

สารบัญ

1	บทนำ	1
1.1	นิยามทางเทอร์โมไดนามิกส์	2
1.2	กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์	4
1.3	กฎข้อที่สองทางเทอร์โมไดนามิกส์	12
1.4	วัฏจักร (Cycle)	15
1.4.1	โครงสร้างของวัฏจักรคาร์โนต์	20
1.5	เครื่องยนต์ (Engines)	23
1.5.1	เครื่องยนต์จากวัฏจักรแบบปิด (Closed-Cycle G-L engine)	23
1.5.2	เครื่องยนต์จากวัฏจักรแบบเปิด (One-Pass Open-Cycle G-L engine) ...	24
1.5.3	เครื่องยนต์แรงคิน (Rankine engine)	24
1.5.4	วัฏจักรแรงคินแบบให้ความร้อนซ้ำ (Reheat Rankine cycles)	28
1.5.5	วัฏจักรแบบทวิภาค หรือวัฏจักรแบบไบนารี (Binary cycles)	37
1.5.6	ระบบร่วมผลิตกำลังและความร้อน (Cogeneration system)	37
1.5.7	ระบบทำความเย็น (Refrigeration)	43
1.5.8	ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption refrigeration)	46
1.6	การทำให้เป็นของเหลว (Liquefaction)	50
1.7	อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (Kelvin)	54
1.8	โจทช์	55
	เอกสารอ้างอิง	61
2	ความสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์	63
2.1	รวมกฎข้อที่หนึ่งและสองทางเทอร์โมไดนามิกส์เข้าด้วยกัน	64

2.1.1	ระบบปิด	64
2.1.2	ระบบเปิด	66
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติที่นิยามขึ้นกับสมบัติที่วัดได้	71
2.3	สมบัติพาร์เชียล (Partial properties)	75
2.4	ความสัมพันธ์ของกิบส์-ดูฮีเมม (Gibbs-Dühem)	81
2.5	ศักย์เคมี (Chemical potential)	82
2.6	โจทช์	83
	เอกสารอ้างอิง	87
3	สมบัติของก๊าซ (Properties of gases)	89
3.1	ก๊าซในสภาพอุดมคติ (Ideal gas)	89
3.2	สมบัติของก๊าซผสมอุดมคติ	90
3.3	สมบัติส่วนต่าง (Residue properties)	94
3.4	ฟูกาซิตีและสัมประสิทธิ์ฟูกาซิตี (Fugacity & fugacity coefficient)	96
3.5	สมการภาวะ (Equation of state)	98
3.5.1	สมการภาวะเวอร์เรียล (Virial equation of state)	103
3.5.2	สมการภาวะทรงกลมแข็ง (Hard spheres equation of state)	114
3.5.3	สมการภาวะแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals equation of state)	117
3.5.4	สมการภาวะเรดลิค-กวง (Redlich-Kwong equation of state)	118
3.5.5	สมการภาวะที่ปรับปรุงจากสมการภาวะเรดลิค-กวง	120
3.5.6	การคำนวณหาค่าคงที่ a และ b ในสมการภาวะ	121
3.5.7	กฎการผสมของสารผสม (Mixing rule)	124
3.5.8	สมการแบรคเกตต์ (Rackett equation)	124
3.5.9	คำแนะนำในการเลือกใช้แบบจำลอง	125
3.5.10	สัมประสิทธิ์ฟูกาซิตีอันเนื่องมาจากสมการภาวะ	125
3.6	โจทช์	128
	เอกสารอ้างอิง	134
4	สมบัติของสารละลาย (Properties of solutions)	135
4.1	สารละลายอุดมคติ (Ideal solution)	135
4.2	สมบัติส่วนเกินและสมบัติผสม (Excess and mixing properties)	137

