

## คำนำ

ตำราวิทยาศาสตร์พลังงานเล่มนี้ได้เรียบเรียงขึ้น โดยมีเนื้อหาสาระครอบคลุมการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์พลังงานเบื้องต้น รหัส 4012303 ระดับปริญญาตรี เพื่อให้ผู้อ่านได้มีความรู้ในเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน ทั้งในส่วนที่เป็นพลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ และพลังงานทดแทนประเภทต่างๆ โดยได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 10 บท ซึ่งสามารถสรุปได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกเนื้อหาจะครอบคลุมถึงลักษณะทั่วไปของพลังงานในรูปแบบต่างๆ รวมถึงสถานการณ์พลังงานทั้งภายในประเทศและระดับโลก ส่วนที่สองเป็นเนื้อหาที่กล่าวถึง รายละเอียดของแหล่งพลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ ซึ่งประกอบด้วย ปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ส่วนสุดท้ายเป็นเนื้อหาที่ประกอบด้วยความรู้ด้านพลังงานทดแทนประเภทต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล และพลังงานนิวเคลียร์ ในเนื้อหาของตำราเล่มนี้คำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ที่ใช้นามาจากหนังสือคำศัพท์วิทยาศาสตร์ฉบับราชบัณฑิตยสถาน (พิมพ์ครั้งที่ 5) ยกเว้นในกรณีที่ไม่มีในหนังสือนี้จะใช้คำศัพท์ที่ทั่วไปนิยมใช้ ส่วนภาพบางภาพที่ไม่ได้อ้างอิงที่มาเป็นภาพที่ได้จัดทำขึ้นหรือถ่ายด้วยตัวเองจากอุปกรณ์ที่มีอยู่

ผู้เรียบเรียงได้ทำการศึกษา ค้นคว้า ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จากแหล่งความรู้หลายแห่ง ดังแสดงในรายการเอกสารอ้างอิงที่ปรากฏอยู่ในบรรณานุกรมท้ายเล่ม และจากประสบการณ์ในการไปเข้าร่วมประชุม สัมมนา และศึกษาดูงาน ทั้งในและต่างประเทศ หวังว่าตำราวิทยาศาสตร์พลังงานเล่มนี้ คงอำนวยประโยชน์ต่อผู้อ่านทุกท่านตามสมควร หากท่านที่อ่านมีข้อเสนอแนะ ผู้เรียบเรียงยินดีรับฟังและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์นั้น ณ โอกาสนี้ด้วย

อชิตพล ศศิธรานุกวัฒน์

10 เมษายน 2548

## สารบัญ

	หน้า
คำนำ	(1)
สารบัญ	(3)
สารบัญภาพ	(9)
สารบัญตาราง	(15)
<b>บทที่ 1 พลังงานและสถานการณ์พลังงาน</b>	<b>1</b>
1.1 ความหมายของพลังงาน	1
1.2 ประเภทของพลังงาน	2
1.3 พลังงานและการเปลี่ยนรูปพลังงาน	3
1.4 สถานการณ์พลังงาน	7
1.5 วิฤตและสถานการณ์ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง	26
1.6 อนาคตและยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศไทย	30
1.7 บทสรุป	32
1.8 คำถามทบทวน	33
เอกสารอ้างอิง	33
<b>บทที่ 2 ปิโตรเลียม</b>	<b>35</b>
2.1 ธรรมชาติและการกำเนิดปิโตรเลียม	35
2.2 การสำรวจปิโตรเลียม	42
2.3 การเจาะหลุมผลิตปิโตรเลียม	44
2.4 การกลั่นปิโตรเลียม	51
2.5 ประเภทของน้ำมันดิบ	52
2.6 ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	53
2.7 บทสรุป	57
2.8 คำถามทบทวน	57
เอกสารอ้างอิง	58

