สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมจำลองสร้างแผนภาพสมดุลภาคของโลหะสองชนิด

MODELING OF A BINARY ALLOY PHASE DIAGRAM

T061753

นายกำพล เลิศธนะ
นายชาตุพล ศรีวัฒนปัญญา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....61753
วัน,เดือน,ปี.....21 ก.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจำลองสร้างแผนภาพสมดุลภาคของโลหะสองชนิด

MODELING OF A BINARY ALLOY PHASE DIAGRAM

โดย

นายกำพล เลิศธนะ

นายชาตุพล ศรีวัฒนปัญญา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ชนาธิป ชัยดิลกพัฒนกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โปรแกรมจำลองสร้างแผนภาพสมดุลภาคของโลหะสองชนิด

MODELING OF A BINARY ALLOY PHASE DIAGRAM

ผู้จัดทำ

1.นายกำพล เลิศธนะ รหัสนักศึกษา 44010643

2.นายชาตุพล ศรีวัฒนปัญญา รหัสนักศึกษา 44010679

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ชนาธิป ชัยดิลกพัฒนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจำลองสร้างแผนภาพสมดุลภาคของโลหะสองชนิด

นายกำพล เลิศธนะ 44010643
นายชาตุพล ศรีวัฒนปัญญา 44010679
อาจารย์ชนาธิป ชัยดิลกพัฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

คุณสมบัติของโลหะผสม จำนวนมากขึ้นอยู่กับสมบัติของภาค (Phase) ขั้นตอนสำคัญอยู่ที่วิธีหาความสัมพันธ์ระหว่างภาคที่เกิดขึ้นในระบบ (System) ณ อุณหภูมิตลอดจนความเข้มข้นต่างกัน ซึ่งสามารถหาได้จากแผนภาพสมดุลยภาค (Phase Equilibrium Diagram) ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะผสม2ชนิดจากแผนภาพสมดุลยภาค โดยการประยุกต์ใช้วิธีทางเทอร์โมไดนามิกส์เข้ากับการเขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อแสดงผลเป็นแผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสมสองชนิด (Binary Phase Equilibrium Diagram) อนึ่งในความเป็นจริงแล้วโลหะที่ใช้งานจริงนั้นไม่ได้ผสมเพียงแค่โลหะ2ชนิดเท่านั้น แต่ต่อไปโปรแกรมหาแผนภาพสมดุลยภาคที่ได้ยังสามารถพัฒนาให้คำนวณหาแผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสมหลายชนิด (Multicomponent Phase Equilibrium Diagram) ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODELING OF A BINARY ALLOY PHASE DIAGRAM

Kampon Lerttana

Chatupon Sriwattanapanya

Chanatip Chaidilokpattanakul Advisor

ABSTRACT

Many properties of alloy depend on the properties of the Phase . The most important process is the method to find the relationship between the phase occurring in system in different temperature and composition which can be found in Phase Equilibrium Diagram. This thesis is one of the method to examine the property of binary alloy from Phase Equilibrium Diagram by applying the Thermodynamics with programming Visual Basic to obtaining the output of Binary Phase Equilibrium Diagram chart. Usually ,commercial alloys are made of more than two elements but this program can be use as a basis to develop for Multicomponent Phase Equilibrium Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 เฟสไดอะแกรม	3
2.2 วิธีการหาเฟสไดอะแกรม	3
2.2.1 การหาเฟสไดอะแกรมจากการทดลอง	3
2.2.2 การหาเฟสไดอะแกรมจากการใช้Model ทางเทอร์โมไดนามิกส์ของวัสดุศาสตร์	5
บทที่ 3 การดำเนินการ	12
3.1 วิธีการคำนวณสภาวะอ้างอิง	12
3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน (Flow Chart) ของโปรแกรม	14
3.2.1 การทำงานของโปรแกรมหลัก	14
3.2.2 การทำงานของโปรแกรมย่อย ส่วนสร้างแผนภาพพลังงานอิสระกิบส์	15
3.2.3 การทำงานของโปรแกรมย่อย ส่วนหาเส้นสัมผัสร่วม	16
3.3 วิธีการคำนวณหาเส้นสัมผัสร่วม	17
บทที่ 4 ผลการทดลอง	20
บทที่5 สรุป	28
5.1 สรุปโครงงาน	28
5.2 แนวทางการพัฒนา	28
ภาคผนวก ก ตารางแสดงคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของโลหะ	30
ภาคผนวก ข ลักษณะโปรแกรมที่เขียนจากVisual Basic	32
ภาคผนวก ค Source Codeของโปรแกรม Visual Basic	34
ภาคผนวก ง การใช้งานโปรแกรม	52
บรรณานุกรม	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 1-1 ตัวอย่างของเฟสไดอะแกรม 2

รูปที่ 2-1 แสดงวิธีสร้างเฟสไดอะแกรมด้วยวิธี Thermal Analysis 4

รูปที่ 2-2 ตัวอย่างเฟสไดอะแกรมที่หาด้วยวิธี Thermal Analysis 5

รูปที่ 2-3 แสดงตัวอย่างกราฟพลังงานอิสระของกิบส์ที่อุณหภูมิใดๆของเฟสของแข็ง 7

รูปที่ 2-4 แสดงผลของ ΔG°_{m} ต่อกราฟพลังงานอิสระของกิบส์ 7

รูปที่ 2-5 แสดงการหาสมดุลของระบบจากเส้นสัมผัสร่วม 8

รูปที่ 2-6 แสดงตัวอย่างการหาเฟสไดอะแกรมจากเส้นสัมผัสร่วม 9

รูปที่ 2-7 แสดงการเลือกใช้สภาวะอ้างอิงที่ต่างกันแต่ก็ให้อัตราส่วนผสมเดียวกัน 10

รูปที่ 2-8 แสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของเฟสไดอะแกรมเมื่อเปลี่ยนแปลง α_S และ α_L 11

รูปที่ 3-1 แสดงการหาเฟสไดอะแกรมจากสภาวะของแข็งและสภาวะของเหลว 15

รูปที่ 3-2 แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก 16

รูปที่ 3-3 แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย ส่วนที่สร้างแผนภาพ พลังงานอิสระกิบส์ 17

รูปที่ 3-4 แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย ส่วนหาเส้นสัมผัสร่วม 18

รูปที่ 3-5 แสดงแผนภาพพลังงานอิสระกิบส์ 12

รูปที่ 3-6 แสดงเส้นสัมผัสที่ไม่ตัดกับเส้นพลังงานอิสระกิบส์ 12

รูปที่ 3-7 แสดงเส้นสัมผัสที่ตัดกับเส้นพลังงานอิสระกิบส์ 13

รูปที่ 3-8 แสดงการคำนวณด้วยวิธีการแบ่งครึ่งช่วง 13

รูปที่ 3-9 แสดงการใช้วิธีแบ่งครึ่งช่วงจนพบเส้นสัมผัสร่วม 14

รูปที่ 4-1 ผลการทดลองของ A.D. Pelton และ W.T.Thomsonที่อุณหภูมิหลอมเหลว ของสารทั้ง2เท่ากับ 800K และ 1200K เอนโทรปีการหลอมเหลวเท่ากับ10J/Kทั้ง2สาร 19

รูปที่ 4-2 α_S = 0J α_L=0J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม 20

รูปที่ 4-3 α_S = -15000J α_L=0J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม 21

รูปที่ 4-4 α_S = 15000J α_L=0J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม 22

รูปที่ 4-5 α_S = 15000 α_L=10000 , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-6 α_S = 15000 α_L=20000 , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , 24
ข) ผลจากโปรแกรม
รูปที่ 4-7 α_S = 30000 α_L=10000 , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , 25
ข) ผลจากโปรแกรม
รูปที่ 4-8 α_S = 30000 α_L=20000 , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , 26
ข) ผลจากโปรแกรม
รูปที่ 5-1 แสดงตัวอย่างสัดส่วนสารในระบบที่มีโลหะ 3 ชนิด 28
ซึ่งความยาวรวมเท่ากับ bQ + QP + aQ = 100%
รูปที่ 5-2 แสดงเฟสไดอะแกรมของโลหะ 3 ชนิดโดยการหาเฟสไดอะแกรมของโลหะแต่ละคู่ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ชนิดจำนวนและปริมาณของเฟสจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุ Phase diagram จึงเป็นประโยชน์ต่อนักวิทยาศาสตร์ และวิศวกร ทั้งนี้เนื่องจาก Phase diagram สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำนายคุณสมบัติของวัสดุได้ เช่น

1. แสดงเฟสต่างๆที่มีอยู่ในวัสดุที่สภาวะที่ต่างกัน
2. แสดงถึงสภาพละลายได้ของธาตุหนึ่งในอีกธาตุหนึ่ง ณ สภาวะสมดุล

ปัจจุบันนี้วิทยาการคอมพิวเตอร์ได้เข้ามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามาก ทางด้านวิศวกรรมก็เช่นกัน มีการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ เช่น ประหยัดเวลาในการทำงาน เพื่อความสะดวกสบาย และให้ความเที่ยงตรงแม่นยำ

โปรแกรมจำลองการสร้างแผนภาคของโลหะผสม 2 ชนิด เป็นอีกหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อทำนายแผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสม 2 ชนิด ให้มีความแม่นยำสูง อีกทั้งยังลดระยะเวลาในการค้นหาแผนภาพเพื่อใช้ในการอ้างอิงคุณสมบัติของโลหะผสม แนวความคิดเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรม อาศัยหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ทางวัสดุศาสตร์ประยุกต์เข้ากับการเขียนโปรแกรม Visual Basic ดังนั้นโครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อความสะดวกในการหา Phase diagram

1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการสร้างแผนภาพสมดุลยภาค ด้วยวิธีการทางเทอร์โมไดนามิกส์

1.2.2 เพื่อนำเอาโปรแกรมที่ได้ไปใช้ศึกษาแผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสม 2 ชนิด

1.2.3 เพื่อนำเอาโปรแกรมที่ได้ไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

1.2.4 เพื่อใช้เป็นโปรแกรมต้นแบบในการพัฒนาต่อไปในอนาคตสำหรับโลหะผสมมากกว่า 2 ชนิด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาวิธีหาพลังงานอิสระของกิบส์ (Gibbs free energy) เอนโทรปี (Entropy) ความร้อนของการก่อตัว (Heat of formation) เพื่อใช้ในการสร้างแผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสม 2 ชนิด ประยุกต์เข้ากับการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้อง โดยงานวิจัยนี้จะพยายามเขียนโปรแกรมให้สามารถใช้งานได้ง่ายที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้ไม่ต้องทำการศึกษาถึงวิธีการใช้มากมาย ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการเรียนการสอนได้ และเพื่อเป็นก้าวแรกของการสร้างแผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสมมากกว่า 2 ชนิด(Multicomponent Phase Equilibrium Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 การรวบรวมข้อมูลพื้นฐานในการสร้างแผนภาพโดยข้อมูลที่ค้นหาอาจมาจากหนังสือหรือวารสาร

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับวัสดุศาสตร์

1.4.3 คิดค้น Algorithm เพื่อหาเส้นสัมผัสร่วมสำหรับสร้างแผนภาพสมดุลยภาค

1.4.4 ศึกษาหลักการเขียนโปรแกรม Visual Basic ในทางตรรกะพร้อมทั้งศึกษาหลักการเขียนโปรแกรม Visual Basic ให้สามารถสร้างกราฟได้

1.4.5 นำเอาความรู้ที่ได้มาออกแบบโปรแกรมเพื่อสร้างแผนภาพสมดุลยภาพที่ใช้งานได้ง่ายและเป็นพื้นฐานสำหรับโลหะผสมมากกว่า 2 ชนิด

รูปที่ 1-1 ตัวอย่างของเฟสไดอะแกรม

ในแกนนอนของเฟสไดอะแกรมคืออัตราส่วนผสมของสารมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 (0% - 100%) ส่วนในแกนตั้งคือช่วงอุณหภูมิที่พิจารณา ดังรูปที่1-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 เฟสไดอะแกรม

วัฏภาคหรือเฟสที่มีอยู่ในวัสดุ หมายถึงบริเวณที่มีโครงสร้างและ/หรือองค์ประกอบที่แตกต่างจากเฟสอื่น แผนภาพสมดุลยภาค หรือเฟสไดอะแกรม (Phase Diagram, Equilibrium Diagram) คือกราฟที่แสดงถึงวัฏภาค (Phase) ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัสดุ ณ สภาวะหนึ่ง ซึ่งโดยปกติแล้วจะถูกสร้างขึ้นที่สภาวะสมดุล กล่าวคือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ซึ่งจะทำได้โดยค่อยๆทำให้ระบบนั้นเย็นตัวลงหรือร้อนขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากชนิดจำนวนและปริมาณของเฟสจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุ Phase diagram จึงเป็นประโยชน์ต่อนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรทั้งนี้เนื่องจาก Phase diagram สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำนายคุณสมบัติของวัสดุได้ เช่น

1. แสดงเฟสต่างๆที่มีอยู่ในวัสดุที่สภาวะที่ต่างกัน
2. แสดงถึงสภาพละลายได้ของธาตุหนึ่งในอีกธาตุหนึ่ง ณ สภาวะสมดุล
3. สามารถบอกให้ทราบถึงอุณหภูมิที่โลหะผสมเริ่มแข็งตัวเป็นของแข็งและช่วงอุณหภูมิที่โลหะผสมเกิดการแข็งตัว เมื่อโลหะผสมนั้นถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ
4. สามารถบอกให้ทราบถึงอุณหภูมิที่โลหะผสมเริ่มหลอมละลาย

ในแกนนอนของเฟสไดอะแกรมคืออัตราส่วนผสมของสารมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 (0%-100%) ส่วนในแกนตั้งคือช่วงอุณหภูมิที่พิจารณา

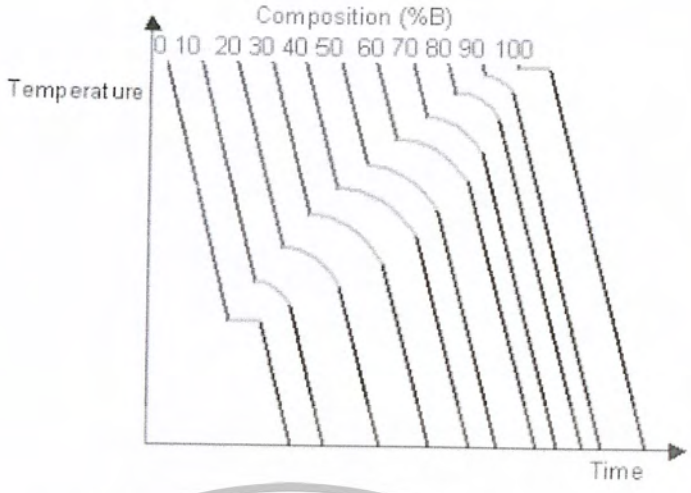
2.2 วิธีการหาเฟสไดอะแกรม

การหาเฟสไดอะแกรมของโลหะผสมสามารถทำได้หลายวิธีในที่นี้เราได้ยกตัวอย่างวิธีการหาเฟสไดอะแกรมมา 2 วิธี ดังต่อไปนี้