4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติส่วนเกินและส่วนต่าง	143
4.4	แอกทิวิตีและสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี (Activity and activity coefficient)	146
4.4.1	ผลของความดันต่อสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี	149
4.5	ค่าคงที่เฮนรี (Henry's constant)	149
4.6	แบบจำลองสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี (Activity coefficient model)	151
4.6.1	เรดลิค-คิสเตอร์ (Redlich-Kister)	153
4.6.2	แวนลาาร์ (van Laar)	155
4.6.3	วิลสัน (Wilson)	157
4.6.4	Non Random Two Liquids, (NRTL)	160
4.6.5	Universal Quasi Chemical, (UNIQUAC)	162
4.7	กฎการผสมอันเนื่องมาจากพลังงานส่วนเกิน (Excess free energy mixing rules)	165
4.7.1	ฮิวรอน-วิดัล (Huron-Vidal)	166
4.7.2	ฮิวรอน-วิดัล ดัดแปลง (Modified Huron-Vidal)	166
4.7.3	วอง-แซนด์เลอร์ (Wong-Sandler)	168
4.7.4	สัมประสิทธิ์ฟูกาซิตีจากกฎการผสมเนื่องจากพลังงานส่วนเกิน	169
4.8	แอกทิวิตีของสารละลายมีประจุ (Activity model for Electrolyte Solution)	169
4.8.1	กฎลิมิตของดีบาย-ฮุคเคิล (Debye-Hückel limit law)	173
4.9	โจทซ์	174
	เอกสารอ้างอิง	177
5	พฤติกรรมของสารและสารผสมในเฟส	179
5.1	สารบริสุทธิ์ (Pure substance)	180
5.2	ความดันไอ (Vapor pressure)	182
5.3	สารผสมทวิสาร (Binary mixtures)	186
5.3.1	ความสัมพันธ์ของสมบัติในสมดุลเฟสในรูปสมการอนุพันธ์	187
5.3.2	สมดุลเฟสไอ-ของเหลว (Vapor-Liquid phase equilibrium)	190
5.3.3	สมดุลเฟสของเหลว-ของเหลว (Liquid-Liquid phase equilibrium)	201
5.3.4	สมดุลเฟสก๊าซ-ก๊าซ (Gas-Gas phase equilibrium)	203
5.3.5	สมดุลเฟสไอ-ของเหลว-ของเหลว (Vapor-Liquid-Liquid phase equilibrium)	204
5.3.6	จำแนกประเภทของรูปแบบสมดุล (Classification of phase diagrams)	207

5.4	สารผสมตรีสาร (Ternary mixtures)	213
5.4.1	สมดุลเฟสของเหลว-ของเหลว (Liquid-Liquid phase equilibrium)	214
5.4.2	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมดุลเฟสของเหลว-ของเหลว (Temperature effect on Liquid-Liquid phase equilibrium)	215
5.4.3	แผนภาพสมดุลเฟสที่ซับซ้อนในสารผสมตรีสาร (Complex phase diagram in ternary mixture)	215
5.5	โจทย์	220
	เอกสารอ้างอิง	224
6	การคำนวณสมดุลเฟส (Phase equilibrium calculation)	225
6.1	พื้นฐานของสมดุล (Equilibrium principle)	226
6.1.1	สมดุลของเมมเบรน (Membrane equilibrium)	229
6.1.2	สมดุลเฟส (Phase equilibrium)	230
6.2	การคำนวณหาจุดบับเบิล จุดกลั่นตัว (Bubble Dew points Calculation)	235
6.3	สมดุลเฟสของเหลว-ของเหลว (Liquid-Liquid equilibrium)	242
6.4	สมดุลเฟสไอ-ของเหลว-ของเหลว (Vapor-Liquid-Liquid phase equilibrium) .	248
6.5	การวิเคราะห์ระยะห่างของระนาบสัมผัส (Tangent plan distance analysis)	250
6.5.1	การคำนวณที่ประยุกต์ใช้ระยะห่างของระนาบสัมผัส	254
6.6	ก๊าซละลายในของเหลว (Solubilities of gases in liquids)	256
6.7	ของแข็งละลายในของเหลวหรือก๊าซ	259
6.8	การคำนวณจุดอะซีโอโทรป (Azeotrope point calculation)	263
6.9	การคำนวณหาจุดวาบไฟ (Flash point calculation)	269
6.10	โจทย์	273
7	การคำนวณความเสถียรและจุดวิกฤต (Stability and critical point calculation)	277
7.1	เงื่อนไขของความเสถียรของสารบริสุทธิ์	277
7.1.1	พฤติกรรมของสมการภาวะต่อความเสถียรของสารบริสุทธิ์	280
7.2	พฤติกรรมของสมการภาวะต่อความเสถียรของสารผสมทวิสาร	284
7.2.1	การหาความเสถียรจากแบบจำลองพลังงานกิบส์ส่วนเกิน	288
7.3	เงื่อนไขของความเสถียรของสารผสมหลายองค์ประกอบ	292
7.4	เงื่อนไขของจุดวิกฤต (Critical point criteria)	299