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 ก๊าซธรรมชาติ</b>	<b>61</b>
3.1 กำเนิดก๊าซธรรมชาติ	61
3.2 ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติ	62
3.3 คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติ	62
3.4 ประเภทของก๊าซธรรมชาติ	63
3.5 การแยกก๊าซธรรมชาติ	64
3.6 ผลกระทบจากการแยกก๊าซธรรมชาติ	67
3.7 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	71
3.8 ก๊าซธรรมชาติกับประเทศไทย	79
3.9 บทสรุป	83
3.10 คำถามทบทวน	84
เอกสารอ้างอิง	84
<b>บทที่ 4 ถ่านหิน</b>	<b>87</b>
4.1 ธรรมชาติของถ่านหิน	87
4.2 การจำแนกถ่านหิน	91
4.3 การสำรวจถ่านหิน	94
4.4 การทำเหมืองถ่านหิน	95
4.5 การใช้ประโยชน์จากถ่านหิน	100
4.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ถ่านหิน	101
4.7 การกำจัดสิ่งเจือปนในถ่านหิน	103
4.8 ถ่านหินกับประเทศไทย	107
4.9 บทสรุป	110
4.10 คำถามทบทวน	111
เอกสารอ้างอิง	111

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5 พลังงานแสงอาทิตย์</b>	<b>113</b>
5.1 ดวงอาทิตย์	113
5.2 การจำแนกเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์	120
5.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	121
5.4 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	124
5.5 การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์	126
5.6 การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	133
5.7 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์	145
5.8 บทสรุป	147
5.9 คำถามทบทวน	147
เอกสารอ้างอิง	148
<b>บทที่ 6 พลังงานลม</b>	<b>151</b>
6.1 การเกิดและประเภทของลม	151
6.2 ประวัติการประยุกต์ใช้พลังงานจากลม	152
6.3 หลักการทำงานของกังหันลม	156
6.4 ประเภทของกังหันลม	158
6.5 ส่วนประกอบของกังหันลม	161
6.6 ศักยภาพและการใช้พลังงานลม	164
6.7 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานลม	167
6.8 ผลกระทบจากการใช้กังหันลม	168
6.9 บทสรุป	171
6.10 คำถามทบทวน	171
เอกสารอ้างอิง	172

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 7 พลังงานน้ำ</b>	<b>173</b>
7.1 วัฏจักรของน้ำ	173
7.2 กำลังและพลังงานของน้ำ	174
7.3 ประเภทของพลังงานน้ำ	177
7.4 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ	183
7.5 กังหันน้ำ	187
7.6 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานน้ำ	192
7.7 ผลกระทบจากการใช้พลังงานน้ำ	193
7.8 บทสรุป	194
7.9 คำถามทบทวน	195
เอกสารอ้างอิง	195
<b>บทที่ 8 พลังงานความร้อนใต้พิภพ</b>	<b>197</b>
8.1 โครงสร้างของโลก	197
8.2 ความหมายและแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ	199
8.3 ลักษณะทั่วไปของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ	200
8.4 ปรากฏการณ์ธรรมชาติจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ	203
8.5 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ	206
8.6 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ	211
8.7 ผลกระทบจากการใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ	214
8.8 บทสรุป	215
8.9 คำถามทบทวน	216
เอกสารอ้างอิง	216

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 9 พลังงานชีวมวล</b>	<b>219</b>
9.1 ความหมายของพลังงานชีวมวล	219
9.2 พลังงานจากการสังเคราะห์แสง	220
9.3 แหล่งพลังงานชีวมวล	222
9.4 กระบวนการเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงาน	229
9.5 การผลิตพลังงานชีวมวลสำหรับยานยนต์	231
9.6 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานชีวมวล	237
9.7 ผลกระทบจากการใช้พลังงานชีวมวล	241
9.8 บทสรุป	243
9.9 คำถามทบทวน	243
เอกสารอ้างอิง	244
<b>บทที่ 10 พลังงานนิวเคลียร์</b>	<b>245</b>
10.1 อะตอมและโครงสร้างของอะตอม	245
10.2 นิวเคลียสและชนิดของนิวเคลียส	246
10.3 กัมมันตภาพรังสี	250
10.4 การสลายตัวและหน่วยวัดกัมมันตภาพรังสี	251
10.5 ปฏิกิริยานิวเคลียร์	255
10.6 ความหมายและประเภทของพลังงานนิวเคลียร์	258
10.7 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	260
10.8 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์	265
10.9 ผลกระทบจากการใช้พลังงานนิวเคลียร์	267
10.10 บทสรุป	268
10.11 คำถามทบทวน	268
เอกสารอ้างอิง	269
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>273</b>

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจ	8
1.2 แผนภูมิแสดงจำนวนประชากรและแนวโน้มจำนวนประชากร โลก	10
1.3 แสดงที่ตั้งของกลุ่มประเทศต่างๆ	11
1.4 แผนภูมิปริมาณการใช้และแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานของโลก	12
1.5 แผนภูมิปริมาณการใช้และแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานของกลุ่มประเทศต่างๆ	12
1.6 แผนภูมิปริมาณการใช้และแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานจากแหล่งแต่ละชนิด	13
1.7 แสดงบริเวณและปริมาณสำรองน้ำมันของโลก	14
1.8 แสดงบริเวณและปริมาณสำรองก๊าซธรรมชาติของโลก	15
1.9 แสดงบริเวณและปริมาณสำรองถ่านหินของโลก	16
1.10 แผนภูมิปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งพลังงานซากดึกดำบรรพ์แต่ละชนิด	17
1.11 แผนภูมิปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากกลุ่มประเทศต่างๆ	18
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประเภทของจีโรเจนที่เกิดขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนต่อคาร์บอนและออกซิเจนต่อคาร์บอน	38
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดปิโตรเลียมกับเวลาและอุณหภูมิ	40
2.3 แสดงแหล่งกักเก็บแบบประทุมคว่ำ	41
2.4 แสดงแหล่งกักเก็บแบบโดมหินเกลือ	41
2.5 แสดงแหล่งกักเก็บแบบรอยเลื่อนของหิน	41
2.6 แสดงแหล่งกักเก็บในระหว่างชั้นหิน	41
2.7 แสดงตัวอย่างการเจาะหลุมปิโตรเลียม	44
2.8 แสดงตัวอย่างแท่นเจาะแบบคอนเวนชันแนล	45
2.9 แสดงตัวอย่างแท่นเจาะแบบเคลื่อนย้ายได้	46
2.10 แสดงตัวอย่างแท่นเจาะแบบมาตรฐาน	46
2.11 แสดงตัวอย่างของแท่นเจาะแบบแจ็คอัฟ	47
2.12 แสดงรูปแบบทั่วไปของแท่นเจาะแบบฐานยึดติด	48

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.13 แสดงตัวอย่างแท่นเจาะ (a) แบบเสาโลหะ และ (b) แท่นเจาะแบบโครงสร้างถ่วง	48
2.14 แสดงตัวอย่างแท่นเจาะแบบเรือท้องแบน	49
2.15 แสดงตัวอย่างแท่นเจาะแบบเรือเจาะขนาดใหญ่	50
2.16 แสดงตัวอย่างแท่นเจาะแบบเซมิซับเมอร์ซิเบิล	50
2.17 แสดงตัวอย่างการกลั่นลำดับส่วน	52
2.18 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการกลั่นลำดับส่วน	54
3.1 แสดงกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ	67
3.2 แสดงตัวอย่างการใช้ก๊าซมีเทนเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์	68
3.3 แสดงก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือก๊าซหุงต้ม	69
3.4 แสดงตัวอย่างก๊าซโซลีนธรรมชาติ	70
3.5 แสดงตัวอย่างน้ำแข็งแห้ง	70
3.6 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว	71
3.7 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว	72
3.9 แสดงแหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติในประเทศไทยและเครือข่ายระบบท่อ	81
4.1 แสดงขั้นตอนการกำเนิดถ่านหินของแหล่งที่มีการสะสมตัวอยู่กับที่	91
4.2 แผนภูมิแสดงสัดส่วนของสารองค์ประกอบในกระบวนการแปรสภาพเป็นถ่านหิน	92
4.3 แสดงตัวอย่างการทำเหมืองเปิดแบบบ่อ	96
4.4 แสดงตัวอย่างการทำเหมืองเปิดแบบเปิดหน้าดินเฉพาะส่วน	96
4.5 แสดงตัวอย่างการทำเหมืองเปิดตามแบบเครื่องเจาะ	97
4.6 แสดงภาพตัดขวางการทำเหมืองถ่านหินแบบเหมืองใต้ดิน	98
4.7 แสดงรูปแบบการทำเหมืองใต้ดินแบบตามความยาวของผนังเหมือง	99
4.8 แสดงรูปแบบการทำเหมืองใต้ดินแบบแบ่งเป็นห้อง	99
5.1 แสดงโครงสร้างของดวงอาทิตย์	114
5.2 แสดงการเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่โปรตอน-โปรตอน	115
5.3 แสดงชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์	116

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.4 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนาของชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์	117
5.5 แสดงสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ทั้งภายนอกและภายในชั้นบรรยากาศ	118
5.6 แสดงอันตรกิริยาและปริมาณของแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศโลก	118
5.7 แสดงตัวอย่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมดา	123
5.8 แสดงตัวอย่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบขจัดน้ำ	123
5.9 แสดงส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	126
5.10 แสดงการรับและสะท้อนแสงของเฮลิโอสเตท	128
5.11 แสดงการรับและสะท้อนแสงของรางพาราโบลา	128
5.12 แสดงการรับและสะท้อนแสงของจานพาราโบลา	129
5.13 โรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน ที่เมืองบาร์สโทว์ ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา	131
5.14 แสดงลักษณะการทำงานของโรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน	131
5.15 โรงไฟฟ้าแบบรางพาราโบลา ที่ทะเลทรายโมจาวิ ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา	132
5.16 แสดงลักษณะของโรงไฟฟ้าแบบจานพาราโบลา	133
5.17 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว	134
5.18 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกโพลี	135
5.19 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบฟิล์มบาง	135
5.20 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของค่ารังสีดวงอาทิตย์กับค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า	137
5.21 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า	138
5.22 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ	139
5.23 แสดงตัวอย่างเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	140
5.24 แสดงตัวอย่างของเครื่องควบคุมประจุ	141
5.25 แสดงตัวอย่างของแบตเตอรี่	141
5.26 แสดงผังระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระแบบต่อตรงเข้ากับภาระทางไฟฟ้า	142
5.27 แสดงผังระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระแบบใช้แบตเตอรี่	142
5.28 แสดงผังระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระแบบมีอุปกรณ์ควบคุมการประจุไฟฟ้า	143

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.29 แสดงผังระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระแบบใช้กับภาระทางไฟฟ้ากระแสสลับ	143
5.30 แสดงผังระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระแบบมีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลายแหล่ง	144
5.31 แสดงผังระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง	144
5.32 แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทย	146
6.1 แสดงลักษณะโรงสีข้าวพลังงานลมแบบยุโรป	153
6.2 แสดงลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ	157
6.3 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ	158
6.4 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง	160
6.5 แสดงองค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วคงที่ (a) กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (b) และกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (c)	160
6.6 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า	162
6.7 แสดงส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการสูบน้ำ	164
6.8 แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย	166
6.9 แสดงตัวอย่างของฟาร์มลมในประเทศสหรัฐอเมริกา	167
6.10 สถานีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต	168
7.1 แสดงวัฏจักรของน้ำและการประยุกต์ใช้พลังงานจากน้ำ	174
7.2 แสดงลักษณะการใช้พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง	178
7.3 แสดงการหาค่าพลังงานน้ำขึ้นน้ำลง	179
7.4 แสดงลักษณะของคลื่นน้ำที่เป็นรูปคลื่นไซน์	181
7.5 แสดงลักษณะโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบไม่มีอ่างเก็บน้ำ	184
7.6 แสดงลักษณะโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำ	184
7.7 แสดงลักษณะโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับ	185
7.8 แสดงภาคตัดขวางของระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ	187
7.9 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำเพลตัน	189

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
7.10 แสดงตัวอย่างกังหันน้ำเทอร์โบ	189
7.11 แสดงตัวอย่างกังหันน้ำฟรานซิส	190
7.12 แสดงตัวอย่างกังหันน้ำเคปแลน	191
7.13 แสดงตัวอย่างกังหันน้ำเคเรียซ	191
8.1 แสดงลักษณะของโครงสร้างภายในของโลก	198
8.2 แสดงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในงานกิจกรรมต่างๆ	202
8.3 แสดงลักษณะของบ่อน้ำร้อน	203
8.4 แสดงตัวอย่างลักษณะของน้ำพุร้อน	204
8.5 แสดงตัวอย่างลักษณะของบ่อโคลนเดือดหรือพุโคลน	205
8.6 แสดงตัวอย่างลักษณะของบ่อไอเดือดหรือพุก๊าซ	206
8.7 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้าแบบไอแห้ง	208
8.8 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้าแบบซิงเกิลเฟลชสตรีม	208
8.9 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้าแบบ 2 วงจร	210
8.10 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้าแบบดับเบิลเฟลชสตรีม	210
8.11 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพแฝง	213
9.1 แสดงรูปแบบการสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของชีวมวล	220
9.2 แสดงรูปแบบของวัฏจักรคาร์บอนไดออกไซด์ในธรรมชาติ	222
9.3 แสดงผังการใช้เศษพืชผลทางการเกษตรเป็นแหล่งพลังงานผลิตไฟฟ้า	226
9.4 แสดงรูปแบบการนำก๊าซที่เกิดจากการฝังกลบไปใช้	227
9.5 แสดงผังการใช้ของเหลือใช้จากชุมชนเป็นแหล่งพลังงานผลิตไฟฟ้า	228
9.6 แสดงผังการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยวิธีต่างๆ	228
9.7 แสดงตัวอย่างผังกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง	233
9.8 แสดงตัวอย่างการใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล	235
9.9 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันซึ่งจะได้สารเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล	235
9.10 แสดงหลักการพื้นฐานในการผลิตไบโอดีเซล	236

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
9.11 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงมีพระราชกระแสช้กถามการดำเนินงานผลิตไบโอดีเซล240	
10.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของอะตอม	246
10.2 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบความดันสูง	263
10.3 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำเดือด	264
10.4 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำมวลหนัก	265

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงคำอุปสรรค สัญลักษณ์ และความหมายในรูปเลขยกกำลัง	6
1.2 หน่วยพลังงานและการเปรียบเทียบพลังงานในแต่ละหน่วย	6
1.3 เปรียบเทียบค่าพลังงานมาตรฐานของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดในแต่ละหน่วยพลังงาน	7
1.4 แสดงปริมาณการใช้พลังงานชนิดต่างๆ ของประเทศไทย	20
1.5 แสดงปริมาณการผลิตพลังงานของประเทศไทยจำแนกตามชนิดของพลังงาน	22
1.6 มูลค่าการนำเข้าพลังงานของประเทศไทย	23
1.7 แสดงปริมาณการนำเข้าพลังงานจำแนกตามแหล่งพลังงาน	23
1.8 แสดงปริมาณการส่งออกพลังงานของประเทศไทย	24
1.9 แสดงปริมาณสำรองพลังงานของประเทศไทย ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2545	25
3.1 แสดงปริมาณการผลิตและซื้อขาย และปริมาณสำรองก๊าซธรรมชาติของประเทศไทย	80
4.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของถ่านหินแต่ละชนิด	93
4.2 แสดงแหล่งถ่านหินในประเทศไทยที่หยุดการผลิตชั่วคราว	108
4.3 แสดงแหล่งถ่านหินในประเทศไทยที่ยังคงดำเนินการผลิต	108
4.4 แสดงแหล่งถ่านหินสำรองในประเทศไทยซึ่งยังไม่ได้ดำเนินการผลิต	109
5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพของแผงที่ประกอบจากเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด	136
6.1 การพัฒนาของกังหันลมในช่วง ค.ศ. 1985 – 2002	156
8.1 แสดงแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทยที่มีศักยภาพค่อนข้างสูง	212
8.2 แสดงแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทยที่มีศักยภาพสูงปานกลาง	212
9.1 แสดงค่าพลังงานของแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่างๆ	224
9.2 แสดงปริมาณผลผลิตทางการเกษตร ประเภทที่สามารถใช้ส่วนที่เหลือเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ซึ่งผลิตได้ภายในประเทศในแต่ละปี	238
9.3 แสดงปริมาณผลผลิตทางการเกษตร ประเภทที่สามารถนำมาสกัดใช้แทนน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล ซึ่งผลิตได้ภายในประเทศในแต่ละปี	241
10.1 แสดงชนิดค้นกำเนิด สถานที่ใช้ และการใช้พลังงานนิวเคลียร์ที่มีอยู่ในประเทศไทย	266