2.2.1 การหาเฟสไดอะแกรมจากการทดลอง

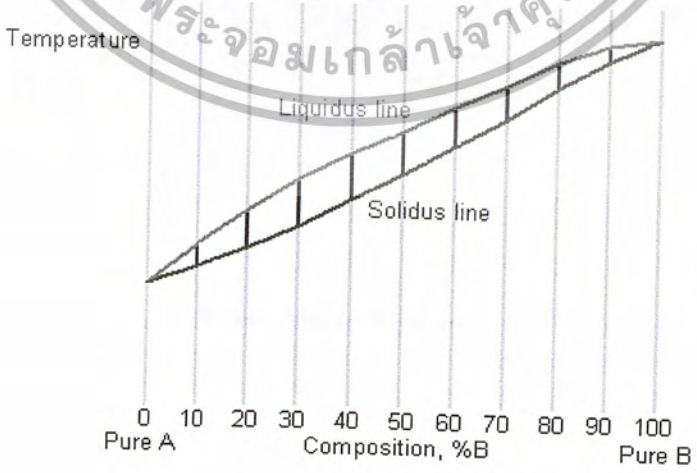
การหาเฟสไดอะแกรมจากการทดลองทำได้โดยใช้วิธี Thermal Analysis โดยค่อยๆ ทำให้ระบบระบบนั้นเย็นตัวลงหรือร้อนขึ้นอย่างช้าๆ โดยจะต้องทำการบันทึกผลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจนครบช่วงอุณหภูมิที่เราจะพิจารณา เฟสไดอะแกรมจะถูกต้องเพียงใดขึ้นกับความละเอียดของช่วงอุณหภูมิที่เราจะพิจารณายิ่งแบ่งหลายช่วงอุณหภูมิจะยิ่งถูกต้องมากขึ้น เมื่อทำการบันทึกผลจนครบช่วงอุณหภูมิที่เราจะพิจารณาก็จะได้ liquid-solid cooling curve ของระบบ เมื่อเราลากเส้นผ่านจุดเปลี่ยนเฟสของ cooling curve ของแต่ละช่วงอุณหภูมิที่เราจะพิจารณาก็จะได้เฟสไดอะแกรมที่สมบูรณ์ วิธีการนี้ถ้าต้องการความถูกต้องมากก็ต้องเตรียมสารไว้หลายอัตราส่วนซึ่งค่อนข้างสิ้นเปลืองเพราะธาตุบางอย่างมีราคาแพงมาก หรือไม่ก็มีจำนวนน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

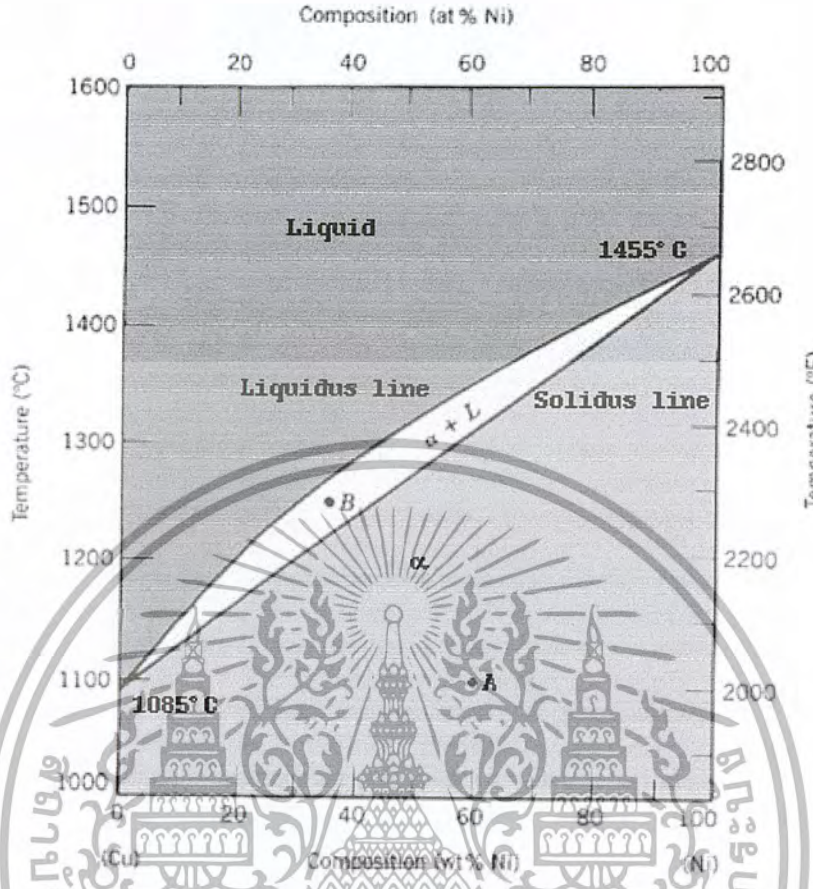
(ข)



(ค)

รูปที่ 2-1 แสดงวิธีสร้างเฟสไดอะแกรมด้วยวิธี Thermal Analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-2 ตัวอย่างเฟสไดอะแกรมที่หาด้วยวิธี Thermal Analysis

2.2.2 การหาเฟสไดอะแกรมจากการใช้ Model ทางเทอร์โมไดนามิกส์ของวัสดุศาสตร์

ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นว่าเฟสไดอะแกรมมักจะถูกสร้างขึ้นที่สภาวะสมดุล ซึ่งที่สภาวะสมดุลนั้นเกิดขึ้นเมื่อพลังงานอิสระของกิบส์มีค่าต่ำสุด สมดุลของเฟสในระบบสามารถหาได้โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับพลังงานอิสระของกิบส์ของแต่ละเฟสด้วยสัดส่วนของสาร และ อุณหภูมิ

เอนโทรปี (Entropy : Degree of disorder) มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการจัดเรียงตัวของอนุภาค เรียกว่า thermodynamic probability หรือ number of microstate (W) ซึ่งเป็นตัวบอกว่าอนุภาคมีความสารถในการจัดเรียงตัวมากน้อยเพียงใด โดยการใช้ความสัมพันธ์ของ Boltzmann $S = k \ln W$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann ($kNa = R$)

$k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K

Na คือ Avogado's Number = 6.02×10^{23} อนุภาค/โมลอนุภาค

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (8.3144 J/K mole)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$W = (N_A + N_B)! / (N_A! N_B!)$ เมื่อ $\ln N! \approx N \ln N - N$

$S = k \ln[(N_A + N_B)! - \ln NA! - \ln N_B!$

$S = k [(N_A + N_B) \ln(N_A + N_B) - (N_A + N_B) - N_A \ln N_A + N_A - N_B \ln N_B + N_B$

$S = -k [N_A \ln N_A / (N_A + N_B) + N_B \ln N_B / (N_A + N_B)]$

เมื่อ $X_A = N_A /(N_A + N_B)$, $X_B = N_B /(N_A + N_B)$

$N_A + N_B = Na$

$N_A = X_A Na \quad N_B = X_B Na$

$S = -R[X_A \ln X_A + X_B \ln X_B]$ (1)

สมการอุดมคติ (Ideal solution)

$\Delta G^{Mix,id} = \Delta H^{i,Mix} - T\Delta S^{Mix,id}$ สำหรับ Ideal solution $\Delta H^{i,Mix} = 0$

$\Delta G^{Mix,id} = -T\Delta S^{Mix,id}$

$\Delta G^{Mix,id} = RT [X_A \ln X_A + X_B \ln X_B]$ (2)

สมการทั่วไป (Regular solution)

$\Delta G^{Mix} = \Delta G^{Mix,id} + G^{XS}$

$\Delta G^{Mix} = -T\Delta S^{i,Mix} + \Delta H^{Mix}$ สำหรับ Regular solution $\Delta H^{Mix} \neq 0$, $\Delta S^{Mix} = 0$

เมื่อ $G^{XS} = \Delta H^{Mix} = \alpha X_A X_B$

ดังนั้นพลังงานอิสระของกิบส์ของการก่อตัวสำหรับสมการทั่วไปคือ

$\Delta G^{Mix} = RT[X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha X_A X_B$ (3)

เมื่อ α คือ Interaction Parameters ของแต่ละเฟส

พลังงานอิสระของกิบส์ของกระบวนการผสมใน เฟสของ solid solution และ
เฟสของ liquid solution คือ

$\Delta G_S^M = RT[X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_S X_A X_B - X_A \Delta G^\circ_{m(A)} - X_B \Delta G^\circ_{m(B)}$ (4)

$\Delta G_L^M = RT[X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_L X_A X_B + X_A \Delta G^\circ_{m(A)} + X_B \Delta G^\circ_{m(B)}$ (5)

เมื่อ $G^{\circ(L)}_{m(A)} - G^{\circ(S)}_{m(A)} = \Delta G^\circ_{m(A)}$

$G^{\circ(S)}_{m(A)} - G^{\circ(L)}_{m(A)} = -\Delta G^\circ_{m(A)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G^{\circ(L)}_{m(B)} - G^{\circ(S)}_{m(B)} = \Delta G^{\circ}_{m(B)}$$

$$\Delta G^{\circ}_{m} = \Delta H^{\circ}_{m} - T\Delta H^{\circ}_{m}$$

ถ้า $C_{p(S)} = C_{p(L)}$ ดังนั้น ΔH°_{m} และ ΔS°_{m} จะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

ทำให้ $\Delta G^{\circ}_{m} = \Delta H^{\circ}_{m} - (T/T_m)T_m$

เมื่อ T_m คืออุณหภูมิของวัสดุอุณหภูมิหลอมละลาย

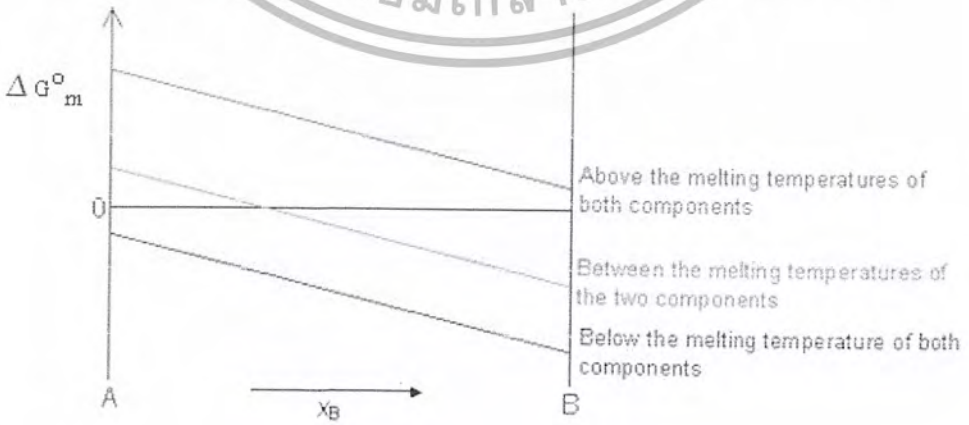
เมื่อเราทำการกำหนดอุณหภูมิที่จะพิจารณาของส่วนผสมต่างๆก็จะได้กราฟพลังงานอิสระของกิบส์

โดย $\Delta G^{\circ}_{m} = 0$ ที่อุณหภูมิหลอมเหลวของอัตราส่วนผสม

$\Delta G^{\circ}_{m} < 0$ ที่ต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของอัตราส่วนผสม

$\Delta G^{\circ}_{m} > 0$ ที่สูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของอัตราส่วนผสม

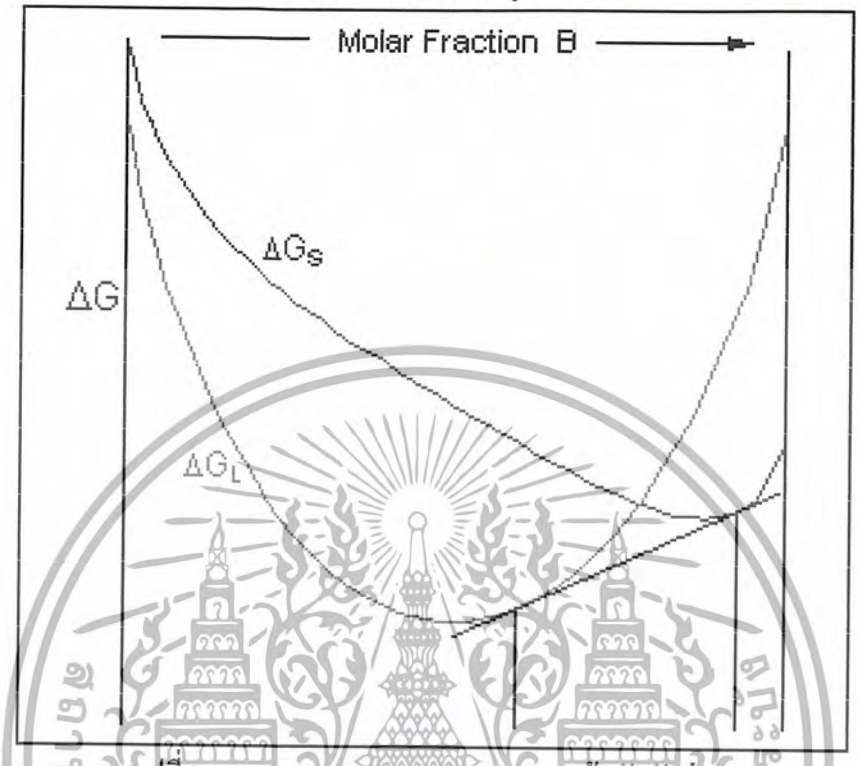
รูปที่ 2-3 แสดงตัวอย่างกราฟพลังงานอิสระของกิบส์ที่อุณหภูมิใดๆของเฟสของแข็ง



รูปที่ 2-4 แสดงผลของ ΔG°_{m} ต่อกราฟพลังงานอิสระของกิบส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป สภาวะสมดุลจะเกิดขึ้น เมื่อพลังงานอิสระของกิบส์ ของทั้ง2 เฟสมีค่าต่ำสุดโดยหาจากเส้นสัมผัสร่วมกัน (Cotangent) ดังรูปที่ 2-5

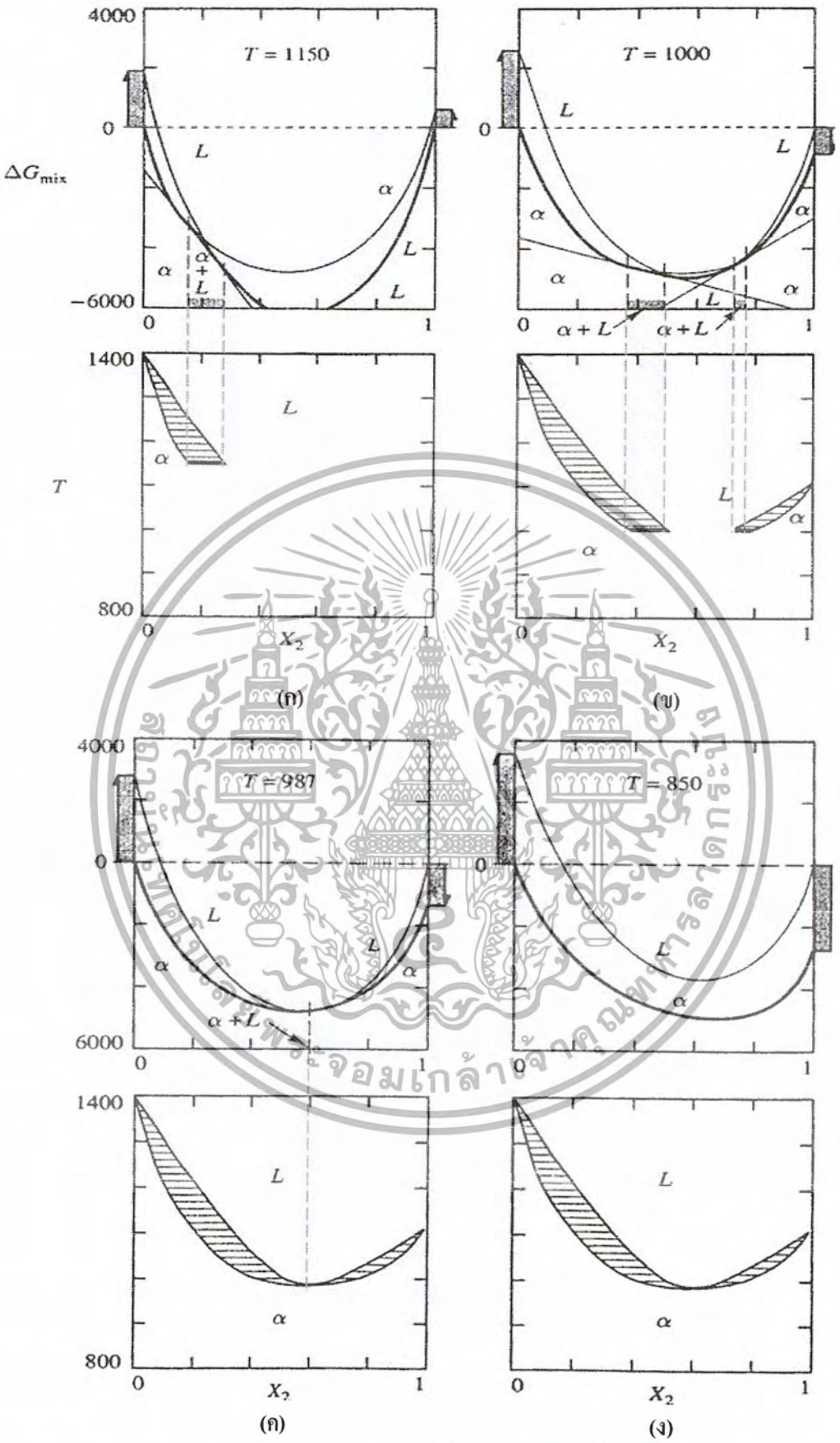


รูปที่ 2-5 แสดงการหาสมดุลของระบบจากเส้นสัมผัสร่วม

เมื่อทำการหาอัตราส่วนผสม ณ จุดที่เกิดเส้นสัมผัสร่วมที่จนครบช่วงที่จะพิจารณาก็จะได้เฟสไดอะแกรมในช่วงที่เราจะทำการพิจารณา

ในรูปที่ 2-6 นั้น ด้านบนคือกราฟพลังงานอิสระของกิบส์ของสารทั้ง 2 เฟส ด้านล่างคือเฟสไดอะแกรม แกนในแนวนอนของทั้ง 2 กราฟคือสัดส่วนสารเหมือนกัน ขั้นแรกเราจะทำการหากราฟพลังงานอิสระของกิบส์ของสารทั้ง 2 เฟสที่อุณหภูมิใดๆก่อนก่อน จากนั้นเราจะมาพิจารณาว่ามีจุดที่ทำให้เกิดเส้นสัมผัสร่วมบนกราฟพลังงานอิสระของกิบส์ของสารทั้ง 2 เฟสและที่จุดเหล่านั้นตรงกับสัดส่วนสารเท่าใด เมื่อหาตำแหน่งของสัดส่วนสารบนกราฟพลังงานอิสระของกิบส์ของสารทั้ง 2 เฟสได้แล้วก็จะลากเส้นฉายลงมาที่เฟสไดอะแกรมที่ตำแหน่งในแกนตั้งเท่าอุณหภูมินั้นๆ ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนครบช่วงอุณหภูมิที่เราจะพิจารณาก็จะได้เฟสไดอะแกรมในช่วงอุณหภูมินั้นออกมา โดยคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแต่ละโลหะหาได้จากภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



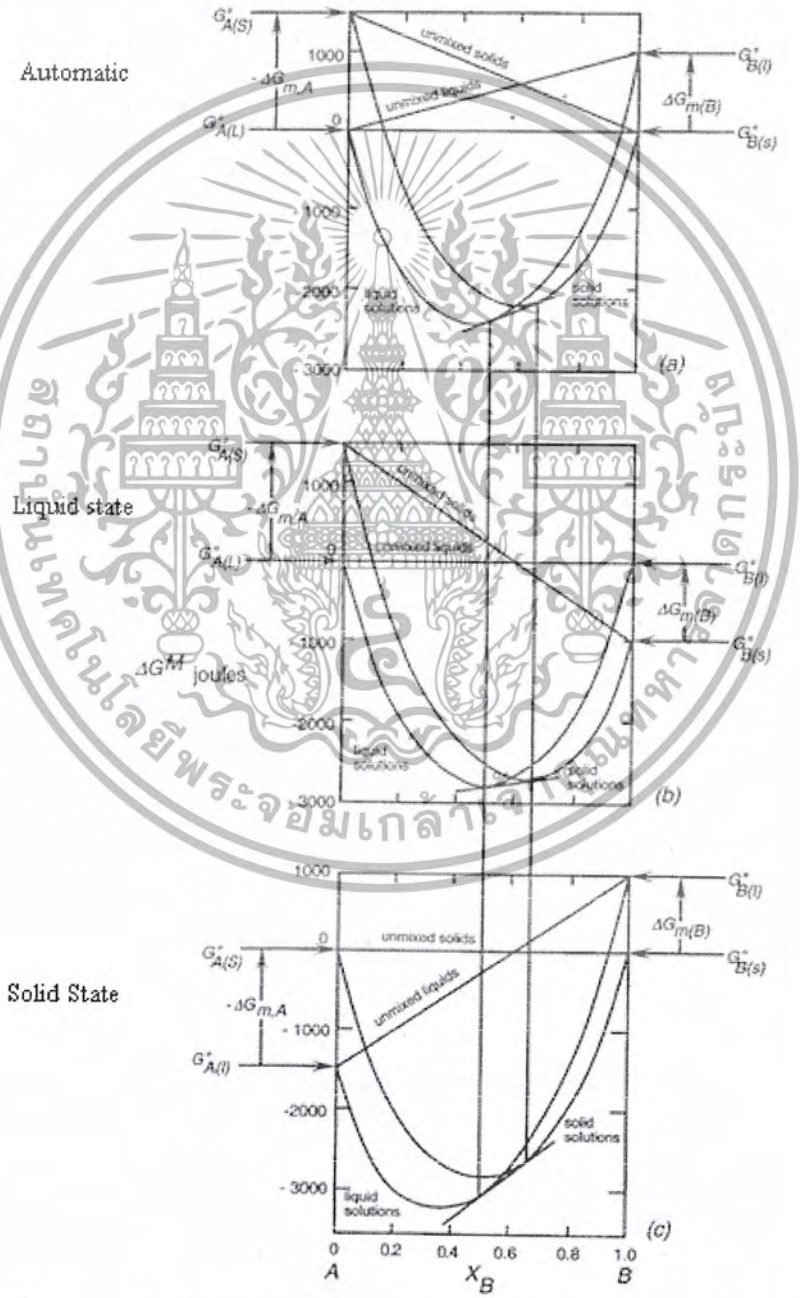
รูปที่ 2-6 แสดงตัวอย่างการหาเฟสไดอะแกรมจากเส้นสัมผัสร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะอ้างอิง (Reference state) คือสภาวะเริ่มต้นสำหรับแต่ละสารในขณะเริ่มต้นกระบวนการผสมกันของสาร ซึ่งจะถูกกำหนดคุณสมบัติ 4 ประการ

1. ความดัน = ที่ความดันเดียวกัน
2. อุณหภูมิ = ที่อุณหภูมิเดียวกัน
3. สัดส่วนของสาร = สารบริสุทธิ
4. เฟสฟอร์ม = เฟสฟอร์มเดียวกัน

ซึ่งสภาวะอ้างอิงมี 3 แบบ คือ Automatic, Liquid state, Solid State แต่ไม่ว่าเราจะเลือกใช้สภาวะอ้างอิงแบบใดก็ตามเราก็จะได้เฟสไดอะแกรมที่เหมือนกันทั้ง 3 วิธี

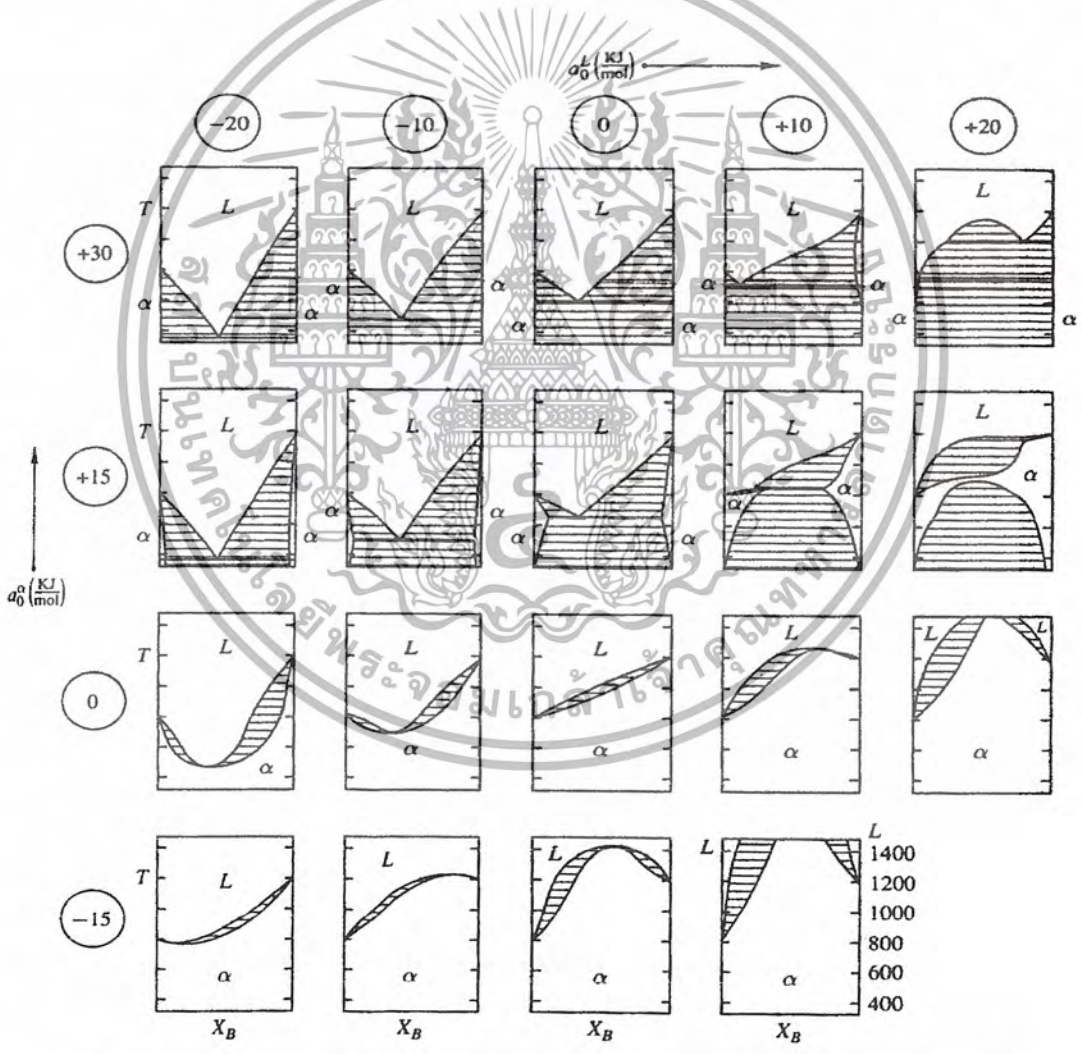


รูปที่ 2-7 แสดงการเลือกใช้สภาวะอ้างอิงที่ต่างกันแต่ก็ให้อัตราส่วนผสมเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2-6 จะเห็นได้ว่าแม้เราจะเลือกใช้สภาวะอ้างอิงที่ต่างกันแต่ก็ให้อัตราส่วนผสมเดียวกัน ซึ่งในที่สุดแล้วก็จะให้เฟสไดอะแกรมที่เหมือนกัน โดยข้อแตกต่างของสภาวะอ้างอิงทั้ง 3 คือ

1. สภาวะ Automatic จะตรึงเส้นกราฟของเฟสที่มี ΔG^M ต่ำสุด ตรงที่อัตราส่วนผสม 0 และ1 ไว้ที่ 0 ของแกน ΔG^M ในทุกอุณหภูมิ
2. สภาวะ Liquid state จะตรึงเส้นกราฟของเฟสของเหลวตรงที่อัตราส่วนผสม 0 และ1 ไว้ที่ 0 ของแกน ΔG^M ในทุกอุณหภูมิ โดยไม่สนใจว่า ΔG^M ของเฟสใดต่ำกว่าที่อัตราส่วนผสม 0 และ1
3. สภาวะ Solid state จะตรึงเส้นกราฟของเฟสของเหลวตรงที่อัตราส่วนผสม 0 และ1 ไว้ที่ 0 ของแกน ΔG^M ในทุกอุณหภูมิ โดยไม่สนใจว่า ΔG^M ของเฟสใดต่ำกว่าที่อัตราส่วนผสม 0 และ1



รูปที่ 2-8 แสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของเฟสไดอะแกรมเมื่อเปลี่ยนแปลง α_S และ α_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินการ

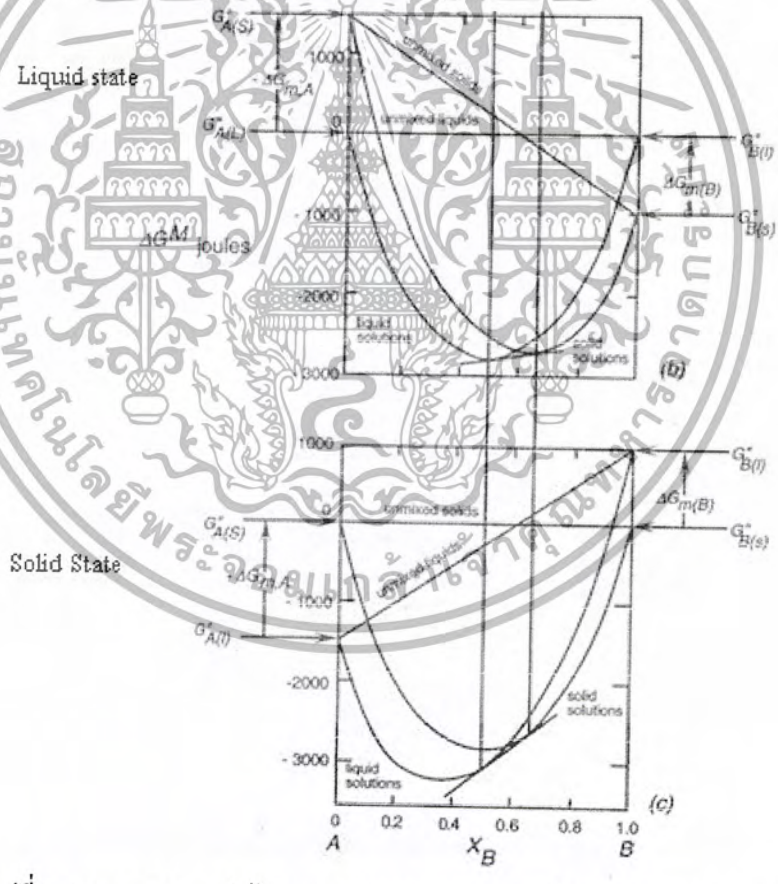
3.1 วิธีการคำนวณสภาวะอ้างอิง

การหาสภาวะอ้างอิงของทั้งสภาวะของแข็งและของเหลวทำได้โดยกำหนดค่าที่เป็นศูนย์ทั้งที่ $x_A = 0$ และที่ $x_A = 1$ ที่สภาวะนั้น ๆ

จากสมการทั่วไป(4)และ(5)

$$\Delta G_S^M = RT[X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_S X_A X_B - X_A \Delta G^\circ_{m(A)} - X_B \Delta G^\circ_{m(B)}$$

$$\Delta G_L^M = RT[X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_L X_A X_B + X_A \Delta G^\circ_{m(A)} + X_B \Delta G^\circ_{m(B)}$$



รูปที่ 3-1 แสดงการหาเฟสไดอะแกรมจากสภาวะของแข็งและสภาวะของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะของแข็ง สมการที่ใช้เป็นดังนี้

$$\Delta G_S^M = RT [X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_S X_A X_B$$

$$\Delta G_L^M = RT [X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_L X_A X_B + X_A \Delta G^\circ_{m(A)} + X_B \Delta G^\circ_{m(B)}$$

สภาวะของเหลว สมการที่ใช้เป็นดังนี้

$$\Delta G_S^M = RT [X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_S X_A X_B - X_A \Delta G^\circ_{m(A)} - X_B \Delta G^\circ_{m(B)}$$

$$\Delta G_L^M = RT [X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_L X_A X_B$$

ดังนั้นในการคำนวณจึงเพิ่มค่าตัวแปร f_{1S} , f_{2S} , f_{1L} , f_{2L} เพื่อจัดการสภาวะต่าง ๆ

สมการทั่วไปที่ใช้ในโปรแกรม

$$\Delta G_S^M = RT [X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_S X_A X_B - f_{1S} X_A \Delta G^\circ_{m(A)} - f_{2S} X_B \Delta G^\circ_{m(B)} \quad (6)$$

$$\Delta G_L^M = RT [X_A \ln X_A + X_B \ln X_B] + \alpha_L X_A X_B + f_{1L} X_A \Delta G^\circ_{m(A)} + f_{2L} X_B \Delta G^\circ_{m(B)} \quad (7)$$

ซึ่งค่า f_{1S} , f_{2S} , f_{1L} , f_{2L} มีค่าเป็น 0 และ 1 โดยมีค่าขึ้นกับตัวแปร $\Delta G^\circ_{m(A)}$ และ $\Delta G^\circ_{m(B)}$ ดังนี้

1. ถ้า $\Delta G^\circ_{m(A)}$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 แล้ว $f_{1S} = 1$, $f_{1L} = 0$
2. ถ้า $\Delta G^\circ_{m(B)}$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 แล้ว $f_{2S} = 1$, $f_{2L} = 0$
3. ถ้า $\Delta G^\circ_{m(A)}$ มากกว่าหรือเท่ากับ 0 แล้ว $f_{1S} = 0$, $f_{1L} = 1$
4. ถ้า $\Delta G^\circ_{m(B)}$ มากกว่าหรือเท่ากับ 0 แล้ว $f_{2S} = 0$, $f_{2L} = 1$

คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของแต่ละโลหะหาได้จากภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน (Flow Chart) ของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน (Flow Chart) ของโปรแกรมดังต่อไปนี้

3.2.1 การทำงานของโปรแกรมหลัก

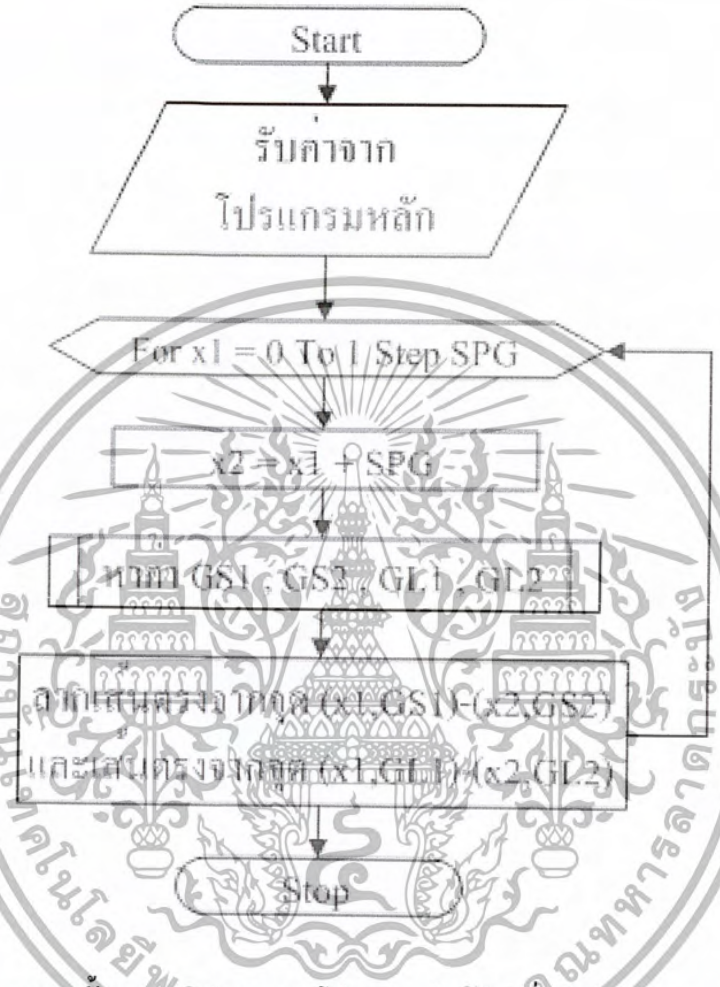
ส่วนนี้จะเป็นการรับค่าคุณสมบัติต่างๆของสารเพื่อนำไปคำนวณต่อไป มีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3-2

รูปที่ 3-2 แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทำงานของโปรแกรมย่อย ส่วนสร้างแผนภาพพลังงานอิสระกิบส์

โปรแกรมย่อยส่วนนี้จะรับค่าจากโปรแกรมหลักเพื่อมาใช้ในการสร้างแผนภาพพลังงานอิสระกิบส์ มีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3-3

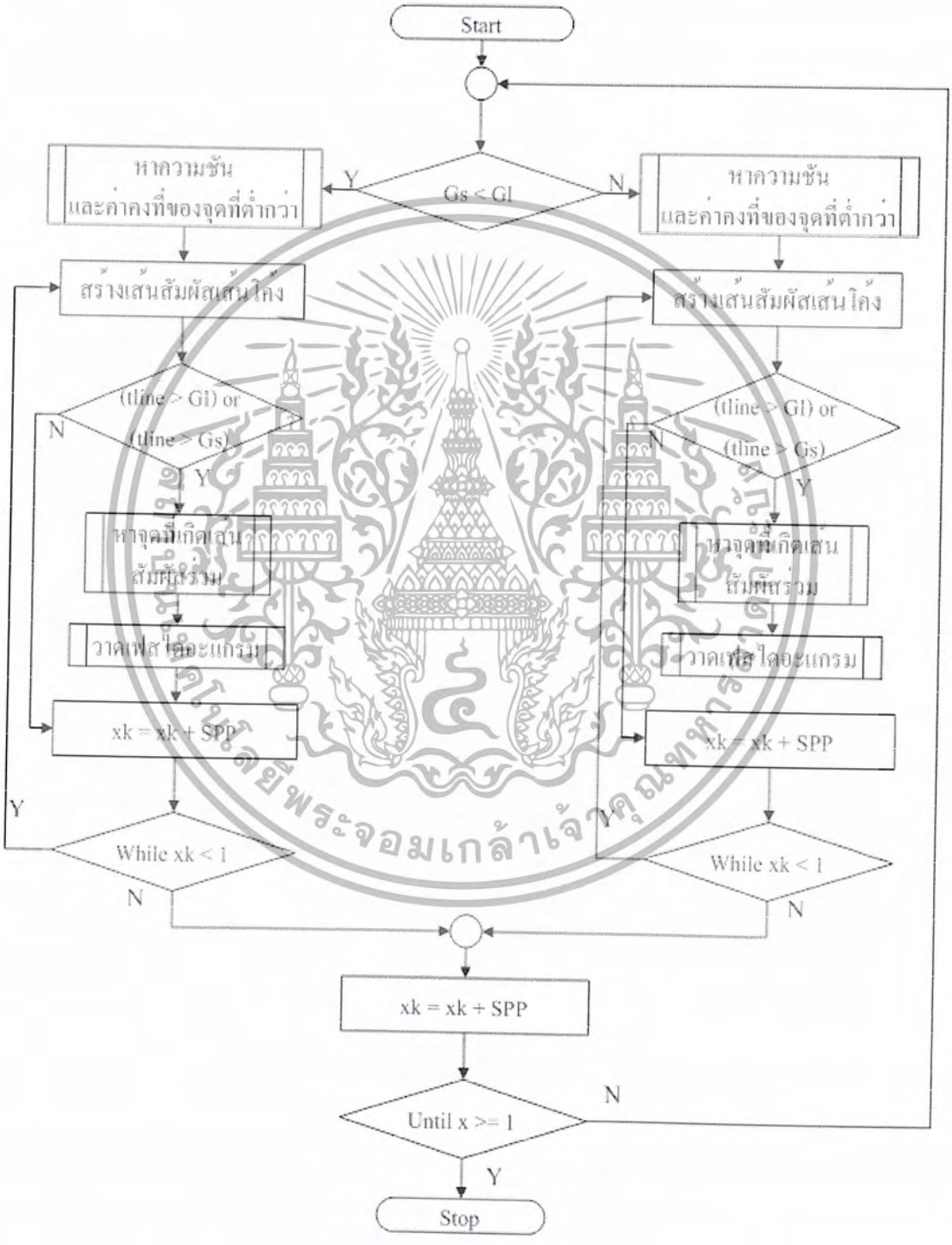


รูปที่ 3-3 แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย ส่วนที่สร้างแผนภาพพลังงานอิสระกิบส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทำงานของโปรแกรมย่อย ส่วนหาเส้นสัมผัสร่วม

โปรแกรมส่วนนี้จะเป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้หาเส้นสัมผัสร่วมของเส้นพลังงานอิสระกิบส์ทั้ง2 เฟสเพื่อนำสัดส่วนสารตรงที่เกิดเส้นสัมผัสร่วมไปสร้างเฟสไดอะแกรมอีกครั้ง โดยมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3-4

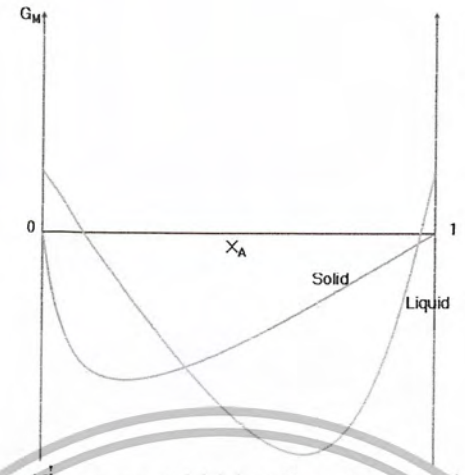


รูปที่ 3-4 แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย ส่วนหาเส้นสัมผัสร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.1 วิธีการคำนวณหาเส้นสัมผัสร่วม

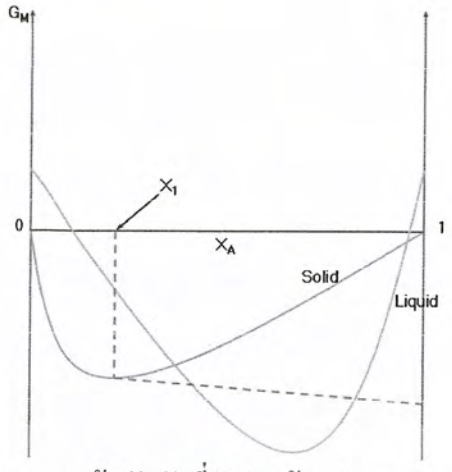


รูปที่ 3-5 แสดงแผนภาพพลังงานอิสระกิบส์

1. เริ่มต้นจาก $x_1 = 0$
2. หาความชันของเส้นพลังงานกิบส์ที่มีค่าต่ำกว่าโดยใช้สมการ $f'(x_1)=(f(x_1 + \Delta x) + f(x_1)) / \Delta x$ เพื่อหาค่าความชัน (m) จากรูปที่ 3-5 พลังงานอิสระกิบส์ของของแข็งที่ $x_1 = 0$ มีค่าต่ำกว่าพลังงานอิสระกิบส์ของของแข็ง
3. หาค่าคงที่จากจุด x_1 = โดยใช้สมการ $C = f(x_1) - mx_1$
4. สร้างเส้นสัมผัสจากจุด x_1 โดยใช้สมการ $f(x_1) = mx_1 + C$

รูปที่ 3-6 แสดงเส้นสัมผัสที่ไม่ตัดกับเส้นพลังงานอิสระกิบส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61753



รูปที่ 3-7 แสดงเส้นสัมผัสที่ตัดกับเส้นพลังงานอิสระกิบส์

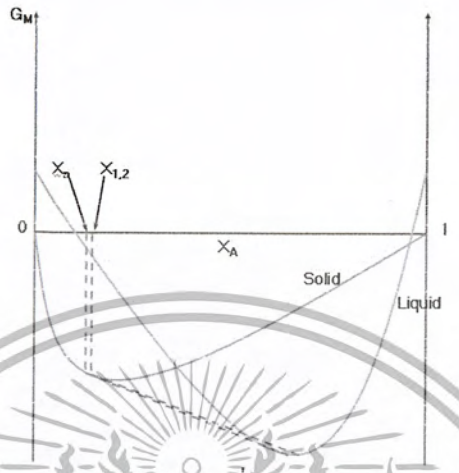
5. จากจุด $x_1 = 0$ ถึง $x_1 = 1$ เปรียบเทียบค่าของเส้นสัมผัส ณ ตำแหน่ง x_1 กับพลังงานอิสระกิบส์ของของแข็ง และพลังงานอิสระกิบส์ของของเหลว
   5.1 ถ้าเส้นสัมผัส ณ ตำแหน่ง x_1 มีค่าต่ำกว่าพลังงานอิสระกิบส์ของของแข็ง และพลังงานอิสระกิบส์ของของเหลว ทั้งหมด ดังรูปที่ 3-6 ทำข้อ (6)
   5.2 ถ้าเส้นสัมผัส ณ ตำแหน่ง x_1 มีค่าสูงกว่าพลังงานอิสระกิบส์ของของแข็ง หรือพลังงานอิสระกิบส์ของของเหลว ดังรูปที่ 3-7 ทำข้อ (7)
6. เพิ่มค่า $x_1 = x_1 + \varepsilon$ โดยค่า $\varepsilon = 0.02$ จากนั้น กลับไปทำข้อ (2) ถึง ข้อ (5)

รูปที่ 3-8 แสดงการคำนวณด้วยวิธีการแบ่งครึ่งช่วง

7. กำหนด $x_{1,2} = x_1$ และ $x_{1,1} = x_{1,2} - \varepsilon$ ดังรูปที่ 3-8 จากนั้นใช้วิธีการแบ่งครึ่งช่วงและทำข้อต่อไป
8. วิธีการแบ่งครึ่งช่วง
   8.1 $x_n = (x_{1,1} + x_{1,2}) / 2$
   8.2 ทำข้อ (2) ถึง ข้อ (5) โดยแทน x_1 ด้วย x_n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 ถ้าเส้นสัมผัสที่จุด x_n มีค่ามากกว่า พลังงานอิสระกิบส์ของของแข็ง หรือพลังงานอิสระกิบส์ของของเหลว จะกำหนด $x_{1,2} = x_n$ ถ้าเส้นสัมผัสที่จุด x มีค่าต่ำกว่า พลังงานอิสระกิบส์ของของแข็งและพลังงานอิสระกิบส์ของของเหลวทั้งหมด จะกำหนด $x_{1,1} = x_n$



รูปที่ 3-9 แสดงการใช้วิธีแบ่งครึ่งช่วงจนพบเส้นสัมผัสร่วม

8.4 ทำซ้ำข้อ (8.1) จนถึง (8.3) จนกระทั่ง $|x_i - x_{i-1}| / x_i < 0.005$ ดังรูป 3-9

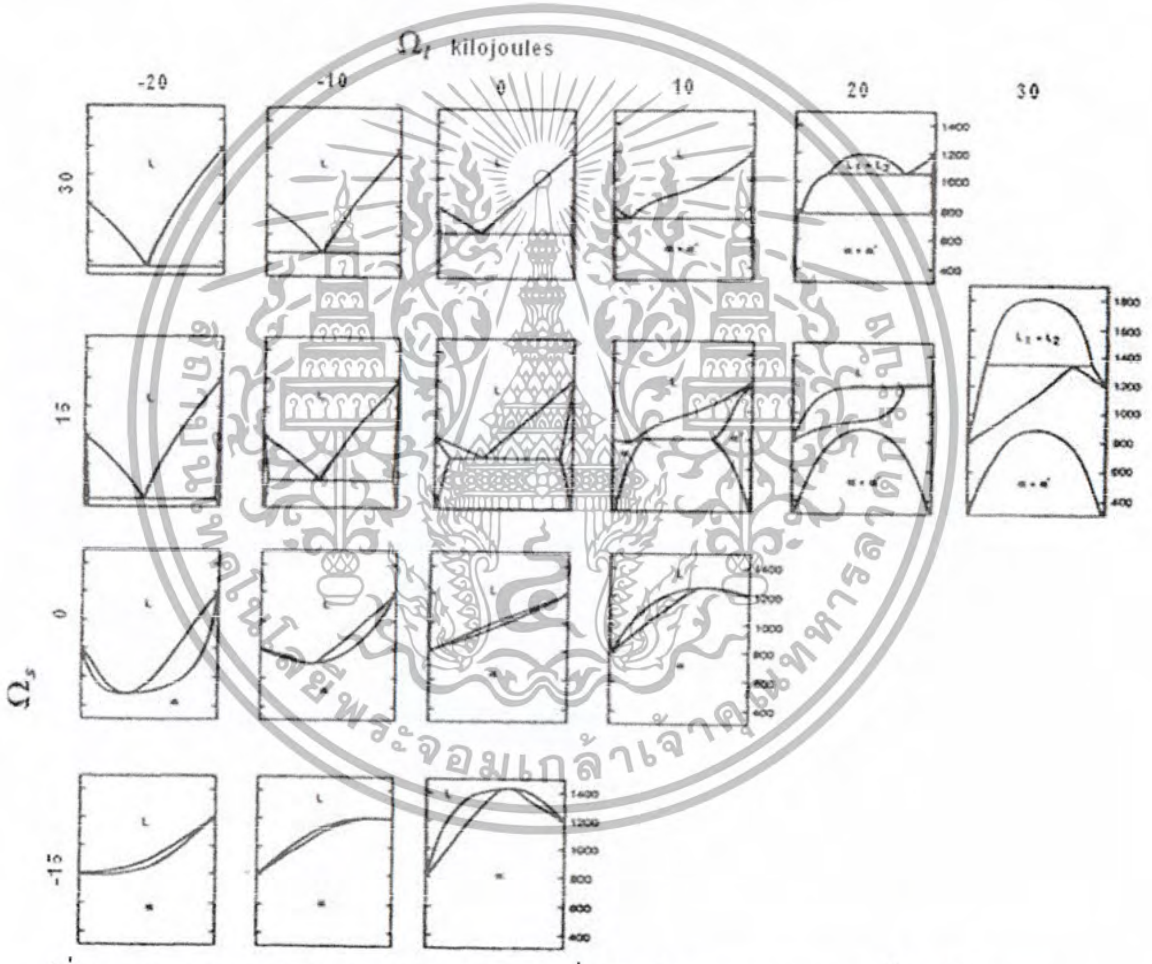
9. กำหนดค่าใหม่ให้กับ $x_1 = x_n$ จากข้อ (8) จากนั้นทำซ้ำข้อ (2) ถึง (4) จนกระทั่ง $x_1 = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 วิธีการและทดสอบโปรแกรม

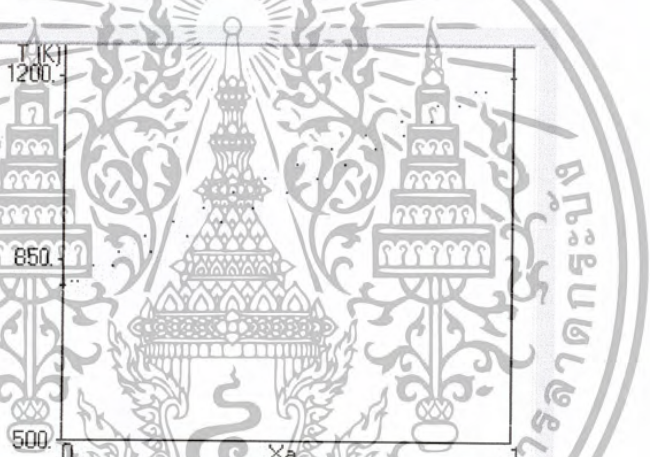
เมื่อนำผลที่ได้จากโปรแกรมนี้มาเปรียบเทียบกับผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson ที่อุณหภูมิหลอมเหลวของสารทั้ง2เท่ากับ 800 K และ 1200 K เอนโทรปีการหลอมเหลวเท่ากับ10 J/Kทั้ง2สารมีแนวโน้มดังรูปที่ 4-1 ในที่นี้จะทดสอบโปรแกรมโดยการกรอกค่าตัวแปรตามที่กล่าวมาข้างต้นแต่จะเปลี่ยนค่า α_S และ α_L ตามรูปที่ 4-1 เพื่อเปรียบเทียบกับผลจากโปรแกรม



รูปที่ 4-1 ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson ที่อุณหภูมิหลอมเหลวของสารทั้ง2เท่ากับ 800 K และ 1200 K เอนโทรปีการหลอมเหลวเท่ากับ 10 J/K ทั้ง2สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

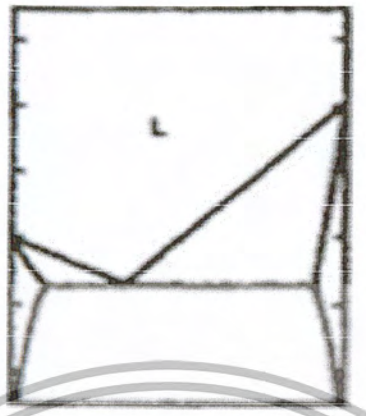
(ก)



(ข)

รูปที่ 4-2 α_S = 0 J และ α_L=0 J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

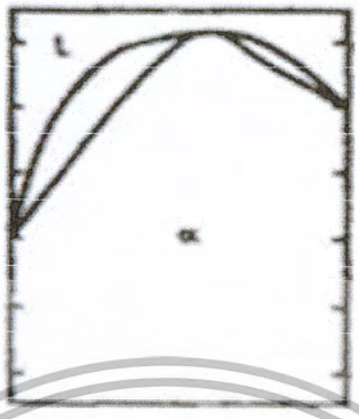


(ก)

(ข)

รูปที่ 4-3 α_S = 15000 J และ α_L=0 J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



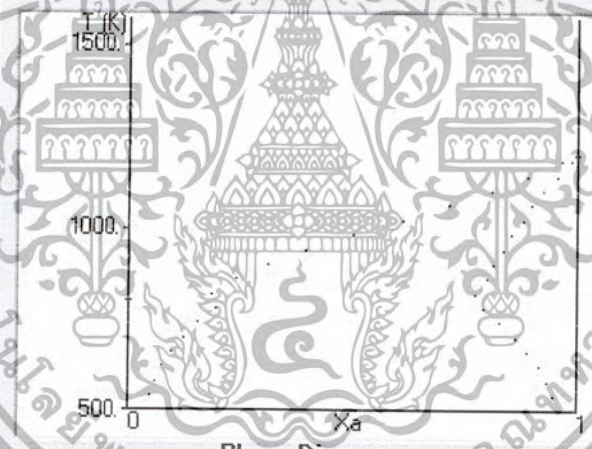
(ก)

(ข)

รูปที่ 4-4 α_S = -15000 J และ α_L=0 J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

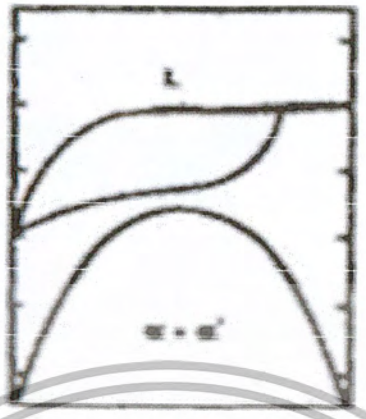
(ก)



(ข)

รูปที่ 4-5 α_S = 15000 J และα_L=10000 J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

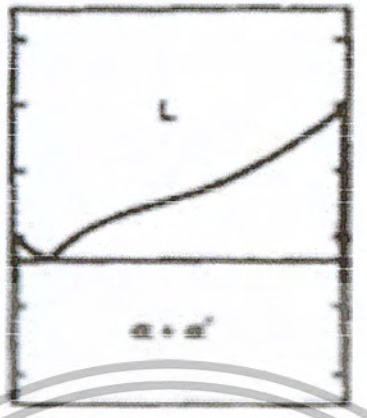


(ก)

(ข)

รูปที่ 4-6 α_S = 15000 J และ α_L = 20000 J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

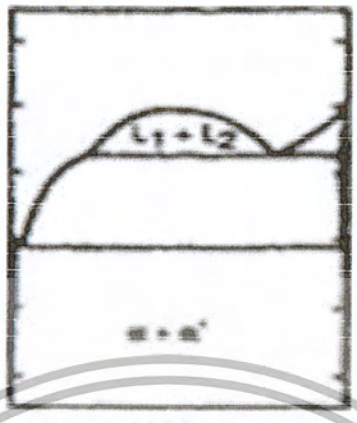


(ก)

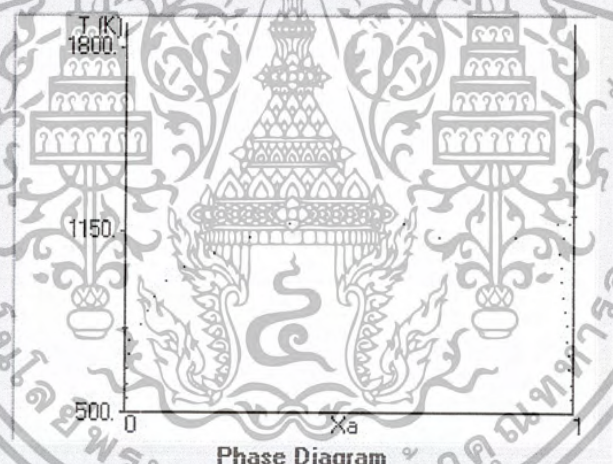
(ข)

รูปที่ 4-7 α_S = 30000 J และ α_L = 10000 J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข)ผลจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่4-8 α_S = 30000 J และ α_L = 20000 J , ก) ผลของ A.D. Pelton และ W.T.Thomson , ข) ผลจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุปโครงงาน

1. สามารถหาสมการทั่วไปที่ใช้ในการจำลอง และสามารถจำลองแผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสม 2 ชนิด โดยใช้ทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้

2. โปรแกรมคำนวณหาแผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสม 2 ชนิดได้ถูกพัฒนา โดยใช้โปรแกรม Visual Basic

3. ผลที่ได้จากโปรแกรมสอดคล้องกับผลของ A.D. Pelton และ W.T. Thomson และผลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

4. สามารถใช้เป็นโปรแกรมต้นแบบในการพัฒนาสำหรับการจำลองแผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสมมากกว่า 2 ชนิด

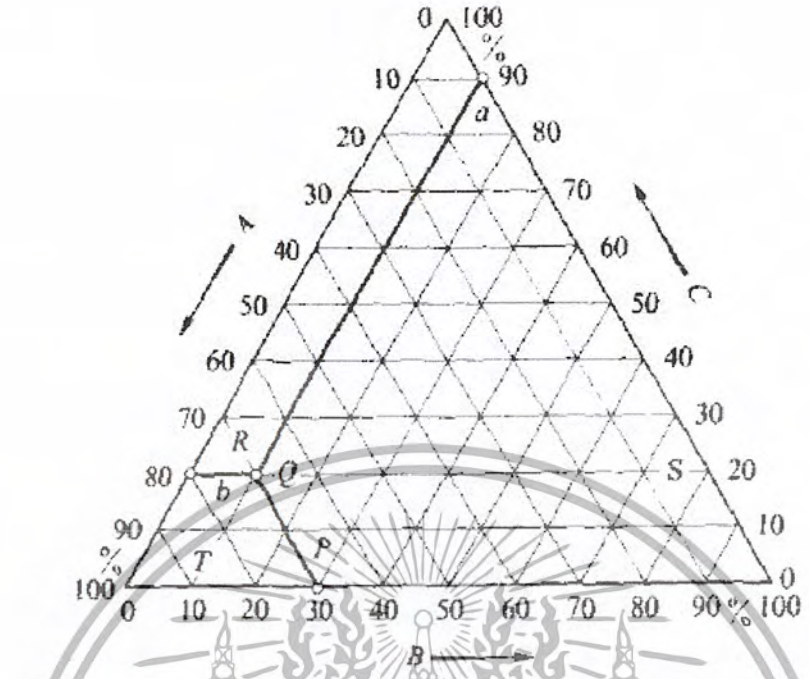
5. สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้

5.2 แนวทางการพัฒนา

ในส่วนนี้ขอกล่าวถึงแนวทางในการพัฒนาสำหรับเฟสไดอะแกรมของสาร 3 ชนิด สามารถหาได้ด้วยวิธีของ Muggianu พลังงานอิสระของกิบส์โดยการ extrapolation พลังงานอิสระของสารแต่ละคู่ด้วยวิธีของ Muggianu คือ

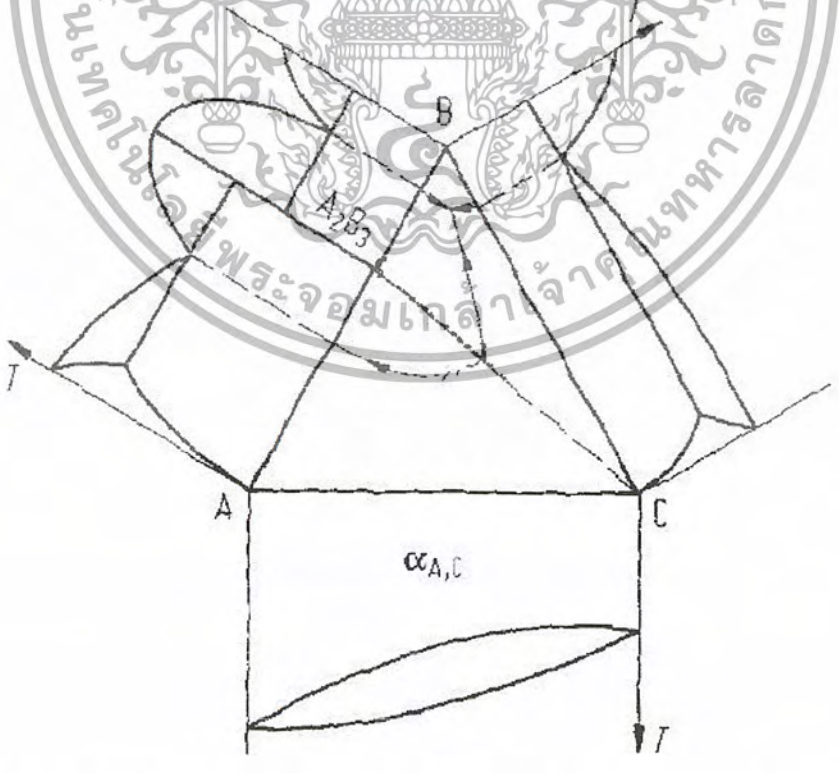
$$\Delta G^{M} = X_A \Delta G^{\circ}_{m(A)} + X_B \Delta G^{\circ}_{m(B} + X_C \Delta G^{\circ}_{m(C)} + RT[X_A \ln X_A + X_B \ln X_B + X_C \ln X_C]$$
$$+ X_A X_B \alpha_{AB}(X_A - X_B) + X_A X_C \alpha_{AC}(X_A - X_C) + X_B X_C \alpha_{BC}(X_B - X_C) \qquad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-1 แสดงตัวอย่างสัดส่วนสารในระบบที่มีสาร 3 ชนิด ซึ่งความยาวรวมเท่ากับ

bQ + QP + aQ =100%



รูปที่ 5-2 แสดงเฟสไดอะแกรมของสาร 3 ชนิดโดยการหาเฟสไดอะแกรมของสารแต่ละคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

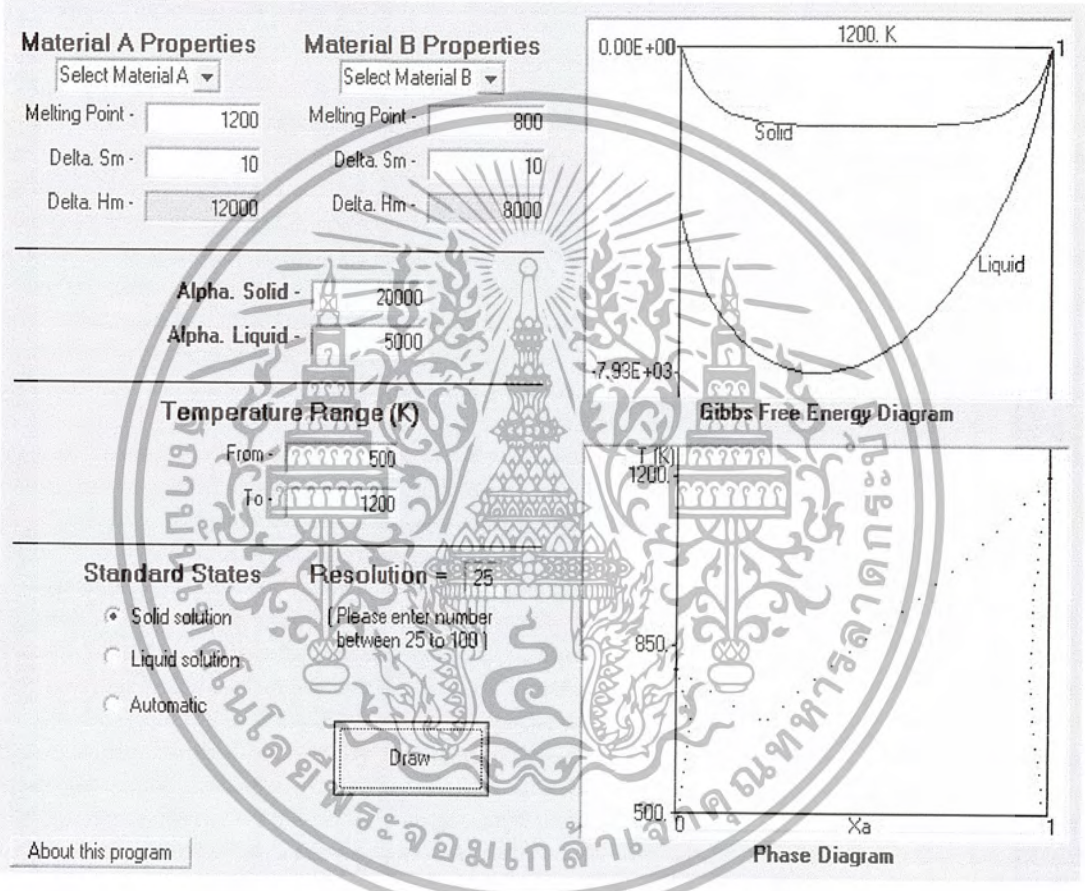
$H(H_2)$ 14.0 12.7								Element ΔS°_m T_m									
Li 454 6.54	Be 1560 7.83	B 2450 9.21											C(graph) 4070 -	$N(N_2)$ 63.2 11.39	$O(O_2)$ 54.4 8.19	$F(F_2)$ 53.6 29.8	Ne
Na 371 7.12	Mg 922 9.53	Al 933.3 11.2											Si 1685 30.1	P(Yellow) 317.3 8.32	S(Rhomb) 386 3.2	$Cl(Cl_2)$ 172.2 37.2	
K 336.4 7.1	Ca 1116 7.49	Sc 1811 -	Ti 1940 (9.20)	V 2175 7.7	Cr 2130 (9.8)	Mn 1517 (9.69)	Fe 1809 8.4	Co 1768 (9.8)	Ni 1726 9.54	Cu 1356.6 9.60	Zn 692.7 10.51	Ga 302.9 18.5	Ge 1210 30.4	As 1090 -	Se 493.7 12.7	$Br(Br_2)$ 265.9 39.7	Kr
Rb 312 7.95	Sr 1043 (8.05)	Y 1803 6.34	Zr 2125 (9.08)	Nb 2740 10.7	Mo 2890 12.3	Tc	Ru 2520 -	Rh 2239 (10.1)	Pd 1825 9.15	Ag 1234 8.59	Cd 594.1 10.79	In 429.6 7.61	Sn 505.1 14.0	Sb 903.7 22	Te 723 24.3	$I(I_2)$ 386.8 40.8	Xe
Cs 303 6.9	Ba 1002 7.46	La 1193 (7.01)	Hf 2500 9.53	Ta 3288 7.51	W 3670 9.6	Re 3450 9.7	Os 3300 -	Ir 2716 (9.6)	Pt 2024 (9.55)	Au 1338 9.56	Hg 234.29 9.91	Tl 577 7.45	Pb 600.6 8.91	Bi 544 20	Po 519 -	At	Rn
Fr	Ra 1000 -	Ac															

Ce 1071 4.88	Pr 1205 (9.4)	Nd 1289 5.54	Pm	Sm 1354 6.63	Eu 1099 -	Gd 1585 -	Tb 1633 -	Dy 1682 -	Ho	Er 1795 -	Tm	Yb 1097 -	Lu
Th 2020 -	Pa	U 1405 8.9	Np 910 -	Pu 913 3.13	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md		Lw

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim R As Double
Dim Clicked As Boolean
Dim Step As Double
Dim SPG As Double
Dim SPP As Double
Dim minI As Double, maxI As Double, x As Double
Dim THigh As Double, TLow As Double
Dim ElemName(1 To 63) As String
Dim ElemProp(1 To 63, 1 To 2) As Single

Private Sub Form_Load() 'ให้แสดงกึ่งกลางหน้าจอ
  Left = (Screen.Width - Width) / 2
  Top = (Screen.Height - Height) / 2
  Let R = 8.3144
  Let SPG = 0.02 '<========== ปรับความละเอียดเส้น gibb
  Let Clicked = False
  Dim i As Integer
  'Database
  ElemName(1) = "Aluminum[Al]": ElemProp(1, 1) = 933.3: ElemProp(1, 2) = 11.2
  ElemName(2) = "Antimony[Sb]": ElemProp(2, 1) = 903.7: ElemProp(2, 2) = 22
  ElemName(3) = "Barium[Ba]": ElemProp(3, 1) = 1002: ElemProp(3, 2) = 7.64
  ElemName(4) = "Beryllium[Be]": ElemProp(4, 1) = 1560: ElemProp(4, 2) = 7.83
  ElemName(5) = "Bismuth[Bi]": ElemProp(5, 1) = 544: ElemProp(5, 2) = 20
  ElemName(6) = "Boron[B]": ElemProp(6, 1) = 2450: ElemProp(6, 2) = 9.21
  ElemName(7) = "Bromine[Br]": ElemProp(7, 1) = 265.9: ElemProp(7, 2) = 39.7
  ElemName(8) = "Cadmium[Cd]": ElemProp(8, 1) = 594.1: ElemProp(8, 2) = 10.79
  ElemName(9) = "Calcium[Ca]": ElemProp(9, 1) = 1116: ElemProp(9, 2) = 7.49
  ElemName(10) = "Cesium[Cs]": ElemProp(10, 1) = 303: ElemProp(10, 2) = 6.9
  ElemName(11) = "Chlorine[Cl]": ElemProp(11, 1) = 172.2: ElemProp(11, 2) = 37.2
  ElemName(12) = "Chromium[Cr]": ElemProp(12, 1) = 2130: ElemProp(12, 2) = 9.8
  ElemName(13) = "Cobalt[Co]": ElemProp(13, 1) = 1768: ElemProp(13, 2) = 8.8
  ElemName(14) = "Copper[Cu]": ElemProp(14, 1) = 1356.6: ElemProp(14, 2) = 9.6
  ElemName(15) = "Fluorine[F]": ElemProp(15, 1) = 53.6: ElemProp(15, 2) = 29.8
  ElemName(16) = "Gallium[Ga]": ElemProp(16, 1) = 302.9: ElemProp(16, 2) = 18.5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ElemName(17) = "Germanium[Ge]": ElemProp(17, 1) = 1210: ElemProp(17, 2) = 30.4

ElemName(18) = "Gold[Au]": ElemProp(18, 1) = 1336: ElemProp(18, 2) = 9.56

ElemName(19) = "Hafnium[Hf]": ElemProp(19, 1) = 2500: ElemProp(19, 2) = 9.63

ElemName(20) = "Hydrogen[H]": ElemProp(20, 1) = 14: ElemProp(20, 2) = 12.7

ElemName(21) = "Indium[in]": ElemProp(21, 1) = 429.6: ElemProp(21, 2) = 7.61

ElemName(22) = "Iodine[I]": ElemProp(22, 1) = 386.8: ElemProp(22, 2) = 40.8

ElemName(23) = "Iridium[Ir]": ElemProp(23, 1) = 2716: ElemProp(23, 2) = 9.6

ElemName(24) = "Iron[Fe]": ElemProp(24, 1) = 1809: ElemProp(24, 2) = 8.4

ElemName(25) = "Lanthanum[La]": ElemProp(25, 1) = 1193: ElemProp(25, 2) = 7.01

ElemName(26) = "Lead[Pb]": ElemProp(26, 1) = 600.6: ElemProp(26, 2) = 8.01

ElemName(27) = "Lithium[Li]": ElemProp(27, 1) = 454: ElemProp(27, 2) = 6.45

ElemName(28) = "Magnesium[Mg]": ElemProp(28, 1) = 922: ElemProp(28, 2) = 9.53

ElemName(29) = "Managanese[Mn]": ElemProp(29, 1) = 1517: ElemProp(29, 2) = 9.69

ElemName(30) = "Mercury[Hg]": ElemProp(30, 1) = 234.29: ElemProp(30, 2) = 9.91

ElemName(31) = "Molybdenum[Mo]": ElemProp(31, 1) = 2890: ElemProp(31, 2) = 12.3

ElemName(32) = "Neodymium[Nd]": ElemProp(32, 1) = 1289: ElemProp(32, 2) = 5.54

ElemName(33) = "Nickel[Ni]": ElemProp(33, 1) = 1726: ElemProp(33, 2) = 9.94

ElemName(34) = "Niobium[Nb]": ElemProp(34, 1) = 2740: ElemProp(34, 2) = 10.7

ElemName(35) = "Nitrogen[N]": ElemProp(35, 1) = 63.2: ElemProp(35, 2) = 11.39

ElemName(36) = "Oxygen[O]": ElemProp(36, 1) = 54.4: ElemProp(36, 2) = 8.19

ElemName(37) = "Palladium[Pd]": ElemProp(37, 1) = 1825: ElemProp(37, 2) = 9.15

ElemName(38) = "Phosphorus[P]": ElemProp(38, 1) = 317.3: ElemProp(38, 2) = 8.32

ElemName(39) = "Platinum[Pt]": ElemProp(39, 1) = 2042: ElemProp(39, 2) = 9.65

ElemName(40) = "Plutonium[Pu]": ElemProp(40, 1) = 913: ElemProp(40, 2) = 3.18

ElemName(41) = "Potassium[K]": ElemProp(41, 1) = 336.4: ElemProp(41, 2) = 7.1

ElemName(42) = "Praseodymium[Pr]": ElemProp(42, 1) = 1205: ElemProp(42, 2) = 9.4

ElemName(43) = "Rhenium[Re]": ElemProp(43, 1) = 3450: ElemProp(43, 2) = 9.7

ElemName(44) = "Rhodium[Rh]": ElemProp(44, 1) = 2239: ElemProp(44, 2) = 10.1

ElemName(45) = "Rubidium[Rb]": ElemProp(45, 1) = 312: ElemProp(45, 2) = 7.05

ElemName(46) = "Samarium[Sm]": ElemProp(46, 1) = 1345: ElemProp(46, 2) = 6.3

ElemName(47) = "Selenium[Se]": ElemProp(47, 1) = 493.7: ElemProp(47, 2) = 12.7

ElemName(48) = "Silicon[Si]": ElemProp(48, 1) = 1685: ElemProp(48, 2) = 30.1

ElemName(49) = "Silver[Ag]": ElemProp(49, 1) = 1234: ElemProp(49, 2) = 8.99

ElemName(50) = "Sodium[Na]": ElemProp(50, 1) = 371: ElemProp(50, 2) = 7.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ElemName(51) = "Strontium[Sr]": ElemProp(51, 1) = 1043: ElemProp(51, 2) = 8.05
    ElemName(52) = "Sulfer[S]": ElemProp(52, 1) = 386: ElemProp(52, 2) = 3.2
    ElemName(53) = "Tantalum[Ta]": ElemProp(53, 1) = 3288: ElemProp(53, 2) = 7.51
    ElemName(54) = "Tellurium[Te]": ElemProp(54, 1) = 723: ElemProp(54, 2) = 24.3
    ElemName(55) = "Thallium[Tl]": ElemProp(55, 1) = 577: ElemProp(55, 2) = 7.45
    ElemName(56) = "Tin[Sn]": ElemProp(56, 1) = 505.1: ElemProp(56, 2) = 14
    ElemName(57) = "Titanium[Ti]": ElemProp(57, 1) = 1940: ElemProp(57, 2) = 9.02
    ElemName(58) = "Tungsten[W]": ElemProp(58, 1) = 3670: ElemProp(58, 2) = 9.6
    ElemName(59) = "Urenium[U]": ElemProp(59, 1) = 1405: ElemProp(59, 2) = 8.9
    ElemName(60) = "Vanadium[V]": ElemProp(60, 1) = 2175: ElemProp(60, 2) = 7.7
    ElemName(61) = "Yttrium[Y]": ElemProp(61, 1) = 1803: ElemProp(61, 2) = 6.34
    ElemName(62) = "Zinc[Zn]": ElemProp(62, 1) = 692.7: ElemProp(62, 2) = 10.51
    ElemName(63) = "Zirconium[Zr]": ElemProp(63, 1) = 2125: ElemProp(63, 2) = 9.08

    For i = LBound(ElemName) To UBound(ElemName) 'Step -1
    cmbMatA.AddItem ElemName(i)
    cmbMatB.AddItem ElemName(i)
    Next i
End Sub

Private Sub cmdDraw_Click()
Dim dhmA As Double, dsmA As Double
Dim dhmB As Double, dsmB As Double
Dim T As Double
Dim TStep As Double
    Let Clicked = True
    dhmA = Val(txtDelHmA)
    dsmA = Val(txtDelSmA)
    dhmB = Val(txtDelHmB)
    dsmB = Val(txtDelSmB)
    THigh = Val(txtTHigh)
    TLow = Val(txtTLow)
    T = Val(txtTLow)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Step = Val(txtStep) '<================================================== ปรับความ
ละเอียดเส้น gibb
    If Step < 25 Then
      Step = 25
      txtStep.Text = "25"
    End If
    If Step > 100 Then
      Step = 100
      txtStep.Text = "100"
    End If
    SPP = 0.01 - ((((Step - 25) * 0.005) / (100 - 25)) + 0.00001) '<============ ปรับความละเอียดจุด
phase

    TStep = (THigh - TLow) / Step

    Call PhaseAxes(TLow, THigh) 'วาดแกนของ Phase
    Do
      Call GibbAxes(T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) 'วาดแกนของ Gibb
      Call PlotGibb(T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
      Call CoTangent(T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) 'หาค่าความชันร่วม
      T = T + TStep
    Loop Until T > THigh
End Sub

Private Function Gs(x As Double, T As Double, dhmA As Double, dhmB As Double, dsmA As
Double, dsmB As Double) As Double
Dim AlphaS As Double
Dim ds As Double, dl As Double
Dim xx1 As Double, xx2 As Double
    AlphaS = Val(txtAlphaS)
'Gibbs free energy of mixing equations for Solid
    If optAuto.Value = True Then
      If (dhmA - (dsmA * T)) <= 0 Then
        ds = -(dhmA - (dsmA * T)) * x
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Else
      ds = 0
    End If
    If (dhmB - (dsmB * T)) <= 0 Then
      dl = -(dhmB - (dsmB * T)) * (1 - x)
    Else
      dl = 0
    End If
  ElseIf optSolid.Value = True Then
    ds = 0
    dl = 0
  ElseIf optLiquid.Value = True Then
    ds = -(dhmA - (dsmA * T)) * x
    dl = -(dhmB - (dsmB * T)) * (1 - x)
  End If

  If Abs(x) < 0.0000001 Then
    xx1 = 0
  Else
    xx1 = x * Log(x)
  End If
  If Abs((1 - x)) < 0.0000001 Then
    xx2 = 0
  Else
    xx2 = (1 - x) * Log(1 - x)
  End If
  Gs = ds + dl + R * T * (xx1 + xx2) + AlphaS * x * (1 - x)
End Function

Private Function Gl(x As Double, T As Double, dhmA As Double, dhmB As Double, dsmA As
Double, dsmB As Double) As Double
Dim AlphaL As Double
Dim ds As Double, dl As Double
Dim xx1 As Double, xx2 As Double
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    AlphaL = Val(txtAlphaL)
'Gibbs free energy of mixing equations for Liquid
    If optAuto.Value = True Then
        If (dhmA - (dsmA * T)) > 0 Then
            ds = (dhmA - (dsmA * T)) * x
        Else
            ds = 0
        End If
        If (dhmB - (dsmB * T)) > 0 Then
            dl = (dhmB - (dsmB * T)) * (1 - x)
        Else
            dl = 0
        End If
    ElseIf optLiquid.Value = True Then
        ds = 0
        dl = 0
    ElseIf optSolid.Value = True Then
        ds = (dhmA - (dsmA * T)) * x
        dl = (dhmB - (dsmB * T)) * (1 - x)
    End If

    If Abs(x) < 0.0000001 Then
        xx1 = 0
    Else
        xx1 = x * Log(x)
    End If
    If Abs((1 - x)) < 0.0000001 Then
        xx2 = 0
    Else
        xx2 = (1 - x) * Log(1 - x)
    End If
    Gl = ds + dl + R * T * (xx1 + xx2) + AlphaL * x * (1 - x)
End Function
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub GibbAxes(T As Double, dhmA As Double, dhmB As Double, dsmA As Double, dsmB As
Double)
Dim minV As Double, maxV As Double
Dim lblHght As Double, lblWid As Double
Dim lbl As String
  minI = 0
  maxI = 0
  For x = 0 To 1 Step 0.01
    If Gl(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) > Gs(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) Then
      maxV = Gl(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
      minV = Gs(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
    Else
      maxV = Gs(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
      minV = Gl(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
    End If
    If maxI < maxV Then maxI = maxV
    If minI > minV Then minI = minV
  Next x
'วาดแกน 3 เส้น
  picGibb.Cls
  picGibb.Scale (-0.25, maxI + Abs(maxI - minI) * 0.08)-(1.05, minI - Abs(maxI - minI) * 0.08)
  picGibb.Line (0, 0)-(1, 0)
  picGibb.Line (0, 1.2 * minI)-(0, 1.05 * maxI)
  picGibb.Line (1, 1.2 * minI)-(1, 1.05 * maxI)
'เขียนค่า Gibb สูงสุด & ต่ำสุด
  Let lbl = Format(maxI, "scientific")
  Let lblWid = picGibb.TextWidth(lbl)
  Let lblHght = picGibb.TextHeight(lbl)
  picGibb.Line (-0.01, maxI)-(0, maxI)
  Call Locate(-0.02 - lblWid, maxI - lblHght / 2)
  picGibb.Print lbl
  Let lbl = Format(minI, "scientific")
  Let lblWid = picGibb.TextWidth(lbl)
  Let lblHght = picGibb.TextHeight(lbl)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    picGibb.Line (-0.01, minI)-(0, minI)
    Call Locate(-0.02 - lblWid, minI - lblHght / 2)
    picGibb.Print lbl
'เขียนอุณหภูมิ
    lbl = Format(T, "####.#")
    Call Locate(0.42, maxI - lblHght)
    picGibb.Print lbl; " "; "K"
'เขียนเลข 0 , 1
    lbl = "0"
    Let lblHght = picGibb.TextHeight(lbl)
    Call Locate(-0.04, -lblHght / 2)
    picGibb.Print lbl
    lbl = "1"
    Let lblHght = picGibb.TextHeight(lbl)
    Call Locate(1.01, -lblHght / 2)
    picGibb.Print lbl
End Sub

Private Sub PhaseAxes(TLow As Double, THigh As Double) 'วาดแกน Phase
Dim TmpA As Double, TmpB As Double 'จุดเดือดของโลหะ A , B
Dim lblHeight As Double, lblWidth As Double
Dim lbl As String

    picPhase.Cls 'วาดแกน 3 เส้น
    picPhase.Scale (-0.25, THigh + Abs(THigh - TLow) * 0.08)-(1.05, TLow - Abs(THigh - TLow) *
0.08)
    picPhase.Line (0, TLow)-(1, TLow)
    picPhase.Line (0, TLow)-(0, 1.05 * THigh)
    picPhase.Line (1, TLow)-(1, 1.05 * THigh)
'เขียนอุณหภูมิสูงสุด & ต่ำสุด & กลาง
    Let lbl = Format(THigh, "####.#") 'สูง
    Let lblWidth = picPhase.TextWidth(lbl)
    Let lblHeight = picPhase.TextHeight(lbl)
    picPhase.Line (-0.01, THigh)-(0, THigh)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call phLocate(-0.02 - lblWidth, THigh - lblHeight / 2)
picPhase.Print lbl
Let lbl = Format(TLow, "####.#") 'ต่ำ
Let lblWidth = picPhase.TextWidth(lbl)
Let lblHeight = picPhase.TextHeight(lbl)
picPhase.Line (-0.01, TLow)-(0, TLow)
Call phLocate(-0.02 - lblWidth, TLow - lblHeight / 2)
picPhase.Print lbl
Let lbl = Format((THigh + TLow) * 0.5, "####.#") 'กลาง
Let lblWidth = picPhase.TextWidth(lbl)
Let lblHeight = picPhase.TextHeight(lbl)
picPhase.Line (-0.01, (THigh + TLow) * 0.5)-(0, (THigh + TLow) * 0.5)
Call phLocate(-0.02 - lblWidth, ((THigh + TLow) * 0.5) - lblHeight / 2)
picPhase.Print lbl
'เขียนเลข 0 , 1 , Xa , T(K)
Let lbl = "0"
Let lblHeight = picPhase.TextHeight(lbl)
Call phLocate(0, TLow)
picPhase.Print lbl
lbl = "1"
Let lblHeight = picPhase.TextHeight(lbl)
Call phLocate(1, TLow)
picPhase.Print lbl
Let lbl = "Xa"
Let lblHeight = picPhase.TextHeight(lbl)
Call phLocate(0.47, TLow)
picPhase.Print lbl
Let lbl = "T (K)"
Let lblWidth = picPhase.TextWidth(lbl)
Let lblHeight = picPhase.TextHeight(lbl)
Call phLocate(-0.01 - lblWidth, THigh + Abs(THigh - TLow) * 0.09)
picPhase.Print lbl

TmpA = Val(txtMpA.Text)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    TmpB = Val(txtMpB.Text)
    If (TmpA >= TLow) And (TmpA <= THigh) Then picPhase.Circle (1, TmpA), 0.004
    If (TmpB >= TLow) And (TmpB <= THigh) Then picPhase.Circle (0, TmpB), 0.004
End Sub

Private Sub phLocate(x As Double, y As Double)
    Let picPhase.CurrentX = x 'อ้างอิงตำแหน่งใน picPhase
    Let picPhase.CurrentY = y
End Sub

Private Sub Locate(x As Double, y As Double)
    Let picGibb.CurrentX = x 'อ้างอิงตำแหน่งใน picGibb
    Let picGibb.CurrentY = y
End Sub

Private Sub PlotGibb(T As Double, dhmA As Double, dhmB As Double, dsmA As Double, dsmB As
Double)
Dim GS1 As Double, GS2 As Double ' GS = Gibb Solid จุดที่ 1 และ 2
Dim GL1 As Double, GL2 As Double ' GL = Gibb Liquid จุดที่ 1 และ 2
Dim x1 As Double, x2 As Double 'x จุดที่ 1 และ 2
    For x1 = 0 To 1 Step SPG
        x2 = x1 + SPG
        GS1 = Gs(x1, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
        GS2 = Gs(x2, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
        GL1 = Gl(x1, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
        GL2 = Gl(x2, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
        picGibb.Line (x1, GS1)-(x2, GS2) 'เส้น Solid
        picGibb.Line (x1, GL1)-(x2, GL2) 'เส้น Liquid
    Next x1
    Call Locate(0.2, Gs(0.2, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB))
    picGibb.Print "Solid"
    Call Locate(0.8, Gl(0.8, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB))
    picGibb.Print "Liquid"
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Function Slope(G1 As Double, G2 As Double, diff As Double)
   Slope = (G2 - G1) / diff 'หาค่าความชัน m
End Function

Private Function Constant(G1 As Double, m As Double, x As Double)
   Constant = G1 - m * x 'หาค่าคงที่ c
End Function

Private Sub CoTangent(T As Double, dhmA As Double, dhmB As Double, dsmA As Double, dsmB As
Double)
Dim x11 As Double, x12 As Double, x21 As Double, x22 As Double
Dim x As Double, xk As Double, eps As Double
Dim tline As Double
Dim x1 As Double, x2 As Double, m As Double, c As Double
Dim gx As Double, gxe As Double, xn As Double
Dim valGl As Double, valGs As Double
Dim valG1 As Double, valG2 As Double
Dim valG21 As Double, valG22 As Double
  eps = 0.0000001
  x = 0
  Do
    If Gs(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) < Gl(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) Then
      gx = Gs(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
      gxe = Gs(x + eps, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
      m = Slope(gx, gxe, eps)
      c = Constant(gx, m, x)
      xk = x
      Do While xk < 1
        tline = m * xk + c
        valGl = Gl(xk, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) + eps
        valGs = Gs(xk, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) + eps
        If tline > valGl Or tline > valGs Then
          x12 = x
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            x11 = x - SPP
            x21 = xk
            x22 = 1
            Call CotanPoint(x11, x12, x21, x22, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB, x1, x2)
            valG1 = Gs(x1, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
            valG22 = Gl(x2, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
            valG21 = Gs(x2, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
            If valG22 < valG21 Then
              valG2 = valG22
            Else
              valG2 = valG21
            End If
            Call DrawPhase(T, x1, x2, valG1, valG2)
            x = x2 - SPP
            xk = 100
          End If
          xk = xk + SPP
        Loop
      Else
        gx = Gl(x, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
        gxe = Gl(x + eps, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
        m = Slope(gx, gxe, eps)
        c = Constant(gx, m, x)
        xk = x
        Do While xk < 1
          tline = m * xk + c
          valGl = Gl(xk, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) + eps
          valGs = Gs(xk, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) + eps
          If tline > valGl Or tline > valGs Then
            x12 = x
            x11 = x - SPP
            x21 = xk
            x22 = 1
            Call CotanPoint(x11, x12, x21, x22, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB, x1, x2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            valG1 = Gl(x1, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
            valG22 = Gs(x2, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
            valG21 = Gl(x2, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
            If valG22 < valG21 Then
              valG2 = valG22
            Else
              valG2 = valG21
            End If
                Call DrawPhase(T, x1, x2, valG1, valG2)
                      x = x2 - SPP
              xk = 100
            End If
            xk = xk + SPP
          Loop
        End If
        x = x + SPP
      Loop Until x >= 0.999999
End Sub

Private Sub CotanPoint(x11 As Double, x12 As Double, x21 As Double, x22 As Double, T As Double,
dhmA As Double, dhmB As Double, dsmA As Double, dsmB As Double, x1 As Double, x2 As
Double)
Dim eps As Double, xkk As Double, xn As Double
Dim gx As Double, gxe As Double, m As Double, c As Double
Dim valGl As Double, valGs As Double
Dim flag As Boolean
  eps = 0.0000001
  If Gs(x11, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) < Gl(x11, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) Then
    Do
      x1 = (x11 + x12) / 2
      gx = Gs(x1, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
      gxe = Gs(x1 + eps, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
      m = Slope(gx, gxe, eps)
      c = Constant(gx, m, x1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        flag = False
        For xkk = x21 To x22 Step Abs(x22 - x21) / 200
          If (m * xkk + c) > Gl(xkk, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) Or (m * xkk + c) > Gs(xkk, T,
dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) Then
            x12 = x1
            x2 = xkk
            x21 = xkk
            flag = True
            Exit For
          End If
        Next xkk
        If flag = False Then
          x11 = x1
        End If
        xn = (x11 + x12) / 2
        If Abs(xn - x1) / x1 < 0.0005 Then
          x2 = x21
          Exit Do
        End If
      Loop Until Abs(xn - x1) / x1 < 0.0005
    Else
      Do
        x1 = (x11 + x12) / 2
        gx = Gl(x1, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
        gxe = Gl(x1 + eps, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB)
        m = Slope(gx, gxe, eps)
        c = Constant(gx, m, x1)
        flag = False
        For xkk = x21 To x22 Step Abs(x22 - x21) / 200
          If (m * xkk + c) > Gl(xkk, T, dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) Or (m * xkk + c) > Gs(xkk, T,
dhmA, dhmB, dsmA, dsmB) Then
            x12 = x1
            x2 = xkk
            x21 = xkk
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            flag = True
            Exit For
          End If
        Next xkk
        If flag = False Then
          x11 = x1
        End If
        xn = (x11 + x12) / 2
        If Abs(xn - x1) / x1 < 0.0005 Then
          x2 = x21
          Exit Do
        End If
      Loop Until Abs(xn - x1) / x1 < 0.0005
    End If
  End Sub

  Private Sub DrawPhase(T As Double, x1 As Double, x2 As Double, valG1 As Double, valG2 As
  Double)
    picGibb.Line (x1, valG1)-(x2, valG2), vbRed
    picGibb.DrawStyle = 2
    picGibb.Line (x1, valG1)-(x1, 0), vbRed
    picGibb.Line (x2, valG2)-(x2, 0), vbRed
    picGibb.DrawStyle = 0
    picPhase.PSet (x1, T)
    picPhase.PSet (x2, T)
  End Sub

  Private Sub menuAbout_Click(Index As Integer)
  frmAbout.Show
  End Sub

  Private Sub txtMpA_Change()
    txtDelHmA.Text = Val(txtMpA) * Val(txtDelSmA)
    Call TempRange
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub txtDelSmA_Change()
  If Val(txtDelSmA) = 0 Then
    txtDelHmA.Text = "N/A"
  Else
    txtDelHmA.Text = Val(txtMpA) * Val(txtDelSmA)
  End If
End Sub

Private Sub txtMpB_Change()
  txtDelHmB.Text = Val(txtMpB) * Val(txtDelSmB)
  Call TempRange
End Sub

Private Sub txtDelSmB_Change()
  If Val(txtDelSmB) = 0 Then
    txtDelHmB.Text = "N/A"
  Else
    txtDelHmB.Text = Val(txtMpB) * Val(txtDelSmB)
  End If
End Sub
Private Sub TempRange()
  If Val(txtMpA) <= Val(txtMpB) Then
    txtTLow.Text = Val(txtMpA) - 300
    txtTHigh.Text = Val(txtMpB)
  Else
    txtTLow.Text = Val(txtMpB) - 300
    txtTHigh.Text = Val(txtMpA)
  End If
End Sub

Private Sub cmbMatA_Click()
  txtMpA.Text = ElemProp(cmbMatA.ListIndex() + 1, 1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    txtDelSmA.Text = ElemProp(cmbMatA.ListIndex() + 1, 2)
End Sub

Private Sub cmbMatB_Click()
    txtMpB.Text = ElemProp(cmbMatB.ListIndex() + 1, 1)
    txtDelSmB.Text = ElemProp(cmbMatB.ListIndex() + 1, 2)
End Sub

Private Sub cmdAbout_Click()
    frmAbout.Show
    frmMain.Visible = False
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมนี้ถูกพัฒนาด้วยภาษา Visual Basic 6 สามารถทำบานได้บนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows)

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

1. กำหนดคุณสมบัติของโลหะ A และ B
   1.1. เลือกจากโลหะที่โปรแกรมมีให้แล้ว
   ทำได้โดยกดปุ่ม Select Material A เพื่อเลือกโลหะ A
   และกดปุ่ม Select Material B เพื่อเลือกโลหะ B
   1.2. กำหนดคุณสมบัติของโลหะอื่นนอกเหนือจากที่โปรแกรมมีให้
   1.2.1. กรอกค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของโลหะ A และ B
   1.2.2. กรอกค่าเอนโทรปีหลอมเหลว (ΔS_m) ของโลหะ A และ B
2. กรอกค่าα_S และ α_L
3. ปรับเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิที่ต้องการพิจารณา
   มีประโยชน์คือ ทำให้สามารถพิจารณาแผนภาพได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น หากยิ่งกรอกช่วงอุณหภูมิให้แคบลง
   อนึ่งโปรแกรมจะมีการคำนวณช่วงอุณหภูมิไว้ให้แล้ว โดยช่วงอุณหภูมิสูงสุดเป็นค่าจุดเดือดของโลหะที่มีค่ามาก ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดจะเป็นค่าของจุดเดือดของโลหะที่มีค่าน้อยลบด้วย 300
4. เลือกสภาวะมาตรฐาน
   มี 3 สภาวะคือ Solid solution , Liquid solution , Autometic การเลือกสภาวะไม่มีผลต่อแผนภาพ กล่าวคือ ไม่ว่าสภาวะมาตรฐานใด ๆ ก็จะได้แผนภาพที่เหมือนกัน
5. กดปุ่ม Draw

ตัวแปรทั้ง3ขึ้นอยู่กับกันและกัน($\Delta S_m = \Delta H_m / T_m$) ทำให้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิจุดหลอมเหลว(T_m) , Delta Hm(ΔH_m) , Delta Sm(ΔS_m)
ในโปรแกรมเป็นดังนี้

1.) ถ้า T_m เปลี่ยน , ΔS_m จะไม่เปลี่ยน และΔH_m จะทำการคำนวณใหม่

2.) ถ้า ΔS_m เปลี่ยน , T_m จะไม่เปลี่ยน และΔH_m จะทำการคำนวณใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ดร.ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ , "หลักเคมี 1(ฉบับปรับปรุง)" , พิมพ์ครั้งที่ 5 , โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์(พ.ศ. 2541)

[2] โชติพันธุ์ และ ฐิตะพันธุ์ หล่อเลิศสุนทร , "สอนเขียน Visual Basic 6.0 ให้เป็น Project" , บริษัท แอ้ดวานซ์ มีเดีย ซัพพลายส์ จำกัด

[3] มนตรี พิรุณเกษตร , "อุณหพลศาสตร์ 2 (Thermodynamics II)" , พิมพ์ครั้งที่ 2 , วิทยพัฒน์(พ.ศ. 2542)

[4] ร.ศ.แม้น อมรสิทธิ์ , ผศ.ดร.สมชัย อักรทิวา , "วัสดุวิศวกรรมศาสตร์" , บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด (พ.ศ. 2545)

[5] สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร , "คู่มือการเขียนโปรแกรมและใช้งาน Visual 6.0" , พิมพ์ครั้งที่ 5 , อินโฟเพรส (พ.ศ. 2544)

[6] สุรสิทธิ์ ลิวประสพศักดิ์ , นันทนี แขวงโสภา , "อินไซท์ Visual Basic .NET ฉบับสมบูรณ์" , บริษัท โปรวิชั่น จำกัด(พ.ศ. 2546)

[7] อภิชาติ ภู่พลับ , "สนุกกับการประยุกต์ใช้ Visual Basic" , พิมพ์ครั้งที่ 1 , บริษัท ไอดีซี อินโฟดิสทริบิวเตอร์เซ็นเตอร์ จำกัด(พ.ศ. 2546)

[8] อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ , "เคมีทั่วไปสำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์" , สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(พ.ศ. 2539)

[9] DeHoff , R.T. , Thermodynamics in Materials Science , McGraw-Hill(ค.ศ. 1993)

[10] Pelton,A.D. and Thomson,W.T., Prog. Solid State Chem., vol.10 , part3(ค.ศ. 1975)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้