7.5	การคำนวณจุดวิกฤตในอีกรูปแบบ	303
7.6	โจทย์	306
	เอกสารอ้างอิง	310
8	สมดุลปฏิกิริยาเคมี (Chemical equilibria)	311
8.1	สมการสมดุลปฏิกิริยาเคมี (Chemical equilibrium equations)	311
8.2	สมดุลอะตอม (Atomic balances)	312
8.3	สตอยคิโอเมตริก (Stoichiometric)	313
8.4	นอน-สตอยคิโอเมตริก (Non-Stoichiometric)	316
8.5	การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่สมดุลเคมีกับอุณหภูมิ	320
8.6	ผลของสมดุลปฏิกิริยาต่อสมบัติเทอร์โมไดนามิกส์	327
8.7	สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารที่เกิดการระเบิด	332
8.8	สมดุลร่วมระหว่างสมดุลเฟสและสมดุลปฏิกิริยาเคมี (Chemical and Phase equilibrium)	335
8.9	โจทย์	342
	เอกสารอ้างอิง	344
9	กลศาสตร์เชิงสถิติ (Statistical mechanics)	345
9.1	ส่วนย่อย ๆ ของกิบส์ (Gibbs ensemble)	345
9.2	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (Intermolecular forces)	348
9.3	สัมประสิทธิ์แวนเดอร์วาลส์	350
9.4	ทฤษฎีแวนเดอร์วาลส์ทั่วไป (Generalized van der Waals Theory)	353
9.5	ซอลเวชันเทอร์โมไดนามิกส์ (Solvation thermodynamics)	355
9.6	โจทย์	364
	เอกสารอ้างอิง	366
ก	หน่วยและค่าคงที่ต่าง ๆ	367
ข	การแปลงเลอจองด์ร์ (Legendre transform)	391
ข.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอนุพันธ์ย่อยของการแปลงเลอจองด์ร์	395
ค	นิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson)	399

ง การทดสอบข้อมูลและทำนายข้อมูล (Correlation of Data)	405
--	-----

คำศัพท์	411
---------------	-----

ดัชนี	421
-------------	-----

ซื้อ
20 ก.ค. 55

สาธก ไชยกุลขึ้นสกุล

เชอร์โมไดนามิกส์สำหรับวิศวกรรมเคมี / สาธก ไชยกุลขึ้นสกุล

1. เชอร์โมไดนามิกส์.

660.2969

ISBN 978-974-03-2948-0

สจพ. 1543

เลขหมู่ 660.2969
 ค 638
 2555
เลขทะเบียน 19306
วันที่ 2 0/ก.ค. 2555



สรรคุดเกล้าวิชาการ ผู้สังคุด

www.ChulaPress.com

Knowledge to All

114212

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE
สำนักหอสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ



1110014016

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1000 เล่ม พ.ศ. 2555

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.เนรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

จัตุรัสจามจรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร 0-2160-5304

รัตนวิเบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

เครือข่าย

ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025

ศูนย์หนังสือ ม.วลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652

ร้านหนังสือดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) งามคำแหง 43/1 โทร. 0-2538-2573 โทรสาร 0-2539-7091

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ โทร. 0-5377-6000

ศูนย์หนังสือ ม.อุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี โทร. 0-4535-3140,

0-4528-8400-3 ต่อ 1803 โทรสาร 0-4535-3145

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏสุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี โทร. 0-7735-5466,

0-7791-3333 โทรสาร 0-7735-5468

ศูนย์หนังสือโรงเรียนเทคโนโลยีไออาร์พีซี จ.ระยอง โทร. 0-3889-9130-2 ต่อ 331

โทรสาร 0-3889-9130 ต่อ 301

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สาขารัตนวิเบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9

โทรสาร 0-2950-5405

กองบรรณาธิการ : ทศนีย์ ผิวขาว พิสูจน์อักษร : พรเพ็ญ รัตนโพธิ์แสงศรี

ออกแบบปก : ชวินทร์ นามมุงคุณ ออกแบบรูปเล่ม : รศ. ดร.สาธก ไชยกุลขึ้นสกุล

พิมพ์ที่ บริษัทวี.พรินท์ (1991) จำกัด โทร. 0-2451-3010 โทรสาร 0-2451-3014

1 2 3

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี