หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาต้นทุนต่ำสุดในการหลอมอลูมิเนียม : กรณีศึกษา บริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด
ชื่อและนามสกุล	นายปรีชา หล้ากัน
แขนงวิชา	บริหารธุรกิจ
สาขาวิชา	สาขาวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์สุวีณา ตั่งโพธิสุวรรณ

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์สุวีณา ตั่งโพธิสุวรรณ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ชนินทร์ ชุณหพันธรักษ์)

คณะกรรมการบัณฑิตศึกษาประจำสาขาวิชาวิทยาการจัดการอนุมัติให้รับการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต แขนงวิชาบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ประเสริฐศรี)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาการจัดการ
วันที่ 4 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2551

ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น
เพื่อหาต้นทุนต่ำสุดในการหลอมอลูมิเนียม
: กรณีศึกษา บริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด

ผู้ศึกษา นายปรีชา หล้ากัน **ปริญญา** บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์สุวีณา ตั่งโพธิสุวรรณ **ปีการศึกษา** 2550

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น ในการหาสัดส่วนของวัตถุดิบในการหลอมอลูมิเนียม โดยศึกษาอลูมิเนียมเกรด Al.6063L, Al.6063M , Al.6063H , Al.6061 ,Al.6082 เพื่อให้ได้ต้นทุนต่ำสุด กรณีศึกษา บริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด

ขั้นตอนในการเก็บรวมรวมข้อมูลประกอบด้วย (1) การศึกษาวัตถุดิบที่ใช้ในการหลอม (2) การศึกษาค่าส่วนผสมทางเคมีที่ลูกค้ากำหนด (3) การศึกษารูปแบบทั่วไปในการคำนวณค่าส่วนผสมทางเคมีของการหลอมอลูมิเนียม (4) การศึกษาโครงสร้างมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้น และ (5)สร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นในการหลอมอลูมิเนียม ซึ่งประกอบด้วยกำหนดข้อจำกัดต่าง ๆในกระบวนการหลอมอลูมิเนียม การตั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ การสร้างฟังก์ชันข้อจำกัด การแก้สมการเพื่อให้ได้แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น และการนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นดังกล่าวไปประยุกต์หาคำตอบ เพื่อให้ได้ต้นทุนวัตถุดิบต่ำสุด

ผลการวิจัยพบว่า อลูมิเนียมเกรด Al.6063L สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบได้ร้อยละ 1.85 , อลูมิเนียมเกรด Al.6063M สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบได้ร้อยละ 1.77 , อลูมิเนียมเกรด Al.6063H สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบได้ร้อยละ 1.57 , อลูมิเนียมเกรด Al.6061 สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบได้ร้อยละ 8.36, อลูมิเนียมเกรด Al.6082 สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบได้ร้อยละ 0.22 ต้นทุนวัตถุดิบรวมทั้งหมดที่ลดลงได้คิดเป็น 285,392 บาท

คำสำคัญ แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น ต้นทุนต่ำสุด หลอมอลูมิเนียม

กิตติกรรมประกาศ

การทำรายงานการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์สุวีณา ตั่งโพธิสุวรรณ แขนงวิชาบริหารธุรกิจ สาขาวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่ได้กรุณาติดตามดูแลการทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยอิสระอย่างดีเสมอมาตั่งแต่เริ่มงานศึกษาจนสำเร็จสมบูรณ์ และบริษัทยูไนเต็ดอลูมิเนียมอินดัสตรี จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลในการโครงการครั้งนี้

ปรีชา หล้ากัน

ตุลาคม 2550

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมา 1

ประเด็นปัญหาการวิจัย 3

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

กรอบแนวความคิดการวิจัย 3

ขอบเขตการวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 5

ทฤษฎีโปรแกรมเชิงเส้น 5

ทฤษฎีงานหลอมอลูมิเนียม 8

ทฤษฎีการลดต้นทุน 14

กระบวนการหลอมอลูมิเนียมในปัจจุบัน 17

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 18

วัตถุดิบที่ใช้ในการหลอมอลูมิเนียม 18

ค่าส่วนผสมทางเคมีที่ถูกกำหนดโดยลูกค้า 21

รูปแบบทั่วไปในการคำนวณค่าส่วนผสมทางเคมีของการหลอมอลูมิเนียม 23

โครงสร้างมาตรฐานของโปรแกรมเชิงเส้น 25

สร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นในการหลอมอลูมิเนียม 27

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 29

การสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นในการหลอมอลูมิเนียมเกรด Al.6063L 30

การสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นในการหลอมอลูมิเนียมเกรด Al.6063M 35

การสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นในการหลอมอลูมิเนียมเกรด Al.6063H 40

การสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นในการหลอมอลูมิเนียมเกรด Al.6061 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นในการหลอมอลูมิเนียมเกรด Al.6082 50

นำคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lindo ไปแทนค่าในวิธีการคำนวณทั่วไป 55

การหาคำตอบ ที่ได้จากการคำนวณทั่วไป 60

นำคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lindo ไปทดลองในกระบวนการหลอม 62

บทที่ 5 สรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะ 64

สรุปการวิจัย 64

ข้อเสนอแนะ 66

บรรณานุกรม 67

ภาคผนวก 69

ก. ค่าควบคุมทางเคมีทดลองในกระบวนการหลอม 70

ประวัติผู้ศึกษา 72

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 การใช้อลูมิเนียมแบ่งตามประเภทของอุตสาหกรรม 1
ตารางที่ 1.2 ปริมาณการใช้อลูมิเนียมแบ่งตามภูมิภาค 2
ตารางที่ 3.1 ราคาและค่าส่วนผสมทางเคมีของวัตถุดิบในการหลอม 22
ตารางที่ 3.2 ค่าส่วนผสมทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ที่ลูกค้ากำหนด 23
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้รูปแบบทั่วไป 24
ตารางที่ 4.1 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063L 55
ตารางที่ 4.2 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063L ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo .. 55
ตารางที่ 4.3 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063M 56
ตารางที่ 4.4 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063M ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo. 56
ตารางที่ 4.5 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063H 57
ตารางที่ 4.6 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063H ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo . 57
ตารางที่ 4.7 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6061 58
ตารางที่ 4.8 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6061 ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo 58
ตารางที่ 4.9 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6082 59
ตารางที่ 4.10 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6082 ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo 59
ตารางที่ 4.11 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063L ที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป.. 60
ตารางที่ 4.12 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063Mที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป.. 60
ตารางที่ 4.13 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063H ที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป.. 61
ตารางที่ 4.14 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6061 ที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป.... 61
ตารางที่ 4.15 น้ำหนักและส่วนผสมทางเคมีของ Al.6082 ที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป.... 62
ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063L 63
ตารางที่ 5.1 ผลต่างของต้นทุนวัตถุดิบในการหลอมอลูมิเนียมเกรดต่าง ๆ 66

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ราคาของอลูมิเนียมในการซื้อขายของตลาด London Metel Exchange 2

ภาพที่ 2.1 แบบจำลองอย่างง่ายแสดงการเติบโตของผลึกแบบแตกกิ่งก้าน (dendritic growth) และโครงสร้างของเกรนในโลหะหล่อ 9

ภาพที่ 2.2 เฟสของระบบอลูมิเนียม-ซิลิคอน และโครงสร้างจุลภาคของบริเวณต่าง ๆ 10

ภาพที่ 2.3 การทำให้ขนาดของซิลิคอนปฐมภูมิละเอียดขึ้นในโลหะผสมซึ่งมีส่วนผสมเป็นไฮเปอร์ยูเทกติก 11

ภาพที่ 2.4 ระบบการผลิตและปฏิบัติการ 15

ภาพที่ 4.1 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al.6063L ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo 31

ภาพที่ 4.2 ผลการหาคำตอบของ Al.6063L ด้วยโปรแกรม Lindo 32

ภาพที่ 4.3 ผลการหาคำตอบของ Al.6063L ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ) 33

ภาพที่ 4.4 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al.6063L 34

ภาพที่ 4.5 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al.6063M ไปหาคำตอบด้วย โปรแกรม Lindo 36

ภาพที่ 4.6 ผลการหาคำตอบของ Al.6063M ด้วยโปรแกรม Lindo 37

ภาพที่ 4.7 ผลการหาคำตอบของ Al.6063M ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ) 38

ภาพที่ 4.8 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al.6063M 39

ภาพที่ 4.9 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al.6063H ไปหาคำตอบด้วย โปรแกรม Lindo 41

ภาพที่ 4.10 ผลการหาคำตอบของ Al.6063H ด้วยโปรแกรม Lindo 42

ภาพที่ 4.11 ผลการหาคำตอบของ Al.6063H ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ) 43

ภาพที่ 4.12 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al.6063H 44

ภาพที่ 4.13 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al.6061 ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo 46

ภาพที่ 4.14 ผลการหาคำตอบของ Al.6061 ด้วยโปรแกรม Lindo 47

ภาพที่ 4.15 ผลการหาคำตอบของ Al.6061 ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ) 48

ภาพที่ 4.16 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al.6061 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.17 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al.6082 ไปหาคำตอบด้วย โปรแกรม Lindo 51
ภาพที่ 4.18 ผลการหาคำตอบของ Al.6082 ด้วยโปรแกรม Lindo 52
ภาพที่ 4.19 ผลการหาคำตอบของ Al.6082 ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ) 53
ภาพที่ 4.20 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al.6082 54

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมา

บริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 107 ม. 3 ตำบลหนองโพรง อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี ประกอบกิจการเกี่ยวกับการหลอมอลูมิเนียม รีดอลูมิเนียมเส้นหน้าตัด ชุบและพ่นสีอลูมิเนียมเส้นหน้าตัด โดยมีคุณกำพล พินิจโสภณพรรณ เป็นกรรมการผู้จัดการ มีเงินทุนจดทะเบียน 700 ล้านบาท เปิดดำเนินการเมื่อ เดือนกรกฎาคม 2539 โดยมีลูกค้าทั้งในและต่างประเทศ

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน อลูมิเนียมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ในรูปแบบผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด เช่น ภาชนะเครื่องครัว กระป๋อง สายไฟ ส่วนประกอบของเครื่องบินและรถยนต์ โครงสร้างบ้าน ดังแสดงในตารางที่ 1.1 นอกจากนี้อลูมิเนียมยังเข้ามามีบทบาทแทนไม้อีกด้วย ความต้องการการใช้อลูมิเนียมของแต่ละภูมิภาคจึงมีมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ดังนั้นทางบริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด จึงได้ก่อตั้งโครงการโรงหลอมอลูมิเนียมอัลลอยย์ (Aluminum Alloy) ขึ้น เพื่อผลิตอัลลอยย์ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอลูมิเนียมเส้นหน้าตัดของบริษัทเอง

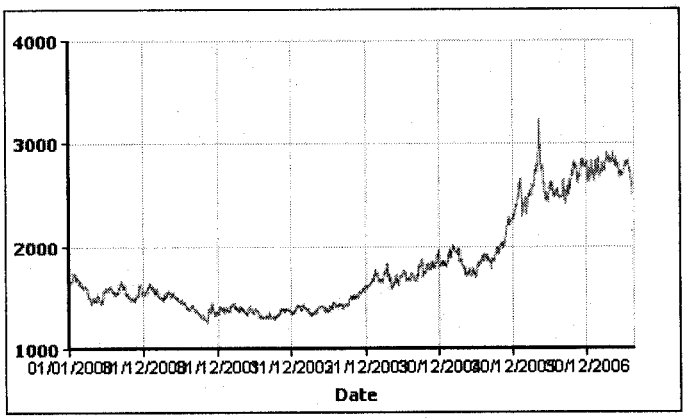
ตารางที่ 1.1 การใช้อลูมิเนียมแบ่งตามประเภทของอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม	ร้อยละ
การขนส่ง	26
บรรจุภัณฑ์	22
การก่อสร้าง	22
เครื่องจักรกล	8
ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์	8
อุปโภค-บริโภค	7
อื่น ๆ	7
รวม	100

ตารางที่ 1.2 ปริมาณการใช้อลูมิเนียมแบ่งตามภูมิภาค

ภูมิภาค	ร้อยละ
อเมริกา	29
เอเชีย	24
ยุโรป	33
หมู่เกาะ แปซิฟิก	9
แอฟริกา	5
รวม	100

ในกระการหลอมอลูมิเนียมนั้นจำเป็นจะใช้อลูมิเนียมบริสุทธิ์ 99.7% เป็น วัตถุดิบหลักผสมกับวัตถุดิบประเภทอัลลอยย์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่าส่วนผสมทางเคมี ตามที่ลูกค้ากำหนด แต่เนื่องจากในช่วงปี ค.ศ. 2000 ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้ราคาอลูมิเนียมมีราคาสูงขึ้นตามตลาดโลกดังแสดงในกราฟที่ 1.1 ทางบริษัทฯ จึงมีนโยบายลดการใช้อลูมิเนียม 99.7% เพื่อลดต้นทุนการใช้วัตถุดิบ แต่ยังคงรักษาคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 1.1 ราคาอลูมิเนียมในการซื้อขายของตลาด London Metal Exchange

ปัจจุบัน ในกระบวนการหลอมอลูมิเนียมของทางบริษัท ฯ จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการหาอัตราการผสมวัตถุดิบ เพื่อให้ได้ค่าส่วนผสมทางเคมีตรงตามต้องการของลูกค้า แต่ในกระบวนการผลิต ต้นทุนวัตถุดิบที่เกิดขึ้นกลับมีแนวโน้มสูงขึ้นไปด้วย ประกอบกับการที่ผู้วิจัยได้เห็นการประยุกต์แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น ในการหาต้นทุนต่ำสุดใช้ได้ผลกับการผสมสูตรอาหาร โดยการผสมสูตรอาหารเพื่อหาต้นทุนต่ำสุดนั้น มีลักษณะคล้ายกับการหาค่าส่วนผสมทางเคมีในกระบวนการหลอมอลูมิเนียม

จากความสำคัญดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษา การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาต้นทุนต่ำสุด ในการหลอมอลูมิเนียม กรณีศึกษา บริษัทยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด เพื่อให้ได้ต้นทุนวัตถุดิบที่แท้จริง อันจะเป็นประโยชน์ต่อการแข็งขันของธุรกิจต่อไป

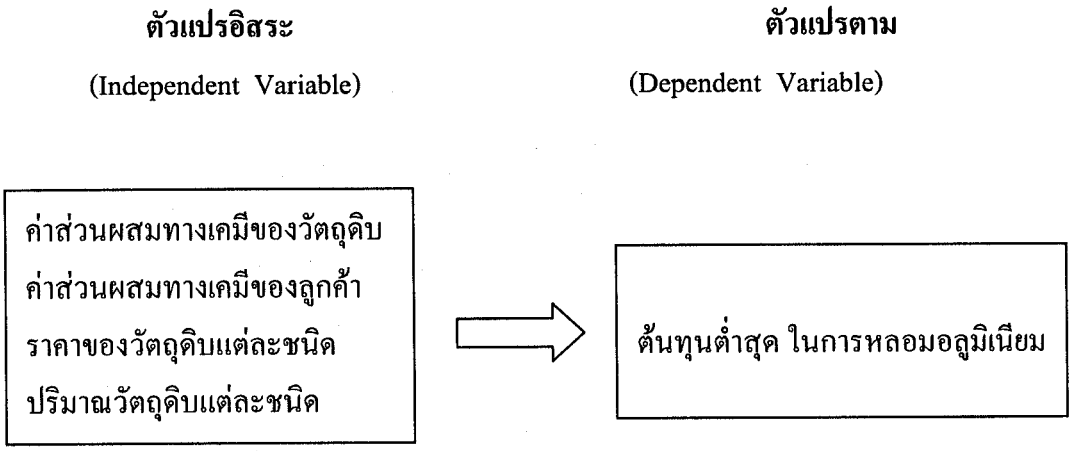
2. ประเด็นปัญหาการวิจัย

1. เพื่อสร้างต้นแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบในการหลอม โดยให้ได้ค่าส่วนผสมทางเคมีตามที่ลูกค้ากำหนด เพื่อให้ต้นทุนในกระบวนการหลอมต่ำสุด กรณีศึกษา บริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด
2. เปรียบเทียบผลสำเร็จของต้นทุน ในการผสมวัตถุดิบในการหลอม ระหว่างการผสมวัตถุดิบวิธีปัจจุบันของบริษัท ฯ กับการใช้แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น กรณีศึกษา บริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น ในการหาสัดส่วนของวัตถุดิบในการหลอมอลูมิเนียม (อลูมิเนียมเกรด Al 6061 ,Al 6063L, Al 6063M , Al 6063H , Al 6082) เพื่อให้ได้ต้นทุนต่ำสุด กรณีศึกษา บริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด

4. กรอบแนวคิดการวิจัย



5. ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตด้านประชากร ศึกษาขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเพื่อให้ได้ค่าส่วนผสมทางเคมี (Si, Fe,Cu, Mn, Mg, Zn และTi) ตามที่ลูกค้ากำหนด (อลูมิเนียมเกรดAl.6063L, Al.6063M , Al.6063H, Al.6061, Al.6082) จากผลการวิเคราะห์ค่าส่วนผสมของ บริษัทยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา สร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาต้นทุนวัตถุดิบต่ำสุดในการการผสมวัตถุดิบในกระบวนการหลอมอลูมิเนียม กรณีศึกษา บริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด

3. นำคำตอบที่ได้จากการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น (เฉพาะ Al.6063L) มาทำการทดลองหลอมในกระบวนการหลอมจริง เพื่อเปรียบเทียบค่าส่วนผสมทางเคมีกับค่ามาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นทุนวัตถุดิบมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์
2. ได้สัดส่วนการผสมวัตถุดิบ ที่ทำให้ต้นทุนในการหลอมอลูมิเนียมต่ำสุด
3. เสนอแนะนำผลการวิจัยต่อผู้บริหาร เพื่อประยุกต์ใช้ในการหลอมอลูมิเนียม

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีการโปรแกรมเชิงเส้น

1.1 ความเป็นมาของการโปรแกรมเชิงเส้น

(อุดมศักดิ์ ศีลปะชาวงศ์ :2545) ต้นกำเนิดของการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical programming) มีมาแต่นานแล้วในยุคที่มีการพัฒนาทฤษฎีสมการเชิงเส้นและที่ไม่เชิงเส้น จนกระทั่งถึงในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 จอร์จบี แดนท์สิก (George B.Dantzig) เป็นคนแรกที่นำเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้ในการแก้ปัญหาการขนส่งอาวุธยุทโธปกรณ์ของกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา ในช่วงเวลานั้นก็มีนักวิจัยอีก 3 ท่าน ที่ศึกษาในเรื่องเดียวกันนี้คือ เจ วอน นัวแมนน์ (J. Von Neumann) แอล เฮอร์วิคส์ (L. Hurwicz) และ ที ซี คูปแมนส์ (T.C. Koopmans) ในสมัยนั้นเรียกเทคนิคการโปรแกรม เชิงเส้นว่า การโปรแกรมของกิจกรรมที่เป็นอิสระต่อกันภายใต้โครงสร้างแบบเชิงเส้น (programming of independent activities in a linear structure) แต่ต่อมาเรียกย่อ ๆ ว่าการโปรมแกรมเชิงเส้น (linear programming) หลังสงครามสิ้นสุดลง นักวิชาการหลายท่านได้ร่วมกับแดนท์สิก ในการพัฒนาเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นต่อไป ในปี ค.ศ.1947 แดนท์สิก ได้ตีพิมพ์งานเขียนเกี่ยวกับปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นโดยวิธีซิมเพล็กซ์ (simplex method) ในสมัยแรก ๆ การประยุกต์ใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นมักจะเกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่ง การจัดหาอาวุธยุทโธปกรณ์ของทางทหาร จนกะทั่ง วาสสิลิ ลีออนเทียฟ (Wassily Leontief) ได้คิดค้นตารางปัจจัย-ผลผลิต (input-output table) ซึ่งเป็นพื้นฐานของการนำเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นไปใช้วิเคราะห์ปัญหาทางเศรษฐศาสตร์และธุรกิจหลังปี ค.ศ.1947 นักวิจัยที่มีชื่อเสียง เช่น เอ คานส์ (A.Charnes,) ดับเบิลยู คูเปอร์ (W. W. Cooper), เอ เฮนเดอร์สัน (A. Henderson) และดับเบิลยู ออร์ชาร์ด – เฮย์ (W.Orchard – Hays) ได้ร่วมกับแดนท์สิกในการศึกษาค้นคว้าการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้นในปัญหาต่าง ๆ จนกระทั่งในสมัยปัจจุบันการโปรแกรมเชิงเส้นจงเป็นที่นิยมกันแพร่หลายทั้งในภาครัฐและเอกชน และที่สำคัญได้มีการนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการบริหารจัดการธุรกิจ

1.2 ลักษณะปัญหาของการโปรแกรมเชิงเส้น

(อุดมศักดิ์ ศีลปะชาวงศ์ : 2545) การโปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในวงการธุรกิจอย่างแพร่หลายใน)ปัจจุบัน ถือเป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่มีความสำคัญมากเทคนิคหนึ่ง การโปราแกรมเชิงเส้นเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่มีความสำคัญมากเทคนิคหนึ่งการโปรแกรมเชิงเส้นเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ สำหรับแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดนั้นหมายถึง แรงงาน วัตถุดิบ เครื่องจักร เวลา เงินทุน และสิ่งอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการผลิตหรือการให้บริการ ส่วนประโยชน์สูงสุดอาจจะวัดได้ในรูปของผลตอบแทนหรือต้นทุน เช่น กำไรสูงสุดหรือต้นทุนต่ำสุด การโปรแกรมเชิงเส้นสามารถใช้แก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรให้แก่กิจกรรมซึ่งต้องการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ อย่างจำกัด เช่น

การหาส่วนผสมของสูตรอาหารสัตว์ การจัดสรรกำลังคน การจัดสรรปริมาณเชื้อเพลิงแก่เครื่องบิน การเลือกเส้นทางการขนส่ง การเลือกทำเลที่ตั้งของโรงงาน การจัดสรรงบประมาณด้านการตลาดและปัญหาต่าง ๆ อีกมากมาย

คำว่าโปรแกรม (programming) หมายถึง การวางแผน คำว่าเชิงเส้น (linear) หมายถึง ความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไป มีความสัมพันธ์ในลักษณะที่มีอัตราส่วนคงที่ เช่น ให้ $y = f(x)$ เป็นสมการเชิงเส้น เมื่อค่าของ x เปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่าของ y เปลี่ยนไปในอัตราส่วนคงที่ ดังนั้นการโปรแกรมเชิงเส้น หมายถึง การวางแผนโดยการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ สำหรับระบบที่มีคุณสมบัติเชิงเส้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เหมาะที่สุด (optimal solution) ในการศึกษาการโปรแกรมเชิงเส้น สิ่งสำคัญที่ควรจะกล่าวถึงก่อนที่จะศึกษาในรายละเอียดต่อไปคือเงื่อนไขสำหรับการโปรแกรมเชิงเส้น ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น การสร้างตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น แลวิธีการแก้ปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น

1.3 การประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้น

(ประกอบ จิรกิติ : 2543) การประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้น ได้แก่

1.3.1 ปัญหาการผลิต (product mix problem) เป็นการพิจารณาหาปริมาณสินค้าแต่ละประเภทที่ควรจะทำการผลิต เพื่อที่จะให้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ไม่ว่าจะเป็น เครื่องจักร วัตถุดิบ แรงงาน นั้นเป็นไปอย่างเหมาะสม เพื่อที่จะได้ผลตอบแทนสูงสุด

1.3.2 ปัญหาการผสมสาร (blending problem) เป็นการพิจารณาหาปริมาณสารหรือวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่จะนำมาผสมกันหรือนำมาใช้ในการผลิตสินค้าประเภทต่าง ๆ ตามคุณสมบัติที่ได้กำหนดไว้ เพื่อที่จะได้มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด

1.3.3 ปัญหาการขนส่ง(transportation problem) เป็นการพิจารณาหาปริมาณสินค้าที่จะทำการขนส่งจากแหล่งผลิตสินค้าไปยังผู้บริโภคหรือจุดหมายปลายทาง เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำที่สุด หรือส่งสินค้าถึงจุดหมายปลายทางเร็วที่สุด

1.3.4 ปัญหาการมอบหมายงาน(assignment problem) เป็นการพิจารณาการมอบหมายงานที่จะต้องทำให้กับบุคลากรหรือเครื่องจักร เพื่อให้งานที่ได้รับการมอบหมายแล้วเสร็จในเวลาที่เร็วที่สุด หรือเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

1.3.5 ปัญหาการลงทุน (investment project selection) เป็นการพิจารณาจัดสรรเงินลงทุนในโครงการทุนต่าง ๆ เพื่อให้ได้รับผลตอบแทนสูงสุด

1.3.6 ปัญหาการเลือกสื่อโฆษณา (media selection) เป็นการพิจารณาเลือกสื่อโฆษณาชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ข้อมูลหรือข่าวสารที่ต้องการเผยแพร่ออกสู่เป้าหมายเป็นจำนวนมากที่สุดหรือโดยเสียค่าใช้จ่ายในการโฆษณาน้อยที่สุด

1.3.7 ปัญหาการตัดกระดาษ(trim loss problem) เป็นการพิจารณารูปแบบหรือวิธีการตัดกระดาษ (หรือสินค้าอื่น ๆที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน เช่น การตัดผ้าการตัดแผ่นเหล็ก) เพื่อที่จะหารูปแบบการตัดกระดาษขนาดมาตรฐานที่มีอยู่ออกเป็นขนาด และปริมาณต่าง ๆ ตามความต้องการ เพื่อที่จะให้มีเศษ (ส่วนที่ใช้ประโยชน์ต่อไปไม่ได้) น้อยที่สุด

1.3.8 ปัญหาทางด้านการทหาร เป็นการโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้ในการพิจารณาวางแผนการส่งกำลังบำรุง การเลือกกำหนดจำนวนอาวุธยุทโธปกรณ์ การกำหนดยุทธศาสตร์ ฯลฯ

1.4 วิธีการแก้ปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น

(อุดมศักดิ์ ศีลปะชาวงศ์ :2545) การแก้ปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นนั้น สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหลัก ๆ ได้ 2 ขั้นตอน คือการสร้างตัวแบบ (model formulation) และการหาคำตอบจากตัวแบบจากตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นมีหลายวิธีคือ

- วิธีพีชคณิต
- วิธีกราฟ
- วิธีซิมเพล็ก
- การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

1.5 การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม LINDO

(อุดมศักดิ์ ศีลปะชาวงศ์ :2545) การใช้งานโปรแกรม LINDO

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโลกแห่งความเป็นจริง จำนวนตัวแปร และจำนวนฟังก์ชันข้อจำกัดอาจทีจำนวนมาก วิธีการคำนวณที่เรียกว่า วิธีซิมเพล็กซ์เป็นวิธีที่สามารถแก้ปัญหาการโปรแกรม

เชิงเส้นที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการคำนวณด้วยวิธีซิมเพล็กซ์อาจใช้วิธีคำนวณด้วยมือ หรือใช้คอมพิวเตอร์ก็ได้ ในเรื่องจะกล่าวถึงรายละเอียดของการโปรแกรมเชิงเส้นด้วยโปรแกรม LINDO

LINDO ย่อมาจาก Linear Interactive Discrete Optimizer เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีเป้าหมายหลักเพื่อให้ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลในลักษณะเดียวกันกับตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นที่สร้างขึ้นได้ทันที การคำนวณหาคำตอบทำได้รวดเร็ว

การใช้โปรแกรม LINDO มีข้อจำกัดดังนี้

1. ใช้แก้ปัญหาด้านการโปรแกรมเชิงเส้น
2 จำนวนตัวแปรของปัญหามีได้สูงสุด 119 ตัวแปร
3. จำนวนฟังก์ชันข้อจำกัด มีได้สูงสุด 58 ฟังก์ชัน
4. ชื่อของตัวแปร ต้องขึ้นต้นด้วยอักษร ตามด้วยตัวเลขหรือตัวอักษรก็ได้มีความยาวไม่เกิน 8 ตัวอักษร

2. ทฤษฎีงานหลอมอลูมิเนียม

2.1 บทนำเบื้องต้นสำหรับอลูมิเนียมผสมหรับงานหล่อ

(บัญชา ธนบุญสมบัติ : 2545) สมบัติของอลูมิเนียมที่สำคัญที่มีผลต่อการใช้งานของอลูมิเนียมในทางอุตสาหกรรม คือ น้ำหนักเบา ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี และสามารถตกแต่งผิวสำเร็จได้สวยงามมีลักษณะหลาก หลาย ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของอลูมิเนียมประมาณหนึ่งในสามของเหล็กกล้าหรือโลหะผสมทองแดง ด้วยการเจือโลหะอื่นผสมอลูมิเนียม และกรรมวิธีทางความร้อน จะทำให้ได้โลหะผสมที่มีความแข็งแรงเทียบเท่าหรือมากกว่าเหล็ก (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)

ข้อเสียอย่างหนึ่งของโลหะผสมอลูมิเนียม คือ ความพรุนเนื่องจากระหว่างการหลอมมีแก๊สละลายอยู่ เช่น แก๊สไฮโดรเจนอาจละลายได้ในปริมาณหนึ่งที่อุณหภูมิของการหลอม แก๊สนี้อาจอยู่ในบรรยากาศของเตาหลอม แต่เมื่อโลหะแข็งตัว ความสามารถในการละลายได้ของแก๊สไฮโดรเจนในโลหะอลูมิเนียมจะลดลงเกือบเป็นศูนย์ ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นในเนื้อโลหะไม่สามารถออกไปได้ อันเป็นสาเหตุของการเกิดรูพรุน

โลหะอลูมิเนียมผสมสำหรับงานหล่อพัฒนามาจากระบบยูเทกติกของระบบ 2 ธาตุ เช่น อลูมิเนียม-ซิลิคอน (Al-Si) อลูมิเนียม-ทองแดง (Al-Cu) และอลูมิเนียม-แมกนีเซียม (Al-Mg) อย่างไรก็ตาม โลหะที่ใช้งานส่วนใหญ่มักจะพัฒนามาจากระบบอลูมิเนีย-ซิลิคอน โดยการเติมธาตุแมกนิเซียม (Mg) และ / หรือทองแดง (Cu) ทำให้โลหะเหล่านี้สามารถชุบแข็งได้ด้วยกระบวนการตกตะกอนเพื่อเพิ่มความแข็ง (precipitation hardening heat treament) การเพิ่มธาตุผสม

บางอย่าง (เช่น Ni ,Cr , และ Mn) ยังทำให้โลหะผสมแข็งเพิ่มขึ้นโดยกลไกลการเพิ่มความแข็งด้วยการทำให้เป็นสารละลายของแข็ง (solid solution hardening) และยังช่วยปรับปรุงความแข็งแรงในการใช้งานที่อุณหภูมิสูง (hot strength)

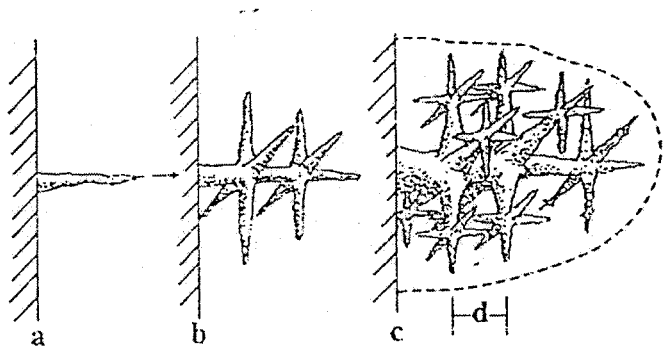
ชนิดของอลูมิเนียมผสม (alloy type) ที่ใช้ทั่วไปมี 3 แบบหลัก ๆ ได้แก่

- โลหะผสมไฮโปยูเทกติก (hypo eutectic alloys) เช่น LM4 , LM25
- โลหะผสมใกล้ยูเทกติก (near eutectic alloys) เช่น LM6 , LM2
- โลหะผสมไฮเปอร์ยูเทกติก (hyper eutectic alloys) เช่น LM28

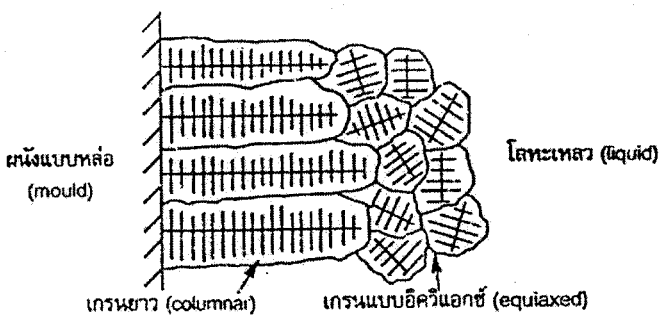
2.2 การควบคุมโครงสร้างจุลภาค

(บัญชา ธนบุญสมบัติ : 2545) ปัจจัยซึ่งควบคุมสมบัติของอลูมิเนียมผสมไฮโปยูเทกติก มี 2 ประการหลักคือ

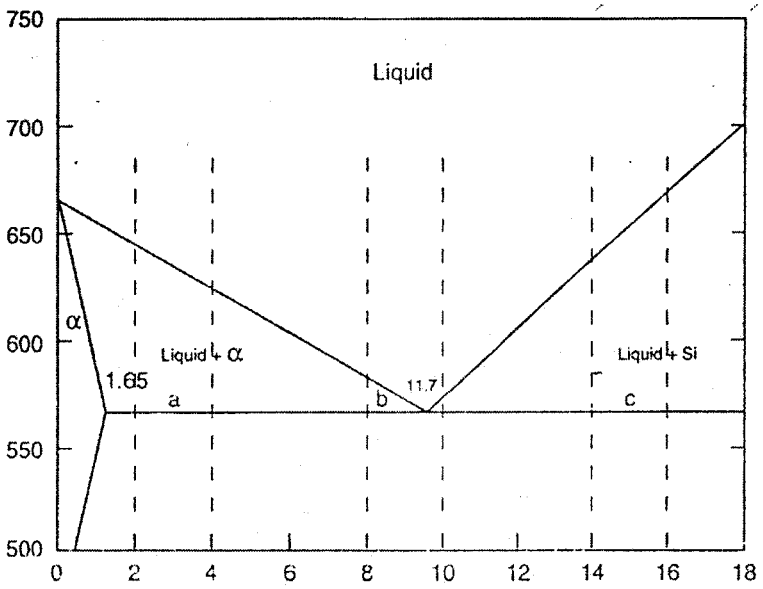
1. ขนาดและรูปร่างของเกรน (grain size and shape)
2. ช่วงห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิ (secondary dendrite arm spacing: das) ลักษณะเหล่านี้แสดงในภาพที่ 2.1



ขั้นตอนการโตของเดนไดรต์
a) แขนเดนไดรต์ชั้นปฐมภูมิ
b) แขนเดนไดรต์ชั้นทุติยภูมิเกิดขึ้นจากด้านข้าง
c) แตกกิ่งก้านมากมาย
d) ระยะระหว่างแขนเดนไดรต์ชั้นที่สองหรือทุติยภูมิ, das



ภาพที่ 2.1 แบบจำลองอย่างง่ายแสดงการเติบโตของผลึกแบบแตกกิ่งก้าน (dendritic growth) และโครงสร้างของเกรนในโลหะหล่อ



ปริมาณซิลิคอน (wt %)

Aluminium-silicon equilibrium diagram

a) ไฮโปยูเทกติก b) ใกล้กับยูเทกติก c) ไฮเปอร์ยูเทกติก

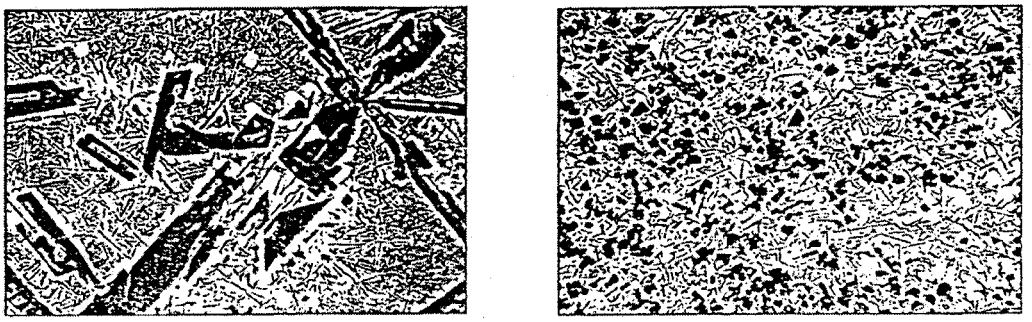
ภาพที่ 2.2 เฟสของระบบอลูมิเนียม-ซิลิคอน และโครงสร้างจุลภาคของบริเวณต่าง ๆ

2.2.1 โลหะผสมไฮโปยูเทกติก (hypo eutectic alloys) โลหะไฮโปยูเทกติก 2 ธาตุของ Al-Si alloy ไม่เป็นที่นิยมใช้กันมากนักเนื่องจากข้อจำกัดด้านสมบัติทางกล ดังนั้น อลูมิเนียมไฮโปยูเทกติกมักได้รับการผสมทองแดง และ/หรือ แมกนิเซียม (เช่น LM4 , 16, 25, 27) เพื่อให้สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้ด้วยวิธีการตกตะกอนเพิ่มความแข็ง (precipitation hardening) โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสมชนิด Al-5%Si จะประกอบด้วยเดนไดรต์ของอลูมิเนียมและยูเทกติกซิลิคอนที่แยกตัวออกมาอยู่ระหว่างเดนไดรต์ (interdendritic "divfrced" eutectic Si) และจะเห็นโพรงหดตัว (shrinkage pore) กระจายอยู่บ้าง เนื่องจากโลหะผสมไฮโปยูเทกติกมีช่วงการแข็งตัวกว้าง (wide freezing range)

2.2.2 โลหะผสมใกล้ยูเทกติก (near eutectic alloys) เช่น LM6 , LM2 โลหะผสมใกล้ยูเทกติก Al-Si สามารถใช้ได้โดยตรงในลักษณะของโลหะผสมที่อบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงไม่ได้ (non-heat-trearable alloy) เช่น LM6 และ LM20 หรือสามารถผสมธาตุทองแดงและ/หรือ แมกนิเซียม หรืออื่น ๆ เพื่อทำให้สามารถเกิดการตกตะกอนเพื่อเพิ่มความแข็ง (precipitation hardening) เช่น LM9 และ LM13 อลูมิเนียมผสมพวกนี้จะไหลตัวในสภาพเหลวได้ดีมาก ใช้งานได้หลากหลายและสามารถผลิตได้มากแบบ ทั้งหล่อในแบบหล่อทรายและหล่อโดยใช้แม่พิมพ์โลหะ ส่วน LM6 และ LM20 จะใช้ในการผลิตแบบใช้แม่พิมพ์โลหะ (diecasting alloy) มากกว่า LM2 และ LM24 เมื่อต้องการความทนต่อการกัดกร่อน โลหะซึ่งมีส่วนผสมของทองแดงต่ำ เช่น อลูมิเนียมเกรด LM6 และ LM20 จะทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่า ทำให้สามารถใช้เป็นชิ้นงานหล่อสำหรับเรือเดินทะเล ข้อต่อยานพาหนะ ปลอกกันน้ำ (water jacket) ตัวถัง (cades) และโคมไฟตามถนน เป็นต้น

2.2.3 โลหะผสมไฮเปอร์ยูเทกติก (hyper eutectic alloys)

อลูมิเนียมผสมชนิดไฮเปอร์ยูเทกติก (hyper eutectic alloys) จะใช้งานในสภาวะที่ต้องการการขยายตัวจากความร้อนต่ำและในขณะเดียวกันทนการเสียดสีได้ดี เช่น ลูกสูบ (piston) ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน(internal combustion engine) ซึ่งใช้ได้โดยไม่ต้องมีปลอกสูบเหล็ก (iron cylinder liners) ได้แก่ LM30 อลูมิเนียมผสมไฮเปอร์ยูเทกติกเหล่านี้ต้องเติมฟอสฟอรัส(P) เพื่อทำให้เฟสซิลิคอนปฐมภูมิ (primary Si) มีขนาดเล็กละเอียดดังแสดงในภาพ 2.3



Hypereutectic Al-Si alloy. Refined hypereutectic Al-Si alloy.

ภาพที่ 2.3 การทำให้ขนาดของซิลิคอนปฐมภูมิละเอียดขึ้นในโลหะผสมซึ่งมีส่วนผสมเป็นไฮเปอร์ยูเทกติก

2.3 คุณสมบัติของธาตุในการหลอมอลูมิเนียม

(บัญชา ธนบุญสมบัติ : 2545) ธาตุต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในอลูมิเนียมผสมจะอยู่ใน 2 ลักษณะใหญ่ๆ ได้แก่ 1.) ละลายอยู่ในเนื้ออลูมิเนียมเกิดเป็นระบบสารละลายของแข็ง 2.)รวมตัวกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบ (เช่น แมกนีเซียม รวมกับ ซิลิคอนเป็น Mg_2Si เป็นต้น) หรือแยกตัวออกมา ถ้าหากมีความสมารถในการละลายต่ำ (เช่น ซิลิคอน) ในกรณีแรก ธาตุที่ละลายอยู่ในเนื้อของอลูมิเนียมจะมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของโลหะเฉพาะความต้านทานทางไฟฟ้าความแข็งแรงของเนื้อโลหะในการกัดกร่อนในกรณีที่สองถ้าอนุภาคของเฟสหนึ่ง ๆ มีขนาดใหญ่พอสมควร (ใหญ่กว่า 1 ไมครอน) เราอาจจะสังเกตอนุภาคเหล่านี้ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง แต่ถ้าหากอนุภาคมีขนาดเล็กมาก ๆ (เล็กกว่า 1 ไมครอน) เราจะสังเกตอนุภาคเหล่านี้ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนลักษณะสำคัญของอนุภาคซึ่งมีผลต่อสมบัติทางกลและสมบัติอื่น ๆ ของอลูมิเนียมผสม ได้แก่ ขนาด รูปร่าง ลักษณะของผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคกับเนื้อโลหะ

ธาตุผสมและสารมลทินมีผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติต่าง ๆ ของอลูมิเนียมผสม สรุปธาตุที่สำคัญได้ดังนี้

2.3.1. ซิลิคอน (Silicon)อลูมิเนียมบริสุทธิ์นั้นไม่เหมาะกับงานหล่อลานทางด้านไฟฟ้า (เพื่อต้องการสภาพการนำไฟฟ้าที่ดี) และงานเฉพาะทางอื่น ๆ บางอย่าง อลูมิเนียมสำหรับงานหล่อมักจะเติมซิลิคอนเป็นธาตุผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติในการหล่อ เช่น ปรับปรุงสภาพการไหลตัว (fluidity) การป้อน (feeding) และความต้านทานการฉีกขาดขณะร้อน (hot tear resistance) โดยซิลิคอนจะรวมตัวกับอลูมิเนียมเกิดเป็นโครงสร้างยูเทกติกที่ 11.7% Si เฟสที่มีซิลิคอนเป็นหลัก เป็นเฟสที่มีความแข็ง ถ้าอลูมิเนียมมีซิลิคอนผสมอยู่มากก็จะมีความแข็งมากตามไปด้วย แต่จะทำให้ความยืดตัว(ductility) และความสามารถในการกลึงไส (machine ability) ลดลง

ปริมาณซิลิคอนที่นิยมในงานหล่อ แบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

- ปริมาณต่ำ 4-6 % Si
- ปริมาณปานกลาง 7.5-9.5 % Si
- โลหะผสมยูเทกติก 10-13 % Si
- ไฮเปอร์ยูเทกติกแบบพิเศษ > 16 % Si

โลหะผสมยูเทกติกเป็นอัลลอยที่มีสมบัติของการไหลได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิการหล่อหนึ่ง ๆ แต่มีช่วงการแข็งตัวสั้น(short freezing range) จึงแข็งตัวโดยการหดตัวเฉพาะแบบปฐมภูมิ ดังนั้นโลหะผสมยูเทกติกจึงเหมาะสำหรับการหล่อเป็นชิ้นงานบาง แต่ถ้าต้องการงานที่มีความแข็งแรงสูงควรเลือกใช้ซิลิคอนปริมาณต่ำ ส่วนโลหะผสมไฮเปอร์ยูเทกติกนั้นมีคุณสมบัติการกลึงไสได้ยากกว่า จึงนิยมทำเป็นชิ้นงานที่ต้องทนต่อการสึกหรอ เช่น ลูกสูบ (piston) เป็นต้น

2.3.2. ทองแดง (Copper)เป็นธาตุที่ช่วยปรับปรุงสมบัติบางอย่างของอลูมิเนียม ได้แก่ ความแข็งแรง ความแข็ง ความสามารถในการกลึงไส และสภาพการนำความร้อน เป็นต้น กระบวนการทางความร้อนจะได้ประสิทธิภาพสูงสุด ถ้าเติมทองแดงในโลหะผสมอลูมิเนียมใน ปริมาณ 4-6% แต่ทองแดงทำให้ความสมารถในการหล่อ และความต้านการฉีกขาดขณะร้อนด้อย ลงรวมทั้งความต้านทานการผุกร่อนก็ด้อยลงด้วย

2.3.3. แมกนิเซียม (Magnesium) การเติมแมกนิเซียมเพียง 0.25-0.5 % Mg ทำให้ ความสามารถในกระบวนการทางความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะผสมอลูมิเนียม-ซิลิคอนได้ และยังช่วยให้สมบัติทางกลดีขึ้นเนื่องจากมีการตกตะกอน (precipitation) ของเฟส Mg_2Si เล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป ค่าความเค้นพิสูจน์ (proof stress) เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ในลูกสูบที่ ทำจากโลหะผสมอลูมิเนียม-ซิลิคอนที่มีปริมาณซิลิคอนสูงสามารถเติมแมกนิเซียมได้สูงถึง 1% และอาจเติมได้มากถึง 3-6 % ในอลูมิเนียมผสมซึ่งมีซิลิคอนต่ำเพื่อปรับปรุงลักษณะเฉพาะของการ ทำแอโนไดซ์ (anodizing characteristics) และช่วยทำให้ผิวสำเร็จมีความเงางาม สำหรับใช้ในการ ตกแต่ง

ในงานหล่อโลหะผสมในแบบพิมพ์เหล็กด้วยแรงดัน (pressure diecasting alloys) ควร เติมแมกนิเซียมในปริมาณต่ำเพื่อป้องกันการแตกเปราะ (embrittlement) การมีแมกนิเซียมจะเพิ่ม โอกาสการเกิดออกซิเดชั่นในอลูมิเนียมเหลว

2.3.4 เหล็ก (Iron) ปริมาณเหล็กในงานหล่อโลหะผสมแบบพิมพ์เหล็กที่มี มากกว่า 1% จะช่วยป้องกันการติดพิมพ์ (die-sticking) ปริมาณเหล็กที่สูงมากจะทำให้ ความสามารถในการหล่อ ความยืดตัว ความต้านทานการเกิดแรงกระแทรกในทันทีทันใด (shock resistance) และความสามารถในการกลึงไสซึ่งโลหะผสมส่วนมากจำกัด ปริมาณเหล็กไม่เกิน 0.8%

ธาตุเหล็กสามารถเกิดปฏิกิริยากลายเป็นเฟสของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำโลหะโดยอยู่ในรูป ของ $FeAl_3$, $FeMnAl_6$ และ $\alpha AlFeSi$ เป็นต้น เฟสเหล่านี้มีผลต่อสมบัติทางกลของงานหล่อ เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง ธาตุเหล็กยังสามารถตกตะกอนโดยรวมตัวกับแมงกานีส โครเมียม และ ธาตุอื่น ๆ เกิดเป็นเฟสที่ไม่ต้องการ (sludging phases)

