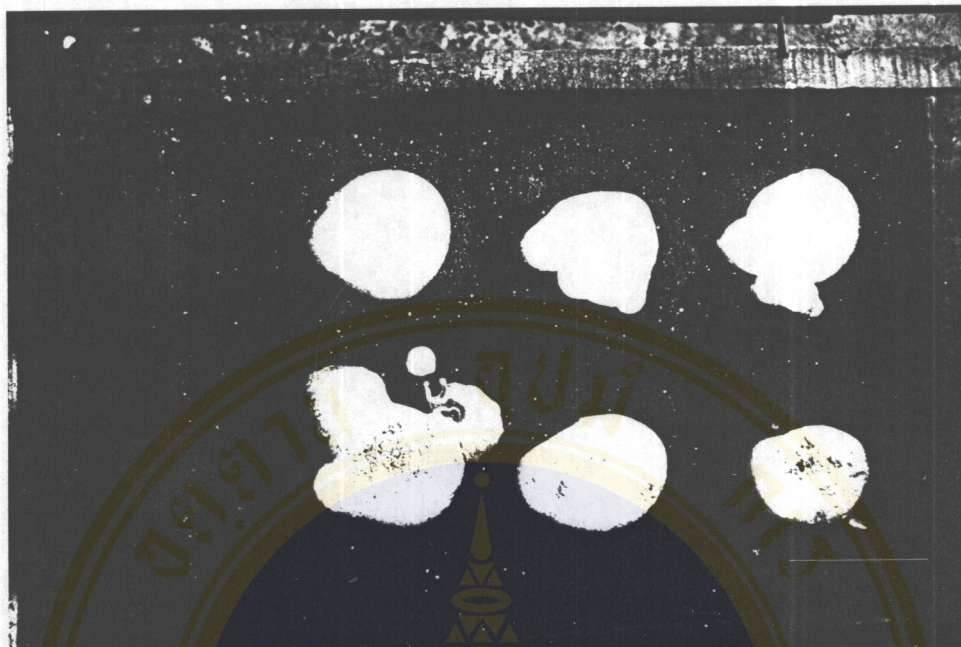


รูปที่ ๗ 13. แสดงภาพสารมลทิน(Slag)ที่ได้ภายหลังการหลอม
(ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้)

ขั้นตอนการ เทแบบทรายหล่อ



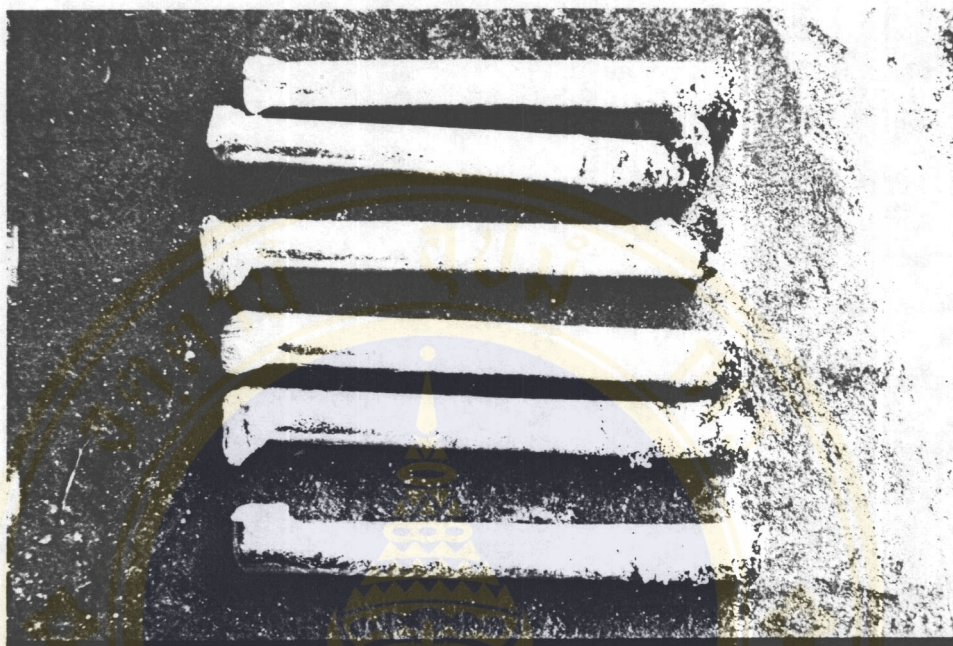
รูปที่ ๗ 14. แบบทรายหล่อหลังจากเทน้ำโลหะลงสู่แบบแล้ว



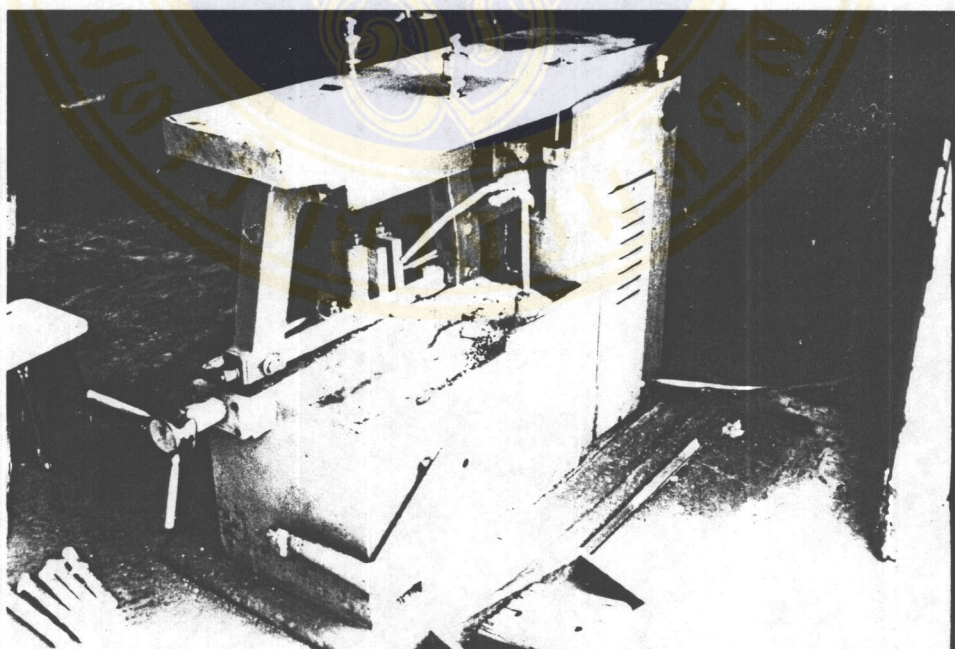
รูปที่ ข 15. แสดงลักษณะของน้ำโลหะที่เทลงสู่แบบหล่อแล้ว (ภาพถ่าย)



รูปที่ ข 16. แสดงแท่งชิ้นงานที่ใช้จากการหล่อและแกะแบบหล่อแล้ว



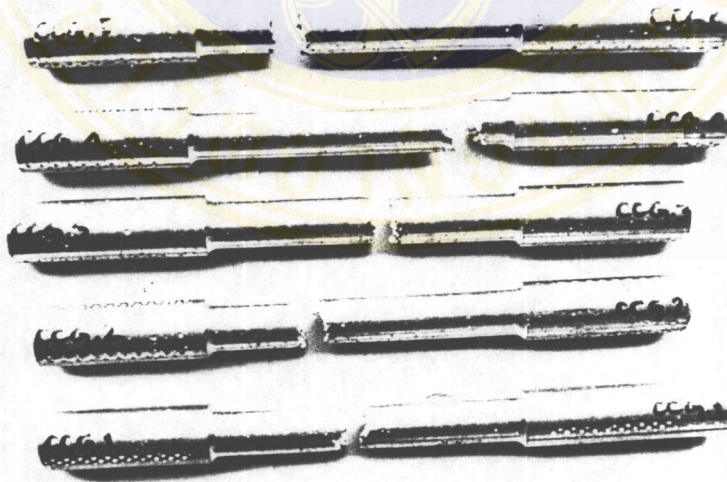
รูปที่ ๗ 18. แสดงชิ้นงานที่ผ่านการตัด RISER ออกแล้ว



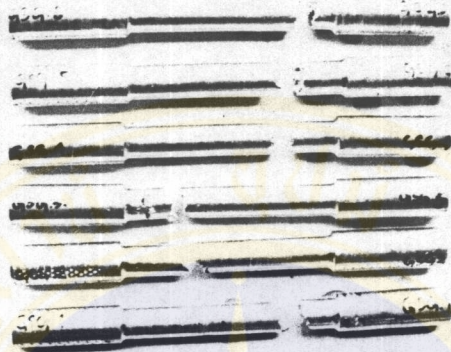
รูปที่ ๗ 19. แสดงการเตรียมชิ้นงาน การตัด RISER โดยใช้เครื่องตัด



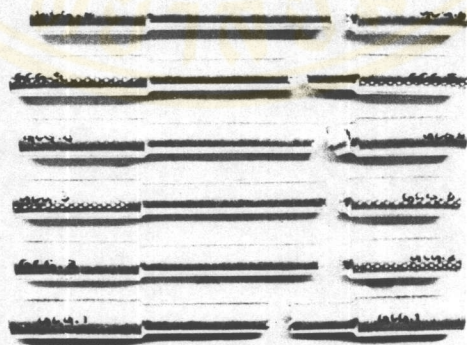
รูปที่ ข 20. แสดงการกลึงชิ้นทดสอบแรงดึง



รูปที่ ข 21,22,23,24. แสดงชิ้นงานภายหลังการทดสอบแรงดึง



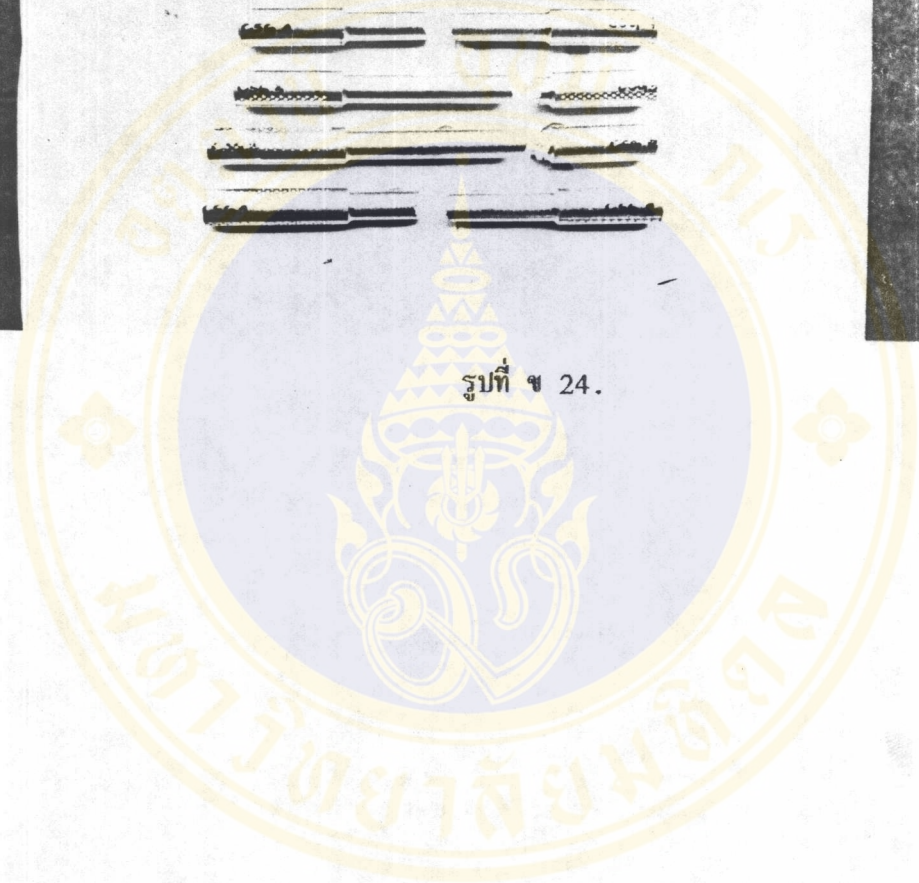
รูปที่ ๒ 22.



รูปที่ ๒ 23.



รูปที่ ๒ 24.





ตารางที่ 7 Wrought Aluminium Alloys Which Are Heat - treated

Relevant specifications	Proprietary trade names	Composition (%) ±						Heat-treatment	Typical mechanical properties				Characteristics and uses
		Cu	Mg	Si	Mn	Pb	Other elements		0.1% Proof stress	Tensile strength	Elongation		
									MIN MPa	MPa	%		
B.S. 1471/H19 B.S. 1472/H20 B.S. 1473/H21 B.S. 1474/H22 B.S. 1475/H23 B.S. 1476/H24 B.S. 1477/H25 B.S. 1478/H26 B.S. 1479/H27 B.S. 1480/H28 B.S. 1481/H29 B.S. 1482/H30 B.S. 1483/H31 B.S. 1484/H32 B.S. 1485/H33 B.S. 1486/H34 B.S. 1487/H35 B.S. 1488/H36 B.S. 1489/H37 B.S. 1490/H38 B.S. 1491/H39 B.S. 1492/H40 B.S. 1493/H41 B.S. 1494/H42 B.S. 1495/H43 B.S. 1496/H44 B.S. 1497/H45 B.S. 1498/H46 B.S. 1499/H47 B.S. 1500/H48 B.S. 1501/H49 B.S. 1502/H50 B.S. 1503/H51 B.S. 1504/H52 B.S. 1505/H53 B.S. 1506/H54 B.S. 1507/H55 B.S. 1508/H56 B.S. 1509/H57 B.S. 1510/H58 B.S. 1511/H59 B.S. 1512/H60 B.S. 1513/H61 B.S. 1514/H62 B.S. 1515/H63 B.S. 1516/H64 B.S. 1517/H65 B.S. 1518/H66 B.S. 1519/H67 B.S. 1520/H68 B.S. 1521/H69 B.S. 1522/H70 B.S. 1523/H71 B.S. 1524/H72 B.S. 1525/H73 B.S. 1526/H74 B.S. 1527/H75 B.S. 1528/H76 B.S. 1529/H77 B.S. 1530/H78 B.S. 1531/H79 B.S. 1532/H80 B.S. 1533/H81 B.S. 1534/H82 B.S. 1535/H83 B.S. 1536/H84 B.S. 1537/H85 B.S. 1538/H86 B.S. 1539/H87 B.S. 1540/H88 B.S. 1541/H89 B.S. 1542/H90 B.S. 1543/H91 B.S. 1544/H92 B.S. 1545/H93 B.S. 1546/H94 B.S. 1547/H95 B.S. 1548/H96 B.S. 1549/H97 B.S. 1550/H98 B.S. 1551/H99 B.S. 1552/H100 B.S. 1553/H101 B.S. 1554/H102 B.S. 1555/H103 B.S. 1556/H104 B.S. 1557/H105 B.S. 1558/H106 B.S. 1559/H107 B.S. 1560/H108 B.S. 1561/H109 B.S. 1562/H110 B.S. 1563/H111 B.S. 1564/H112 B.S. 1565/H113 B.S. 1566/H114 B.S. 1567/H115 B.S. 1568/H116 B.S. 1569/H117 B.S. 1570/H118 B.S. 1571/H119 B.S. 1572/H120 B.S. 1573/H121 B.S. 1574/H122 B.S. 1575/H123 B.S. 1576/H124 B.S. 1577/H125 B.S. 1578/H126 B.S. 1579/H127 B.S. 1580/H128 B.S. 1581/H129 B.S. 1582/H130 B.S. 1583/H131 B.S. 1584/H132 B.S. 1585/H133 B.S. 1586/H134 B.S. 1587/H135 B.S. 1588/H136 B.S. 1589/H137 B.S. 1590/H138 B.S. 1591/H139 B.S. 1592/H140 B.S. 1593/H141 B.S. 1594/H142 B.S. 1595/H143 B.S. 1596/H144 B.S. 1597/H145 B.S. 1598/H146 B.S. 1599/H147 B.S. 1600/H148 B.S. 1601/H149 B.S. 1602/H150 B.S. 1603/H151 B.S. 1604/H152 B.S. 1605/H153 B.S. 1606/H154 B.S. 1607/H155 B.S. 1608/H156 B.S. 1609/H157 B.S. 1610/H158 B.S. 1611/H159 B.S. 1612/H160 B.S. 1613/H161 B.S. 1614/H162 B.S. 1615/H163 B.S. 1616/H164 B.S. 1617/H165 B.S. 1618/H166 B.S. 1619/H167 B.S. 1620/H168 B.S. 1621/H169 B.S. 1622/H170 B.S. 1623/H171 B.S. 1624/H172 B.S. 1625/H173 B.S. 1626/H174 B.S. 1627/H175 B.S. 1628/H176 B.S. 1629/H177 B.S. 1630/H178 B.S. 1631/H179 B.S. 1632/H180 B.S. 1633/H181 B.S. 1634/H182 B.S. 1635/H183 B.S. 1636/H184 B.S. 1637/H185 B.S. 1638/H186 B.S. 1639/H187 B.S. 1640/H188 B.S. 1641/H189 B.S. 1642/H190 B.S. 1643/H191 B.S. 1644/H192 B.S. 1645/H193 B.S. 1646/H194 B.S. 1647/H195 B.S. 1648/H196 B.S. 1649/H197 B.S. 1650/H198 B.S. 1651/H199 B.S. 1652/H200 B.S. 1653/H201 B.S. 1654/H202 B.S. 1655/H203 B.S. 1656/H204 B.S. 1657/H205 B.S. 1658/H206 B.S. 1659/H207 B.S. 1660/H208 B.S. 1661/H209 B.S. 1662/H210 B.S. 1663/H211 B.S. 1664/H212 B.S. 1665/H213 B.S. 1666/H214 B.S. 1667/H215 B.S. 1668/H216 B.S. 1669/H217 B.S. 1670/H218 B.S. 1671/H219 B.S. 1672/H220 B.S. 1673/H221 B.S. 1674/H222 B.S. 1675/H223 B.S. 1676/H224 B.S. 1677/H225 B.S. 1678/H226 B.S. 1679/H227 B.S. 1680/H228 B.S. 1681/H229 B.S. 1682/H230 B.S. 1683/H231 B.S. 1684/H232 B.S. 1685/H233 B.S. 1686/H234 B.S. 1687/H235 B.S. 1688/H236 B.S. 1689/H237 B.S. 1690/H238 B.S. 1691/H239 B.S. 1692/H240 B.S. 1693/H241 B.S. 1694/H242 B.S. 1695/H243 B.S. 1696/H244 B.S. 1697/H245 B.S. 1698/H246 B.S. 1699/H247 B.S. 1700/H248 B.S. 1701/H249 B.S. 1702/H250 B.S. 1703/H251 B.S. 1704/H252 B.S. 1705/H253 B.S. 1706/H254 B.S. 1707/H255 B.S. 1708/H256 B.S. 1709/H257 B.S. 1710/H258 B.S. 1711/H259 B.S. 1712/H260 B.S. 1713/H261 B.S. 1714/H262 B.S. 1715/H263 B.S. 1716/H264 B.S. 1717/H265 B.S. 1718/H266 B.S. 1719/H267 B.S. 1720/H268 B.S. 1721/H269 B.S. 1722/H270 B.S. 1723/H271 B.S. 1724/H272 B.S. 1725/H273 B.S. 1726/H274 B.S. 1727/H275 B.S. 1728/H276 B.S. 1729/H277 B.S. 1730/H278 B.S. 1731/H279 B.S. 1732/H280 B.S. 1733/H281 B.S. 1734/H282 B.S. 1735/H283 B.S. 1736/H284 B.S. 1737/H285 B.S. 1738/H286 B.S. 1739/H287 B.S. 1740/H288 B.S. 1741/H289 B.S. 1742/H290 B.S. 1743/H291 B.S. 1744/H292 B.S. 1745/H293 B.S. 1746/H294 B.S. 1747/H295 B.S. 1748/H296 B.S. 1749/H297 B.S. 1750/H298 B.S. 1751/H299 B.S. 1752/H300 B.S. 1753/H301 B.S. 1754/H302 B.S. 1755/H303 B.S. 1756/H304 B.S. 1757/H305 B.S. 1758/H306 B.S. 1759/H307 B.S. 1760/H308 B.S. 1761/H309 B.S. 1762/H310 B.S. 1763/H311 B.S. 1764/H312 B.S. 1765/H313 B.S. 1766/H314 B.S. 1767/H315 B.S. 1768/H316 B.S. 1769/H317 B.S. 1770/H318 B.S. 1771/H319 B.S. 1772/H320 B.S. 1773/H321 B.S. 1774/H322 B.S. 1775/H323 B.S. 1776/H324 B.S. 1777/H325 B.S. 1778/H326 B.S. 1779/H327 B.S. 1780/H328 B.S. 1781/H329 B.S. 1782/H330 B.S. 1783/H331 B.S. 1784/H332 B.S. 1785/H333 B.S. 1786/H334 B.S. 1787/H335 B.S. 1788/H336 B.S. 1789/H337 B.S. 1790/H338 B.S. 1791/H339 B.S. 1792/H340 B.S. 1793/H341 B.S. 1794/H342 B.S. 1795/H343 B.S. 1796/H344 B.S. 1797/H345 B.S. 1798/H346 B.S. 1799/H347 B.S. 1800/H348 B.S. 1801/H349 B.S. 1802/H350 B.S. 1803/H351 B.S. 1804/H352 B.S. 1805/H353 B.S. 1806/H354 B.S. 1807/H355 B.S. 1808/H356 B.S. 1809/H357 B.S. 1810/H358 B.S. 1811/H359 B.S. 1812/H360 B.S. 1813/H361 B.S. 1814/H362 B.S. 1815/H363 B.S. 1816/H364 B.S. 1817/H365 B.S. 1818/H366 B.S. 1819/H367 B.S. 1820/H368 B.S. 1821/H369 B.S. 1822/H370 B.S. 1823/H371 B.S. 1824/H372 B.S. 1825/H373 B.S. 1826/H374 B.S. 1827/H375 B.S. 1828/H376 B.S. 1829/H377 B.S. 1830/H378 B.S. 1831/H379 B.S. 1832/H380 B.S. 1833/H381 B.S. 1834/H382 B.S. 1835/H383 B.S. 1836/H384 B.S. 1837/H385 B.S. 1838/H386 B.S. 1839/H387 B.S. 1840/H388 B.S. 1841/H389 B.S. 1842/H390 B.S. 1843/H391 B.S. 1844/H392 B.S. 1845/H393 B.S. 1846/H394 B.S. 1847/H395 B.S. 1848/H396 B.S. 1849/H397 B.S. 1850/H398 B.S. 1851/H399 B.S. 1852/H400 B.S. 1853/H401 B.S. 1854/H402 B.S. 1855/H403 B.S. 1856/H404 B.S. 1857/H405 B.S. 1858/H406 B.S. 1859/H407 B.S. 1860/H408 B.S. 1861/H409 B.S. 1862/H410 B.S. 1863/H411 B.S. 1864/H412 B.S. 1865/H413 B.S. 1866/H414 B.S. 1867/H415 B.S. 1868/H416 B.S. 1869/H417 B.S. 1870/H418 B.S. 1871/H419 B.S. 1872/H420 B.S. 1873/H421 B.S. 1874/H422 B.S. 1875/H423 B.S. 1876/H424 B.S. 1877/H425 B.S. 1878/H426 B.S. 1879/H427 B.S. 1880/H428 B.S. 1881/H429 B.S. 1882/H430 B.S. 1883/H431 B.S. 1884/H432 B.S. 1885/H433 B.S. 1886/H434 B.S. 1887/H435 B.S. 1888/H436 B.S. 1889/H437 B.S. 1890/H438 B.S. 1891/H439 B.S. 1892/H440 B.S. 1893/H441 B.S. 1894/H442 B.S. 1895/H443 B.S. 1896/H444 B.S. 1897/H445 B.S. 1898/H446 B.S. 1899/H447 B.S. 1900/H448 B.S. 1901/H449 B.S. 1902/H450 B.S. 1903/H451 B.S. 1904/H452 B.S. 1905/H453 B.S. 1906/H454 B.S. 1907/H455 B.S. 1908/H456 B.S. 1909/H457 B.S. 1910/H458 B.S. 1911/H459 B.S. 1912/H460 B.S. 1913/H461 B.S. 1914/H462 B.S. 1915/H463 B.S. 1916/H464 B.S. 1917/H465 B.S. 1918/H466 B.S. 1919/H467 B.S. 1920/H468 B.S. 1921/H469 B.S. 1922/H470 B.S. 1923/H471 B.S. 1924/H472 B.S. 1925/H473 B.S. 1926/H474 B.S. 1927/H475 B.S. 1928/H476 B.S. 1929/H477 B.S. 1930/H478 B.S. 1931/H479 B.S. 1932/H480 B.S. 1933/H481 B.S. 1934/H482 B.S. 1935/H483 B.S. 1936/H484 B.S. 1937/H485 B.S. 1938/H486 B.S. 1939/H487 B.S. 1940/H488 B.S. 1941/H489 B.S. 1942/H490 B.S. 1943/H491 B.S. 1944/H492 B.S. 1945/H493 B.S. 1946/H494 B.S. 1947/H495 B.S. 1948/H496 B.S. 1949/H497 B.S. 1950/H498 B.S. 1951/H499 B.S. 1952/H500 B.S. 1953/H501 B.S. 1954/H502 B.S. 1955/H503 B.S. 1956/H504 B.S. 1957/H505 B.S. 1958/H506 B.S. 1959/H507 B.S. 1960/H508 B.S. 1961/H509 B.S. 1962/H510 B.S. 1963/H511 B.S. 1964/H512 B.S. 1965/H513 B.S. 1966/H514 B.S. 1967/H515 B.S. 1968/H516 B.S. 1969/H517 B.S. 1970/H518 B.S. 1971/H519 B.S. 1972/H520 B.S. 1973/H521 B.S. 1974/H522 B.S. 1975/H523 B.S. 1976/H524 B.S. 1977/H525 B.S. 1978/H526 B.S. 1979/H527 B.S. 1980/H528 B.S. 1981/H529 B.S. 1982/H530 B.S. 1983/H531 B.S. 1984/H532 B.S. 1985/H533 B.S. 1986/H534 B.S. 1987/H535 B.S. 1988/H536 B.S. 1989/H537 B.S. 1990/H538 B.S. 1991/H539 B.S. 1992/H540 B.S. 1993/H541 B.S. 1994/H542 B.S. 1995/H543 B.S. 1996/H544 B.S. 1997/H545 B.S. 1998/H546 B.S. 1999/H547 B.S. 2000/H548 B.S. 2001/H549 B.S. 2002/H550 B.S. 2003/H551 B.S. 2004/H552 B.S. 2005/H553 B.S. 2006/H554 B.S. 2007/H555 B.S. 2008/H556 B.S. 2009/H557 B.S. 2010/H558 B.S. 2011/H559 B.S. 2012/H560 B.S. 2013/H561 B.S. 2014/H562 B.S. 2015/H563 B.S. 2016/H564 B.S. 2017/H565 B.S. 2018/H566 B.S. 2019/H567 B.S. 2020/H568 B.S. 2021/H569 B.S. 2022/H570 B.S. 2023/H571 B.S. 2024/H572 B.S. 2025/H573 B.S. 2026/H574 B.S. 2027/H575 B.S. 2028/H576 B.S. 2029/H577 B.S. 2030/H578 B.S. 2031/H579 B.S. 2032/H580 B.S. 2033/H581 B.S. 2034/H582 B.S. 2035/H583 B.S. 2036/H584 B.S. 2037/H585 B.S. 2038/H586 B.S. 2039/H587 B.S. 2040/H588 B.S. 2041/H589 B.S. 2042/H590 B.S. 2043/H591 B.S. 2044/H592 B.S. 2045/H593 B.S. 2046/H594 B.S. 2047/H595 B.S. 2048/H596 B.S. 2049/H597 B.S. 2050/H598 B.S. 2051/H599 B.S. 2052/H600 B.S. 2053/H601 B.S. 2054/H602 B.S. 2055/H603 B.S. 2056/H604 B.S. 2057/H605 B.S. 2058/H606 B.S. 2059/H607 B.S. 2060/H608 B.S. 2061/H609 B.S. 2062/H610 B.S. 2063/H611 B.S. 2064/H612 B.S. 2065/H613 B.S. 2066/H614 B.S. 2067/H615 B.S. 2068/H616 B.S. 2069/H617 B.S. 2070/H618 B.S. 2071/H619 B.S. 2072/H620 B.S. 2073/H621 B.S. 2074/H622 B.S. 2075/H623 B.S. 2076/H624 B.S. 2077/H625 B.S. 2078/H626 B.S. 2079/H627 B.S. 2080/H628 B.S. 2081/H629 B.S. 2082/H630 B.S. 2083/H631 B.S. 2084/H632 B.S. 2085/H633 B.S. 2086/H634 B.S. 2087/H635 B.S. 2088/H636 B.S. 2089/H637 B.S. 2090/H638 B.S. 2091/H639 B.S. 2092/H640 B.S. 2093/H641 B.S. 2094/H642 B.S. 2095/H643 B.S. 2096/H644 B.S. 2097/H645 B.S. 2098/H646 B.S. 2099/H647 B.S. 2100/H648 B.S. 2101/H649 B.S. 2102/H650 B.S. 2103/H651 B.S. 2104/H652 B.S. 2105/H653 B.S. 2106/H654 B.S. 2107/H655 B.S. 2108/H656 B.S. 2109/H657 B.S. 2110/H658 B.S. 2111/H659 B.S. 2112/H660 B.S. 2113/H661 B.S. 2114/H662 B.S. 2115/H663 B.S. 2116/H664 B.S. 2117/H665 B.S. 2118/H666 B.S. 2119/H667 B.S. 2120/H668 B.S. 2121/H669 B.S. 2122/H670 B.S. 2123/H671 B.S. 2124/H672 B.S. 2125/H673 B.S. 2126/H674 B.S. 2127/H675 B.S. 2128/H676 B.S. 2129/H677 B.S. 2130/H678 B.S. 2131/H679 B.S. 2132/H680 B.S. 2133/H681 B.S. 2134/H682 B.S. 2135/H683 B.S. 2136/H684 B.S. 2137/H685 B.S. 2138/H686 B.S. 2139/H687 B.S. 2140/H688 B.S. 2141/H689 B.S. 2142/H690 B.S. 2143/H691 B.S. 2144/H692 B.S. 2145/H693 B.S. 2146/H694 B.S. 2147/H695 B.S. 2148/H696 B.S. 2149/H697 B.S. 2150/H698 B.S. 2151/H699 B.S. 2152/H700 B.S. 2153/H701 B.S. 2154/H702 B.S. 2155/H703 B.S. 2156/H704 B.S. 2157/H705 B.S. 2158/H706 B.S. 2159/H707 B.S. 2160/H708 B.S. 2161/H709 B.S. 2162/H710 B.S. 2163/H711 B.S. 2164/H712 B.S. 2165/H713 B.S. 2166/H714 B.S. 2167/H715 B.S. 2168/H716 B.S. 2169/H717 B.S. 2170/H718 B.S. 2171/H719 B.S. 2172/H720 B.S. 2173/H721 B.S. 2174/H722 B.S. 2175/H723 B.S. 2176/H724 B.S. 2177/H725 B.S. 2178/H726 B.S. 2179/H727 B.S. 2180/H728 B.S. 2181/H729 B.S. 2182/H730 B.S. 2183/H731 B.S. 2184/H732 B.S. 2185/H733 B.S. 2186/H734 B.S. 2187/H735 B.S. 2188/H736 B.S. 2189/H737 B.S. 2190/H738 B.S. 2191/H739 B.S. 2192/H740 B.S. 2193/H741 B.S. 2194/H742 B.S. 2195/H743 B.S. 2196/H744 B.S. 2197/H745 B.S. 2198/H746 B.S. 2199/H747 B.S. 2200/H748 B.S. 2201/H749 B.S. 2202/H750 B.S. 2203/H751 B.S. 2204/H752 B.S. 2205/H753 B.S. 2206/H754 B.S. 2207/H755 B.S. 2208/H756 B.S. 2209/H757 B.S. 2210/H758 B.S. 2211/H759 B.S. 2212/H760 B.S. 2213/H761 B.S. 2214/H762 B.S. 2215/H763 B.S. 2216/H764 B.S. 2217/H765 B.S. 2218/H766 B.S. 2219/H767 B.S. 2220/H768 B.S. 2221/H769 B.S. 2222/H770 B.S. 2223/H771 B.S. 2224/H772 B.S. 2225/H773 B.S. 2226/H774 B.S. 2227/H775 B.S. 2228/H776 B.S. 2229/H777 B.S. 2230/H778 B.S. 2231/H779 B.S. 2232/H780 B.S. 2233/H781 B.S. 2234/H782 B.S. 2235/H783 B.S. 2236/H784 B.S. 2237/H785 B.S. 2238/H786 B.S. 2239/H787 B.S. 2240/H788 B.S. 2241/H789 B.S. 2242/H790 B.S. 2243/H791 B.S. 2244/H792 B.S. 2245/H793 B.S. 2246/H794 B.S. 2247/H795 B.S. 2248/H796 B.S. 2249/H797 B.S. 2250/H798 B.S. 2251/H799 B.S. 2252/H800 B.S. 2253/H801 B.S. 2254/H802 B.S. 2255/H803 B.S. 2256/H804 B.S. 2257/H805 B.S. 2258/H806 B.S. 2259/H807 B.S. 2260/H808 B.S. 2261/H809 B.S. 2262/H810 B.S. 2263/H811 B.S. 2264/H812 B.S. 2265/H813 B.S. 2266/H814 B.S. 2267/H815 B.S. 2268/H816 B.S. 2269/H817 B.S. 2270/H818 B.S. 2271/H819 B.S. 2272/H820 B.S. 2273/H821 B.S. 2274/H822 B.S. 2275/H823 B.S. 2276/H824 B.S. 2277/H825 B.S. 2278/H826 B.S. 2279/H827 B.S. 2280/H828 B.S. 2281/H829 B.S. 2282/H830 B.S. 2283/H831 B.S. 2284/H832 B.S. 2285/H833 B.S. 2286/H834 B.S. 2287/H835 B.S. 2288/H836 B.S. 2289/H837 B.S. 2290/H838 B.S. 2291/H839 B.S. 2292/H840 B.S. 2293/H841 B.S. 2294/H842 B.S. 2295/H843 B.S. 2296/H844 B.S. 2297/H845 B.S. 2298/H846 B.S. 2299/H847 B.S. 2300/H848 B.S. 2301/H849 B.S. 2302/H850 B.S. 2303/H851 B.S. 2304/H852 B.S. 2305/H853 B.S. 2306/H854 B.S. 2307/H855 B.S. 2308/H856 B.S. 2309/H857 B.S. 2310/H858 B.S. 2311/H859 B.S. 2312/H860 B.S. 2313/H861 B.S. 2314/H862 B.S. 2315/H863 B.S. 2316/H864 B.S. 2317/H865 B.S. 2318/H866 B.S. 2319/H867 B.S. 2320/H868 B.S. 2321/H869 B.S. 2322/H870 B.S. 2323/H871 B.S. 2324/H872 B.S. 2325/H873 B.S. 2326/H874 B.S. 2327/H875 B.S. 2328/H876 B.S. 2329/H877 B.S. 2													



บทเพิ่มเติม

APPENDIX

ตารางคิดดอกเบี้ยทบต้น และเงินปaiseสำหรับการคิดทบต้นแบบไม่ต่อเนื่อง

สำหรับมูลค่าอัตราดอกเบี้ยต่าง ๆ ของ i จาก $\frac{1}{4}\%$ ถึง 50%

Interest and Annuity Tables for Discrete Compounding

i = interest rate per period (ตามปกติ 1 ปี)

N = number of periods หรือ n

$$(F/P, i\%, N) = (1 + i)^N$$

$$(P/F, i\%, N) = \frac{1}{(1 + i)^N}$$

$$(F/A, i\%, N) = \frac{(1 + i)^N - 1}{i}$$

$$(P/A, i\%, N) = \frac{(1 + i)^N - 1}{i(1 + i)^N}$$

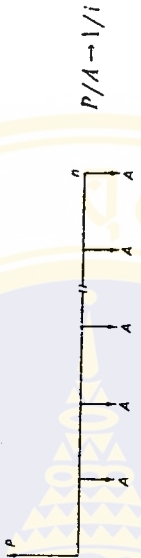
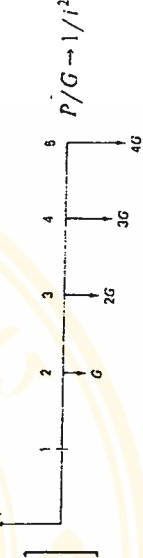
$$(A/F, i\%, N) = \frac{i}{(1 + i)^N - 1}$$

$$(A/P, i\%, N) = \frac{i(1 + i)^N}{(1 + i)^N - 1}$$

$$(P/G, i\%, N) = \frac{1}{i} \left[\frac{(1 + i)^N - 1}{i(1 + i)^N} - \frac{N}{(1 + i)^N} \right]$$

$$(A/G, i\%, N) = \left[\frac{1}{i} - \frac{N}{(1 + i)^N - 1} \right]$$

Appendix II SUMMARY OF EQUATIONS AND CASH FLOW DIAGRAM (สรุปของสมการและแผนการไหลของเงินสด)

DESCRIPTION & NOTATION	EQUATION	CASH FLOW DIAGRAM	AS $n \rightarrow \infty$
Future worth (lump sum), F , of a present amount (lump sum), P $F = P(F/P, i, n)$ (n = number of time periods)	$F = P(1+i)^n$ $F = Pe^{nt}$ (for continuous compounding)		$F/P \rightarrow \infty$
Future worth (lump sum), F , of a periodic uniform series, A $F = A(F/A, i, n)$ (n = number of end of period payments)	$F = A \frac{(1+i)^n - 1}{i}$		$F/A \rightarrow \infty$
Present worth (lump sum), P , of a periodic series, A $P = A(P/A, i, n)$ (n = number of end of period payments)	$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$		$P/A \rightarrow 1/i$
Future worth, F , of an arithmetic gradient series, G $F = G(F/G, i, n)$ (n = number of payments plus 1)	$F = \frac{G}{i} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} - n \right]$		$F/G \rightarrow \infty$
Present worth, P , of an arithmetic gradient series, G $P = G(P/G, i, n)$ (n = number of payments plus 1)	$P = \frac{G}{i} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - \frac{n}{(1+i)^n} \right]$		$P/G \rightarrow 1/i^2$
Periodic uniform series, A , equivalent of arithmetic gradient series, G $A = G(A/G, i, n)$	$A = G \left[\frac{1}{i} - \frac{n}{(1+i)^n - 1} \right]$		$A/G \rightarrow 1/i$

ตาราง 1

TABLE I
จำนวนของแต่ละวันในปี

วันของ														วันของ
เดือน	มค	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	เดือน	
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335	1	
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336	2	
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337	3	
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338	4	
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339	5	
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340	6	
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341	7	
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342	8	
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343	9	
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344	10	
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345	11	
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346	12	
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347	13	
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348	14	
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349	15	
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350	16	
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351	17	
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352	18	
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353	19	
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354	20	
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355	21	
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356	22	
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357	23	
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358	24	
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359	25	
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360	26	
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361	27	
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362	28	
29	29	—	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363	29	
30	30	—	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364	30	
31	31	—	90	—	151	—	212	243	—	304	—	365	31	

*สำหรับ Leap years (ทุก 4 ปี จะเกิดครั้ง) จำนวนวันในปีนี้จะเพิ่มขึ้นอีก 1 วัน
เนื่องจากเดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน

ตาราง 2

TABLE II

Discrete Compounding; $i = 1/4\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0025	0.9975	1.0000	0.9975	1.0000	1.0025	1
2	1.0050	0.9950	2.0025	1.9925	0.4994	0.5019	2
3	1.0075	0.9925	3.0075	2.9851	0.3325	0.3350	3
4	1.0100	0.9901	4.0150	3.9751	0.2491	0.2516	4
5	1.0126	0.9876	5.0250	4.9627	0.1990	0.2015	5
6	1.0151	0.9851	6.0376	5.9478	0.1656	0.1681	6
7	1.0176	0.9827	7.0527	6.9305	0.1418	0.1443	7
8	1.0202	0.9802	8.0703	7.9107	0.1239	0.1264	8
9	1.0227	0.9778	9.0905	8.8885	0.1100	0.1125	9
10	1.0253	0.9753	10.1132	9.8638	0.0989	0.1014	10
11	1.0278	0.9729	11.1385	10.8367	0.0898	0.0923	11
12	1.0304	0.9705	12.1663	11.8072	0.0822	0.0847	12
13	1.0330	0.9681	13.1967	12.7753	0.0758	0.0783	13
14	1.0356	0.9656	14.2297	13.7409	0.0703	0.0728	14
15	1.0382	0.9632	15.2653	14.7041	0.0655	0.0680	15
16	1.0408	0.9608	16.3035	15.6650	0.0613	0.0638	16
17	1.0434	0.9584	17.3442	16.6234	0.0577	0.0602	17
18	1.0460	0.9561	18.3876	17.5795	0.0544	0.0569	18
19	1.0486	0.9537	19.4335	18.5331	0.0515	0.0540	19
20	1.0512	0.9513	20.4821	19.4844	0.0488	0.0513	20
21	1.0538	0.9489	21.5333	20.4333	0.0464	0.0489	21
22	1.0565	0.9466	22.5872	21.3799	0.0443	0.0468	22
23	1.0591	0.9442	23.6436	22.3241	0.0423	0.0448	23
24	1.0618	0.9418	24.7027	23.2659	0.0405	0.0430	24
25	1.0644	0.9395	25.7645	24.2054	0.0388	0.0413	25
26	1.0671	0.9371	26.8289	25.1425	0.0373	0.0398	26
27	1.0697	0.9348	27.8959	26.0773	0.0358	0.0383	27
28	1.0724	0.9325	28.9657	27.0098	0.0345	0.0370	28
29	1.0751	0.9302	30.0381	27.9399	0.0333	0.0358	29
30	1.0778	0.9278	31.1132	28.8678	0.0321	0.0346	30
35	1.0913	0.9163	36.5291	33.4723	0.0274	0.0299	35
40	1.1050	0.9050	42.0130	38.0197	0.0238	0.0263	40
45	1.1189	0.8937	47.5659	42.5107	0.0210	0.0235	45
50	1.1330	0.8826	53.1884	46.9460	0.0188	0.0213	50
55	1.1472	0.8717	58.8817	51.3262	0.0170	0.0195	55
60	1.1616	0.8609	64.6464	55.6521	0.0155	0.0180	60
65	1.1762	0.8502	70.4836	59.9244	0.0142	0.0167	65
70	1.1910	0.8396	76.3941	64.1436	0.0131	0.0156	70
75	1.2059	0.8292	82.3788	68.3105	0.0121	0.0146	75
80	1.2211	0.8189	88.4388	72.4257	0.0113	0.0138	80
85	1.2364	0.8088	94.5748	76.490	0.0106	0.0131	85
90	1.2520	0.7987	100.788	80.504	0.0099	0.0124	90
95	1.2677	0.7888	107.079	84.467	0.0093	0.0118	95
100	1.2836	0.7790	113.45	88.382	0.0088	0.0113	100

TABLE III

Discrete Compounding; $i = 1/3\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0033	0.9967	1.0000	0.9967	1.0000	1.0033	1
2	1.0067	0.9934	2.0033	1.9900	0.4992	0.5025	2
3	1.0100	0.9901	3.0100	2.9801	0.3322	0.3356	3
4	1.0134	0.9868	4.0200	3.9669	0.2488	0.2521	4
5	1.0168	0.9835	5.0334	4.9504	0.1987	0.2020	5
6	1.0202	0.9802	6.0502	5.9306	0.1653	0.1686	6
7	1.0236	0.9770	7.0703	6.9075	0.1414	0.1448	7
8	1.0270	0.9737	8.0939	7.8813	0.1235	0.1269	8
9	1.0304	0.9705	9.1209	8.8518	0.1096	0.1130	9
10	1.0338	0.9673	10.1513	9.8190	0.0985	0.1018	10
11	1.0373	0.9641	11.1851	10.7831	0.0894	0.0927	11
12	1.0407	0.9609	12.2224	11.7439	0.0818	0.0852	12
13	1.0442	0.9577	13.2631	12.7016	0.0754	0.0787	13
14	1.0477	0.9545	14.3073	13.6560	0.0699	0.0732	14
15	1.0512	0.9513	15.3550	14.6073	0.0651	0.0685	15
16	1.0547	0.9481	16.4062	15.5555	0.0610	0.0643	16
17	1.0582	0.9450	17.4609	16.5005	0.0573	0.0606	17
18	1.0617	0.9419	18.5191	17.4423	0.0540	0.0573	18
19	1.0653	0.9387	19.5808	18.3811	0.0511	0.0544	19
20	1.0688	0.9356	20.6460	19.3167	0.0484	0.0518	20
21	1.0724	0.9325	21.7149	20.2492	0.0461	0.0494	21
22	1.0760	0.9294	22.7872	21.1786	0.0439	0.0472	22
23	1.0795	0.9263	23.8632	22.1049	0.0419	0.0452	23
24	1.0831	0.9232	24.9427	23.0281	0.0401	0.0434	24
25	1.0868	0.9202	26.0258	23.9483	0.0384	0.0418	25
26	1.0904	0.9171	27.1126	24.8654	0.0369	0.0402	26
27	1.0940	0.9141	28.2030	25.7794	0.0355	0.0388	27
28	1.0977	0.9110	29.2970	26.6905	0.0341	0.0375	28
29	1.1013	0.9080	30.3946	27.5985	0.0329	0.0362	29
30	1.1050	0.9050	31.4959	28.5034	0.0318	0.0351	30
35	1.1235	0.8901	37.0578	32.9835	0.0270	0.0303	35
40	1.1424	0.8754	42.7129	37.3895	0.0234	0.0267	40
45	1.1615	0.8609	48.4630	41.7229	0.0206	0.0240	45
50	1.1810	0.8467	54.3095	45.9848	0.0184	0.0217	50
55	1.2008	0.8327	60.2541	50.1764	0.0166	0.0199	55
60	1.2210	0.8190	66.2985	54.2987	0.0151	0.0184	60
65	1.2415	0.8055	72.4442	58.3531	0.0138	0.0171	65
70	1.2623	0.7922	78.6931	62.3406	0.0127	0.0160	70
75	1.2835	0.7791	85.0468	66.2622	0.0118	0.0151	75
80	1.3050	0.7663	91.5072	70.1192	0.0109	0.0143	80
85	1.3269	0.7536	98.076	73.912	0.0102	0.0135	85
90	1.3492	0.7412	104.755	77.643	0.0095	0.0129	90
95	1.3718	0.7290	111.546	81.312	0.0090	0.0123	95
100	1.3948	0.7169	118.45	84.92	0.0084	0.0118	100

ตาราง 4

TABLE IV

Discrete Compounding; $i = 5/12\%$

N	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				N
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
	To find F Given P F/P	To find P Given F P/F	To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0042	0.9959	1.0000	0.9959	1.0000	1.0042	1
2	1.0084	0.9917	2.0042	1.9876	0.4990	0.5031	2
3	1.0126	0.9876	3.0125	2.9752	0.3319	0.3361	3
4	1.0168	0.9835	4.0251	3.9587	0.2484	0.2526	4
5	1.0210	0.9794	5.0418	4.9381	0.1983	0.2025	5
6	1.0253	0.9754	6.0628	5.9134	0.1649	0.1691	6
7	1.0295	0.9713	7.0881	6.8848	0.1411	0.1452	7
8	1.0338	0.9673	8.1176	7.8520	0.1232	0.1274	8
9	1.0381	0.9633	9.1514	8.8153	0.1093	0.1134	9
10	1.0425	0.9593	10.1896	9.7746	0.0981	0.1023	10
11	1.0468	0.9553	11.2320	10.7299	0.0890	0.0932	11
12	1.0512	0.9513	12.2788	11.6812	0.0814	0.0856	12
13	1.0555	0.9474	13.3300	12.6286	0.0750	0.0792	13
14	1.0599	0.9434	14.3855	13.5720	0.0695	0.0737	14
15	1.0644	0.9395	15.4455	14.5115	0.0647	0.0689	15
16	1.0688	0.9356	16.5098	15.4472	0.0606	0.0647	16
17	1.0732	0.9318	17.5786	16.3789	0.0569	0.0611	17
18	1.0777	0.9279	18.6518	17.3068	0.0536	0.0578	18
19	1.0822	0.9240	19.7295	18.2309	0.0507	0.0549	19
20	1.0867	0.9202	20.8118	19.1511	0.0480	0.0522	20
21	1.0912	0.9164	21.8985	20.0674	0.0457	0.0498	21
22	1.0958	0.9126	22.9897	20.9800	0.0435	0.0477	22
23	1.1004	0.9088	24.0855	21.8888	0.0415	0.0457	23
24	1.1049	0.9050	25.1858	22.7938	0.0397	0.0439	24
25	1.1095	0.9013	26.2908	23.6951	0.0380	0.0422	25
26	1.1142	0.8975	27.4003	24.5926	0.0365	0.0407	26
27	1.1188	0.8938	28.5145	25.4864	0.0351	0.0392	27
28	1.1235	0.8901	29.6333	26.3765	0.0337	0.0379	28
29	1.1282	0.8864	30.7568	27.2629	0.0325	0.0367	29
30	1.1329	0.8827	31.8849	28.1457	0.0314	0.0355	30
35	1.1567	0.8646	37.5966	32.5046	0.0266	0.0308	35
40	1.1810	0.8468	43.4282	36.7739	0.0230	0.0272	40
45	1.2058	0.8294	49.3823	40.9554	0.0203	0.0244	45
50	1.2311	0.8123	55.4616	45.0508	0.0180	0.0222	50
55	1.2570	0.7956	61.6685	49.0619	0.0162	0.0204	55
60	1.2834	0.7792	68.0059	52.9906	0.0147	0.0189	60
65	1.3103	0.7632	74.4763	56.8383	0.0134	0.0176	65
70	1.3378	0.7475	81.0827	60.6070	0.0123	0.0165	70
75	1.3659	0.7321	87.8279	64.2980	0.0114	0.0156	75
80	1.3946	0.7170	94.7148	67.9132	0.0106	0.0147	80
85	1.4239	0.7023	101.746	71.454	0.0098	0.0140	85
90	1.4539	0.6878	108.926	74.922	0.0092	0.0133	90
95	1.4844	0.6737	116.256	78.318	0.0086	0.0128	95
100	1.5156	0.6598	123.74	81.645	0.0081	0.0122	100

ตาราง 5

TABLE V

Discrete Compounding; $i = 1/2\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find F Given P P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0050	0.9950	1.0000	0.9950	1.0000	1.0050	1
2	1.0100	0.9901	2.0050	1.9851	0.4988	0.5038	2
3	1.0151	0.9851	3.0150	2.9702	0.3317	0.3367	3
4	1.0202	0.9802	4.0301	3.9505	0.2481	0.2531	4
5	1.0253	0.9754	5.0502	4.9259	0.1980	0.2030	5
6	1.0304	0.9705	6.0755	5.8964	0.1646	0.1696	6
7	1.0355	0.9657	7.1059	6.8621	0.1407	0.1457	7
8	1.0407	0.9609	8.1414	7.8229	0.1228	0.1278	8
9	1.0459	0.9561	9.1821	8.7790	0.1089	0.1139	9
10	1.0511	0.9513	10.2280	9.7304	0.0978	0.1028	10
11	1.0564	0.9466	11.2791	10.6770	0.0887	0.0937	11
12	1.0617	0.9419	12.3355	11.6189	0.0811	0.0861	12
13	1.0670	0.9372	13.3972	12.5561	0.0746	0.0796	13
14	1.0723	0.9326	14.4642	13.4887	0.0691	0.0741	14
15	1.0777	0.9279	15.5365	14.4166	0.0644	0.0694	15
16	1.0831	0.9233	16.6142	15.3399	0.0602	0.0652	16
17	1.0885	0.9187	17.6973	16.2586	0.0565	0.0615	17
18	1.0939	0.9141	18.7857	17.1727	0.0532	0.0582	18
19	1.0994	0.9096	19.8797	18.0823	0.0503	0.0553	19
20	1.1049	0.9051	20.9791	18.9874	0.0477	0.0527	20
21	1.1104	0.9006	22.0839	19.8879	0.0453	0.0503	21
22	1.1160	0.8961	23.1944	20.7840	0.0431	0.0481	22
23	1.1216	0.8916	24.3103	21.6756	0.0411	0.0461	23
24	1.1272	0.8872	25.4319	22.5628	0.0393	0.0443	24
25	1.1328	0.8828	26.5590	23.4456	0.0377	0.0427	25
26	1.1385	0.8784	27.6918	24.3240	0.0361	0.0411	26
27	1.1442	0.8740	28.8303	25.1980	0.0347	0.0397	27
28	1.1499	0.8697	29.9744	26.0676	0.0334	0.0384	28
29	1.1556	0.8653	31.1243	26.9330	0.0321	0.0371	29
30	1.1614	0.8610	32.2799	27.7940	0.0310	0.0360	30
35	1.1907	0.8598	38.1453	32.0353	0.0262	0.0312	35
40	1.2208	0.8191	44.1587	36.1721	0.0226	0.0276	40
45	1.2516	0.7990	50.3240	40.2071	0.0199	0.0249	45
50	1.2832	0.7793	56.6450	44.1427	0.0177	0.0227	50
55	1.3156	0.7601	63.1256	47.9813	0.0158	0.0208	55
60	1.3488	0.7414	69.7698	51.7254	0.0143	0.0193	60
65	1.3829	0.7231	76.5818	55.3773	0.0131	0.0181	65
70	1.4178	0.7053	83.5658	58.9393	0.0120	0.0170	70
75	1.4536	0.6879	90.7262	62.4135	0.0110	0.0160	75
80	1.4903	0.6710	98.0674	65.8022	0.0102	0.0152	80
85	1.5280	0.6545	105.594	69.107	0.0095	0.0145	85
90	1.5666	0.6383	113.311	72.331	0.0088	0.0138	90
95	1.6061	0.6226	121.22	75.475	0.0082	0.0132	95
100	1.6467	0.6073	129.33	78.542	0.0077	0.0127	100

TABLE VI

Discrete Compounding; $i = 7/12\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
N	To find F Given P F/P	To find P Given F P/F	To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	N
1	1.0058	0.9942	1.0000	0.9942	1.0000	1.0058	1
2	1.0117	0.9884	2.0058	1.9826	0.4985	0.5044	2
3	1.0176	0.9827	3.0175	2.9653	0.3314	0.3372	3
4	1.0235	0.9770	4.0351	3.9423	0.2478	0.2537	4
5	1.0295	0.9713	5.0587	4.9137	0.1977	0.2035	5
6	1.0355	0.9657	6.0882	5.8794	0.1643	0.1701	6
7	1.0416	0.9601	7.1237	6.8395	0.1404	0.1462	7
8	1.0476	0.9545	8.1652	7.7940	0.1225	0.1283	8
9	1.0537	0.9490	9.2129	8.7430	0.1085	0.1144	9
10	1.0599	0.9435	10.2666	9.6865	0.0974	0.1032	10
11	1.0661	0.9380	11.3265	10.6245	0.0883	0.0941	11
12	1.0723	0.9326	12.3926	11.5571	0.0807	0.0865	12
13	1.0785	0.9272	13.4649	12.4843	0.0743	0.0801	13
14	1.0848	0.9218	14.5434	13.4061	0.0688	0.0746	14
15	1.0912	0.9165	15.6282	14.3225	0.0640	0.0698	15
16	1.0975	0.9111	16.7194	15.2337	0.0598	0.0656	16
17	1.1039	0.9059	17.8169	16.1395	0.0561	0.0620	17
18	1.1104	0.9006	18.9208	17.0401	0.0529	0.0587	18
19	1.1168	0.8954	20.0312	17.9355	0.0499	0.0558	19
20	1.1234	0.8902	21.1481	18.8257	0.0473	0.0531	20
21	1.1299	0.8850	22.2714	19.7107	0.0449	0.0507	21
22	1.1365	0.8799	23.4013	20.5906	0.0427	0.0486	22
23	1.1431	0.8748	24.5378	21.4654	0.0408	0.0466	23
24	1.1498	0.8697	25.6810	22.3351	0.0389	0.0448	24
25	1.1565	0.8647	26.8308	23.1997	0.0373	0.0431	25
26	1.1633	0.8597	27.9873	24.0594	0.0357	0.0416	26
27	1.1700	0.8547	29.1506	24.9141	0.0343	0.0401	27
28	1.1769	0.8497	30.3206	25.7638	0.0330	0.0388	28
29	1.1837	0.8448	31.4975	26.6085	0.0317	0.0376	29
30	1.1906	0.8399	32.6812	27.4484	0.0306	0.0364	30
35	1.2258	0.8158	38.7042	31.5753	0.0258	0.0317	35
40	1.2619	0.7924	44.9050	35.5840	0.0223	0.0281	40
45	1.2992	0.7697	51.2888	39.4777	0.0195	0.0253	45
50	1.3375	0.7477	57.8609	43.2598	0.0173	0.0231	50
55	1.3770	0.7262	64.6270	46.9335	0.0155	0.0213	55
60	1.4176	0.7054	71.5927	50.5019	0.0140	0.0198	60
65	1.4595	0.6852	78.7640	53.9681	0.0127	0.0185	65
70	1.5025	0.6655	86.1469	57.3348	0.0116	0.0174	70
75	1.5469	0.6465	93.7477	60.6051	0.0107	0.0165	75
80	1.5925	0.6279	101.573	63.782	0.0098	0.0157	80
85	1.6395	0.6099	109.629	66.867	0.0091	0.0150	85
90	1.6879	0.5925	117.922	69.864	0.0085	0.0143	90
95	1.7377	0.5755	126.461	72.775	0.0079	0.0137	95
100	1.7890	0.5590	135.25	75.603	0.0074	0.0132	100

ตาราง 7

TABLE VII

Discrete Compounding; $i = 2/3\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0067	0.9934	1.0000	0.9934	1.0000	1.0067	1
2	1.0134	0.9868	2.0067	1.9802	0.4983	0.5050	2
3	1.0201	0.9803	3.0200	2.9604	0.3311	0.3378	3
4	1.0269	0.9738	4.0402	3.9342	0.2475	0.2542	4
5	1.0338	0.9673	5.0671	4.9015	0.1974	0.2040	5
6	1.0407	0.9609	6.1009	5.8624	0.1639	0.1706	6
7	1.0476	0.9546	7.1416	6.8170	0.1400	0.1467	7
8	1.0546	0.9482	8.1892	7.7652	0.1221	0.1288	8
9	1.0616	0.9420	9.2438	8.7072	0.1082	0.1148	9
10	1.0687	0.9357	10.3054	9.6429	0.0970	0.1037	10
11	1.0758	0.9295	11.3741	10.5724	0.0879	0.0946	11
12	1.0830	0.9234	12.4499	11.4958	0.0803	0.0870	12
13	1.0902	0.9172	13.5329	12.4130	0.0739	0.0806	13
14	1.0975	0.9112	14.6231	13.3242	0.0684	0.0751	14
15	1.1048	0.9051	15.7206	14.2293	0.0636	0.0703	15
16	1.1122	0.8991	16.8254	15.1284	0.0594	0.0661	16
17	1.1196	0.8932	17.9376	16.0216	0.0557	0.0624	17
18	1.1270	0.8873	19.0571	16.9089	0.0525	0.0591	18
19	1.1346	0.8814	20.1842	17.7903	0.0495	0.0562	19
20	1.1421	0.8756	21.3187	18.6659	0.0469	0.0536	20
21	1.1497	0.8698	22.4609	19.5356	0.0445	0.0512	21
22	1.1574	0.8640	23.6106	20.3996	0.0424	0.0490	22
23	1.1651	0.8583	24.7680	21.2579	0.0404	0.0470	23
24	1.1729	0.8526	25.9331	22.1105	0.0386	0.0452	24
25	1.1807	0.8470	27.1060	22.9574	0.0369	0.0436	25
26	1.1886	0.8413	28.2867	23.7988	0.0354	0.0420	26
27	1.1965	0.8358	29.4753	24.6346	0.0339	0.0406	27
28	1.2045	0.8302	30.6718	25.4648	0.0326	0.0393	28
29	1.2125	0.8247	31.8763	26.2895	0.0314	0.0380	29
30	1.2206	0.8193	33.0888	27.1088	0.0302	0.0369	30
35	1.2618	0.7925	39.2736	31.1245	0.0255	0.0321	35
40	1.3044	0.7666	45.6674	35.0090	0.0219	0.0286	40
45	1.3485	0.7416	52.2772	38.7665	0.0191	0.0258	45
50	1.3941	0.7173	59.1103	42.4013	0.0169	0.0236	50
55	1.4412	0.6939	66.1741	45.9172	0.0151	0.0218	55
60	1.4898	0.6712	73.4767	49.3183	0.0136	0.0203	60
65	1.5402	0.6493	81.0259	52.6083	0.0123	0.0190	65
70	1.5922	0.6281	88.8301	55.7907	0.0113	0.0179	70
75	1.6460	0.6075	96.8979	58.8692	0.0103	0.0170	75
80	1.7016	0.5877	105.238	61.8471	0.0095	0.0162	80
85	1.7591	0.5685	113.861	64.7276	0.0088	0.0154	85
90	1.8185	0.5499	122.774	67.514	0.0081	0.0148	90
95	1.8799	0.5319	131.988	70.209	0.0076	0.0142	95
100	1.9434	0.5146	141.514	72.817	0.0071	0.0137	100

ตาราง 8

TABLE VIII

Discrete Compounding; $i = 3/4\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
	To find F Given P F/P	To find P Given F P/F	To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
N							N
1	1.0075	0.9926	1.0000	0.9926	1.0000	1.0075	1
2	1.0151	0.9852	2.0075	1.9777	0.4981	0.5056	2
3	1.0227	0.9778	3.0226	2.9556	0.3308	0.3383	3
4	1.0303	0.9706	4.0452	3.9261	0.2472	0.2547	4
5	1.0381	0.9633	5.0756	4.8894	0.1970	0.2045	5
6	1.0459	0.9562	6.1136	5.8456	0.1636	0.1711	6
7	1.0537	0.9490	7.1595	6.7946	0.1397	0.1472	7
8	1.0616	0.9420	8.2132	7.7366	0.1218	0.1293	8
9	1.0696	0.9350	9.2748	8.6716	0.1078	0.1153	9
10	1.0776	0.9280	10.3443	9.5996	0.0967	0.1042	10
11	1.0857	0.9211	11.4219	10.5207	0.0876	0.0951	11
12	1.0938	0.9142	12.5076	11.4349	0.0800	0.0875	12
13	1.1020	0.9074	13.6014	12.3423	0.0735	0.0810	13
14	1.1103	0.9007	14.7034	13.2430	0.0680	0.0755	14
15	1.1186	0.8940	15.8136	14.1370	0.0632	0.0707	15
16	1.1270	0.8873	16.9322	15.0243	0.0591	0.0666	16
17	1.1354	0.8807	18.0592	15.9050	0.0554	0.0629	17
18	1.1440	0.8742	19.1947	16.7791	0.0521	0.0596	18
19	1.1525	0.8676	20.3386	17.6468	0.0492	0.0567	19
20	1.1612	0.8612	21.4912	18.5080	0.0465	0.0540	20
21	1.1699	0.8548	22.6523	19.3628	0.0441	0.0516	21
22	1.1787	0.8484	23.8222	20.2112	0.0420	0.0495	22
23	1.1875	0.8421	25.0009	21.0533	0.0400	0.0475	23
24	1.1964	0.8358	26.1884	21.8891	0.0382	0.0457	24
25	1.2054	0.8296	27.3848	22.7187	0.0365	0.0440	25
26	1.2144	0.8234	28.5902	23.5421	0.0350	0.0425	26
27	1.2235	0.8173	29.8046	24.3594	0.0336	0.0411	27
28	1.2327	0.8112	31.0282	25.1707	0.0322	0.0397	28
29	1.2420	0.8052	32.2609	25.9758	0.0310	0.0385	29
30	1.2513	0.7992	33.5028	26.7750	0.0298	0.0373	30
35	1.2989	0.7699	39.8537	30.6826	0.0251	0.0326	35
40	1.3483	0.7416	46.4464	34.4469	0.0215	0.0290	40
45	1.3997	0.7145	53.2900	38.0731	0.0188	0.0263	45
50	1.4530	0.6883	60.3941	41.5664	0.0166	0.0241	50
55	1.5083	0.6630	67.7686	44.9315	0.0148	0.0223	55
60	1.5657	0.6387	75.4239	48.1733	0.0133	0.0208	60
65	1.6253	0.6153	83.3706	51.2962	0.0120	0.0195	65
70	1.6871	0.5927	91.6198	54.3045	0.0109	0.0184	70
75	1.7514	0.5710	100.183	57.2026	0.0100	0.0175	75
80	1.8180	0.5500	109.072	59.9943	0.0092	0.0167	80
85	1.8872	0.5299	118.300	62.6837	0.0085	0.0160	85
90	1.9591	0.5104	127.879	65.275	0.0078	0.0153	90
95	2.0337	0.4917	137.822	67.770	0.0073	0.0148	95
100	2.1111	0.4737	148.14	70.175	0.0068	0.0143	100

ตาราง 9

TABLE IX

Discrete Compounding; $i = 1\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
N	To find F Given P F/P	To find P Given F P/F	To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	N
1	1.0100	0.9901	1.0000	0.9901	1.0000	1.0100	1
2	1.0201	0.9803	2.0100	1.9704	0.4975	0.5075	2
3	1.0303	0.9706	3.0301	2.9410	0.3300	0.3400	3
4	1.0406	0.9610	4.0604	3.9020	0.2463	0.2563	4
5	1.0510	0.9515	5.1010	4.8534	0.1960	0.2060	5
6	1.0615	0.9420	6.1520	5.7955	0.1625	0.1725	6
7	1.0721	0.9327	7.2135	6.7282	0.1386	0.1486	7
8	1.0829	0.9235	8.2857	7.6517	0.1207	0.1307	8
9	1.0937	0.9143	9.3685	8.5660	0.1067	0.1167	9
10	1.1046	0.9053	10.4622	9.4713	0.0956	0.1056	10
11	1.1157	0.8963	11.5668	10.3676	0.0865	0.0965	11
12	1.1268	0.8874	12.6825	11.2551	0.0788	0.0888	12
13	1.1381	0.8787	13.8093	12.1337	0.0724	0.0824	13
14	1.1495	0.8700	14.9474	13.0037	0.0669	0.0769	14
15	1.1610	0.8613	16.0969	13.8650	0.0621	0.0721	15
16	1.1726	0.8528	17.2578	14.7178	0.0579	0.0679	16
17	1.1843	0.8444	18.4304	15.5622	0.0543	0.0643	17
18	1.1961	0.8360	19.6147	16.3982	0.0510	0.0610	18
19	1.2081	0.8277	20.8109	17.2260	0.0481	0.0581	19
20	1.2202	0.8195	22.0190	18.0455	0.0454	0.0554	20
21	1.2324	0.8114	23.2391	18.8570	0.0430	0.0530	21
22	1.2447	0.8034	24.4715	19.6603	0.0409	0.0509	22
23	1.2572	0.7954	25.7162	20.4558	0.0389	0.0489	23
24	1.2697	0.7876	26.9734	21.2434	0.0371	0.0471	24
25	1.2824	0.7798	28.2431	22.0231	0.0354	0.0454	25
26	1.2953	0.7720	29.5256	22.7952	0.0339	0.0439	26
27	1.3082	0.7644	30.8208	23.5596	0.0324	0.0424	27
28	1.3213	0.7568	32.1290	24.3164	0.0311	0.0411	28
29	1.3345	0.7493	33.4503	25.0657	0.0299	0.0399	29
30	1.3478	0.7419	34.7848	25.8077	0.0287	0.0387	30
35	1.4166	0.7059	41.6602	29.4085	0.0240	0.0340	35
40	1.4889	0.6717	48.8863	32.8346	0.0205	0.0305	40
45	1.5648	0.6391	56.4809	36.0945	0.0177	0.0277	45
50	1.6446	0.6080	64.4630	39.1961	0.0155	0.0255	50
55	1.7285	0.5785	72.8523	42.1471	0.0137	0.0237	55
60	1.8167	0.5505	81.6695	44.9550	0.0122	0.0222	60
65	1.9094	0.5237	90.9364	47.6265	0.0110	0.0210	65
70	2.0068	0.4983	100.676	50.1684	0.0099	0.0199	70
75	2.1091	0.4741	110.912	52.5870	0.0090	0.0190	75
80	2.2167	0.4511	121.671	54.8881	0.0082	0.0182	80
85	2.3298	0.4292	132.979	57.0776	0.0075	0.0175	85
90	2.4486	0.4084	144.86	59.161	0.0069	0.0169	90
95	2.5735	0.3886	157.35	61.143	0.0064	0.0164	95
100	2.7048	0.3697	170.48	63.029	0.0059	0.0159	100
∞				100.000		0.0100	∞

ตาราง 10

TABLE X

Discrete Compounding; $i = 1 \frac{1}{4}\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0125	0.9877	1.0000	0.9877	1.0000	1.0125	1
2	1.0252	0.9755	2.0125	1.9631	0.4969	0.5094	2
3	1.0380	0.9634	3.0377	2.9265	0.3292	0.3417	3
4	1.0509	0.9515	4.0756	3.8781	0.2454	0.2579	4
5	1.0641	0.9398	5.1266	4.8178	0.1951	0.2076	5
6	1.0774	0.9282	6.1906	5.7460	0.1615	0.1740	6
7	1.0909	0.9167	7.2680	6.6627	0.1376	0.1501	7
8	1.1045	0.9054	8.3589	7.5681	0.1196	0.1321	8
9	1.1183	0.8942	9.4634	8.4623	0.1057	0.1182	9
10	1.1323	0.8832	10.5816	9.3455	0.0945	0.1070	10
11	1.1464	0.8723	11.7139	10.2178	0.0854	0.0979	11
12	1.1608	0.8615	12.8603	11.0793	0.0778	0.0903	12
13	1.1753	0.8509	14.0211	11.9302	0.0713	0.0838	13
14	1.1900	0.8404	15.1964	12.7705	0.0658	0.0783	14
15	1.2048	0.8300	16.3863	13.6005	0.0610	0.0735	15
16	1.2199	0.8197	17.5911	14.4203	0.0568	0.0693	16
17	1.2351	0.8096	18.8110	15.2299	0.0532	0.0657	17
18	1.2506	0.7996	20.0462	16.0295	0.0499	0.0624	18
19	1.2662	0.7898	21.2967	16.8193	0.0470	0.0595	19
20	1.2820	0.7800	22.5629	17.5993	0.0443	0.0568	20
21	1.2981	0.7704	23.8450	18.3697	0.0419	0.0544	21
22	1.3143	0.7609	25.1430	19.1305	0.0398	0.0523	22
23	1.3307	0.7515	26.4573	19.8820	0.0378	0.0503	23
24	1.3474	0.7422	27.7880	20.6242	0.0360	0.0485	24
25	1.3642	0.7330	29.1354	21.3572	0.0343	0.0468	25
26	1.3812	0.7240	30.4996	22.0812	0.0328	0.0453	26
27	1.3985	0.7150	31.8808	22.7963	0.0314	0.0439	27
28	1.4160	0.7062	33.2793	23.5025	0.0300	0.0425	28
29	1.4337	0.6975	34.6953	24.2000	0.0288	0.0413	29
30	1.4516	0.6889	36.1290	24.8889	0.0277	0.0402	30
35	1.5446	0.6474	43.5708	28.2078	0.0230	0.0355	35
40	1.6436	0.6084	51.4894	31.3269	0.0194	0.0319	40
45	1.7489	0.5718	59.9156	34.2581	0.0167	0.0292	45
50	1.8610	0.5373	68.8816	37.0128	0.0145	0.0270	50
55	1.9803	0.5050	78.4223	39.6016	0.0128	0.0253	55
60	2.1072	0.4746	88.5743	42.0345	0.0113	0.0238	60
65	2.2422	0.4460	99.3769	44.3209	0.0101	0.0226	65
70	2.3859	0.4191	110.872	46.4696	0.0090	0.0215	70
75	2.5388	0.3939	123.103	48.4889	0.0081	0.0206	75
80	2.7015	0.3702	136.118	50.3866	0.0073	0.0198	80
85	2.8746	0.3479	149.968	52.170	0.0067	0.0192	85
90	3.0588	0.3269	164.70	53.846	0.0061	0.0186	90
95	3.2548	0.3072	180.39	55.421	0.0055	0.0180	95
100	3.4634	0.2887	197.07	56.901	0.0051	0.0176	100
∞				80.000		0.0125	∞

TABLE XI

Discrete Compounding; $i = 1\frac{1}{2}\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0150	0.9852	1.0000	0.9852	1.0000	1.0150	1
2	1.0302	0.9707	2.0150	1.9559	0.4963	0.5113	2
3	1.0457	0.9563	3.0452	2.9122	0.3284	0.3434	3
4	1.0614	0.9422	4.0909	3.8544	0.2444	0.2594	4
5	1.0773	0.9283	5.1523	4.7826	0.1941	0.2091	5
6	1.0934	0.9145	6.2295	5.6972	0.1605	0.1755	6
7	1.1098	0.9010	7.3230	6.5982	0.1366	0.1516	7
8	1.1265	0.8877	8.4328	7.4859	0.1186	0.1336	8
9	1.1434	0.8746	9.5593	8.3605	0.1046	0.1196	9
10	1.1605	0.8617	10.7027	9.2222	0.0934	0.1084	10
11	1.1779	0.8489	11.8632	10.0711	0.0843	0.0993	11
12	1.1956	0.8364	13.0412	10.9075	0.0767	0.0917	12
13	1.2136	0.8240	14.2368	11.7315	0.0702	0.0852	13
14	1.2318	0.8118	15.4504	12.5434	0.0647	0.0797	14
15	1.2502	0.7999	16.6821	13.3432	0.0599	0.0749	15
16	1.2690	0.7880	17.9323	14.1312	0.0558	0.0708	16
17	1.2880	0.7764	19.2013	14.9076	0.0521	0.0671	17
18	1.3073	0.7649	20.4893	15.6725	0.0488	0.0638	18
19	1.3270	0.7536	21.7967	16.4261	0.0459	0.0609	19
20	1.3469	0.7425	23.1236	17.1686	0.0432	0.0582	20
21	1.3671	0.7315	24.4705	17.9001	0.0409	0.0559	21
22	1.3876	0.7207	25.8375	18.6208	0.0387	0.0537	22
23	1.4084	0.7100	27.2251	19.3308	0.0367	0.0517	23
24	1.4295	0.6995	28.6335	20.0304	0.0349	0.0499	24
25	1.4509	0.6892	30.0630	20.7196	0.0333	0.0483	25
26	1.4727	0.6790	31.5139	21.3986	0.0317	0.0467	26
27	1.4948	0.6690	32.9866	22.0676	0.0303	0.0453	27
28	1.5172	0.6591	34.4814	22.7267	0.0290	0.0440	28
29	1.5400	0.6494	35.9986	23.3761	0.0278	0.0428	29
30	1.5631	0.6398	37.5386	24.0158	0.0266	0.0416	30
35	1.6839	0.5939	45.5920	27.0756	0.0219	0.0369	35
40	1.8140	0.5513	54.2678	29.9158	0.0184	0.0334	40
45	1.9542	0.5117	63.6141	32.5523	0.0157	0.0307	45
50	2.1052	0.4750	73.6827	34.9997	0.0136	0.0286	50
55	2.2679	0.4409	84.5294	37.2714	0.0118	0.0268	55
60	2.4432	0.4093	96.2145	39.3802	0.0104	0.0254	60
65	2.6320	0.3799	108.803	41.3378	0.0092	0.0242	65
70	2.8355	0.3527	122.364	43.1548	0.0082	0.0232	70
75	3.0546	0.3274	136.97	44.8416	0.0073	0.0223	75
80	3.2907	0.3039	152.71	46.4073	0.0065	0.0215	80
85	3.5450	0.2821	169.66	47.8607	0.0059	0.0209	85
90	3.8189	0.2619	187.93	49.2098	0.0053	0.0203	90
95	4.1141	0.2431	207.61	50.4622	0.0048	0.0198	95
100	4.4320	0.2256	228.80	51.6247	0.0044	0.0194	100
∞				66.667		0.0150	∞

TABLE XII

Discrete Compounding; $i = 1 \frac{3}{4}\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0175	0.9828	1.0000	0.9828	1.0000	1.0175	1
2	1.0353	0.9659	2.0175	1.9487	0.4957	0.5132	2
3	1.0534	0.9493	3.0528	2.8980	0.3276	0.3451	3
4	1.0719	0.9330	4.1062	3.8309	0.2435	0.2610	4
5	1.0906	0.9169	5.1781	4.7479	0.1931	0.2106	5
6	1.1097	0.9011	6.2687	5.6490	0.1595	0.1770	6
7	1.1291	0.8856	7.3784	6.5346	0.1355	0.1530	7
8	1.1489	0.8704	8.5075	7.4051	0.1175	0.1350	8
9	1.1690	0.8554	9.6564	8.2605	0.1036	0.1211	9
10	1.1894	0.8407	10.8254	9.1012	0.0924	0.1099	10
11	1.2103	0.8263	12.0148	9.9275	0.0832	0.1007	11
12	1.2314	0.8121	13.2251	10.7395	0.0756	0.0931	12
13	1.2530	0.7981	14.4565	11.5376	0.0692	0.0867	13
14	1.2749	0.7844	15.7095	12.3220	0.0637	0.0812	14
15	1.2972	0.7709	16.9844	13.0929	0.0589	0.0764	15
16	1.3199	0.7576	18.2817	13.8505	0.0547	0.0722	16
17	1.3430	0.7446	19.6016	14.5951	0.0510	0.0685	17
18	1.3665	0.7318	20.9446	15.3269	0.0477	0.0652	18
19	1.3904	0.7192	22.3112	16.0461	0.0448	0.0623	19
20	1.4148	0.7068	23.7016	16.7529	0.0422	0.0597	20
21	1.4395	0.6947	25.1164	17.4475	0.0398	0.0573	21
22	1.4647	0.6827	26.5559	18.1303	0.0377	0.0552	22
23	1.4904	0.6710	28.0206	18.8012	0.0357	0.0532	23
24	1.5164	0.6594	29.5110	19.4607	0.0339	0.0514	24
25	1.5430	0.6481	31.0274	20.1088	0.0322	0.0497	25
26	1.5700	0.6369	32.5704	20.7457	0.0307	0.0482	26
27	1.5975	0.6260	34.1404	21.3717	0.0293	0.0468	27
28	1.6254	0.6152	35.7379	21.9870	0.0280	0.0455	28
29	1.6539	0.6046	37.3633	22.5916	0.0268	0.0443	29
30	1.6828	0.5942	39.0171	23.1858	0.0256	0.0431	30
35	1.8353	0.5449	47.7308	26.0072	0.0210	0.0385	35
40	2.0016	0.4996	57.2341	28.5942	0.0175	0.0350	40
45	2.1830	0.4581	67.5986	30.9663	0.0148	0.0323	45
50	2.3808	0.4200	78.9022	33.1412	0.0127	0.0302	50
55	2.5965	0.3851	91.2301	35.1354	0.0110	0.0285	55
60	2.8318	0.3531	104.675	36.9640	0.0096	0.0271	60
65	3.0884	0.3238	119.339	38.6406	0.0084	0.0259	65
70	3.3683	0.2969	135.331	40.1779	0.0074	0.0249	70
75	3.6735	0.2722	152.772	41.5875	0.0065	0.0240	75
80	4.0064	0.2496	171.794	42.8799	0.0058	0.0233	80
85	4.3694	0.2289	192.539	44.0650	0.0052	0.0227	85
90	4.7654	0.2098	215.16	45.1516	0.0046	0.0221	90
95	5.1972	0.1924	239.84	46.1479	0.0042	0.0217	95
100	5.6682	0.1764	266.75	47.0615	0.0037	0.0212	100
∞				57.1429		0.0175	∞

TABLE XIII

Discrete Compounding; $i = 2\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0200	0.9804	1.0000	0.9804	1.0000	1.0200	1
2	1.0404	0.9612	2.0200	1.9416	0.4950	0.5150	2
3	1.0612	0.9423	3.0604	2.8839	0.3268	0.3468	3
4	1.0824	0.9238	4.1216	3.8077	0.2426	0.2626	4
5	1.1041	0.9057	5.2040	4.7135	0.1922	0.2122	5
6	1.1262	0.8880	6.3081	5.6014	0.1585	0.1785	6
7	1.1487	0.8706	7.4343	6.4720	0.1345	0.1545	7
8	1.1717	0.8535	8.5830	7.3255	0.1165	0.1365	8
9	1.1951	0.8368	9.7546	8.1622	0.1025	0.1225	9
10	1.2190	0.8203	10.9497	8.9826	0.0913	0.1113	10
11	1.2434	0.8043	12.1687	9.7868	0.0822	0.1022	11
12	1.2682	0.7885	13.4121	10.5753	0.0746	0.0946	12
13	1.2936	0.7730	14.6803	11.3484	0.0681	0.0881	13
14	1.3195	0.7579	15.9739	12.1062	0.0626	0.0826	14
15	1.3459	0.7430	17.2934	12.8493	0.0578	0.0778	15
16	1.3728	0.7284	18.6393	13.5777	0.0537	0.0737	16
17	1.4002	0.7142	20.0121	14.2919	0.0500	0.0700	17
18	1.4282	0.7002	21.4123	14.9920	0.0467	0.0667	18
19	1.4568	0.6864	22.8405	15.6785	0.0438	0.0638	19
20	1.4859	0.6730	24.2974	16.3514	0.0412	0.0612	20
21	1.5157	0.6598	25.7833	17.0112	0.0388	0.0588	21
22	1.5460	0.6468	27.2990	17.6580	0.0366	0.0566	22
23	1.5769	0.6342	28.8449	18.2922	0.0347	0.0547	23
24	1.6084	0.6217	30.4218	18.9139	0.0329	0.0529	24
25	1.6406	0.6095	32.0303	19.5234	0.0312	0.0512	25
26	1.6734	0.5976	33.6709	20.1210	0.0297	0.0497	26
27	1.7069	0.5859	35.3443	20.7069	0.0283	0.0483	27
28	1.7410	0.5744	37.0512	21.2813	0.0270	0.0470	28
29	1.7758	0.5631	38.7922	21.8444	0.0258	0.0458	29
30	1.8114	0.5521	40.5681	22.3964	0.0246	0.0446	30
35	1.9999	0.5000	49.9944	24.9986	0.0200	0.0400	35
40	2.2080	0.4529	60.4019	27.3555	0.0166	0.0366	40
45	2.4379	0.4102	71.8927	29.4902	0.0139	0.0339	45
50	2.6916	0.3715	84.5793	31.4236	0.0118	0.0318	50
55	2.9717	0.3365	98.5864	33.1748	0.0101	0.0301	55
60	3.2810	0.3048	114.051	34.7609	0.0088	0.0288	60
65	3.6225	0.2761	131.126	36.1975	0.0076	0.0276	65
70	3.9996	0.2500	149.978	37.4986	0.0067	0.0267	70
75	4.4158	0.2265	170.792	38.6771	0.0059	0.0259	75
80	4.8754	0.2051	193.772	39.7445	0.0052	0.0252	80
85	5.3829	0.1858	219.144	40.7113	0.0046	0.0246	85
90	5.9431	0.1683	247.16	41.5869	0.0040	0.0240	90
95	6.5617	0.1524	278.08	42.3800	0.0036	0.0236	95
100	7.2446	0.1380	312.23	43.0983	0.0032	0.0232	100
∞				50.0000		0.0200	∞

ตาราง 14

TABLE XIV

Discrete Compounding; $i = 2 \frac{1}{2}\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0250	0.9756	1.0000	0.9756	1.0000	1.0250	1
2	1.0506	0.9518	2.0250	1.9274	0.4938	0.5188	2
3	1.0769	0.9286	3.0756	2.8560	0.3251	0.3501	3
4	1.1038	0.9060	4.1525	3.7620	0.2408	0.2658	4
5	1.1314	0.8839	5.2563	4.6458	0.1902	0.2152	5
6	1.1597	0.8623	6.3877	5.5081	0.1566	0.1816	6
7	1.1887	0.8413	7.5474	6.3494	0.1325	0.1575	7
8	1.2184	0.8207	8.7361	7.1701	0.1145	0.1395	8
9	1.2489	0.8007	9.9545	7.9709	0.1005	0.1255	9
10	1.2801	0.7812	11.2034	8.7521	0.0893	0.1143	10
11	1.3121	0.7621	12.4835	9.5142	0.0801	0.1051	11
12	1.3449	0.7436	13.7955	10.2578	0.0725	0.0975	12
13	1.3785	0.7254	15.1404	10.9832	0.0660	0.0910	13
14	1.4130	0.7077	16.5189	11.6909	0.0605	0.0855	14
15	1.4483	0.6905	17.9319	12.3814	0.0558	0.0808	15
16	1.4845	0.6736	19.3802	13.0550	0.0516	0.0766	16
17	1.5216	0.6572	20.8647	13.7122	0.0479	0.0729	17
18	1.5597	0.6412	22.3863	14.3534	0.0447	0.0697	18
19	1.5986	0.6255	23.9460	14.9789	0.0418	0.0668	19
20	1.6386	0.6103	25.5446	15.5892	0.0391	0.0641	20
21	1.6796	0.5954	27.1833	16.1845	0.0368	0.0618	21
22	1.7216	0.5809	28.8628	16.7654	0.0346	0.0596	22
23	1.7646	0.5667	30.5844	17.3321	0.0327	0.0577	23
24	1.8087	0.5529	32.3490	17.8850	0.0309	0.0559	24
25	1.8539	0.5394	34.1577	18.4244	0.0293	0.0543	25
26	1.9003	0.5262	36.0117	18.9506	0.0278	0.0528	26
27	1.9478	0.5134	37.9120	19.4640	0.0264	0.0514	27
28	1.9965	0.5009	39.8598	19.9649	0.0251	0.0501	28
29	2.0464	0.4887	41.8563	20.4535	0.0239	0.0489	29
30	2.0976	0.4767	43.9027	20.9303	0.0228	0.0478	30
35	2.3732	0.4214	54.9282	23.1452	0.0182	0.0432	35
40	2.6851	0.3724	67.4025	25.1028	0.0148	0.0398	40
45	3.0379	0.3292	81.5161	26.8330	0.0123	0.0373	45
50	3.4371	0.2909	97.4843	28.3623	0.0103	0.0353	50
55	3.8888	0.2572	115.551	29.7140	0.0087	0.0337	55
60	4.3998	0.2273	135.992	30.9087	0.0074	0.0324	60
65	4.9780	0.2009	159.118	31.9646	0.0063	0.0313	65
70	5.6321	0.1776	185.284	32.8979	0.0054	0.0304	70
75	6.3722	0.1569	214.888	33.7227	0.0047	0.0297	75
80	7.2096	0.1387	248.383	34.4518	0.0040	0.0290	80
85	8.1570	0.1226	286.278	35.0962	0.0035	0.0285	85
90	9.2288	0.1084	329.15	35.6658	0.0030	0.0280	90
95	10.4416	0.0958	377.66	36.1692	0.0026	0.0276	95
100	11.8137	0.0846	432.55	36.6141	0.0023	0.0273	100
∞				40.0000		0.0250	∞

TABLE XV

Discrete Compounding; $i = 3\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0300	0.9709	1.0000	0.9709	1.0000	1.0300	1
2	1.0609	0.9426	2.0300	1.9135	0.4926	0.5226	2
3	1.0927	0.9151	3.0909	2.8286	0.3235	0.3535	3
4	1.1255	0.8885	4.1836	3.7171	0.2390	0.2690	4
5	1.1593	0.8626	5.3091	4.5797	0.1884	0.2184	5
6	1.1941	0.8375	6.4684	5.4172	0.1546	0.1846	6
7	1.2299	0.8131	7.6625	6.2303	0.1305	0.1605	7
8	1.2668	0.7894	8.8923	7.0197	0.1125	0.1425	8
9	1.3048	0.7664	10.1591	7.7861	0.0984	0.1284	9
10	1.3439	0.7441	11.4639	8.5302	0.0872	0.1172	10
11	1.3842	0.7224	12.8078	9.2526	0.0781	0.1081	11
12	1.4258	0.7014	14.1920	9.9540	0.0705	0.1005	12
13	1.4685	0.6810	15.6178	10.6349	0.0640	0.0940	13
14	1.5126	0.6611	17.0863	11.2961	0.0585	0.0885	14
15	1.5580	0.6419	18.5989	11.9379	0.0538	0.0838	15
16	1.6047	0.6232	20.1569	12.5611	0.0496	0.0796	16
17	1.6528	0.6050	21.7616	13.1661	0.0460	0.0760	17
18	1.7024	0.5874	23.4144	13.7535	0.0427	0.0727	18
19	1.7535	0.5703	25.1168	14.3238	0.0398	0.0698	19
20	1.8061	0.5537	26.8703	14.8775	0.0372	0.0672	20
21	1.8603	0.5375	28.6765	15.4150	0.0349	0.0649	21
22	1.9161	0.5219	30.5367	15.9369	0.0327	0.0627	22
23	1.9736	0.5067	32.4528	16.4436	0.0308	0.0608	23
24	2.0328	0.4919	34.4264	16.9355	0.0290	0.0590	24
25	2.0938	0.4776	36.4592	17.4131	0.0274	0.0574	25
26	2.1566	0.4637	38.5530	17.8768	0.0259	0.0559	26
27	2.2213	0.4502	40.7096	18.3270	0.0246	0.0546	27
28	2.2879	0.4371	42.9309	18.7641	0.0233	0.0533	28
29	2.3566	0.4243	45.2188	19.1884	0.0221	0.0521	29
30	2.4273	0.4120	47.5754	19.6004	0.0210	0.0510	30
35	2.8139	0.3554	60.4620	21.4872	0.0165	0.0465	35
40	3.2620	0.3066	75.4012	23.1148	0.0133	0.0433	40
45	3.7816	0.2644	92.7197	24.5187	0.0108	0.0408	45
50	4.3839	0.2281	112.797	25.7298	0.0089	0.0389	50
55	5.0821	0.1968	136.071	26.7744	0.0073	0.0373	55
60	5.8916	0.1697	163.053	27.6756	0.0061	0.0361	60
65	6.8300	0.1464	194.332	28.4529	0.0051	0.0351	65
70	7.9178	0.1263	230.594	29.1234	0.0043	0.0343	70
75	9.1789	0.1089	272.630	29.7018	0.0037	0.0337	75
80	10.6409	0.0940	321.362	30.2008	0.0031	0.0331	80
85	12.3357	0.0811	377.856	30.6311	0.0026	0.0326	85
90	14.3004	0.0699	443.35	31.0024	0.0023	0.0323	90
95	16.5781	0.0603	519.27	31.3227	0.0019	0.0319	95
100	19.2186	0.0520	607.29	31.5989	0.0016	0.0316	100
∞				33.3333		0.0300	∞

ตาราง 16

TABLE XVI

Discrete Compounding; $i = 3 \frac{1}{2}\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0350	0.9662	1.0000	0.9662	1.0000	1.0350	1
2	1.0712	0.9335	2.0350	1.8997	0.4914	0.5264	2
3	1.1087	0.9019	3.1062	2.8016	0.3219	0.3569	3
4	1.1475	0.8714	4.2149	3.6731	0.2373	0.2723	4
5	1.1877	0.8420	5.3625	4.5151	0.1865	0.2215	5
6	1.2293	0.8135	6.5502	5.3286	0.1527	0.1877	6
7	1.2723	0.7860	7.7794	6.1145	0.1285	0.1635	7
8	1.3168	0.7594	9.0517	6.8740	0.1105	0.1455	8
9	1.3629	0.7337	10.3685	7.6077	0.0964	0.1314	9
10	1.4106	0.7089	11.7314	8.3166	0.0852	0.1202	10
11	1.4600	0.6849	13.1420	9.0015	0.0761	0.1111	11
12	1.5111	0.6618	14.6020	9.6633	0.0685	0.1035	12
13	1.5640	0.6394	16.1130	10.3027	0.0621	0.0971	13
14	1.6187	0.6178	17.6770	10.9205	0.0566	0.0916	14
15	1.6753	0.5969	19.2957	11.5174	0.0518	0.0868	15
16	1.7340	0.5767	20.9710	12.0941	0.0477	0.0827	16
17	1.7947	0.5572	22.7050	12.6513	0.0440	0.0790	17
18	1.8575	0.5384	24.4997	13.1897	0.0408	0.0758	18
19	1.9225	0.5202	26.3572	13.7098	0.0379	0.0729	19
20	1.9898	0.5026	28.2797	14.2124	0.0354	0.0704	20
21	2.0594	0.4856	30.2695	14.6980	0.0330	0.0680	21
22	2.1315	0.4692	32.3289	15.1671	0.0309	0.0659	22
23	2.2061	0.4533	34.4604	15.6204	0.0290	0.0640	23
24	2.2833	0.4380	36.6665	16.0584	0.0273	0.0623	24
25	2.3632	0.4231	38.9498	16.4815	0.0257	0.0607	25
26	2.4460	0.4088	41.3131	16.8904	0.0242	0.0592	26
27	2.5316	0.3950	43.7590	17.2854	0.0229	0.0579	27
28	2.6202	0.3817	46.2906	17.6670	0.0216	0.0566	28
29	2.7119	0.3687	48.9108	18.0358	0.0204	0.0554	29
30	2.8068	0.3563	51.6227	18.3920	0.0194	0.0544	30
35	3.3336	0.3000	66.6740	20.0007	0.0150	0.0500	35
40	3.9593	0.2526	84.5502	21.3551	0.0118	0.0468	40
45	4.7024	0.2127	105.782	22.4954	0.0095	0.0445	45
50	5.5849	0.1791	130.998	23.4556	0.0076	0.0426	50
55	6.6331	0.1508	160.947	24.2641	0.0062	0.0412	55
60	7.8781	0.1269	196.517	24.9447	0.0051	0.0401	60
65	9.3567	0.1069	238.763	25.5178	0.0042	0.0392	65
70	11.1128	0.0900	288.938	26.0004	0.0035	0.0385	70
75	13.1985	0.0758	348.530	26.4067	0.0029	0.0379	75
80	15.6757	0.0638	419.307	26.7488	0.0024	0.0374	80
85	18.6178	0.0537	503.367	27.0368	0.0020	0.0370	85
90	22.1122	0.0452	603.20	27.2793	0.0017	0.0367	90
95	26.2623	0.0381	721.78	27.4835	0.0014	0.0364	95
100	31.1914	0.0321	862.61	27.6554	0.0012	0.0362	100
∞				28.571		0.0350	∞

TABLE XVII

Discrete Compounding; $i = 4\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0400	0.9615	1.0000	0.9615	1.0000	1.0400	1
2	1.0816	0.9246	2.0400	1.8861	0.4902	0.5302	2
3	1.1249	0.8890	3.1216	2.7751	0.3203	0.3603	3
4	1.1699	0.8548	4.2465	3.6299	0.2355	0.2755	4
5	1.2167	0.8219	5.4163	4.4518	0.1846	0.2246	5
6	1.2653	0.7903	6.6330	5.2421	0.1508	0.1908	6
7	1.3159	0.7599	7.8983	6.0021	0.1266	0.1666	7
8	1.3686	0.7307	9.2142	6.7327	0.1085	0.1485	8
9	1.4233	0.7026	10.5828	7.4353	0.0945	0.1345	9
10	1.4802	0.6756	12.0061	8.1109	0.0833	0.1233	10
11	1.5395	0.6496	13.4863	8.7605	0.0741	0.1141	11
12	1.6010	0.6246	15.0258	9.3851	0.0666	0.1066	12
13	1.6651	0.6006	16.6268	9.9856	0.0601	0.1001	13
14	1.7317	0.5775	18.2919	10.5631	0.0547	0.0947	14
15	1.8009	0.5553	20.0236	11.1184	0.0499	0.0899	15
16	1.8730	0.5339	21.8245	11.6523	0.0458	0.0858	16
17	1.9479	0.5134	23.6975	12.1657	0.0422	0.0822	17
18	2.0258	0.4936	25.6454	12.6593	0.0390	0.0790	18
19	2.1068	0.4746	27.6712	13.1339	0.0361	0.0761	19
20	2.1911	0.4564	29.7781	13.5903	0.0336	0.0736	20
21	2.2788	0.4388	31.9692	14.0292	0.0313	0.0713	21
22	2.3699	0.4220	34.2480	14.4511	0.0292	0.0692	22
23	2.4647	0.4057	36.6179	14.8568	0.0273	0.0673	23
24	2.5633	0.3901	39.0826	15.2470	0.0256	0.0656	24
25	2.6658	0.3751	41.6459	15.6221	0.0240	0.0640	25
26	2.7725	0.3607	44.3117	15.9828	0.0226	0.0626	26
27	2.8834	0.3468	47.0842	16.3296	0.0212	0.0612	27
28	2.9987	0.3335	49.9676	16.6631	0.0200	0.0600	28
29	3.1187	0.3207	52.9663	16.9837	0.0189	0.0589	29
30	3.2434	0.3083	56.0849	17.2920	0.0178	0.0578	30
35	3.9461	0.2534	73.6522	18.6646	0.0136	0.0536	35
40	4.8010	0.2083	95.0255	19.7928	0.0105	0.0505	40
45	5.8412	0.1712	121.029	20.7200	0.0083	0.0483	45
50	7.1067	0.1407	152.667	21.4822	0.0066	0.0466	50
55	8.6464	0.1157	191.159	22.1086	0.0052	0.0452	55
60	10.5196	0.0951	237.991	22.6235	0.0042	0.0442	60
65	12.7987	0.0781	294.968	23.0467	0.0034	0.0434	65
70	15.5716	0.0642	364.290	23.3945	0.0027	0.0427	70
75	18.9452	0.0528	448.631	23.6804	0.0022	0.0422	75
80	23.0498	0.0434	551.245	23.9154	0.0018	0.0418	80
85	28.0436	0.0357	676.090	24.1085	0.0015	0.0415	85
90	34.1193	0.0293	827.98	24.2673	0.0012	0.0412	90
95	41.5113	0.0241	1012.78	24.3978	0.0010	0.0410	95
100	50.5049	0.0198	1237.62	24.5050	0.0008	0.0408	100
∞				25.0000		0.0400	∞

TABLE XVIII

Discrete Compounding; $i = 5\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	N
1	1.0500	0.9524	1.0000	0.9524	1.0000	1.0500	1
2	1.1025	0.9070	2.0500	1.8594	0.4878	0.5378	2
3	1.1576	0.8638	3.1525	2.7232	0.3172	0.3672	3
4	1.2155	0.8227	4.3101	3.5460	0.2320	0.2820	4
5	1.2763	0.7835	5.5256	4.3295	0.1810	0.2310	5
6	1.3401	0.7462	6.8019	5.0757	0.1470	0.1970	6
7	1.4071	0.7107	8.1420	5.7864	0.1228	0.1728	7
8	1.4775	0.6768	9.5491	6.4632	0.1047	0.1547	8
9	1.5513	0.6446	11.0266	7.1078	0.0907	0.1407	9
10	1.6289	0.6139	12.5779	7.7217	0.0795	0.1295	10
11	1.7103	0.5847	14.2068	8.3064	0.0704	0.1204	11
12	1.7959	0.5568	15.9171	8.8633	0.0628	0.1128	12
13	1.8856	0.5303	17.7130	9.3936	0.0565	0.1065	13
14	1.9799	0.5051	19.5986	9.8986	0.0510	0.1010	14
15	2.0789	0.4810	21.5786	10.3797	0.0463	0.0963	15
16	2.1829	0.4581	23.6575	10.8378	0.0423	0.0923	16
17	2.2920	0.4363	25.8404	11.2741	0.0387	0.0887	17
18	2.4066	0.4155	28.1324	11.6896	0.0355	0.0855	18
19	2.5269	0.3957	30.5390	12.0853	0.0327	0.0827	19
20	2.6533	0.3769	33.0659	12.4622	0.0302	0.0802	20
21	2.7860	0.3589	35.7192	12.8212	0.0280	0.0780	21
22	2.9253	0.3418	38.5052	13.1630	0.0260	0.0760	22
23	3.0715	0.3256	41.4305	13.4886	0.0241	0.0741	23
24	3.2251	0.3101	44.5020	13.7986	0.0225	0.0725	24
25	3.3864	0.2953	47.7271	14.0939	0.0210	0.0710	25
26	3.5557	0.2812	51.1134	14.3752	0.0196	0.0696	26
27	3.7335	0.2678	54.6691	14.6430	0.0183	0.0683	27
28	3.9201	0.2551	58.4026	14.8981	0.0171	0.0671	28
29	4.1161	0.2429	62.3227	15.1411	0.0160	0.0660	29
30	4.3219	0.2314	66.4388	15.3725	0.0151	0.0651	30
35	5.5160	0.1813	90.3203	16.3742	0.0111	0.0611	35
40	7.0400	0.1420	120.800	17.1591	0.0083	0.0583	40
45	8.9850	0.1113	159.700	17.7741	0.0063	0.0563	45
50	11.4674	0.0872	209.348	18.2559	0.0048	0.0548	50
55	14.6356	0.0683	272.713	18.6335	0.0037	0.0537	55
60	18.6792	0.0535	353.584	18.9293	0.0028	0.0528	60
65	23.8399	0.0419	456.798	19.1611	0.0022	0.0522	65
70	30.4264	0.0329	588.528	19.3427	0.0017	0.0517	70
75	38.8327	0.0258	756.653	19.4850	0.0013	0.0513	75
80	49.5614	0.0202	971.228	19.5965	0.0010	0.0510	80
85	63.2543	0.0158	1245.09	19.6838	0.0008	0.0508	85
90	80.7303	0.0124	1594.61	19.7523	0.0006	0.0506	90
95	103.035	0.0097	2040.69	19.8059	0.0005	0.0505	95
100	131.501	0.0076	2610.02	19.8479	0.0004	0.0504	100
∞				20.0000		0.0500	∞

ตาราง 19

TABLE XIX

Discrete Compounding; $i = 6\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
N	To find F Given P F/P	To find P Given F P/F	To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	N
1	1.0600	0.9434	1.0000	0.9434	1.0000	1.0600	1
2	1.1236	0.8900	2.0600	1.8334	0.4854	0.5454	2
3	1.1910	0.8396	3.1836	2.6730	0.3141	0.3741	3
4	1.2625	0.7921	4.3746	3.4651	0.2286	0.2886	4
5	1.3382	0.7473	5.6371	4.2124	0.1774	0.2374	5
6	1.4185	0.7050	6.9753	4.9173	0.1434	0.2034	6
7	1.5036	0.6651	8.3938	5.5824	0.1191	0.1791	7
8	1.5938	0.6274	9.8975	6.2098	0.1010	0.1610	8
9	1.6895	0.5919	11.4913	6.8017	0.0870	0.1470	9
10	1.7908	0.5584	13.1808	7.3601	0.0759	0.1359	10
11	1.8983	0.5268	14.9716	7.8869	0.0668	0.1268	11
12	2.0122	0.4970	16.8699	8.3838	0.0593	0.1193	12
13	2.1329	0.4688	18.8821	8.8527	0.0530	0.1130	13
14	2.2609	0.4423	21.0151	9.2950	0.0476	0.1076	14
15	2.3966	0.4173	23.2760	9.7122	0.0430	0.1030	15
16	2.5404	0.3936	25.6725	10.1059	0.0390	0.0990	16
17	2.6928	0.3714	28.2129	10.4773	0.0354	0.0954	17
18	2.8543	0.3503	30.9056	10.8276	0.0324	0.0924	18
19	3.0256	0.3305	33.7600	11.1581	0.0296	0.0896	19
20	3.2071	0.3118	36.7856	11.4699	0.0272	0.0872	20
21	3.3996	0.2942	39.9927	11.7641	0.0250	0.0850	21
22	3.6035	0.2775	43.3923	12.0416	0.0230	0.0830	22
23	3.8197	0.2618	46.9958	12.3034	0.0213	0.0813	23
24	4.0489	0.2470	50.8155	12.5504	0.0197	0.0797	24
25	4.2919	0.2330	54.8645	12.7834	0.0182	0.0782	25
26	4.5494	0.2198	59.1563	13.0032	0.0169	0.0769	26
27	4.8223	0.2074	63.7057	13.2105	0.0157	0.0757	27
28	5.1117	0.1956	68.5281	13.4062	0.0146	0.0746	28
29	5.4184	0.1846	73.6397	13.5907	0.0136	0.0736	29
30	5.7435	0.1741	79.0581	13.7648	0.0126	0.0726	30
35	7.6861	0.1301	111.435	14.4982	0.0090	0.0690	35
40	10.2857	0.0972	154.762	15.0463	0.0065	0.0665	40
45	13.7646	0.0727	212.743	15.4558	0.0047	0.0647	45
50	18.4201	0.0543	290.336	15.7619	0.0034	0.0634	50
55	24.6503	0.0406	394.172	15.9905	0.0025	0.0625	55
60	32.9876	0.0303	533.128	16.1614	0.0019	0.0619	60
65	44.1449	0.0227	719.082	16.2891	0.0014	0.0614	65
70	59.0758	0.0169	967.931	16.3845	0.0010	0.0610	70
75	79.0568	0.0126	1300.95	16.4558	0.0008	0.0608	75
80	105.796	0.0095	1746.60	16.5091	0.0006	0.0606	80
85	141.579	0.0071	2342.98	16.5489	0.0004	0.0604	85
90	189.464	0.0053	3141.07	16.5787	0.0003	0.0603	90
95	253.546	0.0039	4209.10	16.6009	0.0002	0.0602	95
100	339.301	0.0029	5638.36	16.6175	0.0002	0.0602	100
∞				18.182		0.0600	∞

TABLE XX

Discrete Compounding; $i = 7\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
N	To find F Given P F/P	To find P Given F P/F	To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	N
1	1.0700	0.9346	1.0000	0.9346	1.0000	1.0700	1
2	1.1449	0.8734	2.0700	1.8080	0.4831	0.5531	2
3	1.2250	0.8163	3.2149	2.6243	0.3111	0.3811	3
4	1.3108	0.7629	4.4399	3.3872	0.2252	0.2952	4
5	1.4026	0.7130	5.7507	4.1002	0.1739	0.2439	5
6	1.5007	0.6663	7.1533	4.7665	0.1398	0.2098	6
7	1.6058	0.6227	8.6540	5.3893	0.1156	0.1856	7
8	1.7182	0.5820	10.2598	5.9713	0.0975	0.1675	8
9	1.8385	0.5439	11.9780	6.5152	0.0835	0.1535	9
10	1.9672	0.5083	13.8164	7.0236	0.0724	0.1424	10
11	2.1049	0.4751	15.7836	7.4987	0.0634	0.1334	11
12	2.2522	0.4440	17.8884	7.9427	0.0559	0.1259	12
13	2.4098	0.4150	20.1406	8.3576	0.0497	0.1197	13
14	2.5785	0.3878	22.5505	8.7455	0.0443	0.1143	14
15	2.7590	0.3624	25.1290	9.1079	0.0398	0.1098	15
16	2.9522	0.3387	27.8880	9.4466	0.0359	0.1059	16
17	3.1588	0.3166	30.8402	9.7632	0.0324	0.1024	17
18	3.3799	0.2959	33.9990	10.0591	0.0294	0.0994	18
19	3.6165	0.2765	37.3790	10.3356	0.0268	0.0968	19
20	3.8697	0.2584	40.9955	10.5940	0.0244	0.0944	20
21	4.1406	0.2415	44.8652	10.8355	0.0223	0.0923	21
22	4.4304	0.2257	49.0057	11.0612	0.0204	0.0904	22
23	4.7405	0.2109	53.4361	11.2722	0.0187	0.0887	23
24	5.0724	0.1971	58.1766	11.4693	0.0172	0.0872	24
25	5.4274	0.1842	63.2490	11.6536	0.0158	0.0858	25
26	5.8074	0.1722	68.6764	11.8258	0.0146	0.0846	26
27	6.2139	0.1609	74.4838	11.9867	0.0134	0.0834	27
28	6.6488	0.1504	80.6977	12.1371	0.0124	0.0824	28
29	7.1143	0.1406	87.3465	12.2777	0.0114	0.0814	29
30	7.6123	0.1314	94.4607	12.4090	0.0106	0.0806	30
35	10.6766	0.0937	138.237	12.9477	0.0072	0.0772	35
40	14.9744	0.0668	199.635	13.3317	0.0050	0.0750	40
45	21.0024	0.0476	285.749	13.6055	0.0035	0.0735	45
50	29.4570	0.0339	406.529	13.8007	0.0025	0.0725	50
55	41.3150	0.0242	575.928	13.9399	0.0017	0.0717	55
60	57.9464	0.0173	813.520	14.0392	0.0012	0.0712	60
65	81.2728	0.0123	1146.75	14.1099	0.0009	0.0709	65
70	113.989	0.0088	1614.13	14.1604	0.0006	0.0706	70
75	159.876	0.0063	2269.66	14.1964	0.0004	0.0704	75
80	224.234	0.0045	3189.06	14.2220	0.0003	0.0703	80
85	314.500	0.0032	4478.57	14.2403	0.0002	0.0702	85
90	441.102	0.0023	6287.18	14.2533	0.0002	0.0702	90
95	618.669	0.0016	8823.85	14.2626	0.0001	0.0701	95
100	867.715	0.0012	12381.7	14.2693	"	0.0701	100
∞				14.286		0.0700	∞

" Less than 0.0001.

TABLE XXI

Discrete Compounding; $i = 8\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P N/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.0800	0.9259	1.0000	0.9259	1.0000	1.0800	1
2	1.1664	0.8573	2.0800	1.7833	0.4808	0.5608	2
3	1.2597	0.7938	3.2464	2.5771	0.3080	0.3880	3
4	1.3605	0.7350	4.5061	3.3121	0.2219	0.3019	4
5	1.4693	0.6806	5.8666	3.9927	0.1705	0.2505	5
6	1.5869	0.6302	7.3359	4.6229	0.1363	0.2163	6
7	1.7138	0.5835	8.9228	5.2064	0.1121	0.1921	7
8	1.8509	0.5403	10.6366	5.7466	0.0940	0.1740	8
9	1.9990	0.5002	12.4876	6.2469	0.0801	0.1601	9
10	2.1589	0.4632	14.4866	6.7101	0.0690	0.1490	10
11	2.3316	0.4289	16.6455	7.1390	0.0601	0.1401	11
12	2.5182	0.3971	18.9771	7.5361	0.0527	0.1327	12
13	2.7196	0.3677	21.4953	7.9038	0.0465	0.1265	13
14	2.9372	0.3405	24.2149	8.2442	0.0413	0.1213	14
15	3.1722	0.3152	27.1521	8.5595	0.0368	0.1168	15
16	3.4259	0.2919	30.3243	8.8514	0.0330	0.1130	16
17	3.7000	0.2703	33.7502	9.1216	0.0296	0.1096	17
18	3.9960	0.2502	37.4502	9.3719	0.0267	0.1067	18
19	4.3157	0.2317	41.4463	9.6036	0.0241	0.1041	19
20	4.6610	0.2145	45.7620	9.8181	0.0219	0.1019	20
21	5.0338	0.1987	50.4229	10.0168	0.0198	0.0998	21
22	5.4365	0.1839	55.4567	10.2007	0.0180	0.0980	22
23	5.8715	0.1703	60.8933	10.3711	0.0164	0.0964	23
24	6.3412	0.1577	66.7647	10.5288	0.0150	0.0950	24
25	6.8485	0.1460	73.1059	10.6748	0.0137	0.0937	25
26	7.3964	0.1352	79.9544	10.8100	0.0125	0.0925	26
27	7.9881	0.1252	87.3507	10.9352	0.0114	0.0914	27
28	8.6271	0.1159	95.3388	11.0511	0.0105	0.0905	28
29	9.3173	0.1073	103.966	11.1584	0.0096	0.0896	29
30	10.0627	0.0994	113.283	11.2578	0.0088	0.0888	30
35	14.7853	0.0676	172.317	11.6546	0.0058	0.0858	35
40	21.7245	0.0460	259.056	11.9246	0.0039	0.0839	40
45	31.9204	0.0313	386.506	12.1084	0.0026	0.0826	45
50	46.9016	0.0213	573.770	12.2335	0.0017	0.0817	50
55	68.9138	0.0145	848.923	12.3186	0.0012	0.0812	55
60	101.257	0.0099	1253.21	12.3766	0.0008	0.0808	60
65	148.780	0.0067	1847.25	12.4160	0.0005	0.0805	65
70	218.606	0.0046	2720.08	12.4428	0.0004	0.0804	70
75	321.204	0.0031	4002.55	12.4611	0.0002	0.0802	75
80	471.955	0.0021	5886.93	12.4735	0.0002	0.0802	80
85	693.456	0.0014	8655.71	12.4820	0.0001	0.0801	85
90	1018.92	0.0010	12723.9	12.4877	"	0.0801	90
95	1497.12	0.0007	18071.5	12.4917	"	0.0801	95
100	2199.76	0.0005	27484.5	12.4943	"	0.0800	100
∞				12.5000		0.0800	∞

" Less than 0.0001.

TABLE XXII

Discrete Compounding; $i = 10\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.1000	0.9091	1.0000	0.9091	1.0000	1.1000	1
2	1.2100	0.8264	2.1000	1.7355	0.4762	0.5762	2
3	1.3310	0.7513	3.3100	2.4869	0.3021	0.4021	3
4	1.4641	0.6830	4.6410	3.1699	0.2155	0.3155	4
5	1.6105	0.6209	6.1051	3.7908	0.1638	0.2638	5
6	1.7716	0.5645	7.7156	4.3553	0.1296	0.2296	6
7	1.9487	0.5132	9.4872	4.8684	0.1054	0.2054	7
8	2.1436	0.4665	11.4359	5.3349	0.0874	0.1874	8
9	2.3579	0.4241	13.5795	5.7590	0.0736	0.1736	9
10	2.5937	0.3855	15.9374	6.1446	0.0627	0.1627	10
11	2.8531	0.3505	18.5312	6.4951	0.0540	0.1540	11
12	3.1384	0.3186	21.3843	6.8137	0.0468	0.1468	12
13	3.4523	0.2897	24.5227	7.1034	0.0408	0.1408	13
14	3.7975	0.2633	27.9750	7.3667	0.0357	0.1357	14
15	4.1772	0.2394	31.7725	7.6061	0.0315	0.1315	15
16	4.5950	0.2176	35.9497	7.8237	0.0278	0.1278	16
17	5.0545	0.1978	40.5447	8.0216	0.0247	0.1247	17
18	5.5599	0.1799	45.5992	8.2014	0.0219	0.1219	18
19	6.1159	0.1635	51.1591	8.3649	0.0195	0.1195	19
20	6.7275	0.1486	57.2750	8.5136	0.0175	0.1175	20
21	7.4002	0.1351	64.0025	8.6487	0.0156	0.1156	21
22	8.1403	0.1228	71.4027	8.7715	0.0140	0.1140	22
23	8.9543	0.1117	79.5430	8.8832	0.0126	0.1126	23
24	9.8497	0.1015	88.4973	8.9847	0.0113	0.1113	24
25	10.8347	0.0923	98.3470	9.0770	0.0102	0.1102	25
26	11.9182	0.0839	109.182	9.1609	0.0092	0.1092	26
27	13.1100	0.0763	121.100	9.2372	0.0083	0.1083	27
28	14.4210	0.0693	134.210	9.3066	0.0075	0.1075	28
29	15.8631	0.0630	148.631	9.3696	0.0067	0.1067	29
30	17.4494	0.0573	164.494	9.4269	0.0061	0.1061	30
35	28.1024	0.0356	271.024	9.6442	0.0037	0.1037	35
40	45.2592	0.0221	442.592	9.7791	0.0023	0.1023	40
45	72.8904	0.0137	718.905	9.8628	0.0014	0.1014	45
50	117.391	0.0085	1163.91	9.9148	0.0009	0.1009	50
55	189.059	0.0053	1880.59	9.9471	0.0005	0.1005	55
60	304.481	0.0033	3034.81	9.9672	0.0003	0.1003	60
65	490.370	0.0020	4893.71	9.9796	0.0002	0.1002	65
70	789.746	0.0013	7887.47	9.9873	0.0001	0.1001	70
75	1271.89	0.0008	12708.9	9.9921	"	0.1001	75
80	2048.40	0.0005	20474.0	9.9951	"	0.1000	80
85	3298.97	0.0003	32979.7	9.9970	"	0.1000	85
90	5313.02	0.0002	53120.2	9.9981	"	0.1000	90
95	8556.67	0.0001	85556.7	9.9988	"	0.1000	95
100	13780.6	"	137796	9.9993	"	0.1000	100
∞				10.0000		0.1000	∞

" Less than 0.0001.

ตาราง 23

TABLE XXIII

Discrete Compounding; $i = 12\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.1200	0.8929	1.0000	0.8929	1.0000	1.1200	1
2	1.2544	0.7972	2.1200	1.6901	0.4717	0.5917	2
3	1.4049	0.7118	3.3744	2.4018	0.2963	0.4163	3
4	1.5735	0.6355	4.7793	3.0373	0.2092	0.3292	4
5	1.7623	0.5674	6.3528	3.6048	0.1574	0.2774	5
6	1.9738	0.5066	8.1152	4.1114	0.1232	0.2432	6
7	2.2107	0.4523	10.0890	4.5638	0.0991	0.2191	7
8	2.4760	0.4039	12.2997	4.9676	0.0813	0.2013	8
9	2.7731	0.3606	14.7757	5.3282	0.0677	0.1877	9
10	3.1058	0.3220	17.5487	5.6502	0.0570	0.1770	10
11	3.4785	0.2875	20.6546	5.9377	0.0484	0.1684	11
12	3.8960	0.2567	24.1331	6.1944	0.0414	0.1614	12
13	4.3635	0.2292	28.0291	6.4235	0.0357	0.1557	13
14	4.8871	0.2046	32.3926	6.6282	0.0309	0.1509	14
15	5.4736	0.1827	37.2797	6.8109	0.0268	0.1468	15
16	6.1304	0.1631	42.7533	6.9740	0.0234	0.1434	16
17	6.8660	0.1456	48.8837	7.1196	0.0205	0.1405	17
18	7.6900	0.1300	55.7497	7.2497	0.0179	0.1379	18
19	8.6128	0.1161	63.4397	7.3658	0.0158	0.1358	19
20	9.6463	0.1037	72.0524	7.4694	0.0139	0.1339	20
21	10.8038	0.0926	81.6987	7.5620	0.0122	0.1322	21
22	12.1003	0.0826	92.5026	7.6446	0.0108	0.1308	22
23	13.5523	0.0738	104.603	7.7184	0.0096	0.1296	23
24	15.1786	0.0659	118.155	7.7843	0.0085	0.1285	24
25	17.0001	0.0588	133.334	7.8431	0.0075	0.1275	25
26	19.0401	0.0525	150.334	7.8957	0.0067	0.1267	26
27	21.3249	0.0469	169.374	7.9426	0.0059	0.1259	27
28	23.8839	0.0419	190.699	7.9844	0.0052	0.1252	28
29	26.7499	0.0374	214.583	8.0218	0.0047	0.1247	29
30	29.9599	0.0334	241.333	8.0552	0.0041	0.1241	30
35	52.7996	0.0189	431.663	8.1755	0.0023	0.1223	35
40	93.0509	0.0107	767.091	8.2438	0.0013	0.1213	40
45	163.988	0.0061	1358.23	8.2825	0.0007	0.1207	45
50	289.002	0.0035	2400.02	8.3045	0.0004	0.1204	50
55	509.320	0.0020	4236.00	8.3170	0.0002	0.1202	55
60	897.596	0.0011	7471.63	8.3240	0.0001	0.1201	60
65	1581.87	0.0006	13173.9	8.3281	"	0.1201	65
70	2787.80	0.0004	23223.3	8.3303	"	0.1200	70
75	4913.05	0.0002	40933.8	8.3316	"	0.1200	75
80	8658.47	0.0001	72145.6	8.3324	"	0.1200	80
∞				8.333		0.1200	∞

" Less than 0.0001.

TABLE XXIV
Discrete Compounding; $i = 15\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
N	To find F Given P F/P	To find P Given F P/F	To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	N
1	1.1500	0.8696	1.0000	0.8696	1.0000	1.1500	1
2	1.3225	0.7561	2.1500	1.6257	0.4651	0.6151	2
3	1.5209	0.6575	3.4725	2.2832	0.2880	0.4380	3
4	1.7490	0.5718	4.9934	2.8550	0.2003	0.3503	4
5	2.0114	0.4972	6.7424	3.3522	0.1483	0.2983	5
6	2.3131	0.4323	8.7537	3.7845	0.1142	0.2642	6
7	2.6600	0.3759	11.0668	4.1604	0.0904	0.2404	7
8	3.0590	0.3269	13.7268	4.4873	0.0729	0.2229	8
9	3.5179	0.2843	16.7858	4.7716	0.0596	0.2096	9
10	4.0456	0.2472	20.3037	5.0188	0.0493	0.1993	10
11	4.6524	0.2149	24.3493	5.2337	0.0411	0.1911	11
12	5.3502	0.1869	29.0017	5.4206	0.0345	0.1845	12
13	6.1528	0.1625	34.3519	5.5831	0.0291	0.1791	13
14	7.0757	0.1413	40.5047	5.7245	0.0247	0.1747	14
15	8.1371	0.1229	47.5804	5.8474	0.0210	0.1710	15
16	9.3576	0.1069	55.7175	5.9542	0.0179	0.1679	16
17	10.7613	0.0929	65.0751	6.0472	0.0154	0.1654	17
18	12.3755	0.0808	75.8363	6.1280	0.0132	0.1632	18
19	14.2318	0.0703	88.2118	6.1982	0.0113	0.1613	19
20	16.3665	0.0611	102.444	6.2593	0.0098	0.1598	20
21	18.8215	0.0531	118.810	6.3125	0.0084	0.1584	21
22	21.6447	0.0462	137.632	6.3587	0.0073	0.1573	22
23	24.8915	0.0402	159.276	6.3988	0.0063	0.1563	23
24	28.6252	0.0349	184.168	6.4338	0.0054	0.1554	24
25	32.9189	0.0304	212.793	6.4641	0.0047	0.1547	25
26	37.8568	0.0264	245.712	6.4906	0.0041	0.1541	26
27	43.5353	0.0230	283.569	6.5135	0.0035	0.1535	27
28	50.0656	0.0200	327.104	6.5335	0.0031	0.1531	28
29	57.5754	0.0174	377.170	6.5509	0.0027	0.1527	29
30	66.2118	0.0151	434.745	6.5660	0.0023	0.1523	30
35	133.176	0.0075	881.170	6.6166	0.0011	0.1511	35
40	267.863	0.0037	1779.09	6.6418	0.0006	0.1506	40
45	538.769	0.0019	3585.13	6.6543	0.0003	0.1503	45
50	1083.66	0.0009	7217.71	6.6605	0.0001	0.1501	50
55	2179.62	0.0005	14524.1	6.6636	a	0.1501	55
60	4384.00	0.0002	29220.0	6.6651	a	0.1500	60
65	8817.78	0.0001	58778.5	6.6659	a	0.1500	65
70	17735.7	a	118231	6.6663	a	0.1500	70
75	35672.8	a	237812	6.6665	a	0.1500	75
80	71750.8	a	478332	6.6666	a	0.1500	80
∞				6.667		0.1500	∞

a Less than 0.0001

TABLE XXV

Discrete Compounding; $i = 20\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.2000	0.8333	1.0000	0.8333	1.0000	1.2000	1
2	1.4400	0.6944	2.2000	1.5278	0.4545	0.6545	2
3	1.7280	0.5787	3.6400	2.1065	0.2747	0.4747	3
4	2.0736	0.4823	5.3680	2.5887	0.1863	0.3863	4
5	2.4883	0.4019	7.4416	2.9906	0.1344	0.3344	5
6	2.9860	0.3349	9.9299	3.3255	0.1007	0.3007	6
7	3.5832	0.2791	12.9159	3.6046	0.0774	0.2774	7
8	4.2998	0.2326	16.4991	3.8372	0.0606	0.2606	8
9	5.1598	0.1938	20.7989	4.0310	0.0481	0.2481	9
10	6.1917	0.1615	25.9587	4.1925	0.0385	0.2385	10
11	7.4301	0.1346	32.1504	4.3271	0.0311	0.2311	11
12	8.9161	0.1122	39.5805	4.4392	0.0253	0.2253	12
13	10.6993	0.0935	48.4966	4.5327	0.0206	0.2206	13
14	12.8392	0.0779	59.1959	4.6106	0.0169	0.2169	14
15	15.4070	0.0649	72.0351	4.6755	0.0139	0.2139	15
16	18.4884	0.0541	87.4421	4.7296	0.0114	0.2114	16
17	22.1861	0.0451	105.931	4.7746	0.0094	0.2094	17
18	26.6233	0.0376	128.117	4.8122	0.0078	0.2078	18
19	31.9480	0.0313	154.740	4.8435	0.0065	0.2065	19
20	38.3376	0.0261	186.688	4.8696	0.0054	0.2054	20
21	46.0051	0.0217	225.026	4.8913	0.0044	0.2044	21
22	55.2061	0.0181	271.031	4.9094	0.0037	0.2037	22
23	66.2474	0.0151	326.237	4.9245	0.0031	0.2031	23
24	79.4968	0.0126	392.484	4.9371	0.0025	0.2025	24
25	95.3962	0.0105	471.981	4.9476	0.0021	0.2021	25
26	114.475	0.0087	567.377	4.9563	0.0018	0.2018	26
27	137.371	0.0073	681.853	4.9636	0.0015	0.2015	27
28	164.845	0.0061	819.223	4.9697	0.0012	0.2012	28
29	197.814	0.0051	984.068	4.9747	0.0010	0.2010	29
30	237.376	0.0042	1181.88	4.9789	0.0008	0.2008	30
35	590.668	0.0017	2948.34	4.9915	0.0003	0.2003	35
40	1469.77	0.0007	7343.85	4.9966	0.0001	0.2001	40
45	3657.26	0.0003	18281.3	4.9986	"	0.2001	45
50	9100.43	0.0001	45497.2	4.9995	"	0.2000	50
55	22644.8	"	113219	4.9998	"	0.2000	55
60	56347.5	"	281732	4.9999	"	0.2000	60
∞				5.0000		0.2000	∞

" Less than 0.0001.

TABLE XXVI

Discrete Compounding; $i = 25\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
N	To find F Given P F/P	To find P Given F P/F	To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	N
1	1.2500	0.8000	1.0000	0.8000	1.0000	1.2500	1
2	1.5625	0.6400	2.2500	1.4400	0.4444	0.6944	2
3	1.9531	0.5120	3.8125	1.9520	0.2623	0.5123	3
4	2.4414	0.4096	5.7656	2.3616	0.1734	0.4234	4
5	3.0518	0.3277	8.2070	2.6893	0.1218	0.3718	5
6	3.8147	0.2621	11.2588	2.9514	0.0888	0.3388	6
7	4.7684	0.2097	15.0735	3.1611	0.0663	0.3163	7
8	5.9605	0.1678	19.8419	3.3289	0.0504	0.3004	8
9	7.4506	0.1342	25.8023	3.4631	0.0388	0.2888	9
10	9.3132	0.1074	33.2529	3.5705	0.0301	0.2801	10
11	11.6415	0.0859	42.5661	3.6564	0.0235	0.2735	11
12	14.5519	0.0687	54.2077	3.7251	0.0184	0.2684	12
13	18.1899	0.0550	68.7596	3.7801	0.0145	0.2645	13
14	22.7374	0.0440	86.9495	3.8241	0.0115	0.2615	14
15	28.4217	0.0352	109.687	3.8593	0.0091	0.2591	15
16	35.5271	0.0281	138.109	3.8874	0.0072	0.2572	16
17	44.4089	0.0225	173.636	3.9099	0.0058	0.2558	17
18	55.5112	0.0180	218.045	3.9279	0.0046	0.2546	18
19	69.3889	0.0144	273.556	3.9424	0.0037	0.2537	19
20	86.7362	0.0115	342.945	3.9539	0.0029	0.2529	20
21	108.420	0.0092	429.681	3.9631	0.0023	0.2523	21
22	135.525	0.0074	538.101	3.9705	0.0019	0.2519	22
23	169.407	0.0059	673.626	3.9764	0.0015	0.2515	23
24	211.758	0.0047	843.033	3.9811	0.0012	0.2512	24
25	264.698	0.0038	1054.79	3.9849	0.0009	0.2509	25
26	330.872	0.0030	1319.49	3.9879	0.0008	0.2508	26
27	413.590	0.0024	1650.36	3.9903	0.0006	0.2506	27
28	516.988	0.0019	2063.95	3.9923	0.0005	0.2505	28
29	646.235	0.0015	2580.94	3.9938	0.0004	0.2504	29
30	807.794	0.0012	3227.17	3.9950	0.0003	0.2503	30
35	2465.19	0.0004	9856.76	3.9984	0.0001	0.2501	35
40	7523.16	0.0001	30088.7	3.9995	"	0.2500	40
45	22958.9	"	91831.5	3.9998	"	0.2500	45
50	70064.9	"	280256	3.9999	"	0.2500	50
∞				4.0000		0.2500	∞

" Less than 0.0001.

TABLE XXVII

Discrete Compounding; $i = 30\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recover, Factor	
N	To find F Given P F/P	To find P Given F P/F	To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	N
1	1.3000	0.7692	1.000	0.769	1.0000	1.3000	1
2	1.6900	0.5917	2.300	1.361	0.4348	0.7348	2
3	2.1970	0.4552	3.990	1.816	0.2506	0.5506	3
4	2.8561	0.3501	6.187	2.166	0.1616	0.4616	4
5	3.7129	0.2693	9.043	2.436	0.1106	0.4106	5
6	4.8268	0.2072	12.756	2.643	0.0784	0.3784	6
7	6.2749	0.1594	17.583	2.802	0.0569	0.3569	7
8	8.1573	0.1226	23.858	2.925	0.0419	0.3419	8
9	10.604	0.0943	32.015	3.019	0.0312	0.3312	9
10	13.786	0.0725	42.619	3.092	0.0235	0.3235	10
11	17.922	0.0558	56.405	3.147	0.0177	0.3177	11
12	23.298	0.0429	74.327	3.190	0.0135	0.3135	12
13	30.287	0.0330	97.625	3.223	0.0102	0.3102	13
14	39.374	0.0254	127.91	3.249	0.0078	0.3078	14
15	51.186	0.0195	167.29	3.268	0.0060	0.3060	15
16	66.542	0.0150	218.47	3.283	0.0046	0.3046	16
17	86.504	0.0116	285.01	3.295	0.0035	0.3035	17
18	112.46	0.0089	371.52	3.304	0.0027	0.3027	18
19	146.19	0.0068	483.97	3.311	0.0021	0.3021	19
20	190.05	0.0053	630.16	3.316	0.0016	0.3016	20
21	247.06	0.0040	820.21	3.320	0.0012	0.3012	21
22	321.18	0.0031	1067.3	3.323	0.0009	0.3009	22
23	417.54	0.0024	1388.5	3.325	0.0007	0.3007	23
24	542.80	0.0018	1806.0	3.327	0.0005	0.3005	24
25	705.64	0.0014	2348.8	3.329	0.0004	0.3004	25
26	917.33	0.0011	3054.4	3.330	0.0003	0.3003	26
27	1192.5	0.0008	3971.8	3.331	0.0003	0.3003	27
28	1550.3	0.0006	5164.3	3.331	0.0002	0.3002	28
29	2015.4	0.0005	6714.6	3.332	0.0002	0.3002	29
30	2620.0	0.0004	8730.0	3.332	0.0001	0.3001	30
31	3406.0	0.0003	11350.	3.332	<i>a</i>	0.3001	31
32	4427.8	0.0002	14756.	3.333	<i>a</i>	0.3001	32
33	5756.1	0.0002	19184.	3.333	<i>a</i>	0.3001	33
34	7483.0	0.0001	24940.	3.333	<i>a</i>	0.3000	34
35	9727.8	0.0001	32423.	3.333	<i>a</i>	0.3000	35

^a Less than 0.0001

TABLE XXVIII

Discrete Compounding; $i = 40\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.4000	0.7143	1.000	0.714	1.000	1.4000	1
2	1.9600	0.5102	2.400	1.224	0.4167	0.8167	2
3	2.7440	0.3644	4.360	1.589	0.2294	0.6294	3
4	3.8416	0.2603	7.104	1.849	0.1408	0.5408	4
5	5.3782	0.1859	10.946	2.035	0.0934	0.4914	5
6	7.5295	0.1328	16.324	2.168	0.0613	0.4613	6
7	10.541	0.0949	23.853	2.263	0.0419	0.4419	7
8	14.758	0.0678	34.395	2.331	0.0291	0.4291	8
9	20.661	0.0484	49.153	2.379	0.0203	0.4203	9
10	28.925	0.0346	69.814	2.414	0.0143	0.4143	10
11	40.496	0.0247	98.739	2.438	0.0101	0.4101	11
12	56.694	0.0176	139.23	2.456	0.0072	0.4072	12
13	79.371	0.0126	195.93	2.469	0.0051	0.4051	13
14	111.12	0.0090	275.30	2.478	0.0036	0.4036	14
15	155.57	0.0064	386.42	2.484	0.0026	0.4026	15
16	217.80	0.0046	541.99	2.489	0.0018	0.4019	16
17	304.91	0.0033	759.78	2.492	0.0013	0.4013	17
18	426.88	0.0023	1064.7	2.494	0.0009	0.4009	18
19	597.63	0.0017	1491.6	2.496	0.0007	0.4007	19
20	836.68	0.0012	2089.2	2.497	0.0005	0.4005	20
21	1171.4	0.0009	2925.9	2.498	0.0003	0.4003	21
22	1639.9	0.0006	4097.2	2.498	0.0002	0.4002	22
23	2295.9	0.0004	5737.1	2.499	0.0002	0.4002	23
24	3214.2	0.0003	8033.0	2.499	0.0001	0.4001	24
25	4499.9	0.0002	11247.	2.499	a	0.4001	25
26	6299.8	0.0002	15747.	2.500	a	0.4001	26
27	8819.8	0.0001	22047.	2.500	a	0.4000	27
28	12348.	0.0001	30867.	2.500	a	0.4000	28
29	17287.	0.0001	43214.	2.500	a	0.4000	29
30	24201.	a	60501.	2.500	a	0.4000	30
∞				2.500		0.4000	∞

^a Less than 0.0001



ตาราง 29

TABLE XXIX

Discrete Compounding; $i = 50\%$

SINGLE PAYMENT			UNIFORM SERIES				N
Compound Amount Factor	Present Worth Factor		Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	
To find F Given P F/P	To find P Given F P/F		To find F Given A F/A	To find P Given A P/A	To find A Given F A/F	To find A Given P A/P	
1	1.5000	0.6667	1.000	0.667	1.0000	1.5000	1
2	2.2500	0.4444	2.500	1.111	0.4000	0.9000	2
3	3.3750	0.2963	4.750	1.407	0.2101	0.7105	3
4	5.0625	0.1975	8.125	1.605	0.1231	0.6231	4
5	7.5938	0.1317	13.188	1.737	0.0758	0.5758	5
6	11.391	0.0878	20.781	1.824	0.0481	0.5481	6
7	17.086	0.0585	32.172	1.883	0.0311	0.5311	7
8	25.629	0.0390	49.258	1.922	0.0203	0.5203	8
9	38.443	0.0260	74.887	1.948	0.0134	0.5134	9
10	57.665	0.0173	113.33	1.965	0.0088	0.5088	10
11	86.498	0.0116	171.00	1.977	0.0059	0.5059	11
12	129.75	0.0077	257.49	1.985	0.0039	0.5039	12
13	194.62	0.0051	387.24	1.990	0.0026	0.5026	13
14	291.93	0.0034	581.86	1.993	0.0017	0.5017	14
15	437.89	0.0023	873.79	1.995	0.0011	0.5011	15
16	656.84	0.0015	1311.7	1.997	0.0008	0.5008	16
17	985.26	0.0010	1968.5	1.998	0.0005	0.5005	17
18	1477.9	0.0007	2953.8	1.999	0.0003	0.5003	18
19	2216.8	0.0005	4431.7	1.999	0.0002	0.5002	19
20	3325.3	0.0003	6648.5	1.999	0.0002	0.5002	20
21	4987.9	0.0002	9973.8	2.000	0.0001	0.5001	21
22	7481.8	0.0001	14962.	2.000	a	0.5001	22
23	11223.	0.0001	22443.	2.000	a	0.5000	23
24	16834.	0.0001	33666.	2.000	a	0.5000	24
25	25251.	a	50500.	2.000	a	0.5000	25
∞				2.000		0.5000	∞

^a Less than 0.0001