การเปรียบเทียบสมการสถานะกำลังสามเพื่อใช้ในการคำนวณค่าเอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับไฮโดรคาร์บอน

นาย กรเกียรติ กฤตยานุกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2539

ISBN 974-633-816-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T12339157

COMPARISON OF CUBIC EQUATIONS OF STATE TO PREDICT ENTHALPY AND ENTROPY DEPARTURES FOR HYDROCARBONS

MR. KORNKIAT KRITAYANUKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-816-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	:	การเปรียบเทียบสมการสถานะกำลังสามเพื่อใช้ในการคำนวณค่าเอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับไฮโดรคาร์บอน
โดย	:	นาย กรเกียรติ กฤตยานุกูล
ภาควิชา	:	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	:	ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

กรเกียรติ กฤตยานุกูล : การเปรียบเทียบสมการสถานะกำลังสามเพื่อใช้ในการคำนวณค่าเอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับไฮโดรคาร์บอน (COMPARISON OF CUBIC EQUATIONS OF STATE TO PREDICT ENTHALPY AND ENTROPY DEPARTURES FOR HYDROCARBONS) อ.ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ, 126 หน้า. ISBN 974-633-816-1

การทำนายค่าเอนทัลปีและค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับไฮโดรคาร์บอนเบา 6 ชนิดแรกได้แก่ มีเทน อีเทน โพรเพน นอร์มัลบิวเทน นอร์มัลเพนเทน และนอร์มัลเฮกเซน โดยใช้สมการที่สร้างขึ้นใหม่ 2 สมการคือ สมการอิชิวากา-ซุง-ลู และสมการฮาร์เมนส์-แนปป์ รวมกับสมการที่มีอยู่เดิม 4 สมการคือ สมการโซฟ-เรดลิช-กวง สมการเปง-โรบินสัน สมการเบเนดิก-เว็บ-รูบิน-สตาร์ลิง และสมการลี-เคสเลอร์ ภายในขอบเขตของการคำนวณที่ครอบคลุมช่วงความดัน 1 ถึง 1,000 บาร์ และช่วงอุณหภูมิ 180 ถึง 1,000 เคลวิน จากผลการคำนวณพบว่า ค่าเอนทัลปีและค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นเมื่อระบบมีอุณหภูมิลดลงและความดันเพิ่มขึ้น สมการทั้ง 6 ในงานวิจัยนี้สามารถให้ผลการคำนวณค่าเอนทัลปีและค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนอยู่ในระดับที่เชื่อถือได้ (ยกเว้นการคำนวณค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนด้วยสมการอิชิวากา-ซุง-ลู) สมการลี-เคสเลอร์และเบเนดิก-เว็บ-รูบิน-สตาร์ลิง ให้ผลการคำนวณค่าเอนทัลปีและค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนดีกว่าสมการฮาร์เมนส์-แนปป์ เปง-โรบินสัน โซฟ-เรดลิช-กวง และอิชิวากา-ซุง-ลู โดยสมการลี-เคสเลอร์ให้ผลการคำนวณค่าเอนทัลปีและค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนน่าเชื่อถือมากที่สุดสำหรับไฮโดรคาร์บอนเบา สมการสถานะแต่ละสมการในงานวิจัยนี้ล้วนมีข้อจำกัดในตัวเองทั้งสิ้นมากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับชนิดของสารและการนำไปใช้ สมการโซฟ-เรดลิช-กวง เปง-โรบินสัน และฮาร์เมนส์-แนปป์ ได้ผลการคำนวณที่รวดเร็ว แต่ให้ความแม่นยำในการคำนวณไม่สูงมากนักโดยเฉพาะบริเวณที่มีการเปลี่ยนสถานะ สมการลี-เคสเลอร์และเบเนดิก-เว็บ-รูบิน-สตาร์ลิง แม้จะสามารถให้ผลการคำนวณค่าเอนทัลปีและค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนที่ดีมากแต่ต้องอาศัยค่าคงที่ที่เฉพาะเจาะจงในการคำนวณขึ้นอยู่กับชนิดของสารและใช้เวลาในการคำนวณมาก

ภาควิชา เคมีเทคนิค ..... **ลายมือชื่อนิสิต** .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ..... **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....

ปีการศึกษา 2538 ..... **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C525557 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD: ENTHALPY DEPARTURES/ENTROPY DEPARTURES/CUBIC EQUATIONS OF STATE

KORNKIAT KRITAYANUKUL : COMPARISON OF CUBIC EQUATIONS OF STATE TO PREDICT ENTHALPY AND ENTROPY DEPARTURES FOR HYDROCARBONS. THESIS ADVISOR : PROF. PATTARAPAN PRASASSARAKICH, Ph.D. 126 pp. ISBN 974-633-816-1

A prediction of enthalpy and entropy departures for some light hydrocarbons; methane, ethane, propane, n-butane, n-pentane and n-hexane has been performed. Enthalpy and entropy departure equations for Ishiwaka-Chung-Lu (ICL) and Harmens-Knapp (HK) models were derived. The Soave-Redlich-Kwong (SRK), Peng-Robinson (PR), Benedict-Webb-Rubin-Starling (BWRS), Lee-Kesler (LK), ICL, and HK equations have been tested for the pressure range of 1-1,000 bar and the temperature range of 180-1,000 K. From the calculations, enthalpy and entropy departures increase with decreasing temperature and increasing pressure. All six equations of state give fairly reliable estimation of enthalpy and entropy departures (except ICL equation for entropy departure prediction). The LK and BWRS equations are significantly superior to the HK, PR, SRK and ICL equations. The LK equation is the most reliable equation for the prediction of enthalpy and entropy departures for light hydrocarbons. All equations of state which have been proposed, have more or less severe limitations with regard to the types of substances and applications. The SRK, PR and HK equations save considerably computing time but give large errors especially in the critical region. The limitations of LK and BWRS equations are that the coefficients are known for fewer sets of substances and more computing time is consumed.

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	:	การเปรียบเทียบสมการสถานะกำลังสามเพื่อใช้ในการคำนวณค่าเอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับไฮโดรคาร์บอน
โดย	:	นาย กรเกียรติ กฤตยานุกูล
ภาควิชา	:	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	:	ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนวทาง พร้อมทั้งดูแลงานวิจัยมาด้วยดีตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ หัวหน้าภาควิชาเคมีเทคนิคในฐานะประธานกรรมการ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต และอาจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณทางบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนแก่งานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ MR. Y.Z. SU ที่กรุณาเอื้อเฟื้อ LaserJet4L เพื่อใช้ในงานพิมพ์สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณกัณฑมาศ สุทธิเรืองวงศ์ และมารดาของเธอ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้หมดในที่นี้ ที่ช่วยเหลือการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จ

และสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตารางประกอบ..... ญ

สารบัญรูปประกอบ..... ฐ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 ทฤษฎี..... 2

2.1 ก๊าซอุดมคติ..... 2

2.2 ก๊าซจริง..... 3

2.3 สมการสถานะเชิงวิเคราะห์..... 4

2.3.1 สมการสถานะกำลังสามโซฟ-เรดลิช-กวง..... 4

2.3.2 สมการสถานะกำลังสามเปง-โรบินสัน..... 6

2.3.3 สมการสถานะกำลังสามอิชิวากา-ชุง-ลู..... 7

2.3.4 สมการสถานะกำลังสามฮาร์เมนส์-แนปป์..... 9

2.3.5 สมการสถานะเบเนดิก-เว็บ-รูบิน-สตาร์ลิง..... 11

2.3.6 สมการสถานะลี-เคสเลอร์..... 12

2.4 ฟังก์ชันเบี่ยงเบน..... 13

2.5 วารสารปริทัศน์..... 16

3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย..... 18

3.1 อุปกรณ์การวิจัย..... 18

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย..... 18

3.3 วิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของสมการเอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบน..... 20

3.3.1 สมการสถานะอิชิวากา-ชุง-ลู..... 20

3.3.2 สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์..... 22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

4 ผลการวิจัย 26

4.1 ผลการคำนวณเอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบน 26

5 วิจารณ์ผลผลการวิจัย 36

5.1 พล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าเอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับสมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์ เปง-โรบินสัน และลี-เคสเลอร์ 36

5.1.1 เอนทัลปีเบี่ยงเบน 37

5.1.2 เอนโทรปีเบี่ยงเบน 38

5.2 เปรียบเทียบค่าเอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับสมการสถานะอิชิวากา-ชุง-ลู ฮาร์เมนส์-แนปป์ โซฟ-เรดลิช-กวง เปง-โรบินสัน เบเนดิก-เว็บ-รูบิน-สตาร์ลิง และลี-เคสเลอร์ ในรูปของตาราง 75

5.2.1 เอนทัลปีเบี่ยงเบน 75

5.2.2 เอนโทรปีเบี่ยงเบน 76

5.3 การเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับสมการสถานะ อิชิวากา-ชุง-ลู ฮาร์เมนส์-แนปป์ โซฟ-เรดลิช-กวง เปง-โรบินสัน และเบเนดิก-เว็บ-รูบิน-สตาร์ลิง เทียบกับลี-เคสเลอร์ ที่ใช้ในการอ้างอิง 89

5.3.1 เอนทัลปีเบี่ยงเบน 90

5.3.2 เอนโทรปีเบี่ยงเบน 91

5.4 ตัวอย่างการประยุกต์กับปัญหาทางเทอร์โมไดนามิกส์ 99

6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 102

6.1 สรุปผลการวิจัย 102

6.2 ข้อจำกัดและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น 102

6.3 ข้อเสนอแนะ 103

รายการอ้างอิง 104

ภาคผนวก ก 106

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ข.....108

ภาคผนวก ค.....114

ประวัติผู้เขียน.....126

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับมีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะเปง-โรบินสัน 27

4.2 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับมีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์ 28

4.3 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับมีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะลี-เคสเลอร์ 29

4.4 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะเปง-โรบินสัน 30

4.5 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์ 31

4.6 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะลี-เคสเลอร์ 32

4.7 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับโพรเพนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะเปง-โรบินสัน 33

4.8 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับโพรเพนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์ 34

4.9 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับโพรเพนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะลี-เคสเลอร์ 35

5.1 การเปรียบเทียบค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบมีเทน 77

5.2 การเปรียบเทียบค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบอีเทน 78

5.3 การเปรียบเทียบค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบโพรเพน 79

5.4 การเปรียบเทียบค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลบิวเทน 80

5.5 การเปรียบเทียบค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลเพนเทน 81

5.6 การเปรียบเทียบค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลเฮกเซน 82

5.7 การเปรียบเทียบค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบมีเทน 83

5.8 การเปรียบเทียบค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบอีเทน 84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.9 การเปรียบเทียบค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบโพรเพน..... 85

5.10 การเปรียบเทียบค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลบิวเทน..... 86

5.11 การเปรียบเทียบค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลเพนเทน..... 87

5.12 การเปรียบเทียบค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลเฮกเซน..... 88

5.13 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบมีเทน..... 92

5.14 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบมีเทน..... 92

5.15 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบอีเทน..... 93

5.16 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบอีเทน..... 93

5.17 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบโพรเพน.....94

5.18 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบโพรเพน.....94

5.19 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลบิวเทน.....95

5.20 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลบิวเทน.....95

5.21 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลเพนเทน....96

5.22 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลเพนเทน...96

5.23 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลเฮกเซน.....97

5.24 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบนอร์มัลเฮกเซน....97

5.25 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบมีเทนถึง ระบบนอร์มัลเฮกเซน..... 98

5.26 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยและไบแอสของค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับระบบมีเทนถึง ระบบนอร์มัลเฮกเซน..... 98

ก.1 สมบัติกายภาพสำหรับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน..... 106

ก.2 ความจุความร้อนความดันคงที่ค่าเฉลี่ยระหว่าง 25 °ซ. และ T (°ซ.), กิโลจูล/(กก. เคลวิน).....107

ค.1 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะโซฟ-เรดลิช-กวง (ความดัน 2 บาร์).....114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค.2 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะโซฟ-เรดลิช-กวง (ความดัน 50 บาร์)..... 115

ค.3 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะเปง-โรบินสัน (ความดัน 2 บาร์)..... 116

ค.4 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะเปง-โรบินสัน (ความดัน 50 บาร์)..... 117

ค.5 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะอิชิวากา-ชุง-ลู (ความดัน 2 บาร์)..... 118

ค.6 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะอิชิวากา-ชุง-ลู (ความดัน 50 บาร์)..... 119

ค.7 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์ (ความดัน 2 บาร์)..... 120

ค.8 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์ (ความดัน 50 บาร์)..... 121

ค.9 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะเบเนดิก-เว็บ-รูบิน-สตาร์ลิง (ความดัน 2 บาร์)..... 122

ค.10 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะเบเนดิก-เว็บ-รูบิน-สตาร์ลิง (ความดัน 50 บาร์)..... 123

ค.11 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะลี-เคสเลอร์ (ความดัน 2 บาร์)..... 124

ค.12 เอนทัลปีและเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ของสมการสถานะลี-เคสเลอร์ (ความดัน 50 บาร์)..... 125

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงสมบัติจาก P_1T_1 ไปยัง P_2T_2	14
5.1	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับมีเทนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน	39
5.2	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับมีเทนโดยใช้สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์	40
5.3	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับมีเทนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์	41
5.4	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน	42
5.5	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนโดยใช้สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์	43
5.6	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์	44
5.7	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับโพรเพนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน	45
5.8	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับโพรเพนโดยใช้สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์	46
5.9	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับโพรเพนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์	47
5.10	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลบิวเทนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน	48
5.11	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลบิวเทนโดยใช้สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์	49
5.12	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลบิวเทนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์	50
5.13	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเพนเทนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน	51
5.14	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเพนเทนโดยใช้สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์	52
5.15	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเพนเทนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์	53
5.16	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเฮกเซนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน	54
5.17	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเฮกเซนโดยใช้สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์	55
5.18	ค่าเอนทัลปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเฮกเซนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์	56
5.19	ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับมีเทนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน	57
5.20	ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับมีเทนโดยใช้สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์	58
5.21	ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับมีเทนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์	59
5.22	ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.23 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนโดยใช้สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์.....61

5.24 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับอีเทนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์.....62

5.25 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับโพรเพนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน.....63

5.26 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับโพรเพนโดยใช้สมการสถานะฮาร์เมนส์-แนปป์.....64

5.27 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับโพรเพนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์.....65

5.28 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลบิวเทนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน..... 66

5.29 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลบิวเทนโดยใช้สมการสถานะ ฮาร์เมนส์-แนปป์..... 67

5.30 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลบิวเทนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์..... 68

5.31 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเพนเทนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน..... 69

5.32 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเพนเทนโดยใช้สมการสถานะ ฮาร์เมนส์-แนปป์.....70

5.33 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเพนเทนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์.....71

5.34 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเฮกเซนโดยใช้สมการสถานะเปง-โรบินสัน.....72

5.35 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเฮกเซนโดยใช้สมการสถานะ ฮาร์เมนส์-แนปป์.....73

5.36 ค่าเอนโทรปีเบี่ยงเบนสำหรับนอร์มัลเฮกเซนโดยใช้สมการสถานะลี-เคสเลอร์.....74

ข.1 แผนภาพความดัน-อุณหภูมิสำหรับระบบมีเทน.....108

ข.2 แผนภาพความดัน-อุณหภูมิสำหรับระบบอีเทน.....109

ข.3 แผนภาพความดัน-อุณหภูมิสำหรับระบบโพรเพน.....110

ข.4 แผนภาพความดัน-อุณหภูมิสำหรับระบบนอร์มัลบิวเทน..... 111

ข.5 แผนภาพความดัน-อุณหภูมิสำหรับระบบนอร์มัลเพนเทน.....112

ข.6 แผนภาพความดัน-อุณหภูมิสำหรับระบบนอร์มัลเฮกเซน.....113

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a, b, c, d = ค่าคงที่สมการสถานะ

A, B, C, D = ค่าคงที่สมการสถานะ

C_P = ความจุความร้อนความดันคงที่

ΔH = การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี

$\Delta H'$ = เอนทัลปีเบี่ยงเบน

n = จำนวนโมลของก๊าซ

P = ความดัน

R = ค่าคงที่ก๊าซ

ΔS = การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี

$\Delta S'$ = เอนโทรปีเบี่ยงเบน

T = อุณหภูมิ

V = ปริมาตร

W = งาน

W_S = งานซาฟต์

Z = แฟกเตอร์สภาพอัด

α = ค่าคงที่สมการสถานะ

β = ค่าคงที่สมการสถานะ

γ = ค่าคงที่สมการสถานะ

ρ = ความหนาแน่น

ω = แฟกเตอร์อะเซนทริก

Ω_a = ค่าคงที่สมการสถานะ

Ω_b = ค่าคงที่สมการสถานะ

ζ = ค่าคงที่สมการสถานะ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ตัวห้อย

c = วิกฤต

P = ความดันคงที่

r = รีดิวส์

ตัวโหน

0 = สถานะมาตรฐาน

(0) = พจน์ของไหลเชิงเดี่ยวสำหรับวิธีการสถานะสมนัยพิตเซอร์และลี-เคสเลอร์

(1) = พจน์แก้ไขสำหรับวิธีการสถานะสมนัยพิตเซอร์และลี-เคสเลอร์

* = สมบัติก๊าซอุดมคติ