2.3.5 แมงกานีส (Manganese)การเติมแมงกานีสมากว่า 0.5% ช่วยทำให้เนื้อ งานหล่อมีความต่อเนื่องดีขึ้น (casting soundness) และแมงกานีสยังช่วยควบคุม ลักษณะของเฟส อินเทอร์เมทัลลิกของเหล็กในชิ้นงาน ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มความสามารถในการยืดตัวและลักษณะ การหดตัวของงานหล่อด้วย

2.3.6 นิกเกิล (Nickel) เมื่อเติมพร้อมกับทองแดงจะเพิ่มปริมาณความแข็งแรงและ ความแข็งให้กับงานหล่อเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงและยังลดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความ ร้อนด้วย (coefficient of thermal expension)

2.3.7 สังกะสี (Zinc)เมื่อรวมตัวกับทองแดงและแมงกานีส จะช่วยปรับปรุงความสามารถในการทำกระบวนการทางความร้อนรวมทั้งสมบัติการทำการบ่มที่อุณหภูมิห้อง (natural aging) และยังช่วยให้ความสามารถในการไหลตัวดีขึ้น แต่ปัญหาการหดตัวยังคงมีอยู่

2.3.8 ตะกั่ว (Lead) ช่วยปรับปรุงความสามารถในการกลึงไสของโลหะผสมอลูมิเนียมหล่อเมื่อมีปริมาณมากกว่า 0.1%

2.3.9 ไทเทเนียม (Titanium) เป็นธาตุสำคัญที่ช่วยให้งานหล่อโลหะผสมอลูมิเนียมที่มีเกรนเล็กละเอียด ส่วนมากมักจะเติมร่วมกับโบรอน

2.3.10 ฟอสฟอรัส (Phosphorus) เป็นธาตุที่ช่วยทำให้เฟสซิลิคอนปฐมภูมิในโลหะผสมไฮเปอร์ยูเทกติกละเอียดขึ้น ส่วนในโลหะผสมไฮโปยูเทกติกปริมาณฟอสฟอรัสเพียงหนึ่งในล้าน (parts per million concentration) จะทำให้ได้โครงสร้างขนาดใหญ่ แต่จะลดประสิทธิภาพของธาตุโซเดียมและสตรอนเซียมซึ่งทำหน้าที่ปรับปรุงโครงสร้างยูเทกติก

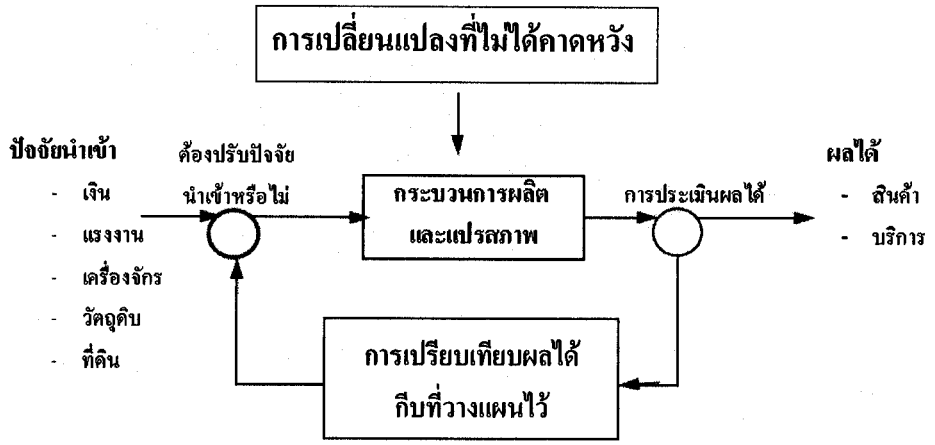
2.3.11 สตรอนเซียม (Strontium) การเติมสตรอนเซียมในปริมาณ 0.008-0.04% Sr จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างยูเทกติกของอลูมิเนียม-ซิลิคอน ถ้าเติมในปริมาณมากกว่านี้จะทำให้เกิดรูพรุนในงานหล่อ (casting porosity) โดยเฉพาะกับบริเวณที่หนาหรือกับงานหล่อที่มีการเย็นตัวช้า ซึ่งปัญหานี้สามารถลดลงได้โดยอาศัยกระบวนการไล่แก๊ส (degassing) ที่มีประสิทธิภาพ

2.3.12 โซเดียม (Sodium) เป็นธาตุที่ปรับปรุงโครงสร้างยูเทกติกของโลหะผสมอลูมิเนียม-ซิลิคอน แต่ถ้ามีธาตุโซเดียมปรากฏในงานหล่ออลูมิเนียม-แมกนีเซียมแล้วจะทำให้งานหล่อมีสมบัติที่แตกเปราะง่าย (embrittlement)

3 ทฤษฎีการลดต้นทุน

3.1 ระบบการผลิตและการปฏิบัติการ

(ชุมพล ศฤงคารศิริ : 2542) ระบบการผลิตและการปฏิบัติการประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ส่วน ซึ่งได้แก่ปัจจัยนำเข้า (input) กระบวนการผลิตและแปลงสภาพ (production or conversion process) ผลได้ (output) ส่วนป้อนกลับ (feedback) และผลกระทบจากภายนอกที่เปลี่ยนแปลงโดยไม่ได้คาดหมาย (random fluctuations) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ระบบการผลิตและปฏิบัติการ

ปัจจัยนำเข้า คือส่วนของทรัพยากรหรือสิ่งที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตสินค้าหรือบริการ ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วย เงินทุน แรงงาน เครื่องจักร ที่ดิน วัตถุดิบ และความรู้ความสามารถในด้านการจัดการ

กระบวนการผลิตและแปลงสภาพ คือส่วนที่ทำหน้าที่นำเอาปัจจัยนำเข้ามาผลิต และแปลงสภาพเพื่อให้ได้เป็นสินค้าหรือบริการตามที่ต้องการ กระบวนการผลิตหรือแปลงสภาพประกอบด้วยวิธีการในการผลิตสินค้า วิธีการจัดลำดับการผลิตการวางแผนการผลิต การจัดสรรกำลังคนเพื่อการผลิตและอื่น ๆ

ผลได้ คือสินค้าหรือบริการที่ต้องการ ในปริมาณและคุณภาพที่กำหนดและในเวลาที่ต้องการ

ส่วนป้อนกลับ คือส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของกระบวนการเพื่อให้การทำงานของระบบการผลิตบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ส่วนป้อนกลับนี้จะทำหน้าที่ประเมินผลได้ เช่น ปริมาณและคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้ นำมาเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่วางแผนไว้ จากผลการเปรียบเทียบจะนำไปสู่การปรับปัจจัยนำเข้าหรือกระบวนการผลิตหรือแปลงสภาพ เพื่อสร้างผลได้ตามต้องการออกมา

การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้คาดหมาย ระบบการผลิตและการปฏิบัติการใด ๆ เมื่อดำเนินการอยู่อาจมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้คาดหมายแต่มีผลกระทบต่อการดำเนินการ โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงนี้จะมาจากภายนอกระบบหรือนอกองค์การ และอยู่นอกเหนือจากอำนาจการควบคุมของผู้บริหาร ตัวอย่างเช่น สภาพการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ อุบัติเหตุและภัยธรรมชาติ การขัดข้องเสียหายของเครื่องจักร เหล่านี้เป็นต้น

3.2 ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน (Direct Material Standards)

(รัฐพล วงษ์บัวแก้ว : 2544) การกำหนดวัตถุดิบต้นทุนมาตรฐานสำหรับวัตถุดิบทางตรง สามารถแบ่งออกได้ใน 2 ส่วน คือ การกำหนดราคามาตรฐานสำหรับวัตถุดิบทางตรง (Price Standards) และการกำหนดปริมาณการใช้มาตรฐาน (Efficiency of Usage Standards)

3.2.1 ราคาวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน (Direct Material Price Standards)ราคาวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน จะเป็นราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบทางตรง ที่กิจการควรที่จะซื้อมาทำการผลิต อย่างไรก็ตาม จุดสำคัญของการกำหนดราคามาตรฐานของวัตถุดิบทางตรงที่กิจการจะซื้อมาทำการผลิตนั้น จะขึ้นอยู่กับการพยากรณ์ยอดขาย (Sales Forecast) ที่กิจการคาดว่าจะขายได้ในงวดหน้าหลังจากนั้นก็จะทำให้กิจการทราบถึงจำนวนสินค้าที่ควรผลิต ตลอดจนจำนวนวัตถุดิบที่ควรจะต้องซื้อเข้ามาใช้ในการผลิต และจากความต้องการในวัตถุดิบนี้เองก็จะช่วยให้กิจการได้ต่อรองกับผู้จำหน่ายภายนอก (Supplies) เพื่อให้ได้ราคาวัตถุดิบที่เหมาะสมและมีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุด

ฝ่ายบริหารจะต้องกำหนดคุณภาพ (Quality) และเงื่อนไขในการส่งมอบ (Delivery) ของวัตถุดิบทางตรงที่จะนำมาใช้ในการผลิตก่อนที่จะกำหนดราคามาตรฐานต่อหน่วย ซึ่งแผนกบัญชีต้นทุนหรือแผนกจัดซื้อ ตามปกติแล้วจะต้องรับผิดชอบหรือมีส่วนเกี่ยวข้องกับการกำหนดราคามาตรฐานของวัตถุดิบทางตรงเสมอ ทั้งนี้เพราะแผนกบัญชีต้นทุนจะต้องรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับราคาวัตถุดิบเพื่อจัดทำเป็นต้นทุนมาตรฐาน ในขณะที่แผนกจัดซื้อจะทำหน้าที่ในการจัดหาข้อมูลเกี่ยวกับราคาวัตถุดิบจากผู้จำหน่ายภายนอกต่างๆ เพื่อให้ได้ราคาวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดตามระดับคุณภาพและเงื่อนไขในการส่งมอบต่างๆ ที่กิจการต้องการ

นอกจากนี้สิ่งที่กิจการจะต้องพบปัญหาอยู่เสมอ ก็คือ การเปลี่ยนแปลงราคาของวัตถุดิบในทางที่สูงขึ้นในระหว่างงวดเวลาของการดำเนินงาน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นก็คือ ต้นทุนการผลิตในระหว่างงวดเวลาของการดำเนินงาน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นก็คือ ต้นทุนการผลิตในระหว่างงวดที่จะสูงขึ้นด้วยทางออกที่สามารถจะแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ก็คือ ผู้บริหารของกิจการอาจจะต้องมีการทำสัญญาซื้อ-ขายวัตถุดิบในระยะยาว หรืออาจจะกำหนดต้นทุนมาตรฐานสำหรับราคาวัตถุดิบในจำนวนที่สูงกว่าราคาจริงในช่วงแรกแต่อาจจะต่ำกว่าราคาวัตถุดิบที่ซื้อมาในการผลิตในช่วงปลายงวด ซึ่งถือว่าเป็นการกำหนดราคาวัตถุดิบมาตรฐานแบบถัวเฉลี่ย (Standard Weighted Average Price per Unit)

3.2.2 ปริมาณการใช้วัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน(Direct Materials Efficiency Standards)ปริมาณการใช้วัตถุดิบทางตรงมาตรฐานจะถูกกำหนดในลักษณะของจำนวนวัตถุดิบทางตรงที่ควรจะใช้ในการผลิตสินค้าสำเร็จรูป 1 หน่วย ถ้าในการผลิตจะต้องใช้วัตถุดิบทางตรงมากว่า 1 ชนิด การกำหนดปริมาณใช้วัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน ก็จะแยกออกตามชนิดของวัตถุดิบทางตรงที่จะใช้ในการผลิตส่วนสำหรับการกำหนดปริมาณการใช้วัตถุดิบทางตรง กิจการสามารถ

กำหนดได้โดยการใช้วิธีทางวิศวกรรม หรือใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้วัตถุดิบทางตรงในการผลิตจากอดีต

4. กระบวนการหลอมอลูมิเนียมในปัจจุบัน

ในขั้นตอนการหลอมอลูมิเนียมของบริษัทฯ ในปัจจุบันมีขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตและการตรวจสอบดังต่อไปนี้

1. การตรวจรับวัตถุดิบ เป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการผลิต โดยการตรวจรับวัตถุดิบจะเป็นขั้นตอนที่ระบุคุณสมบัติค่าส่วนผสมทางเคมี น้ำหนัก และชี้บ่งประเภทของวัตถุดิบ หากวัตถุดิบชนิดใด ไม่ตรงตามคุณสมบัติก็จะไม่ผ่านการตรวจสอบและไม่นำเข้ากระบวนการผลิต

2. ขั้นตอนการป้อนวัตถุดิบเข้าเตา เป็นขั้นตอนทีสำคัญเนื่องจากในการป้อนวัตถุดิบต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ในการหลอมเพื่อให้สอดคล้องกัน เช่น เวลา อุณหภูมิในการหลอม ชนิดของวัตถุดิบ ปริมาณของวัตถุดิบ ค่าส่วนผสมทางเคมีของวัตถุดิบ เป็นต้น

3. การปรุงค่าส่วนผสมทางเคมี หลังจากมีการป้อนวัตถุดิบเข้าเตาจะมีการตรวจสอบค่าส่วนผสมทางเคมี ว่าได้ตรงตามที่ลูกค้ากำหนดหรือไม่ ถ้าหากค่าส่วนผสมทางเคมีค่าใดต่ำกว่าที่ลูกค้ากำหนด ก็จะทำการเติมวัตถุดิบ เช่น การเติมวัตถุดิบที่มีค่าส่วนผสมของซิลิกอน (Si) เพื่อเพิ่มปริมาณค่า ซิลิกอน(Si) ให้สูงขึ้น

4. การตรวจสอบค่าส่วนผสมทางเคมี เป็นขั้นตอนที่ต้องสุ่มตัวอย่างน้ำอลูมิเนียมไปทำการทดสอบขั้นสุดท้ายก่อนการเทน้ำอลูมิเนียมลงในแม่พิมพ์ เพื่อตรวจสอบค่าส่วนผสมทางเคมีให้ตรงตามที่ลูกค้ากำหนด

5. การกรองสิ่งสกปรกออกจากน้ำอลูมิเนียม เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมจากการหลอมละลายที่ไม่สมบูรณ์ เข้าไปเจือปนในเนื้อของอลูมิเนียม

6. ขั้นตอนการเทน้ำอลูมิเนียมลงแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้แท่งอลูมิเนียมตามขนาดของแม่พิมพ์

7. การตัดความยาว โดยความยาวของแท่งอลูมิเนียมจะขึ้นอยู่กับชนิดของอลูมิเนียมซึ่งถูกกำหนดโดยลูกค้า

8. การแพ็ก หรือการบรรจุเพื่อรอการขนย้าย

9. รอส่งลูกค้า

นอกจากขั้นตอนดังกล่าว ในการหลอมอลูมิเนียมยังจำเป็นที่ต้องควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ให้ได้ตามพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่กำหนด เช่น อัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าเตาหลอมให้สอดคล้องกับอัตราการเทน้ำอลูมิเนียม อุณหภูมิของเตาหลอมต้องสอดคล้องกับชนิดของอลูมิเนียม ความยาวของแท่งอลูมิเนียมต้องสอดคล้องกับการทำงานของเครื่องเลื่อย เป็นต้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหลอมอลูมิเนียม

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหลอมอลูมิเนียมจะมีค่าส่วนผสมของอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก นอกจานั้นจะเป็นการเพิ่มธาตุอื่น ๆ เข้าไปเพื่อให้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียม โดยที่ธาตุแต่ละชนิดเมื่อนำมารวมกับอลูมิเนียมจะทำให้คุณสมบัติของอลูมิเนียมนั้นแตกต่างกันไปตามประเภทของอลูมิเนียม โดยที่วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหลอมมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแต่ทางผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในการหลอมอลูมิเนียมของบริษัท ฯ มาทั้งหมด 7 ชนิด ดังราย ละเอียดต่อไปนี้

1.1 วัตถุดิบ ก. เป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนอยู่ที่ 80 บาทต่อกิโลกรัม และเป็นวัตถุดิบที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 1 โดยมีธาตุอื่นๆ ผสมในเนื้อวัตถุดิบเฉลี่ยดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) ร้อยละ 0.610
- เหล็ก (Fe) ร้อยละ 0.700
- ทองแดง (Cu) ร้อยละ 0.220
- แมงกานีส (Mn) ร้อยละ 0.580
- แมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.678
- สังกะสี (Zn) ร้อยละ 0.107
- ไททาเนียม (Ti) ร้อยละ 0.026

1.2 วัตถุดิบ ข. เป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนอยู่ที่ 120 บาทต่อกิโลกรัม และเป็นวัตถุดิบที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 2 โดยมีธาตุอื่นๆ ผสมในเนื้อวัตถุดิบเฉลี่ยดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) ร้อยละ 0.050
- เหล็ก (Fe) ร้อยละ 0.151
- ทองแดง (Cu) ร้อยละ 0.001
- แมงกานีส (Mn) ร้อยละ 0.001
- แมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.005
- สังกะสี (Zn) ร้อยละ 0.008

- ไททาเนียม (Ti) ร้อยละ 0.005

1.3 วัตถุดิบ ค. เป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนอยู่ที่ 85 บาทต่อกิโลกรัม และเป็นวัตถุดิบที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 3 โดยมีธาตุอื่นๆ ผสมในเนื้อวัตถุดิบเฉลี่ยดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) ร้อยละ 0.450
- เหล็ก (Fe) ร้อยละ 0.382
- ทองแดง (Cu) ร้อยละ 0.026
- แมงกานีส (Mn) ร้อยละ 0.030
- แมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.500
- สังกะสี (Zn) ร้อยละ 0.035
- ไททาเนียม (Ti) ร้อยละ 0.020

1.4 วัตถุดิบ ง. เป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนอยู่ที่ 120 บาทต่อกิโลกรัม และเป็นวัตถุดิบที่มีแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุหลักร้อยละ 95 และธาตุอื่น ๆ ผสมในเนื้อวัตถุดิบเฉลี่ยดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) ร้อยละ 0.050
- เหล็ก (Fe) ร้อยละ 0.050
- ทองแดง (Cu) ร้อยละ 0.002
- แมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.050

1.5 วัตถุดิบ จ. เป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนอยู่ที่ 200 บาทต่อกิโลกรัม และเป็นวัตถุดิบที่มีทองแดง (Cu) เป็นธาตุหลักร้อยละ 98 และธาตุอื่น ๆ ผสมในเนื้อวัตถุดิบเฉลี่ยดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) ร้อยละ 0.001
- เหล็ก (Fe) ร้อยละ 0.001
- แมงกานีส (Mn) ร้อยละ 0.001
- แมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.002

1.6 วัตถุดิบ ฉ. เป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนอยู่ที่ 130 บาทต่อกิโลกรัม และเป็นวัตถุดิบที่มีแมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุหลักร้อยละ 95 และธาตุอื่น ๆ ผสมในเนื้อวัตถุดิบเฉลี่ยดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) ร้อยละ 0.050
- เหล็ก (Fe) ร้อยละ 0.030
- ทองแดง (Cu) ร้อยละ 0.050
- แมงกานีส (Mn) ร้อยละ 0.500

- สังกะสี (Zn) ร้อยละ 0.027
- ไททาเนียม (Ti) ร้อยละ 0.034

1.7 วัตถุดิบ ช. เป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนอยู่ที่ 90 บาทต่อกิโลกรัม และเป็นวัตถุดิบที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 4 โดยมีธาตุอื่นๆ ผสมในเนื้อวัตถุดิบเฉลี่ยดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) ร้อยละ 12.500
- เหล็ก (Fe) ร้อยละ 0.500
- ทองแดง (Cu) ร้อยละ 0.030
- แมงกานีส (Mn) ร้อยละ 0.029
- แมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.508
- สังกะสี (Zn) ร้อยละ 0.050
- ไททาเนียม (Ti) ร้อยละ 0.042

วัตถุดิบทั้ง 7 ชนิดที่นำมาเข้ากระบวนการผลิต สามารถสรุปร้อยละของค่าส่วนผสมทางเคมีและราคาของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ราคาและค่าส่วนผสมทางเคมีของวัตถุดิบในการหลอม

วัตถุดิบ	ราคา	THE CHEMICAL CONTENT						
	(฿/Kg)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	0.05	0.050	0.002	95.00	0.050	0.000	0.000
จ.	200	0.001	0.001	98.00	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	0.05	0.030	0.050	0.500	95.00	0.027	0.034
ช.	90	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042

2. ค่าส่วนผสมทางเคมี ที่ถูกกำหนดโดยลูกค้า

เป็นข้อจำกัดภายใต้เงื่อนไขที่ลูกค้าเป็นผู้กำหนด ซึ่งประกอบด้วย เกรดของอลูมิเนียมสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท และอลูมิเนียมแต่ละเกรดจะมีค่าส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.1 อลูมิเนียมเกรด Al.6063L เหมาะสำหรับงานรีดเส้นหน้าตัด ที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก ไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องรับแรงทางกล โดย อลูมิเนียมเกรด Al.6063L ประกอบด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีที่ลูกค้ากำหนดดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.200 ถึง 0.450
- เหล็ก (Fe) ไม่เกินร้อยละ 0.300
- ทองแดง (Cu) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- แมงกานีส (Mn) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- แมกนีเซียม (Mg) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.450 ถึง 0.550
- สังกะสี (Zn) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- ไททาเนียม (Ti) ไม่เกินร้อยละ 0.050

2.2 อลูมิเนียมเกรด Al.6063M เหมาะสำหรับงานรีดเส้นหน้าตัด ที่ต้องการความแข็งแรงปานกลาง ไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องรับแรงทางกล โดย อลูมิเนียมเกรด Al.6063M ประกอบด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีที่ลูกค้ากำหนดดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.350 ถึง 0.500
- เหล็ก (Fe) ไม่เกินร้อยละ 0.300
- ทองแดง (Cu) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- แมงกานีส (Mn) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- แมกนีเซียม (Mg) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.450 ถึง 0.600
- สังกะสี (Zn) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- ไททาเนียม (Ti) ไม่เกินร้อยละ 0.050

2.3 อลูมิเนียมเกรด Al.6063H เหมาะสำหรับงานรีดเส้นหน้าตัด ที่ต้องการความแข็งแรง และงานที่ต้องรับแรงทางกล โดย อลูมิเนียมเกรด Al.6063H ประกอบด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีที่ลูกค้ากำหนดดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.400 ถึง 0.600

- เหล็ก (Fe) ไม่เกินร้อยละ 0.300
- ทองแดง (Cu) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- แมงกานีส (Mn) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- แมกนีเซียม (Mg) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.500 ถึง 0.650
- สังกะสี (Zn) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- ไททาเนียม (Ti) ไม่เกินร้อยละ 0.050

2.4 อลูมิเนียมเกรด Al.6061 เหมาะสำหรับงานรีดเส้นหน้าตัด ที่ต้องการความแข็งแรงสูง และงานที่ต้องรับแรงทางกลสูง โดยอลูมิเนียมเกรด Al.6061 ประกอบด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีที่ลูกค้ากำหนดดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.600 ถึง 0.800
- เหล็ก (Fe) ไม่เกินร้อยละ 0.500
- ทองแดง (Cu) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.200 ถึง 0.400
- แมงกานีส (Mn) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.100 ถึง 0.200
- แมกนีเซียม (Mg) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.800 ถึง 1.000
- สังกะสี (Zn) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- ไททาเนียม (Ti) ไม่เกินร้อยละ 0.050

2.5 อลูมิเนียมเกรด Al.6082 เหมาะสำหรับงานรีดที่รับแรงทางกลสูง และงานทางด้านโครงสร้าง โดยอลูมิเนียมเกรดAl.6082 ประกอบด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีที่ลูกค้ากำหนดดังต่อไปนี้

- ซิลิคอน (Si) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.700 ถึง 1.300
- เหล็ก (Fe) ไม่เกินร้อยละ 0.500
- ทองแดง (Cu) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- แมงกานีส (Mn) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.400 ถึง 1.000
- แมกนีเซียม (Mg) อยู่ระหว่างร้อยละ 0.600 ถึง 1.200
- สังกะสี (Zn) ไม่เกินร้อยละ 0.100
- ไททาเนียม (Ti) ไม่เกินร้อยละ 0.050

อลูมิเนียมทั้ง 5 เกรดที่ลูกค้าเป็นผู้กำหนด สามารถสรุปร้อยละของค่าส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าส่วนผสมทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ที่ลูกค้ากำหนด

ค่าส่วนผสมของลูกค้าของอลูมิเนียมแต่ละชนิด		THE CHEMICAL CONTENT						
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
Al.6063L	Min	0.20	0.000	0.000	0.000	0.450	0.000	0.000
	Max	0.45	0.300	0.100	0.100	0.550	0.100	0.050
Al.6063M	Min	0.35	0.000	0.000	0.000	0.450	0.000	0.000
	Max	0.50	0.300	0.100	0.100	0.600	0.100	0.050
Al.6063H	Min	0.40	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000
	Max	0.60	0.300	0.100	0.100	0.650	0.100	0.050
Al.6061	Min	0.60	0.000	0.200	0.100	0.800	0.000	0.000
	Max	0.80	0.500	0.400	0.200	1.000	0.100	0.050
Al.6082	Min	0.70	0.000	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000
	Max	1.30	0.500	0.100	1.000	1.200	0.100	0.050

3. รูปแบบทั่วไปในการคำนวณค่าส่วนผสมทางเคมีของการหลอมอลูมิเนียม

การคำนวณค่าส่วนผสมทางเคมี โดยทั่วไปจะใช้วิธีเทียบบัญญัติไตรยางศ์ขอน้ำหนัก และความเข้มข้นของค่าส่วนผสมของวัตถุดิบแต่ละชนิด แต่ในทางปฏิบัตินิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ในการคำนวณหาค่าส่วนผสมทางเคมี เพราะง่าย สะดวก และลวดเร็วจึงเป็นที่นิยมใช้ในการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้รูปแบบทั่วไป

วัตถุดิบ	WEIGHT (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
1	50.00	50.00	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
2	30.00	30.00	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
3	20.00	20.00	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
น้ำหนักรวม	**100**	**100.00**	**0.41**	**0.472**	**0.1155**	**0.296**	**0.441**	**0.0629**	**0.0185**

(50x0.61)/100 + (30 x0.05)/100 + (20 x0.45)/100

การแทนค่าในการคำนวณ ค่า Si โดยโปรแกรมสำเร็จรูป

วัตถุดิบชนิดที่ 1 น้ำหนัก 50 Kg คิดเป็นร้อยละ 50 ของน้ำหนักทั้งหมด, มี Si ร้อยละ 0.61

วัตถุดิบชนิดที่ 2 น้ำหนัก 30 Kg คิดเป็นร้อยละ 30 ของน้ำหนักทั้งหมด, มี Si ร้อยละ 0.05

วัตถุดิบชนิดที่ 3 น้ำหนัก 20 Kg คิดเป็นร้อยละ 20 ของน้ำหนักทั้งหมด, มี Si ร้อยละ 0.45

กำหนดให้ X_1 แทนน้ำหนักเป็นร้อยละ ของวัตถุดิบชนิดที่ 1

X_2 แทนน้ำหนักเป็นร้อยละ ของวัตถุดิบชนิดที่ 2

X_3 แทนน้ำหนักเป็นร้อยละ ของวัตถุดิบชนิดที่ 3

C_1 แทนร้อยละ Si ของวัตถุดิบชนิดที่ 1

C_2 แทนร้อยละ Si ของวัตถุดิบชนิดที่ 2

C_3 แทนร้อยละ Si ของวัตถุดิบชนิดที่ 3

ดังนั้น ร้อยละเฉลี่ยของ Si $= (X_1C_1)/100 + (X_2C_2)/100 + (X_3C_3)/100$

$= (50x0.61)/100 + (30x0.05)/100 + (20x0.45)/100$

$= 0.410$

4. โครงสร้างมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้น

ในการนำตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้ในการแก้ปัญหาจำเป็นต้องศึกษาส่วนประกอบโครงสร้างต่างๆของตัวแบบและสร้างตัวแบบขึ้นแทนสถานการณ์หรือปัญหาที่เกิดขึ้นจริง โดยให้มีโครงสร้างของปัญหาครบถ้วน ในการสร้างตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจะต้องประกอบไปด้วยโครงสร้างต่อไปนี้

4.1 ตัวแปรที่ต้องตัดสินใจ (decision variable)

ได้แก่ สิ่งที่ต้องการหาผลลัพธ์ มักนิยมกำหนดให้เป็นตัวอักษร เช่น $X_1, X_2, X_3, X_4, \ldots X_n$ หรือ A, B, C, ... หรือ SAB, RSC, INT, ... เป็นต้น เช่นกำหนดให้ X_1 คือจำนวนการผลิตเก้าอี้ และ X_2 คือจำนวนการผลิตโต๊ะ

4.2 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

จะมีเพียงวัตถุประสงค์เดียว ซึ่งอยู่ในรูปของเป้าหมายการหาค่าสูงสุด (maximize) หรือต่ำสุด (minimize) เช่นการทำให้ได้กำไรสูงสุด หรือทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด เช่นเป้าหมายที่ต้องการคือการทำให้กำไรสูงที่สุด จากการใช้เวลาที่เหลือในแผนกต่างๆเพื่อผลิตเก้าอี้และโต๊ะ ในการผลิตเก้าอี้ 1 ตัวได้กำไร 100 บาท ถ้าผลิต X_1 ตัว จะได้กำไร $100 X_1$ บาท ถ้าผลิตโต๊ะ 1 ตัวได้กำไร200 บาท ถ้าผลิต X_2 ตัว จะได้กำไร $200 X_2$ บาท และเขียนเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

$$\text{maximize } Z = 100X_1 + 200X_2$$

4.3 ข้อจำกัด (constraints)

คือสมการหรืออสมการที่แสดงถึงขีดจำกัดในด้านทรัพยากร ความต้องการ หรือเงื่อนไขต่างๆของปัญหา โดยมีความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ภายใต้ข้อจำกัดแต่ละข้อเป็นเส้นตรง จำนวนข้อจำกัดจะขึ้นอยู่กับสภาพของปัญหาว่ายุ่งยากและซับซ้อนเพียงใด

รูปแบบของฟังก์ชั่นข้อจำกัด

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \ldots a_{1n}X_n (\leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} =) b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \ldots a_{21}X_n (\leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} =) b_2$$

$$\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots$$

$$\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \ldots a_{mn}X_n (\leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} =) b_m$$

โดยที่

a_{ij} = สัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ j ในเงื่อนไขบังคับที่ i

b_i = ค่าทางขวามือของเงื่อนไขบังคับที่ i

ค่า a_{ij} จะเป็นค่าคงที่ที่แสดงอัตราการใช้ทรัพยากร ในขณะที่ค่า b_i จะเป็นค่าคงที่ที่แสดงจำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ ประการสำคัญคือค่า a_{ij} และค่า b_i จะต้องมีหน่วยเหมือนกันเช่น นาที ชั่วโมง กิโลกรัม หน่วย โหล ฟุต นิ้ว ฯลฯ

เครื่องหมาย ของเงื่อนไขบังคับสามารถแสดงในรูป $\leq$ หรือ $\geq$ หรือ $=$ โดยเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเงื่อนไขของเงื่อนไขบังคับนั้นๆ

4.4 เงื่อนไขบังคับ (restrictions)

แสดงถึงเงื่อนไขของผลลัพธ์ที่ได้ว่าค่าตัวแปรที่ต้องตัดสินใจ (decision variables) ทุกตัวจะต้องมีค่าไม่ติดลบ หรือ $X_j \geq 0$ (j = 1, 2, ... n)

สรุปรูปแบบสมการเชิงเส้น

maximize Z $= C_1 X_1 + C_2 X_2 + \ldots C_n X_n$

(or minimize)

subject to:

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \ldots a_{1n}X_n (\leq, \geq, =) b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \ldots a_{21}X_n (\leq, \geq, =) b_2$$

$$\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots$$

$$\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \ldots a_{mn}X_n (\leq, \geq, =) b_m$$

$$X_1, X_2, \ldots X_n \geq 0$$

โดยให้

X_j = ตัวแปรที่ต้องตัดสินใจ

C_j = สัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ j ในฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

a_{ij} = อัตราการใช้ทรัพยากรของตัวแปรที่ j ในเงื่อนไขบังคับที่ i

b_i = จำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ของเงื่อนไขบังคับที่ i

5. สร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นในการหลอมอลูมิเนียม

5.1 การสร้างฟังก์ชันของแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น

1. การตั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเป็นการหาค่าต่ำสุด เขียนได้ดังนี้

Minimize Z

2. กำหนดข้อจำกัดต่าง ๆในกระบวนการหลอมอลูมิเนียม

- ข้อกำหนดที่ถูกกำหนดด้วยน้ำหนักของเตาหลอม
- ค่าส่วนผสมทางเคมีของวัตถุดิบ (Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Zn และTi)
- ค่าส่วนผสมทางเคมีของลูกค้า (Al.6061 ,Al.6063L, Al.6063M , Al.6063H , Al.6082)
- ราคาของวัตถุดิบแต่ละชนิด
- ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิด

3. การสร้างฟังก์ชันข้อจำกัด

- สมการฟังชันที่ถูกกำหนดด้วยน้ำหนักของเตาหลอม
- สมการฟังชันที่ถูกกำหนดด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีของซิลิคอน (Si)
- สมการฟังชันที่ถูกกำหนดด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก (Fe)
- สมการฟังชันที่ถูกกำหนดด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีของทองแดง (Cu)
- สมการฟังชันที่ถูกกำหนดด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีของแมงกานีส (Mn)
- สมการฟังชันที่ถูกกำหนดด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีของแมกนีเซียม (Mg)
- สมการฟังชันที่ถูกกำหนดด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีของสังกะสี (Zn)
- สมการฟังชันที่ถูกกำหนดด้วยค่าส่วนผสมทางเคมีของไทเทเนียม (Ti)

4. จากการตั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และการสร้างฟังก์ชันข้อจำกัด แล้วทำการแก้สมการเพื่อให้ได้แบบจำลองการโปรแกรมชิงเส้น

5. นำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นดังกล่าวไปทำการหาคำตอบ เพื่อหาต้นทุนต่ำสุดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lindo และตรวจสอบความถูกต้อง

5.2 นำคำตอบที่ได้จากตันแบบโปรแกรมเชิงเส้นไปแทนค่าในรูปแบบทั่วไป

หลังจากได้คำตอบจากโปรแกรม Lindo แล้ว นำน้ำหนักของวัตถุดิบไปแทนค่าการคำนวณในรูปแบบทั่วไป เพื่อทำการตรวจสอบว่าค่าส่วนผสมทางเคมีที่ได้ ตรงตามที่ลูกค้ากำหนดหรือไม่

5.3 เปรียบเทียบผมต่างระหว่างรูปแบบทั่วไปกับตันแบบโปรแกรมเชิงเส้น

เนื่องจากการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อต้องการหาต้นทุนต่ำสุด เมื่อมีคำตอบที่หาได้จากโปรแกรม Lindo แล้ว ก็นำคำตอบเหล่านั้นมาเปรียบเทียบต้นทุน ระหว่างคำตอบที่ได้จากรูปแบบทั่วไป กับคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lindo

5.4 นำคำตอบที่ได้จากตันแบบโปรแกรมเชิงเส้นไปทดสอบในกระบวนการหลอม

เมื่อได้คำตอบจากโปรแกรม Lindo แล้วในขั้นตอนสุดท้ายของการวิจัย คือการนำคำตอบของปริมาณวัตถุดิบไปทดสอบในกระบวนการหลอมอลูมิเนียม โดยทางผู้วิจัยจะทำการทดสอบเฉพาะ Al.6063L เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการผลิตต้องอาศัยเวลา และมีต้นทุนค่อนข้างสูง หลังจากนั้นก็จะเป็นการสรุปการวิจัยตามโครงการดังกล่าว

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการหลอมอลูมิเนียมของบริษัทฯ จะใช้วัตถุดิบในการหลอมหลัก ๆ 7 ชนิด โดยที่วัตถุดิบแต่ละชนิดก็จะมีค่าส่วนผสมทางเคมี (Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Zn และ Ti)ที่แตกต่างกัน และราคาของวัตถุดิบแต่ละชนิด ก็จะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์หรือปริมาณสิ่งเจือปนของธาตุอื่น ๆ การนำวัตถุดิบดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการหลอมอลูมิเนียมนั้น ยังมีข้อจำกัดเรื่องน้ำหนักของวัตถุดิบที่จะนำเข้าสู่เตาหลอม เพราะเตาหลอมอลูมิเนียมมีความจุได้ไม่เกิน 22,000 กิโลกรัม นอกจากข้อกำหนดเรื่องวัตถุดิบและขนาดความจุของเตาหลอมอลูมิเนียมแล้ว ในกระบวนการหลอมอลูมิเนียมยังมีข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่ง คือค่าส่วนผสมทางเคมีที่ลูกค้า (Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Zn และ Ti) ที่ลูกค้าเป็นผู้กำหนด ทั้งที่ขึ้นอยู่กับชนิดของอัลลอยย์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

จากปัญหาดังกล่าว สามารถกำหนดตัวแปรในการตัดสินใจได้ดังนี้

กำหนดให้

X_1 = น้ำหนักกิโลกรัมวัตถุดิบชนิด ก. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 1

X_2 = น้ำหนักกิโลกรัมวัตถุดิบชนิด ข. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 2

X_3 = น้ำหนักกิโลกรัมวัตถุดิบชนิด ค. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 3

X_4 = น้ำหนักกิโลกรัมวัตถุดิบชนิด ง. ที่มีแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุหลัก

X_5 = น้ำหนักกิโลกรัมวัตถุดิบชนิด จ. ที่มีทองแดง (Cu) เป็นธาตุหลัก

X_6 = น้ำหนักกิโลกรัมวัตถุดิบชนิด ฉ. ที่มีแมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุหลัก

X_7 = น้ำหนักกิโลกรัมวัตถุดิบชนิด ค. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 4

1. การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น ในการหลอมอลูมิเนียมเกรด Al.6063L

1.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อลูมิเนียมเกรด Al.6063L

จากตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 นำมาเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัด ได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ฟังก์ชันข้อจำกัด

$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7$	=	22,000 (ข้อจำกัดเรื่องความจุเตาหลอม Kg)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\geq$	$0.200(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\leq$	$0.450(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.700X_1+0.151X_2+0.382X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.030X_6+0.500X_7$	$\leq$	$0.300(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Fe)
$0.220X_1+0.001X_2+0.026X_3+0.002X_4+98.00X_5+0.050X_6+0.030X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Cu)
$0.580X_1+0.001X_2+0.030X_3+95.00X_4+0.001X_5+0.500X_6+0.029X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mn)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\geq$	$0.450(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\leq$	$0.550(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.107X_1+0.008X_2+0.035X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.027X_6+0.050X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Zn)
$0.026X_1+0.005X_2+0.020X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.034X_6+0.042X_7$	$\leq$	$0.050(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Ti)

1.2 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นของ Al.6063L คือ

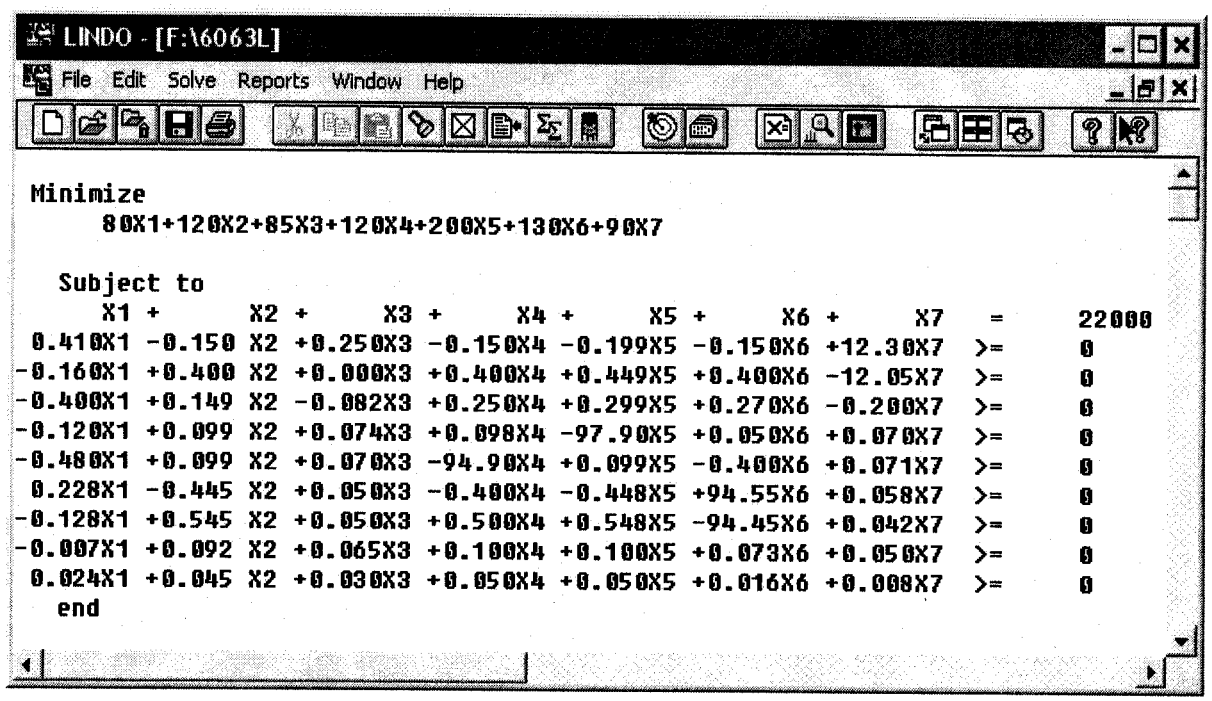
จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัดของ Al.6063L สามารถแก้สมการได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ภายใต้ข้อจำกัด

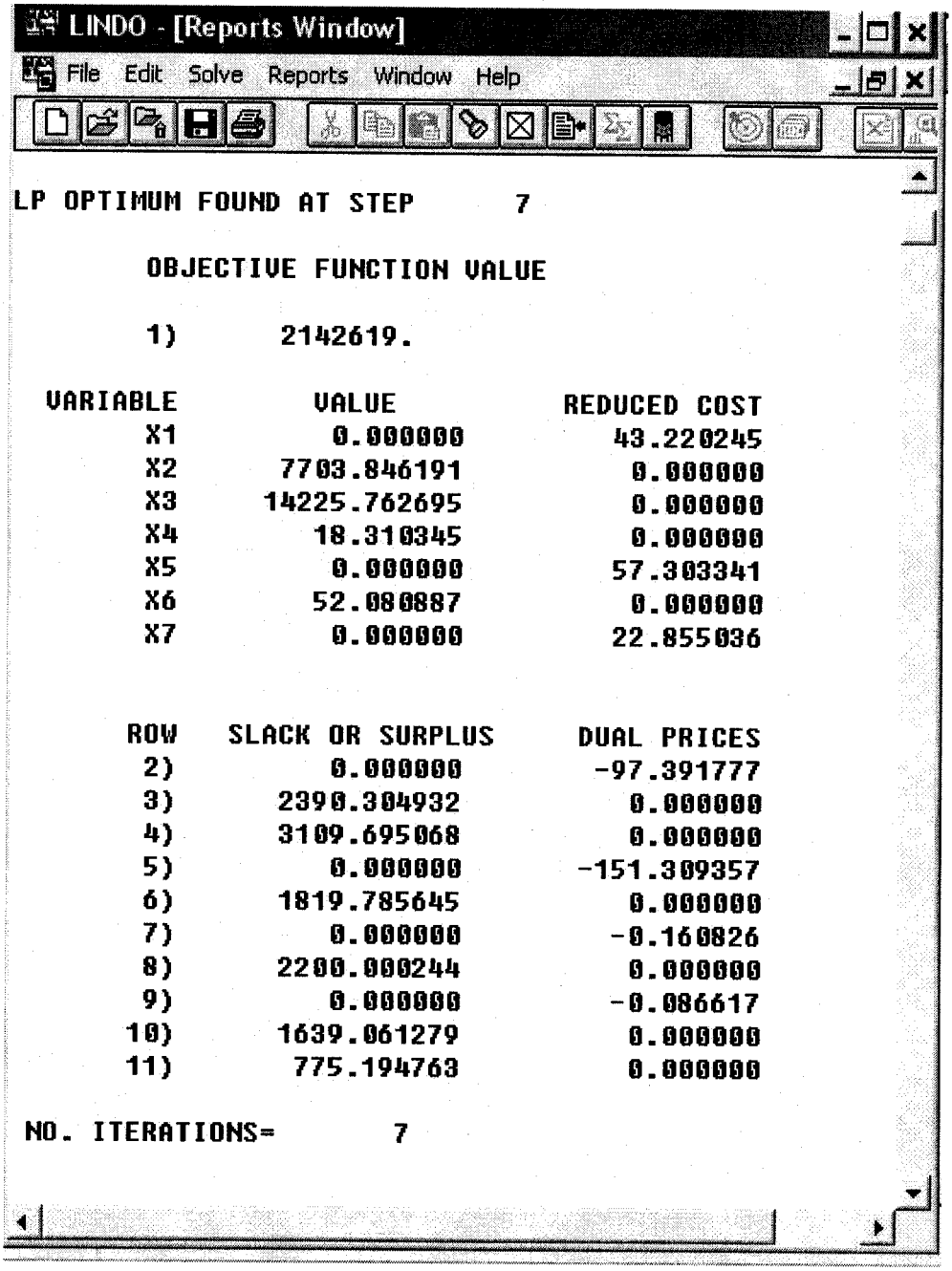
X_1	$+X_2$	$+X_3$	$+X_4$	$+X_5$	$+X_6$	$+X_7$	=	22,000
$0.410X_1$	$-0.150X_2$	$+0.250\ X_3$	$-0.150\ X_4$	$-0.199\ X_5$	$-0.150\ X_6$	$+12.30\ X_7$	$\geq$	0
$-0.160X_1$	$+0.400X_2$	$+0.000\ X_3$	$+0.400\ X_4$	$+0.449\ X_5$	$+0.400\ X_6$	$-12.05\ X_7$	$\geq$	0
$-0.400X_1$	$+0.149X_2$	$-0.082\ X_3$	$+0.250\ X_4$	$+0.299\ X_5$	$+0.270\ X_6$	$-0.200\ X_7$	$\geq$	0
$-0.120X_1$	$+0.099X_2$	$+0.074\ X_3$	$+0.098\ X_4$	$-97.90\ X_5$	$+0.050\ X_6$	$+0.070\ X_7$	$\geq$	0
$-0.480X_1$	$+0.099X_2$	$+0.070\ X_3$	$-94.90\ X_4$	$+0.099\ X_5$	$-0.400\ X_6$	$+0.071\ X_7$	$\geq$	0
$0.228X_1$	$-0.445X_2$	$+0.050\ X_3$	$-0.400\ X_4$	$-0.448\ X_5$	$+94.55\ X_6$	$+0.058\ X_7$	$\geq$	0
$-0.128X_1$	$+0.545X_2$	$+0.050\ X_3$	$+0.500\ X_4$	$+0.548\ X_5$	$-94.45X_6$	$+0.042\ X_7$	$\geq$	0
$-0.007X_1$	$+0.092X_2$	$+0.065\ X_3$	$+0.100\ X_4$	$+0.100\ X_5$	$+0.073\ X_6$	$+0.050\ X_7$	$\geq$	0
$0.024X_1$	$+0.045X_2$	$+0.030\ X_3$	$+0.050\ X_4$	$+0.050\ X_5$	$+0.016\ X_6$	$+0.008\ X_7$	$\geq$	0
				$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$			$\geq$	0

จากแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นข้างต้น ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo

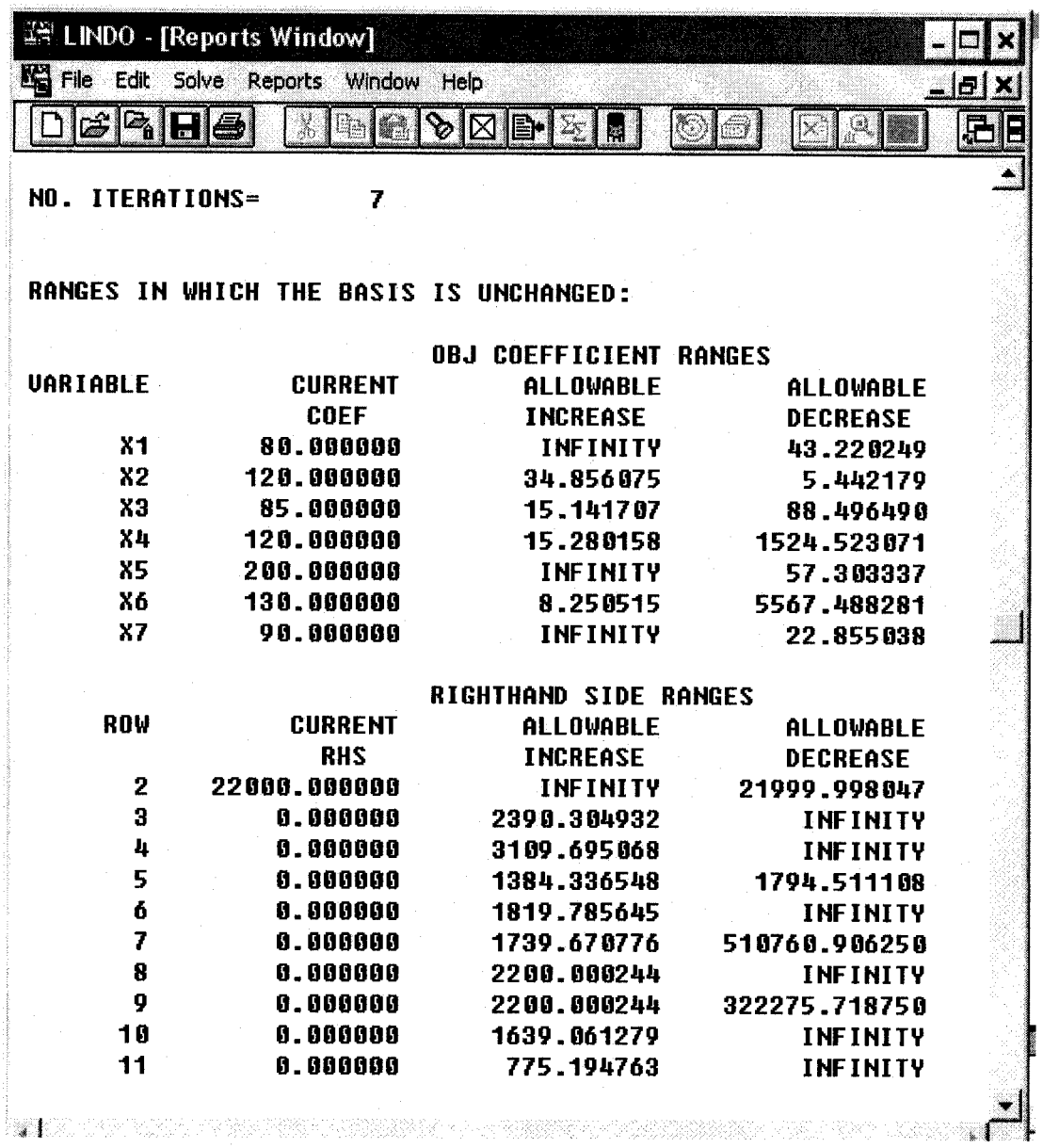


ภาพที่ 4.1 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al.6063L ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo

1.3 ผลการหาคำตอบด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม Lindo อลูมิเนียมเกรด Al.6063L



ภาพที่ 4.2 ผลการหาคำตอบของ Al. 6063L ด้วยโปรแกรม Lindo



LINDO - [Reports Window]

File Edit Solve Reports Window Help

NO. ITERATIONS= 7

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	80.000000	INFINITY	43.220249
X2	120.000000	34.856075	5.442179
X3	85.000000	15.141707	88.496490
X4	120.000000	15.280158	1524.523071
X5	200.000000	INFINITY	57.303337
X6	130.000000	8.250515	5567.488281
X7	90.000000	INFINITY	22.855038

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	22000.000000	INFINITY	21999.998047
3	0.000000	2390.304932	INFINITY
4	0.000000	3109.695068	INFINITY
5	0.000000	1384.336548	1794.511108
6	0.000000	1819.785645	INFINITY
7	0.000000	1739.670776	510760.906250
8	0.000000	2200.000244	INFINITY
9	0.000000	2200.000244	322275.718750
10	0.000000	1639.061279	INFINITY
11	0.000000	775.194763	INFINITY

ภาพที่ 4.3 ผลการหาคำตอบของ Al. 6063L ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ)

1.4 การอ่านคำตอบ และความหมายจากโปรแกรม Lindo

อลูมิเนียมเกรด Al.6063L

```
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      7

        OBJECTIVE FUNCTION VALUE

     1)       2142619.

VARIABLE        VALUE          REDUCED COST
      X1         0.000000        43.220245
      X2      7703.846191         0.000000
      X3     14225.762695         0.000000
      X4        18.310345         0.000000
      X5         0.000000        57.303341
      X6        52.080887         0.000000
      X7         0.000000        22.855036
```

ภาพที่ 4.4 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al.6063L

ผลการหาคำตอบโปรแกรม Lindo ในการหลอมอลูมิเนียมเกรด 6063L สรุปได้ดังนี้

1. จำนวนรอบในการแก้ปัญหาจนได้คำตอบ เท่ากับ 7 รอบ
2. ต้นทุนที่ต่ำสุดในการหลอม เท่ากับ 2,142,619 บาท
3. ปริมาณวัตถุดิบในการหลอมที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด เท่ากับ

วัตถุดิบ ก. (X_1)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ ข. (X_2)	เท่ากับ	7,703.846191 Kg
วัตถุดิบ ค. (X_3)	เท่ากับ	14,225.762695 Kg
วัตถุดิบ ง. (X_4)	เท่ากับ	18.310345 Kg
วัตถุดิบ จ. (X_5)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ ฉ. (X_6)	เท่ากับ	52.080887 Kg
วัตถุดิบ ช. (X_7)	เท่ากับ	0.000000 Kg
	น้ำหนักรวม	22,000.000000 Kg

4. หากมีการใช้วัตถุดิบ ก. (X_1) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 43.220245 บาท / หน่วย
   หากมีการใช้วัตถุดิบ จ. (X_5) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 57.303341 บาท / หน่วย
   หากมีการใช้วัตถุดิบ ช. (X_7) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 22.855036 บาท / หน่วย
5. วัตถุดิบ ก. (X_1) ไม่ถูกใช้
   วัตถุดิบ จ. (X_5) ไม่ถูกใช้
   วัตถุดิบ ช. (X_7) ไม่ถูกใช้

2. การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น ในการหลอมอลูมิเนียมเกรดAl.6063M

2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อลูมิเนียมเกรด Al. 6063 M

จากตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 นำมาเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัด ได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ฟังก์ชันข้อจำกัด

$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7$	=	22,000 (ข้อจำกัดเรื่อง ความจุของเตาหลอม Kg)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\geq$	$0.350(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\leq$	$0.500(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.700X_1+0.151X_2+0.382X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.030X_6+0.500X_7$	$\leq$	$0.300(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Fe)
$0.220X_1+0.001X_2+0.026X_3+0.002X_4+98.00X_5+0.050X_6+0.030X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Cu)
$0.580X_1+0.001X_2+0.030X_3+95.00X_4+0.001X_5+0.500X_6+0.029X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mn)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\geq$	$0.450(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\leq$	$0.600(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.107X_1+0.008X_2+0.035X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.027X_6+0.050X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Zn)
$0.026X_1+0.005X_2+0.020X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.034X_6+0.042X_7$	$\leq$	$0.050(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Ti)

2.2 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นของ Al. 6063 M คือ

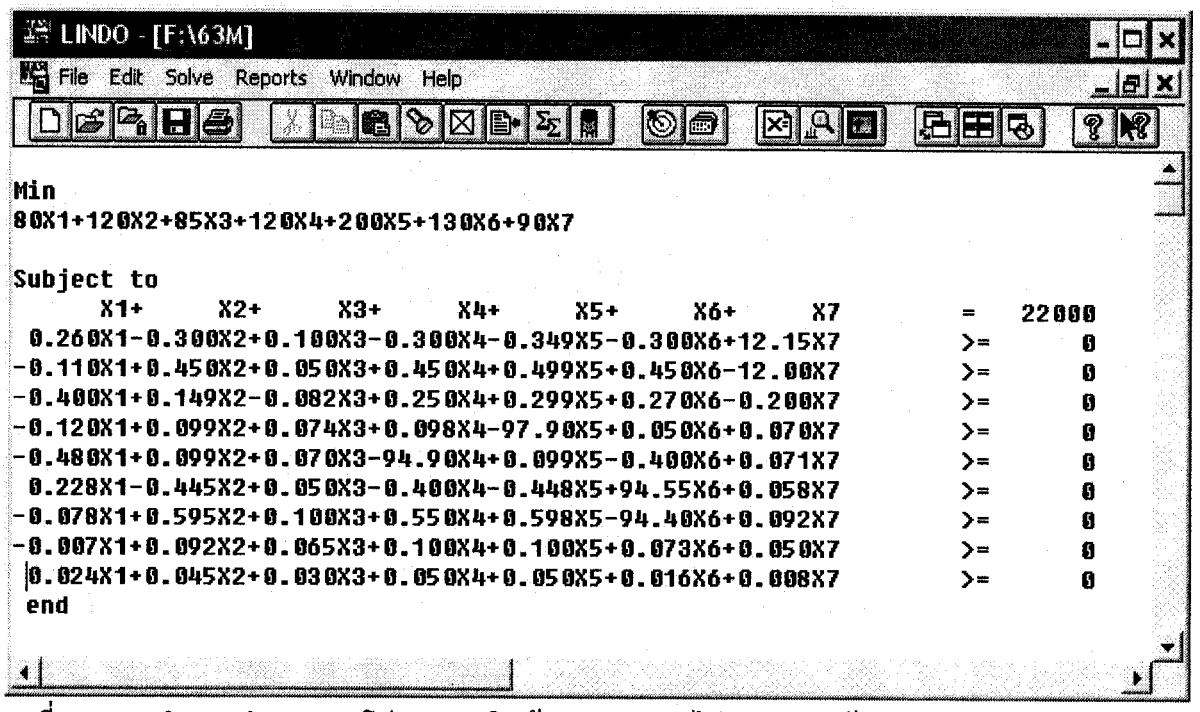
จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัดของ Al.6063M สามารถแก้สมการได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ภายใต้ข้อจำกัด

X_1	$+X_2$	$+X_3$	$+X_4$	$+X_5$	$+X_6$	$+X_7$	=	22,000
$0.260X_1$	$-0.300X_2$	$+0.100X_3$	$-0.300X_4$	$-0.349X_5$	$-0.300X_6$	$+12.15X_7$	$\geq$	0 (Si)
$-0.110X_1$	$+0.450X_2$	$+0.050X_3$	$+0.450X_4$	$+0.499X_5$	$+0.450X_6$	$-12.00X_7$	$\geq$	0 (Si)
$-0.400X_1$	$+0.149X_2$	$-0.082X_3$	$+0.250X_4$	$+0.299X_5$	$+0.270X_6$	$-0.200X_7$	$\geq$	0 (Fe)
$-0.120X_1$	$+0.099X_2$	$+0.074X_3$	$+0.098X_4$	$-97.90X_5$	$+0.050X_6$	$+0.070X_7$	$\geq$	0 (Cu)
$-0.480X_1$	$+0.099X_2$	$+0.070X_3$	$-94.90X_4$	$+0.099X_5$	$-0.400X_6$	$+0.071X_7$	$\geq$	0 (Mn)
$0.228X_1$	$-0.445X_2$	$+0.050X_3$	$-0.400X_4$	$-0.448X_5$	$+94.55X_6$	$+0.058X_7$	$\geq$	0 (Mg)
$-0.078X_1$	$+0.595X_2$	$+0.100X_3$	$+0.550X_4$	$+0.598X_5$	$-94.40X_6$	$+0.092X_7$	$\geq$	0 (Mg)
$-0.007X_1$	$+0.092X_2$	$+0.065X_3$	$+0.100X_4$	$+0.100X_5$	$+0.073X_6$	$+0.050X_7$	$\geq$	0 (Zn)
$0.024X_1$	$+0.045X_2$	$+0.030X_3$	$+0.050X_4$	$+0.050X_5$	$+0.016X_6$	$+0.008X_7$	$\geq$	0 (Ti)
				$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$			$\geq$	0

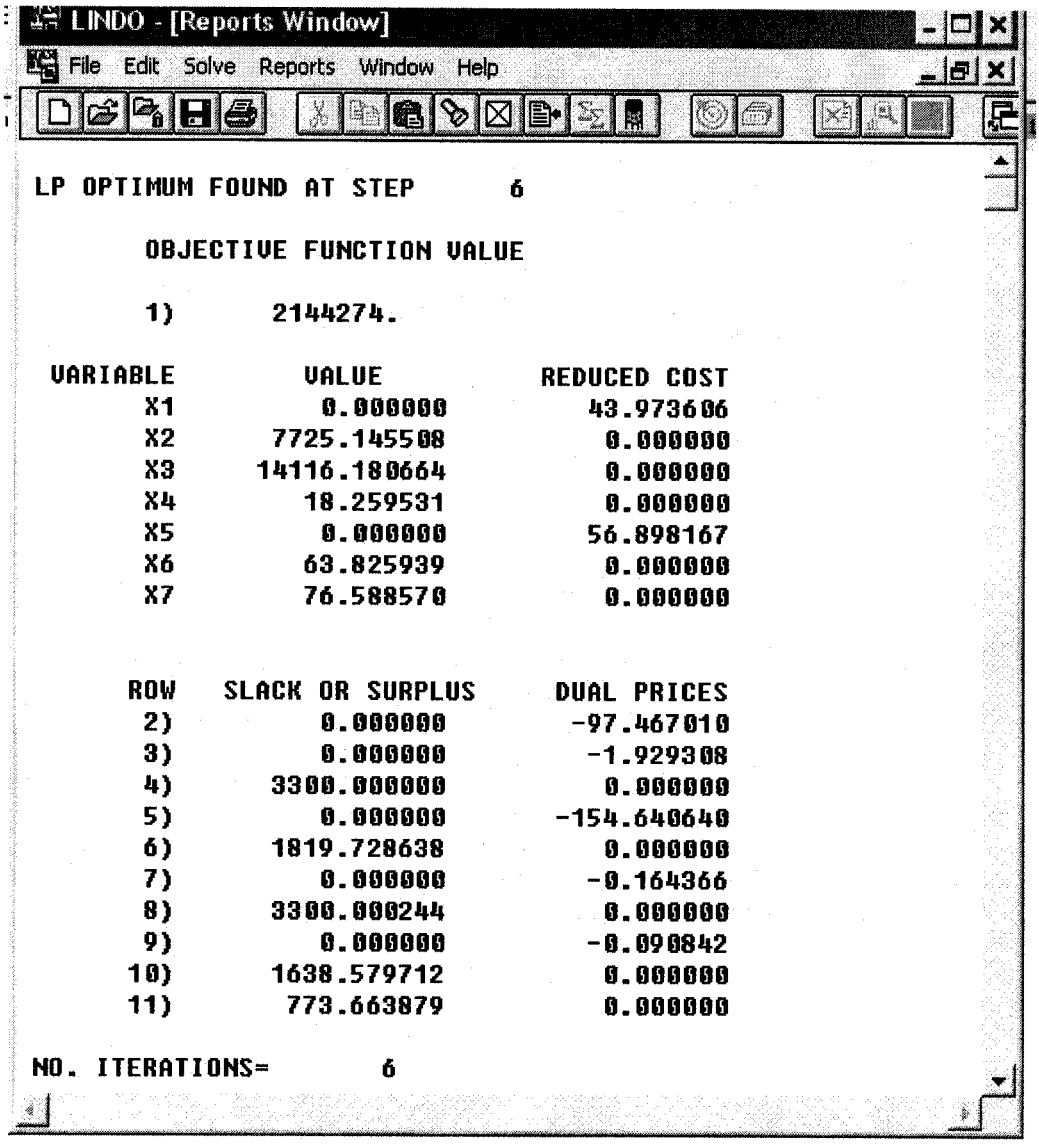
จากแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นข้างต้น ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo



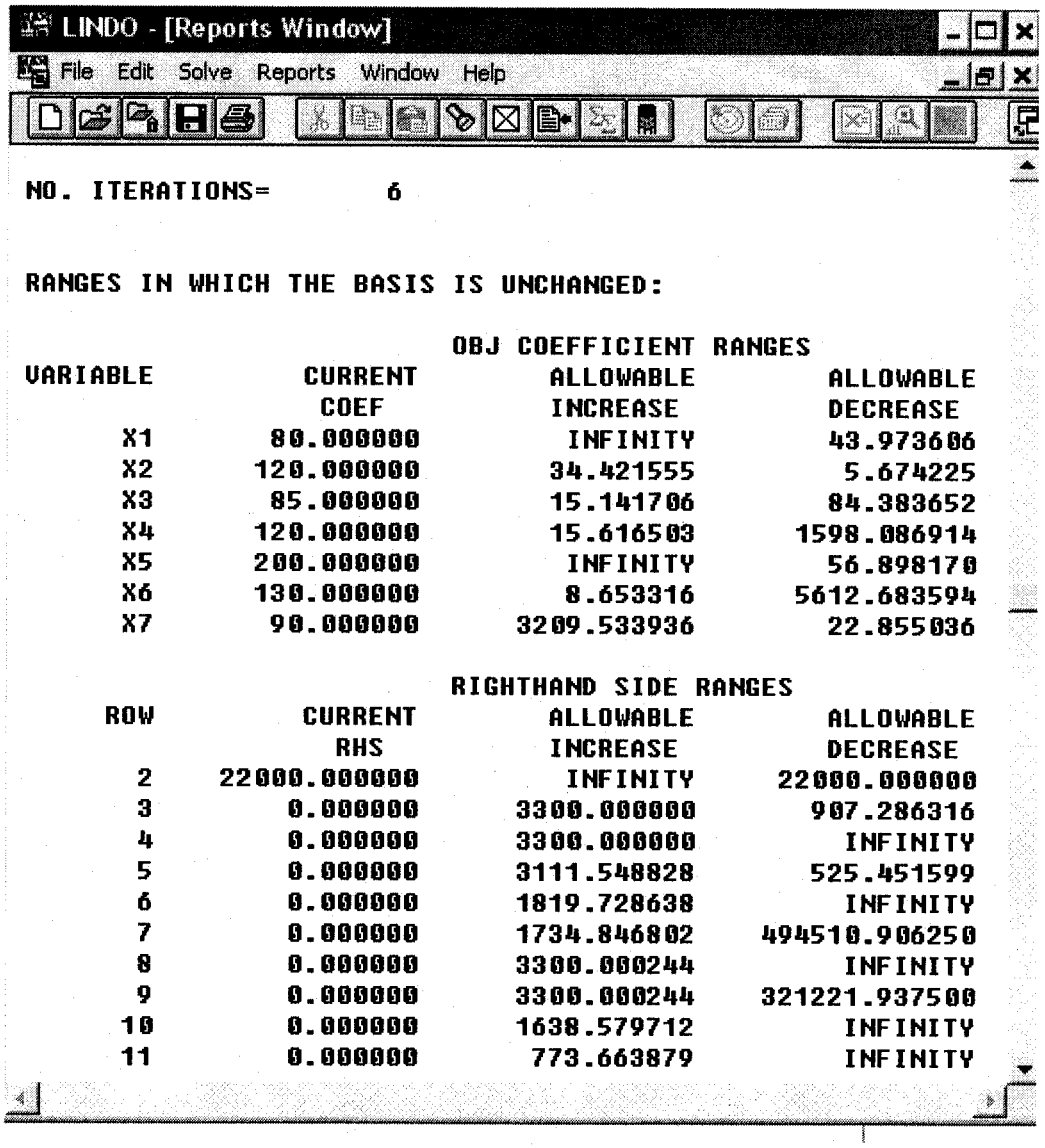
ภาพที่ 4.5 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al. 6063M ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo

2.3 ผลการหาคำตอบด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม Lindo

อลูมิเนียมเกรด Al.6063 M



ภาพที่ 4.6 ผลการหาคำตอบของ Al.6063M ด้วยโปรแกรม Lindo



NO. ITERATIONS= 6

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	80.000000	INFINITY	43.973606
X2	120.000000	34.421555	5.674225
X3	85.000000	15.141706	84.383652
X4	120.000000	15.616503	1598.086914
X5	200.000000	INFINITY	56.898170
X6	130.000000	8.653316	5612.683594
X7	90.000000	3209.533936	22.855036

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	22000.000000	INFINITY	22000.000000
3	0.000000	3300.000000	907.286316
4	0.000000	3300.000000	INFINITY
5	0.000000	3111.548828	525.451599
6	0.000000	1819.728638	INFINITY
7	0.000000	1734.846802	494510.906250
8	0.000000	3300.000244	INFINITY
9	0.000000	3300.000244	321221.937500
10	0.000000	1638.579712	INFINITY
11	0.000000	773.663879	INFINITY

ภาพที่ 4.7 ผลการหาคำตอบของ A1.6063M ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ)

2.4 การอ่านคำตอบ และความหมายจากโปรแกรม Lindo

อลูมิเนียมเกรด Al.6063M

```
 LP OPTIMUM FOUND AT STEP      6

      OBJECTIVE FUNCTION VALUE

      1)      2144274.

VARIABLE        VALUE          REDUCED COST
      X1         0.000000         43.973606
      X2      7725.145508          0.000000
      X3     14116.180664          0.000000
      X4        18.259531          0.000000
      X5         0.000000         56.898167
      X6        63.825939          0.000000
      X7        76.588570          0.000000
```

ภาพที่ 4.8 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al. 6063M

ผลการหาคำตอบโปรแกรม Lindo ในการหลอมอลูมิเนียมเกรด 6063M สรุปได้ดังนี้

1 จำนวนรอบในการแก้ปัญหาจนได้คำตอบ เท่ากับ 6 รอบ

2 ต้นทุนที่ต่ำสุดในการหลอม เท่ากับ 2,144,274 บาท

3 ปริมาณวัตถุดิบในการหลอมที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด เท่ากับ

วัตถุดิบ ก. (X_1)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ ข. (X_2)	เท่ากับ	7,725.145508 Kg
วัตถุดิบ ค. (X_3)	เท่ากับ	14,116.180664 Kg
วัตถุดิบ ง. (X_4)	เท่ากับ	18.259531 Kg
วัตถุดิบ จ. (X_5)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ ฉ. (X_6)	เท่ากับ	63.825939 Kg
วัตถุดิบ ช. (X_7)	เท่ากับ	76.588570 Kg
	น้ำหนักรวม	22,000.000000 Kg

4 หากมีการใช้วัตถุดิบ ก. (X_1) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 943.973606 บาท / หน่วย
หากมีการใช้วัตถุดิบ จ. (X_5) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 56.898167 บาท / หน่วย

5 วัตถุดิบ ก. (X_1) ไม่ถูกใช้
วัตถุดิบ จ. (X_5) ไม่ถูกใช้

3. การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น ในการหลอมอลูมิเนียมเกรด Al. 6063H

3.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อลูมิเนียมเกรด Al. 6063 H

จากตารางที่ 3.1และ ตารางที่ 3.2 นำมาเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัด ได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ฟังก์ชันข้อจำกัด

$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7$	=	22,000 (ข้อจำกัดเรื่องความจุของเตาหลอม Kg)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\geq$	$0.400(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\leq$	$0.600(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.700X_1+0.151X_2+0.382X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.030X_6+0.500X_7$	$\leq$	$0.300(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Fe)
$0.220X_1+0.001X_2+0.026X_3+0.002X_4+98.00X_5+0.050X_6+0.030X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Cu)
$0.580X_1+0.001X_2+0.030X_3+95.00X_4+0.001X_5+0.500X_6+0.029X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mn)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\geq$	$0.500(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\leq$	$0.650(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.107X_1+0.008X_2+0.035X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.027X_6+0.050X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Zn)
$0.026X_1+0.005X_2+0.020X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.034X_6+0.042X_7$	$\leq$	$0.050(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Ti)

3.2 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นของ Al. 6063 H คือ

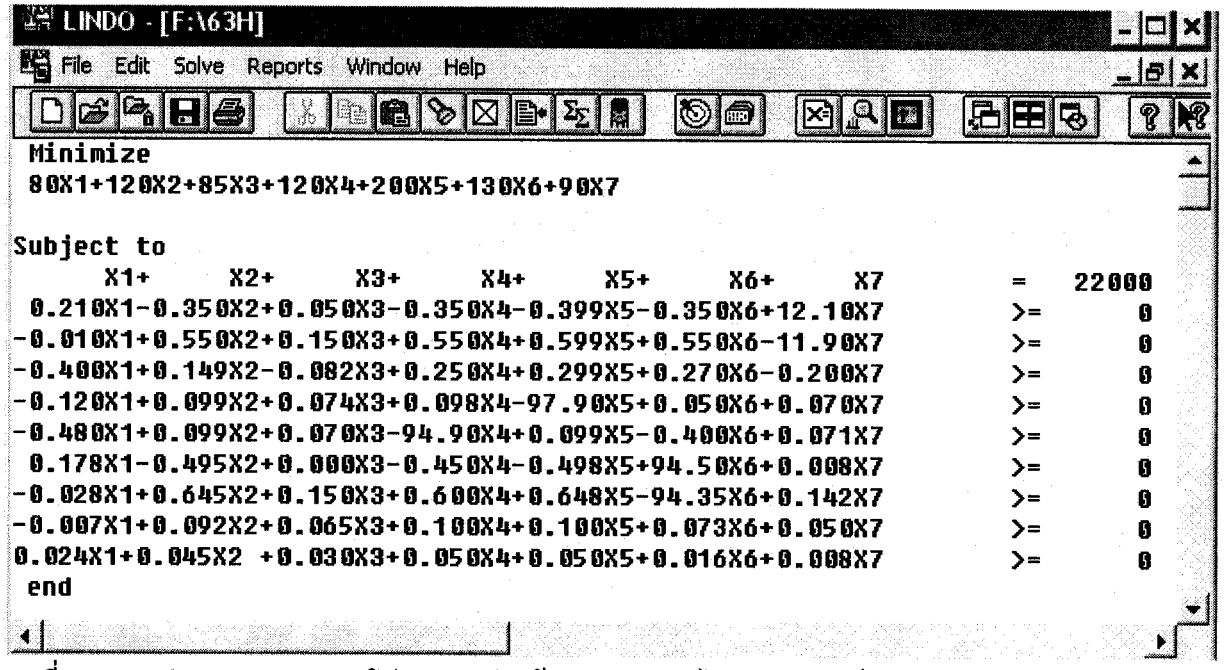
จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัดของ Al.6063H สามารถแก้สมการได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ภายใต้ข้อจำกัด

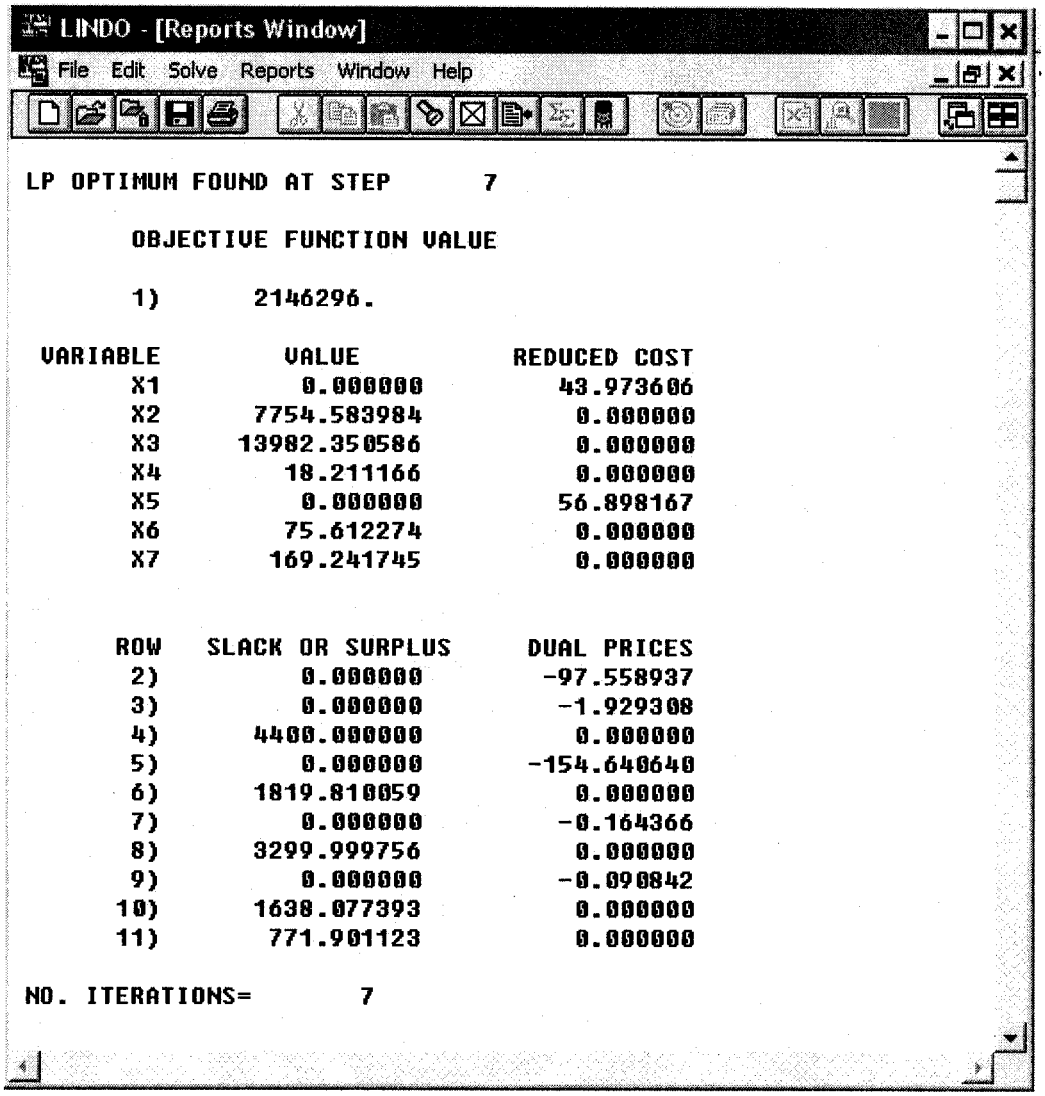
X_1	$+X_2$	$+X_3$	$+X_4$	$+X_5$	$+X_6$	$+X_7$	=	22,000	
$0.210X_1$	$-0.350\ X_2$	$+0.050\ X_3$	$-0.350\ X_4$	$-0.399\ X_5$	$-0.350\ X_6$	$+12.10\ X_7$	$\geq$	0	(Si)
$-0.010X_1$	$+0.550\ X_2$	$+0.150\ X_3$	$+0.550\ X_4$	$+0.599\ X_5$	$+0.550\ X_6$	$-11.90\ X_7$	$\geq$	0	(Si)
$-0.400X_1$	$+0.149\ X_2$	$-0.082\ X_3$	$+0.250\ X_4$	$+0.299\ X_5$	$+0.270\ X_6$	$-0.200\ X_7$	$\geq$	0	(Fe)
$-0.120X_1$	$+0.099\ X_2$	$+0.074\ X_3$	$+0.098\ X_4$	$-97.90\ X_5$	$+0.050\ X_6$	$+0.070\ X_7$	$\geq$	0	(Cu)
$-0.480X_1$	$+0.099\ X_2$	$+0.070\ X_3$	$-94.90\ X_4$	$+0.099\ X_5$	$-0.400\ X_6$	$+0.071\ X_7$	$\geq$	0	(Mn)
$0.178X_1$	$-0.495\ X_2$	$0.000\ X_3$	$-0.450\ X_4$	$-0.498\ X_5$	$+94.50\ X_6$	$+0.008\ X_7$	$\geq$	0	(Mg)
$-0.028X_1$	$+0.645\ X_2$	$+0.150\ X_3$	$+0.600\ X_4$	$+0.648\ X_5$	$-94.35\ X_6$	$+0.142\ X_7$	$\geq$	0	(Mg)
$-0.007X_1$	$+0.092\ X_2$	$+0.065\ X_3$	$+0.100\ X_4$	$+0.100\ X_5$	$+0.073\ X_6$	$+0.050\ X_7$	$\geq$	0	(Zn)
$0.024X_1$	$+0.045\ X_2$	$+0.030\ X_3$	$+0.050\ X_4$	$+0.050\ X_5$	$+0.016\ X_6$	$+0.008\ X_7$	$\geq$	0	(Ti)
				$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$			$\geq$	0	

จากแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นข้างต้น ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo

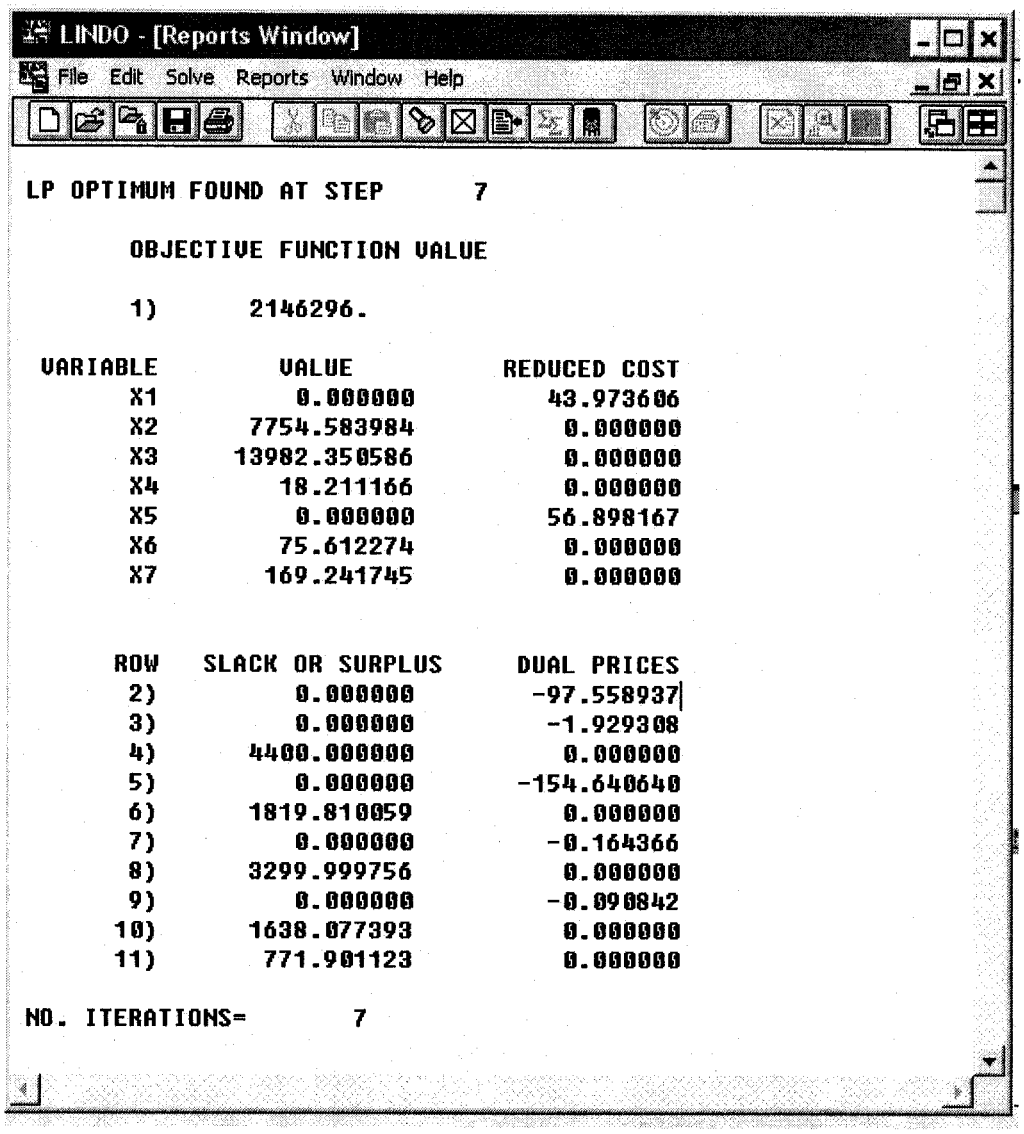


ภาพที่ 4.9 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al.6063H ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo

3.3 ผลการหาคำตอบด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม Lindo อลูมิเนียมเกรด Al.6063 H



ภาพที่ 4.10 ผลการหาคำตอบของ Al.6063H ด้วยโปรแกรม Lindo



ภาพที่ 4.11 ผลการหาคำตอบของ A1.6063H ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ)

3.4 การอ่านคำตอบ และความหมายจากโปรแกรม Lindo

อลูมิเนียมเกรด Al.6063H

```
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      7

        OBJECTIVE FUNCTION VALUE

        1)      2146296.

 VARIABLE        VALUE          REDUCED COST
      X1         0.000000         43.973606
      X2      7754.583984          0.000000
      X3     13982.350586          0.000000
      X4        18.211166          0.000000
      X5         0.000000         56.898167
      X6        75.612274          0.000000
      X7       169.241745          0.000000
```

ภาพที่ 4.12 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al. 6063H

ผลการหาคำตอบโปรแกรม Lindo ในการหลอมอลูมิเนียมเกรด 6063H สรุปได้ดังนี้

1 จำนวนรอบในการแก้ปัญหาจนได้คำตอบ เท่ากับ 7 รอบ

2 ต้นทุนที่ต่ำสุดในการหลอม เท่ากับ 2,146,296 บาท

3 ปริมาณวัตถุดิบในการหลอมที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด เท่ากับ

วัตถุดิบ ก. (X_1)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ ข. (X_2)	เท่ากับ	17,754.583984 Kg
วัตถุดิบ ค. (X_3)	เท่ากับ	13,982.350586 Kg
วัตถุดิบ ง. (X_4)	เท่ากับ	18.211166 Kg
วัตถุดิบ จ. (X_5)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ ฉ. (X_6)	เท่ากับ	75.612274 Kg
วัตถุดิบ ช. (X_7)	เท่ากับ	169.241745 Kg
	น้ำหนักรวม	22,000.000000 Kg

4 หากมีการใช้วัตถุดิบ ก. (X_1) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 43.973606 บาท / หน่วย
หากมีการใช้วัตถุดิบ จ. (X_5) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 56.898167 บาท / หน่วย

5 วัตถุดิบ ก. (X_1) ไม่ถูกใช้
วัตถุดิบ จ. (X_5) ไม่ถูกใช้

4. การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น ในการหลอมอลูมิเนียมเกรด Al.6061

4.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อลูมิเนียมเกรด Al.6061

จากตารางที่ 3.1และ ตารางที่ 3.2 นำมาเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัด ได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ฟังก์ชันข้อจำกัด

$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7$	=	22,000 (ข้อจำกัดเรื่องความจุเตาหลอม Kg)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\geq$	$0.600(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\leq$	$0.800(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.700X_1+0.151X_2+0.382X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.030X_6+0.500X_7$	$\leq$	$0.500(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Fe)
$0.220X_1+0.001X_2+0.026X_3+0.002X_4+98.00X_5+0.050X_6+0.030X_7$	$\geq$	$0.200(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Cu)
$0.220X_1+0.001X_2+0.026X_3+0.002X_4+98.00X_5+0.050X_6+0.030X_7$	$\leq$	$0.400(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Cu)
$0.580X_1+0.001X_2+0.030X_3+95.00X_4+0.001X_5+0.500X_6+0.029X_7$	$\geq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mn)
$0.580X_1+0.001X_2+0.030X_3+95.00X_4+0.001X_5+0.500X_6+0.029X_7$	$\leq$	$0.200(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mn)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\geq$	$0.800(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\leq$	$1.000(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.107X_1+0.008X_2+0.035X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.027X_6+0.050X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Zn)
$0.026X_1+0.005X_2+0.020X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.034X_6+0.042X_7$	$\leq$	$0.050(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Ti)

4.2 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นของ Al. 6061 คือ

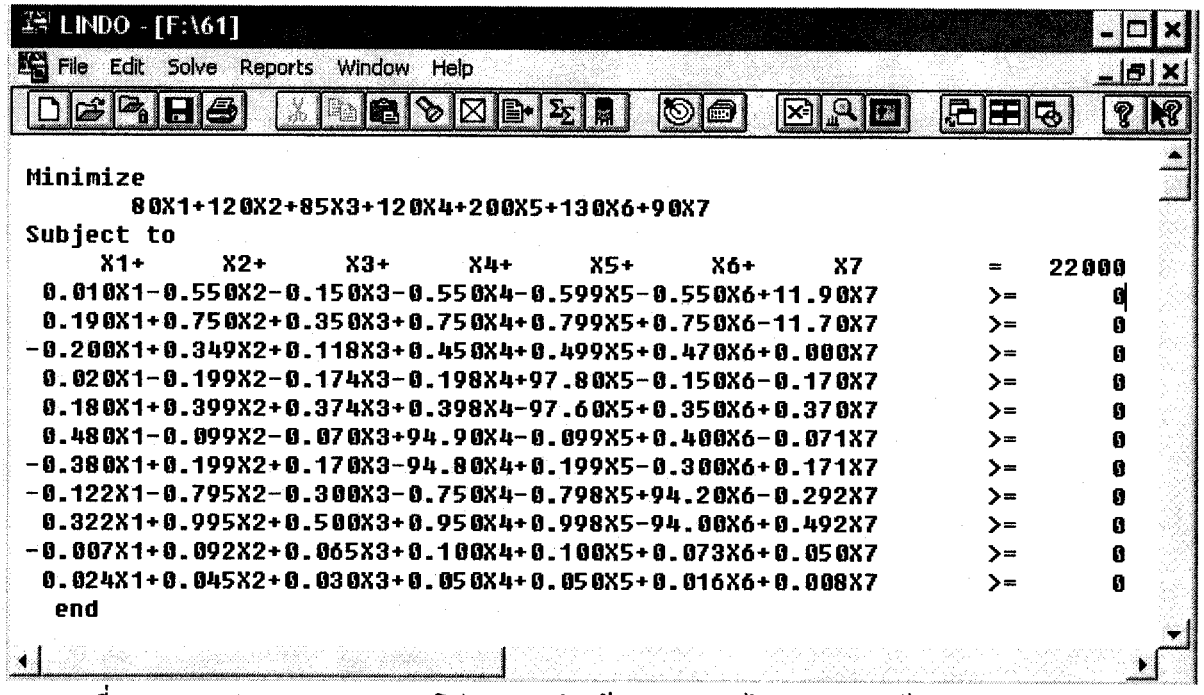
จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัดของ Al.6061 สามารถแก้สมการได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ภายใต้ข้อจำกัด

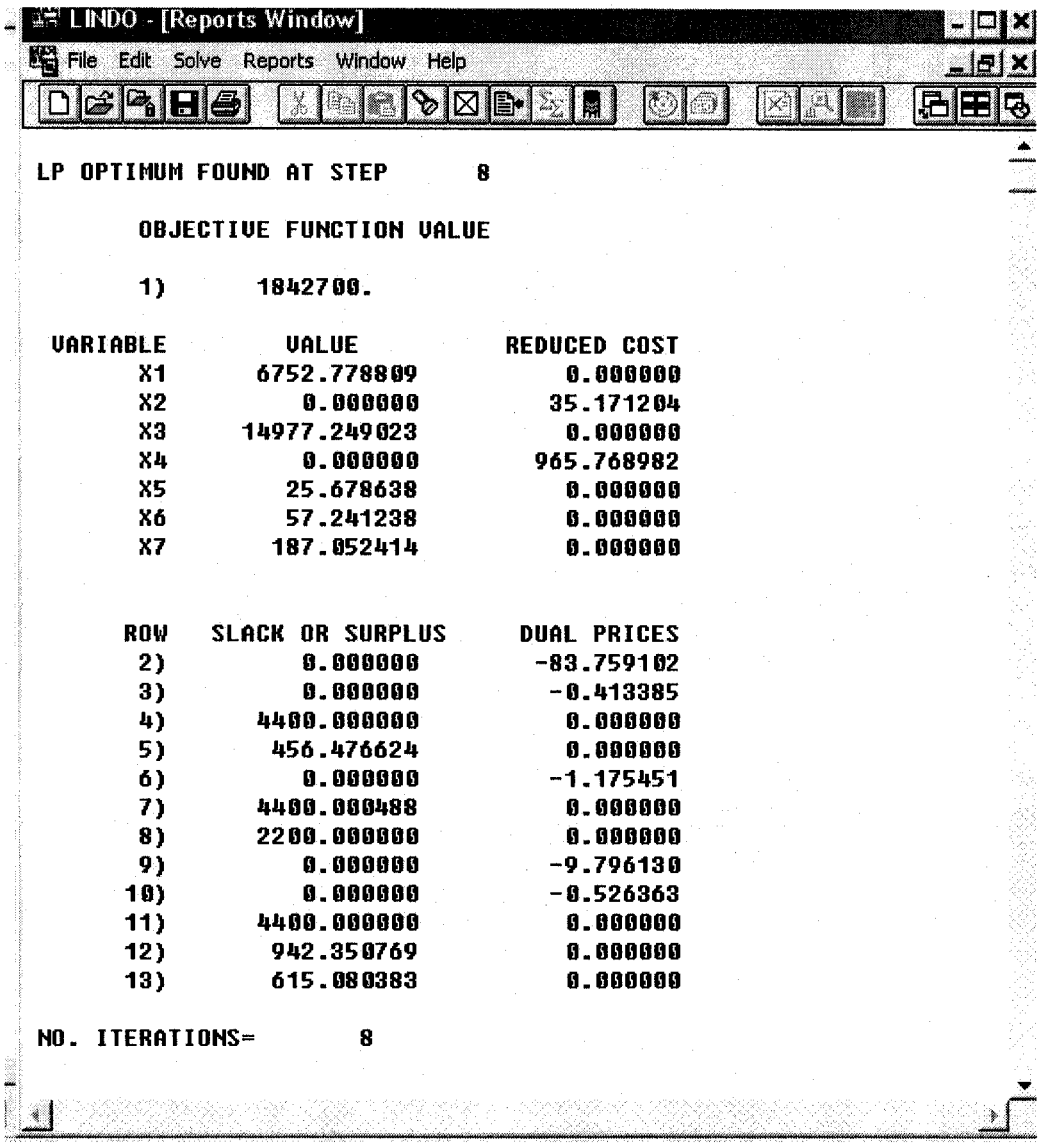
X_1	$+X_2$	$+X_3$	$+X_4$	$+X_5$	$+X_6$	$+X_7$	=	22,000
$0.010X_1$	$-0.550\ X_2$	$-0.150\ X_3$	$-0.550\ X_4$	$-0.599\ X_5$	$-0.550\ X_6$	$+11.90\ X_7$	$\geq$	0
$0.190X_1$	$+0.750\ X_2$	$+0.350\ X_3$	$+0.750\ X_4$	$+0.799\ X_5$	$+0.750\ X_6$	$-11.70\ X_7$	$\geq$	0
$-0.200X_1$	$+0.349\ X_2$	$+0.118\ X_3$	$+0.450\ X_4$	$+0.499\ X_5$	$+0.470\ X_6$	$0.000\ X_7$	$\geq$	0
$0.020X_1$	$-0.199\ X_2$	$-0.174\ X_3$	$-0.198\ X_4$	$+97.80X_5$	$-0.150\ X_6$	$-0.170\ X_7$	$\geq$	0
$0.180X_1$	$+0.399\ X_2$	$+0.374\ X_3$	$+0.398\ X_4$	$-97.60\ X_5$	$+0.350\ X_6$	$+0.370\ X_7$	$\geq$	0
$0.480X_1$	$-0.099\ X_2$	$-0.070\ X_3$	$+94.90\ X_4$	$-0.099\ X_5$	$+0.400\ X_6$	$-0.071\ X_7$	$\geq$	0
$-0.380X_1$	$+0.199\ X_2$	$+0.170\ X_3$	$-94.80\ X_4$	$+0.199\ X_5$	$-0.300\ X_6$	$+0.171\ X_7$	$\geq$	0
$-0.122X_1$	$-0.795\ X_2$	$-0.300\ X_3$	$-0.750\ X_4$	$-0.798\ X_5$	$+94.20\ X_6$	$-0.292\ X_7$	$\geq$	0
$0.322X_1$	$+0.995\ X_2$	$+0.500\ X_3$	$+0.950\ X_4$	$+0.998\ X_5$	$-94.00\ X_6$	$+0.492\ X_7$	$\geq$	0
				$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$			$\geq$	0

จากแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นข้างต้น ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo

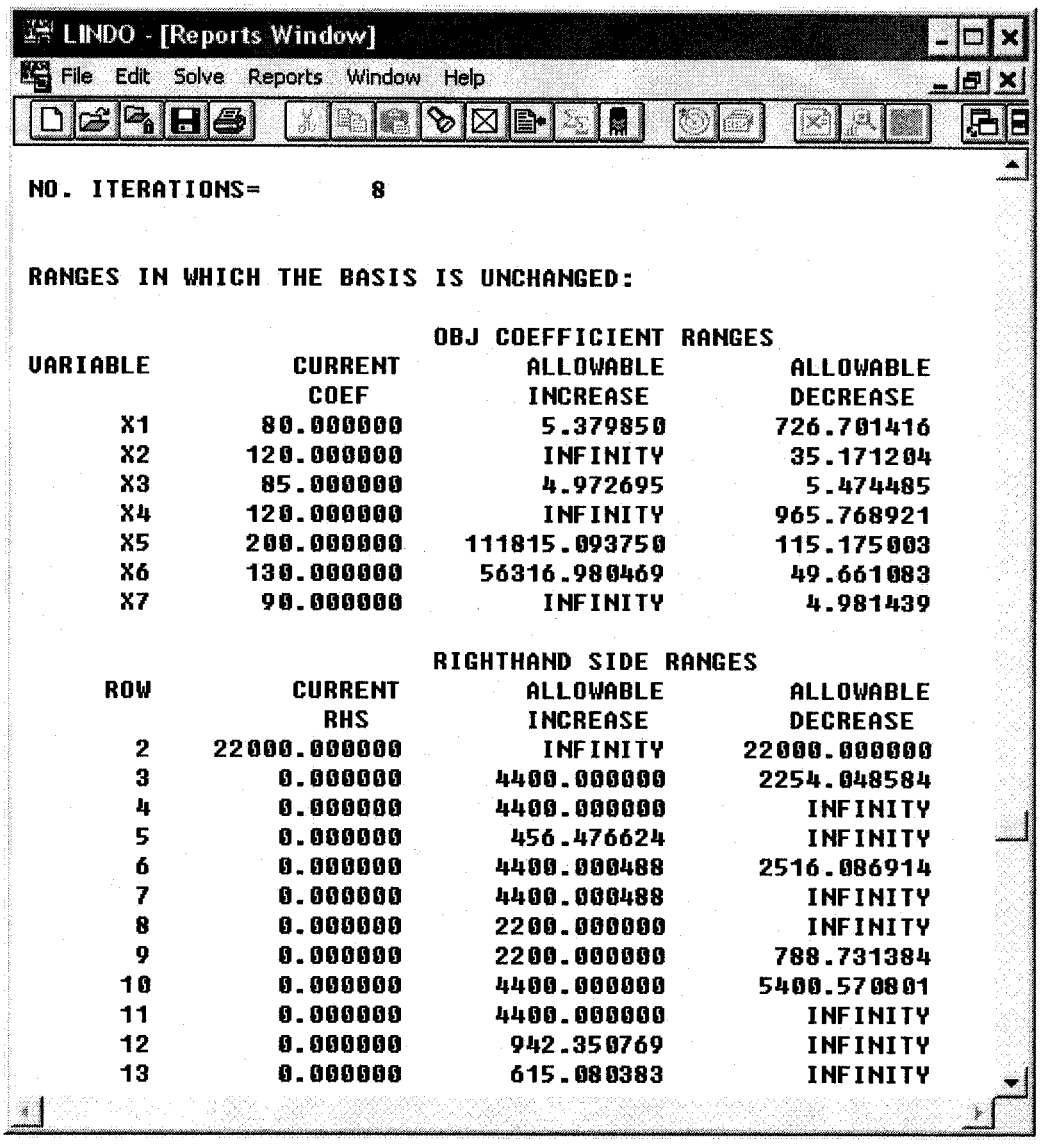


ภาพที่ 4.13 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al. 6061 ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo

4.3 ผลการหาคำตอบด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม Lindo อลูมิเนียมเกรด Al.6061



ภาพที่ 4.14 ผลการหาคำตอบของ Al.6061 ด้วยโปรแกรม Lindo



LINDO - [Reports Window]

File Edit Solve Reports Window Help

NO. ITERATIONS= 8

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	80.000000	5.379850	726.701416
X2	120.000000	INFINITY	35.171204
X3	85.000000	4.972695	5.474485
X4	120.000000	INFINITY	965.768921
X5	200.000000	111815.093750	115.175003
X6	130.000000	56316.980469	49.661083
X7	90.000000	INFINITY	4.981439

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	22000.000000	INFINITY	22000.000000
3	0.000000	4400.000000	2254.048584
4	0.000000	4400.000000	INFINITY
5	0.000000	456.476624	INFINITY
6	0.000000	4400.000488	2516.086914
7	0.000000	4400.000488	INFINITY
8	0.000000	2200.000000	INFINITY
9	0.000000	2200.000000	788.731384
10	0.000000	4400.000000	5400.570801
11	0.000000	4400.000000	INFINITY
12	0.000000	942.350769	INFINITY
13	0.000000	615.080383	INFINITY

ภาพที่ 4.15 ผลการหาคำตอบของ A1.6061 ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ)

4.4 การอ่านคำตอบ และความหมายจากโปรแกรม Lindo

อลูมิเนียมเกรด Al.6061

```
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      8

        OBJECTIVE FUNCTION VALUE

     1)      1842700.

VARIABLE        VALUE          REDUCED COST
      X1      6752.778809          0.000000
      X2         0.000000         35.171204
      X3     14977.249023          0.000000
      X4         0.000000        965.768982
      X5        25.678638          0.000000
      X6        57.241238          0.000000
      X7       187.052414          0.000000
```

ภาพที่ 4.16 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al. 6061

ผลการหาคำตอบโปรแกรม Lindo ในการหลอมอลูมิเนียมเกรด 6061 สรุปได้ดังนี้

1 จำนวนรอบในการแก้ปัญหาจนได้คำตอบ เท่ากับ 8 รอบ

2 ต้นทุนที่ต่ำสุดในการหลอม เท่ากับ 1,842,700 บาท

3 ปริมาณวัตถุดิบในการหลอมที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด เท่ากับ

วัตถุดิบ ก. (X_1)	เท่ากับ	6,752.778809 Kg
วัตถุดิบ ข. (X_2)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ ค. (X_3)	เท่ากับ	14,977.249023 Kg
วัตถุดิบ ง. (X_4)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ จ. (X_5)	เท่ากับ	25.676838 Kg
วัตถุดิบ ฉ. (X_6)	เท่ากับ	57.241538 Kg
วัตถุดิบ ช. (X_7)	เท่ากับ	187.052414 Kg
	น้ำหนักรวม	22,000.000000 Kg

4 หากมีการใช้วัตถุดิบ ข. (X_2) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 35.171204 บาท / หน่วย

หากมีการใช้วัตถุดิบ ง. (X_4) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 965.768982 บาท / หน่วย

5 วัตถุดิบ ข. (X_2) ไม่ถูกใช้

วัตถุดิบ ง. (X_4) ไม่ถูกใช้

5. การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น ในการหลอมอลูมิเนียมเกรด Al.6082

5.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อลูมิเนียมเกรด Al.6082

จากตารางที่ 3.1และ ตารางที่ 3.2 นำมาเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัด ได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ฟังก์ชันข้อจำกัด

$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7$	=	2,2000 (ข้อจำกัดเรื่องความจุของเตาหลอม Kg)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\geq$	$0.700(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.610X_1+0.050X_2+0.450X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.050X_6+12.500X_7$	$\leq$	$1.300(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Si)
$0.700X_1+0.151X_2+0.382X_3+0.050X_4+0.001X_5+0.030X_6+0.500X_7$	$\leq$	$0.500(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Fe)
$0.220X_1+0.001X_2+0.026X_3+0.002X_4+98.00X_5+0.050X_6+0.030X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Cu)
$0.580X_1+0.001X_2+0.030X_3+95.00X_4+0.001X_5+0.500X_6+0.029X_7$	$\geq$	$0.400(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mn)
$0.580X_1+0.001X_2+0.030X_3+95.00X_4+0.001X_5+0.500X_6+0.029X_7$	$\leq$	$1.000(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mn)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\geq$	$0.600(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.678X_1+0.005X_2+0.500X_3+0.050X_4+0.002X_5+95.00X_6+0.508X_7$	$\leq$	$1.200(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Mg)
$0.107X_1+0.008X_2+0.035X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.027X_6+0.050X_7$	$\leq$	$0.100(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Zn)
$0.026X_1+0.005X_2+0.020X_3+0.000X_4+0.000X_5+0.034X_6+0.042X_7$	$\leq$	$0.050(X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7)$ (ข้อจำกัดเรื่องร้อยละของ Ti)

5.2 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นของ Al. 6082 คือ

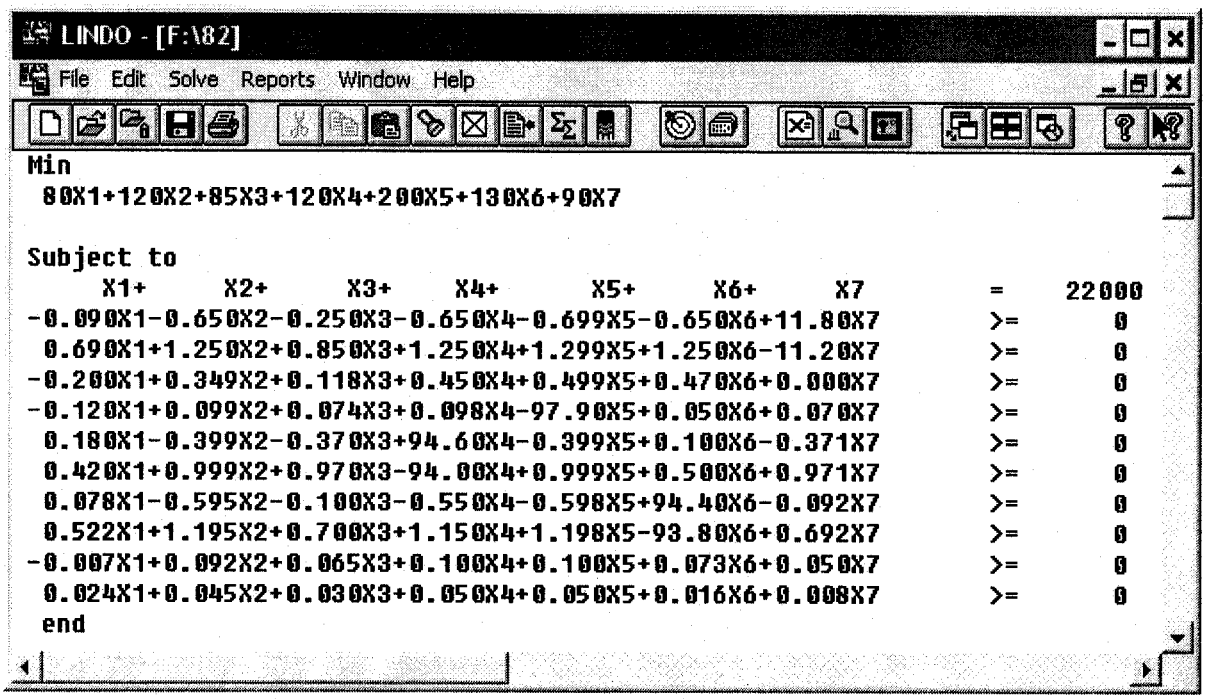
จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันข้อจำกัดของ Al.6082 สามารถแก้สมการได้ดังนี้

Minimize $Z = 80X_1+120X_2+85X_3+120X_4+200X_5+130X_6+90X_7$

ภายใต้ข้อจำกัด

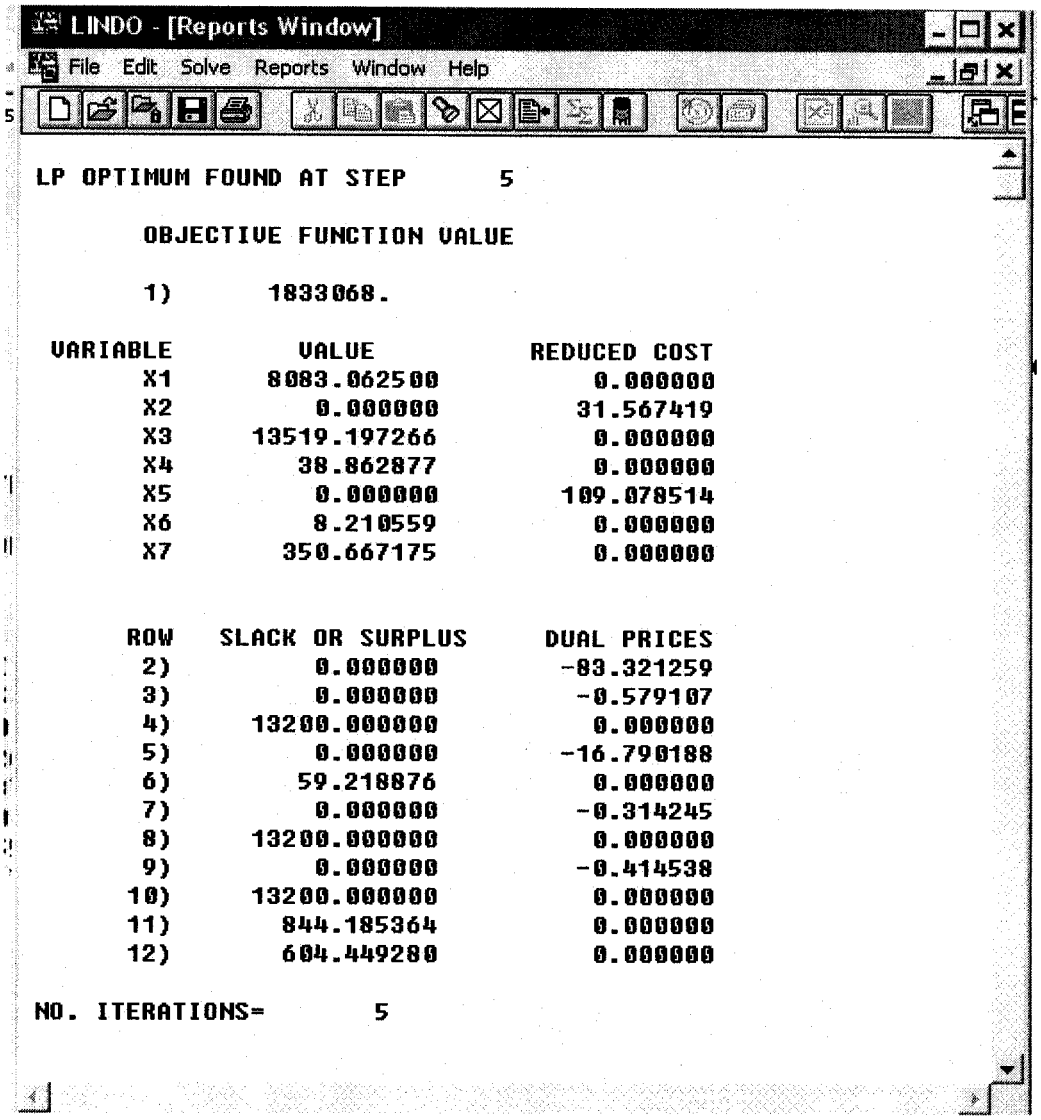
X_1	$+X_2$	$+X_3$	$+X_4$	$+X_5$	$+X_6$	$+X_7$	=	22,000
$-0.090X_1$	$-0.650\ X_2$	$-0.250\ X_3$	$-0.650\ X_4$	$-0.699\ X_5$	$-0.650\ X_6$	$+11.80\ X_7$	$\geq$	0
$0.690\ X_1$	$+1.250\ X_2$	$+0.850\ X_3$	$+1.250\ X_4$	$+1.299\ X_5$	$+1.250\ X_6$	$-11.20\ X_7$	$\geq$	0
$-0.200X_1$	$+0.349\ X_2$	$+0.118\ X_3$	$+0.450\ X_4$	$+0.499\ X_5$	$+0.470\ X_6$	$+0.000\ X_7$	$\geq$	0
$-0.120X_1$	$+0.099\ X_2$	$+0.074\ X_3$	$+0.098\ X_4$	$-97.90\ X_5$	$+0.050\ X_6$	$+0.070\ X_7$	$\geq$	0
$0.180\ X_1$	$-0.399\ X_2$	$-0.370\ X_3$	$+94.60\ X_4$	$-0.399\ X_5$	$+0.100\ X_6$	$-0.371\ X_7$	$\geq$	0
$0.420\ X_1$	$+0.999\ X_2$	$+0.970\ X_3$	$-94.00\ X_4$	$+0.999\ X_5$	$+0.500\ X_6$	$+0.971\ X_7$	$\geq$	0
$0.078\ X_1$	$-0.595\ X_2$	$-0.100\ X_3$	$-0.550\ X_4$	$-0.598\ X_5$	$+94.40\ X_6$	$-0.092\ X_7$	$\geq$	0
$0.522\ X_1$	$+1.195\ X_2$	$+0.700\ X_3$	$+1.150\ X_4$	$+1.198\ X_5$	$-93.80\ X_6$	$+0.692\ X_7$	$\geq$	0
$-0.007X_1$	$+0.092\ X_2$	$+0.065\ X_3$	$+0.100\ X_4$	$+0.100\ X_5$	$+0.073\ X_6$	$+0.050\ X_7$	$\geq$	0
				$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$			$\geq$	0

จากแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นข้างต้น ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo

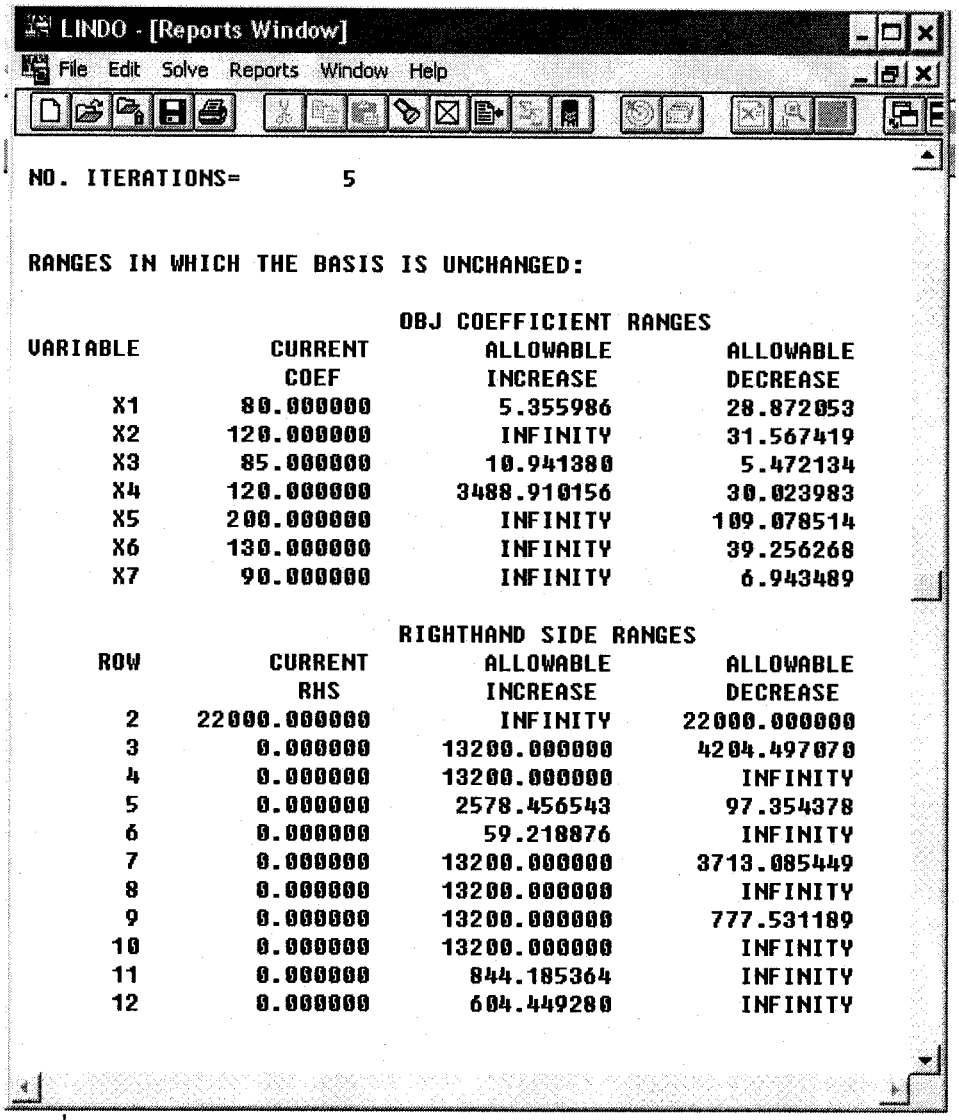


ภาพที่ 4.17 การนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น Al.6082 ไปหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lindo

5.3 ผลการหาคำตอบด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม Lindo อลูมิเนียมเกรด Al.6082



ภาพที่ 4.18 ผลการผลการหาคำตอบของ Al.6082 ด้วยโปรแกรม Lindo



NO. ITERATIONS= 5

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	80.000000	5.355986	28.872053
X2	120.000000	INFINITY	31.567419
X3	85.000000	10.941380	5.472134
X4	120.000000	3488.910156	30.023983
X5	200.000000	INFINITY	109.078514
X6	130.000000	INFINITY	39.256268
X7	90.000000	INFINITY	6.943489

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	22000.000000	INFINITY	22000.000000
3	0.000000	13200.000000	4204.497070
4	0.000000	13200.000000	INFINITY
5	0.000000	2578.456543	97.354378
6	0.000000	59.218876	INFINITY
7	0.000000	13200.000000	3713.085449
8	0.000000	13200.000000	INFINITY
9	0.000000	13200.000000	777.531189
10	0.000000	13200.000000	INFINITY
11	0.000000	844.185364	INFINITY
12	0.000000	604.449280	INFINITY

ภาพที่ 4.19 ผลการผลการหาคำตอบของ A1.6082 ด้วยโปรแกรม Lindo (ต่อ)

5.4 การอ่านคำตอบ และความหมายจากโปรแกรม Lindo

อลูมิเนียมเกรด Al.6082

```
  LP OPTIMUM FOUND AT STEP       5

        OBJECTIVE FUNCTION VALUE

     1)       1833068.

 VARIABLE        VALUE          REDUCED COST
    X1       8083.062500          0.000000
    X2          0.000000         31.567419
    X3      13519.197266          0.000000
    X4         38.862877          0.000000
    X5          0.000000        109.078514
    X6          8.210559          0.000000
    X7        350.667175          0.000000
```

ภาพที่ 4.20 คำตอบของโปรแกรม Lindo ในการแก้สมการของ Al. 6062

ผลการหาคำตอบโปรแกรม Lindo ในการหลอมอลูมิเนียมเกรด 6082 สรุปได้ดังนี้

1 จำนวนรอบในการแก้ปัญหาจนได้คำตอบ เท่ากับ 5 รอบ

2 ต้นทุนที่ต่ำสุดในการหลอม เท่ากับ 1,833,068 บาท

3 ปริมาณวัตถุดิบในการหลอมที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด เท่ากับ

วัตถุดิบ ก. (X_1)	เท่ากับ	8,083.062500 Kg
วัตถุดิบ ข. (X_2)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ ค. (X_3)	เท่ากับ	13,819.197266 Kg
วัตถุดิบ ง. (X_4)	เท่ากับ	38.862877 Kg
วัตถุดิบ จ. (X_5)	เท่ากับ	0.000000 Kg
วัตถุดิบ ฉ. (X_6)	เท่ากับ	8.210559 Kg
วัตถุดิบ ช. (X_7)	เท่ากับ	350.667175 Kg
	น้ำหนักรวม	22,000.000000 Kg

4 หากมีการใช้วัตถุดิบ ข. (X_2) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 31.567419 บาท / หน่วย
หากมีการใช้วัตถุดิบ จ. (X_5) จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 109.078514 บาท / หน่วย

5 วัตถุดิบ ข. (X_2) ไม่ถูกใช้
วัตถุดิบ จ. (X_5) ไม่ถูกใช้

6. นำคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lindo ไปแทนค่าในวิธีการคำนวณทั่วไป

หลังจากได้คำตอบจากโปรแกรม Lindo แล้ว ขั้นตอนถัดจากนั้นเป็นการตรวจสอบคำตอบ โดยการนำเอาน้ำหนักของวัตถุดิบแต่ละชนิด มาแทนค่าในวิธีคำนวณทั่วไป เพื่อเปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมแต่ละชนิด กับค่าควบคุมของลูกค้า

6.1 อลูมิเนียมเกรด Al.6063 L

ตารางที่ 4.1 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063L

ค่าควบคุมของลูกค้า		THE CHEMICAL CONTENT						
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
Al.6063L	Min	0.20	0	0	0	0.450	0	0
	Max	0.45	0.300	0.100	0.100	0.550	0.100	0.050

ตารางที่ 4.2 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063L ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	0.000000	0.00	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	7,703.846191	35.02	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	14,225.76269	64.66	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	18.310345	0.08	0.05	0.050	0.002	95.00	0.050	0.000	0.000
จ.	200	0.000000	0.00	0.001	0.001	98.00	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	52.080887	0.24	0.05	0.030	0.050	0.500	95.00	0.027	0.034
ช.	90	0.000000	0.00	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**2,142,619 บาท**	**100**	**0.31**	**0.300**	**0.017**	**0.100**	**0.550**	**0.0255**	**0.015**

ต้นทุนรวม = (80x0)+(120x7703.846191)+(85x14225.762695)+(120x18.310345)+(200x0)+(130x52.080887)+(90x0)

= 2,142,619 บาท

6.2 อลูมิเนียมเกรด Al. 6063 M

ตารางที่ 4.3 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063M

ค่าควบคุมของลูกค้า		THE CHEMICAL CONTENT						
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
Al. 6063 M	Min	0.35	0	0	0	0.450	0	0
	Max	0.50	0.300	0.100	0.100	0.600	0.100	0.050

ตารางที่ 4.4 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063M ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	0.000000	0.00	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	7,725.145508	35.11	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	14,116.18066	64.16	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	18.259531	0.08	0.05	0.050	0.002	95.00	0.050	0.000	0.000
จ.	200	0.000000	0.00	0.001	0.001	98.00	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	63.825939	0.29	0.05	0.030	0.050	0.500	95.00	0.027	0.034
ช.	90	76.588570	0.35	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**2,144,274 บาท**	**100**	**0.35**	**0.300**	**0.018**	**0.100**	**0.600**	**0.025**	**0.015**

ต้นทุนรวม = (80x0)+(120x7725.145508)+(85x14116.180664)+(120x18.259531)+(200x0)+(130x63.825939)+(90x76.588570)

= 2,144,274 บาท

6.3 อลูมิเนียมเกรด Al. 6063 H

ตารางที่ 4.5 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063H

ค่าควบคุมของลูกค้า		THE CHEMICAL CONTENT						
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
Al. 6063 H	Min	0.40	0	0	0	0.500	0	0
	Max	0.60	0.300	0.100	0.100	0.650	0.100	0.050

ตารางที่ 4.6 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063H ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	0.000000	0.00	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	7,754.583984	35.25	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	13,982.35058	63.56	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	18.211166	0.08	0.05	0.050	0.002	95.00	0.050	0.000	0.000
จ.	200	0.000000	0.00	0.001	0.001	98.00	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	75.612274	0.34	0.05	0.030	0.050	0.500	95.00	0.027	0.034
ช.	90	169.241745	0.77	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**2,146,296 บาท**	**100**	**0.40**	**0.300**	**0.017**	**0.100**	**0.650**	**0.026**	**0.015**

ต้นทุนรวม = (80x0)+(120x7754.583984)+(85x13982.350586)+(120x18.211166)+(200x0)+(130x75.612274)+(90x167.241745)

= 2,146,296 บาท

6.4 อลูมิเนียมเกรด Al. 6061

ตารางที่ 4.7 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6061

ค่าควบคุมของลูกค้า		THE CHEMICAL CONTENT						
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
Al. 6061	Min	0.60	0	0.200	0.100	0.800	0	0
	Max	0.80	0.500	0.400	0.200	1.000	0.100	0.050

ตารางที่ 4.8 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6061 ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	6,752.778809	30.69	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	0.000000	0.00	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	14,977.24902	68.08	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	0.000000	0.00	0.05	0.050	0.002	95.00	0.050	0.000	0.000
จ.	200	25.676838	0.12	0.001	0.001	98.00	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	57.241538	0.26	0.05	0.030	0.050	0.500	95.00	0.027	0.034
ช.	90	187.052414	0.85	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**1,842,700 บาท**	**100**	**0.60**	**0.479**	**0.199**	**0.200**	**0.800**	**0.057**	**0.022**

ต้นทุนรวม = (80x6752.778809)+(120x0)+(85x14977.249023)+(120x0)+(200x25.241538)+(130x57.241538)+(90x187.052414)

= 1,842,700 บาท

6.5 อลูมิเนียมเกรด Al. 6082

ตารางที่ 4.9 ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6082

ค่าควบคุมของลูกค้า		THE CHEMICAL CONTENT						
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
Al. 6082	Min	0.70	0	0	0.400	0.600	0	0
	Max	1.30	0.500	0.100	1.000	1.200	0.100	0.050

ตารางที่ 4.10 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6068 ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Lindo

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	8,083.062500	36.74	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	0.000000	0.00	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	13,519.19726	61.45	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	38.862877	0.18	0.05	0.050	0.002	95.00	0.050	0.000	0.000
จ.	200	0.000000	0.00	0.001	0.001	98.00	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	8.210559	0.04	0.05	0.030	0.050	0.500	95.00	0.027	0.034
ช.	90	350.667175	1.59	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**1,833,068 บาท**	**100**	**0.70**	**0.500**	**0.097**	**0.400**	**0.600**	**0.0616**	**0.022**

ต้นทุนรวม = (80x8083.062500)+(120x0)+(85x13519.197266)+(120x138.862877)+(200x0)+(130x8210559)+(90x350.667175)

= 1,833,068 บาท

7. การหาคำตอบ ที่ได้จากการคำนวณทั่วไป

การหาคำตอบจากการคำนวณทั่วไป เป็นวิธีที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เพื่อหาต้นทุนวัตถุดิบ และค่าส่วนผสมทางเคมี ของกระบวนการหลอมอลูมิเนียม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

7.1 อลูมิเนียมเกรด Al. 6063L

ตารางที่ 4.11 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063L ที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	860.00	3.91	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	9,000.00	40.91	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	12,000.00	54.55	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	0.00	0.00	0.05	0.050	0.002	95	0.050	0.000	0.000
จ.	200	0.00	0.00	0.001	0.001	98	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	40.00	0.18	0.05	0.030	0.050	0.500	95.000	0.027	0.034
ช.	90	100.00	0.45	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**2,183,000 บาท**	**100**	**0.35**	**0.300**	**0.023**	**0.040**	**0.476**	**0.0268**	**0.014**

7.2 อลูมิเนียมเกรด Al. 6063M

ตารางที่ 4.12 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063M ที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	860.00	3.91	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	9,000.00	40.91	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	12,000.00	54.55	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	0.00	0.00	0.05	0.050	0.002	95	0.050	0.000	0.000
จ.	200	0.00	0.00	0.001	0.001	98	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	40.00	0.18	0.05	0.030	0.050	0.500	95.000	0.027	0.034
ช.	90	100.00	0.45	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**2,183,000บาท**	**100**	**0.70**	**0.500**	**0.097**	**0.400**	**0.600**	**0.0616**	**0.022**

7.3 อลูมิเนียมเกรด Al. 6063H

ตารางที่ 4.13 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063H ที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	850.00	3.86	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	8,900.00	40.45	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	12,000.00	54.55	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	0.00	0.00	0.05	0.050	0.002	95	0.050	0.000	0.000
จ.	200	0.00	0.00	0.001	0.001	98	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	50.00	0.23	0.05	0.030	0.050	0.500	95.000	0.027	0.034
ช.	90	200.00	0.91	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**2,180,500 บาท**	**100**	**0.70**	**0.40**	**0.301**	**0.023**	**0.041**	**0.521**	**0.027**

7.4 อลูมิเนียมเกรด Al. 6061

ตารางที่ 4.14 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6061 ที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	4,960.00	22.55	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	4,400.00	20.00	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	12,000.00	54.55	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	0.00	0.00	0.05	0.050	0.002	95	0.050	0.000	0.000
จ.	200	40.00	0.18	0.001	0.001	98	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	100.00	0.45	0.05	0.030	0.050	0.500	95.000	0.027	0.034
ช.	90	500.00	2.27	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**2,010,800 บาท**	**100**	**0.70**	**0.68**	**0.408**	**0.243**	**0.150**	**0.870**	**0.046**

7.5 อลูมิเนียมเกรด Al. 6082

ตารางที่ 4.15 น้ำหนัก และส่วนผสมทางเคมีของ Al.6082 ที่คำนวณได้จากการคำนวณทั่วไป

วัตถุดิบ	ราคา (฿/)	น้ำหนัก (Kg)	ร้อยละ	THE CHEMICAL CONTENT						
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ก.	80	7,580.00	34.45	0.61	0.700	0.220	0.580	0.678	0.107	0.026
ข.	120	0.00	0.00	0.05	0.151	0.001	0.001	0.005	0.008	0.005
ค.	85	14,000.00	63.64	0.45	0.382	0.026	0.030	0.500	0.035	0.020
ง.	120	45.00	0.20	0.05	0.050	0.002	95	0.050	0.000	0.000
จ.	200	10.00	0.05	0.001	0.001	98	0.001	0.002	0.000	0.000
ฉ.	130	10.00	0.05	0.05	0.030	0.050	0.500	95.000	0.027	0.034
ช.	90	355.00	1.61	12.5	0.500	0.030	0.029	0.508	0.050	0.042
ต้นทุนรวม		**1,837,050 บาท**	**100**	**0.70**	**0.70**	**0.492**	**0.137**	**0.414**	**0.603**	**0.060**

8. นำผลที่ได้จากโปรแกรม Lindo ไปทดลองในกระบวนการหลอม

เนื่องจากในการหลอมอลูมิเนียมแต่ละครั้ง ต้นทุนการผลิตเป็นจำนวนเงินที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นในการทดลองนำผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Lindo เข้าสู่กระบวนการผลิตจริงจึงทำได้ค่อนข้างยาก และกอปรกับความต้องการอลูมิเนียมเกรดต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่างนั้นแตกต่างกัน ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองหลอมจริงได้ในอลูมิเนียมเกรด 6063L เท่านั้น

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Lindo ของอลูมิเนียมเกรด 6063L

วัตถุดิบ ก. (X_1) เท่ากับ 0.000000 Kg ใช้จริง = 0 Kg

วัตถุดิบ ข. (X_2) เท่ากับ 7,703.846191 Kg ใช้จริง = 7,700 Kg

วัตถุดิบ ค. (X_3) เท่ากับ 14,225.762695 Kg ใช้จริง = 14,220 Kg

วัตถุดิบ ง. (X_4) เท่ากับ 18.310345 Kg ใช้จริง = 20 Kg

วัตถุดิบ จ. (X_5) เท่ากับ 0.000000 Kg ใช้จริง = 0 Kg

วัตถุดิบ ฉ. (X_6) เท่ากับ 52.080887 Kg ใช้จริง = 50 Kg

วัตถุดิบ ช. (X_7) เท่ากับ 0.000000 Kg ใช้จริง = 0 Kg

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Lindo แล้วนำผลที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการหลอมอลูมิเนียมตามกระบวนการผลิตของบริษัทฯ โดยในกระบวนการหลอมจริงนั้นค่าส่วนผสมทางเคมีที่ได้

ระหว่างการทดลองจริงกับการคำนวณจากต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะมีบางค่าที่สูงกว่าและต่ำกว่าจากต้นแบบ แต่เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองค่าแล้วยังอยู่ในค่าควบคุมมาตรฐานของบริษัท ฯ ดังแสดงการเปรียบเทียบในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของ Al.6063L

Al. 6063 L	THE CHEMICAL CONTENT						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
ค่ามาตรฐานของบริษัทฯ	0.20	0	0	0	0.450	0	0
	0.45	0.300	0.100	0.100	0.550	0.100	0.050
ผลจากการคำนวณโดยใช้วัตถุดิบจากผลของ Lindo	0.31	0.300	0.017	0.100	0.550	0.025	0.015
ผลจากการทดลองในกระบวนการผลิต	0.28	0.297	0.016	0.101	0.535	0.022	0.008

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

จากแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นที่ได้ในการหลอมอลูมิเนียมชนิดต่าง ๆ ที่ทำการผลิตในบริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด แล้วนำแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นดังกล่าวไปหาคำตอบด้วยโปรแกรมลินโด (Lindo) ทำให้ได้ปริมาณวัตถุดิบของแต่ละชนิด และต้นทุนวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

ปริมาณการใช้วัตถุดิบในการหลอม **Al.6063L** ที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด

ปริมาณวัตถุดิบชนิด ก. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 1	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ข. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 2	เท่ากับ	7,703.846191 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ค. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 3	เท่ากับ	14,225.762695 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ง. ที่มีแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	18.310345 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด จ. ที่มีทองแดง (Cu) เป็นธาตุหลัก	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ฉ. ที่มีแมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	52.080887 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ช. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 4	ไม่ถูกใช้	
ต้นทุนรวม	เท่ากับ	2,142,619 บาท

ปริมาณการใช้วัตถุดิบในการหลอม **Al.6063M** ที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด

ปริมาณวัตถุดิบชนิด ก. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 1	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ข. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 2	เท่ากับ	7,725.145508 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ค. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 3	เท่ากับ	14,116.180664 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ง. ที่มีแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	18.259531 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด จ. ที่มีทองแดง (Cu) เป็นธาตุหลัก	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ฉ. ที่มีแมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	63.825939 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ช. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 4	เท่ากับ	76.588570 Kg
ต้นทุนรวม	เท่ากับ	2,144,274 บาท

ปริมาณการใช้วัตถุดิบในการหลอม **Al.6063H** ที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด

ปริมาณวัตถุดิบชนิด ก. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 1	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ข. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 2	เท่ากับ	17,754.583984 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ค. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 3	เท่ากับ	13,982.350586 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ง. ที่มีแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	18.211166 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด จ. ที่มีทองแดง (Cu) เป็นธาตุหลัก	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ฉ. ที่มีแมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	75.612274 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ช. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 4	เท่ากับ	169.241745 Kg
ต้นทุนรวม	เท่ากับ	2,146,296 บาท

ปริมาณการใช้วัตถุดิบในการหลอม **Al.6061** ที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด

ปริมาณวัตถุดิบชนิด ก. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 1	เท่ากับ	6,752.778809 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ข. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 2	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ค. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 3	เท่ากับ	14,977.249023 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ง. ที่มีแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุหลัก	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด จ. ที่มีทองแดง (Cu) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	25.676838 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ฉ. ที่มีแมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	57.241538 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ช. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 4	เท่ากับ	187.052414 Kg
ต้นทุนรวม	เท่ากับ	1,842,700 บาท

ปริมาณการใช้วัตถุดิบในการหลอม **Al.6082** ที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด

ปริมาณวัตถุดิบชนิด ก. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 1	เท่ากับ	8,083.062500 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ข. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 2	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ค. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 3	เท่ากับ	13,819.197266 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ง. ที่มีแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	38.862877 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด จ. ที่มีทองแดง (Cu) เป็นธาตุหลัก	ไม่ถูกใช้	
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ฉ. ที่มีแมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุหลัก	เท่ากับ	8.210559 Kg
ปริมาณวัตถุดิบชนิด ช. ที่มีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุหลัก ชนิดที่ 4	เท่ากับ	350.667175 Kg
ต้นทุนรวม	เท่ากับ	1,833,068 บาท

จากคำตอบที่ได้จากแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นของอลูมิเนียมแต่ละชนิด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการคำนวณแบบทั่วไปด้วยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ที่ใช้คำนวณในปัจจุบันของบริษัทฯ ดังแสดงเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบแล้ว สรุปผลได้ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลต่างของต้นทุนวัตถุดิบในการหลอมอลูมิเนียมเกรดต่าง ๆ (บาท)

Alloy	คำตอบที่ได้จากโปรแกรม LP	คำตอบที่ได้จากโปรแกรม Excel	ผลต่าง	ร้อยละ
Al.6063L	2,142,619	2,183,000	-40,381	1.85
Al.6063M	2,144,274	2,183,000	-38,726	1.77
Al.6063H	2,146,297	2,180,500	- 34,203	1.57
Al.6061	1,842,700	2,010,800	-168,100	8.36
Al.6082	1,833,068	1,837,050	-3,982	0.22

สรุปผลการเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบในการหลอมอลูมิเนียมเกรดต่าง ๆ
ต้นทุนวัตถุดิบรวมทั้งหมดของ Al.6063L ลดลงเท่ากับ 40,381 บาท คิดเป็นร้อยละ 1.85
ต้นทุนวัตถุดิบรวมทั้งหมดของ Al.6063M ลดลงเท่ากับ 38,726 บาท คิดเป็นร้อยละ 1.77
ต้นทุนวัตถุดิบรวมทั้งหมดของ Al.6063H ลดลงเท่ากับ 34,203 บาท คิดเป็นร้อยละ 1.57
ต้นทุนวัตถุดิบรวมทั้งหมดของ Al.6061 ลดลงเท่ากับ 168,100 บาท คิดเป็นร้อยละ 8.36
ต้นทุนวัตถุดิบรวมทั้งหมดของ Al.6082 ลดลงเท่ากับ 3,982 บาท คิดเป็นร้อยละ 0.22
ต้นทุนวัตถุดิบรวมทั้งหมดที่สามารถลดลงได้คิดเป็น 285,392 บาท

2. ข้อเสนอแนะ

1. คำตอบที่หาได้จากแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นจะเป็นจำนวนเต็มที่มีทศนิยม แต่ในทางปฏิบัติจริงวัตถุดิบบางชนิดมีปริมาณน้ำหนักเป็นจำนวนเต็ม จึงไม่สะดวกที่จะทำการแบ่งวัตถุดิบตามผลการวิเคราะห์ของโปรแกรม จึงควรมีการวิเคราะห์ความไวในการใช้งานด้วย

2. ค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีของบริษัทฯ อ้างตามมาตรฐานสากลของ BS (British Standard) แต่ในตลาดซื้อขายอลูมิเนียม ลูกค้าบางรายจะเป็นผู้กำหนดค่าควบคุมส่วนผสมทางเคมีให้มีขนาดขอเขตที่แคบกว่ามาตรฐานของบริษัท ซึ่งขอบเขตดังกล่าวส่งผลให้โปรแกรม Lindo หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดไม่ได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ชุมพล ศฤงคารศิริ การวางแผนและควบคุมการผลิต กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2542

บัญชา ธนบุญสมบัติ และคณะ เทคโนโลยีและโลหะวิทยาของอลูมิเนียมหล่อ กรุงเทพมหานคร ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2543

ประกอบ จิรกิติ การโปรแกรมเชิงเส้น โครงการส่งเสริมเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ 2533

พิชิต สุขเจริญพงษ์ การจัดการวิศวกรรมการผลิต กรุงเทพมหานคร บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) 2540

พีรกิตติ์ วีริยะรัตนศักดิ์ โลหะวิทยาของเหล็กหล่อเทา และเหล็กหล่อเหนียว กรุงเทพมหานคร ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2545

ภิภพ ลลิตาภรณ์ ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต กรุงเทพมหานคร สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2545

รัฐพล วงษ์บัวแก้ว การคิดต้นทุนตามกิจกรรม : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องครัวอลูมิเนียม วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมพระนครเหนือ 2544

สุทธิมา ชำนาญเวช การวิเคราะห์เชิงปริมาณ พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ วิทยพัฒน์ 2545

อุดมศักดิ์ ศีลปะชาวงศ์ ประมวลสาระชุดวิชา การวิเคราะห์เชิงปริมาณและการจัดการดำเนินงาน หน่วยที่ 1-7 สาขาวิชาวิทยาการจัดการ นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 2545

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าควบคุมทางเคมีทดลองในกระบวนการหลอม

ค่าควบคุมทางเคมีทดลองในกระบวนการหลอมของ AL 6063L

25 August 2007 14:44:10 Sample: UAI-6063L QA:PCHA
Program : ALLALY Task: ALLALY

Run	Si3	Fe7	Cu7	Mn5	Mg6	Zn5	Ti4	Cr1	Ni6	Pb6	AL%
1	0.29	0.294	0.015	0.095	0.513	0.021	0.010	0.0095	0.007	0.0014	98.7247
2	0.28	0.308	0.016	0.109	0.539	0.023	0.008	0.0097	0.007	0.0015	98.6977
3	0.28	0.289	0.016	0.098	0.535	0.023	0.007	0.0095	0.008	0.0014	98.7316
AVG	0.28	0.297	0.016	0.101	0.535	0.022	0.008	0.0096	0.007	0.0014	98.7180

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายปรีชา หล้ากัน
วัน เดือน ปีเกิด	12 มิถุนายน 2521
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วศ.บ (อุตสาหการ) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พศ. 2545
	บธ.บ (การจัดการทั่วไป) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พศ. 2546
สถานที่ทำงาน	บริษัท ยูไนเต็ด อลูมิเนียม อินดัสตรี จำกัด จังหวัดปราจีนบุรี
ตำแหน่ง	ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายผลิตโรงหลอม