

สารบัญ

คำนำ

บทที่ 1	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์	1
1.1	ทฤษฎีเบื้องต้นของพลังงานนิวเคลียร์	2
1.1.1	โครงสร้างของอะตอม	2
1.1.2	วงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส	3
1.1.3	ธาตุต่าง ๆ	4
1.2	กัมมันตภาพรังสี	9
1.2.1	ธาตุกัมมันตรังสี	9
1.2.2	ความหนาแน่นของอะตอม	10
1.2.3	มวล - พลังงาน	13
1.2.4	ปฏิกิริยานิวเคลียร์	15
1.2.5	ปฏิกิริยาการรวมตัวของนิวเคลียร์	19
บทที่ 2	การใช้พลังงานนิวเคลียร์ ในการผลิตกระแสไฟฟ้า	23
2.1	ประเภทของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	23
2.1.1	การแบ่งประเภทตามประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	24
2.1.2	การแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน	24
2.1.3	การแบ่งตามชนิดสารระบายความร้อนและสารหล่อเย็นนิวตรอน	25
2.2	เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	25
2.3	ลักษณะทั่วไปของปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่มีประสิทธิภาพเดินเครื่องเชิงพาณิชย์	27
2.3.1	เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบปฏิกรณ์ก๊าซ	27
2.3.2	เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำมวลหนัก	29
2.3.3	เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบปฏิกรณ์น้ำธรรมดา	30
2.4	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า	33
2.4.1	การผลิตไอน้ำของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	33
2.4.2	ระบบผลิตไฟฟ้านิวเคลียร์	33

2.5	ข้อเปรียบเทียบในการเลือกชนิดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ในการผลิตกระแสไฟฟ้า	35
2.5.1	ลักษณะโดยย่อของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	36
2.5.2	ประสบการณ์เกี่ยวกับการเดินเครื่องและการก่อสร้าง	37
2.5.3	ปัญหาบางอย่างเกี่ยวกับเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ สารระบายความร้อน และสารหล่อลื่นนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	38
2.5.4	ลักษณะพิเศษในวงจรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	39
2.5.5	ลักษณะเกี่ยวกับการก่อสร้างและราคา	39

บทที่ 3 โครงการและอุปกรณ์หลักของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ 41

3.1	โครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	41
3.1.1	ข้อมูลที่ต้องพิจารณาถึงความต้องการระดับชาติ	41
3.1.2	ข้อมูลที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม	42
3.1.3	การวางแผนในการใช้พลังงานนิวเคลียร์	44
3.1.4	การสำรวจหาสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	44
3.1.5	ขั้นตอนของสัญญาก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	49
3.1.6	การประกันคุณภาพโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	54
3.2	การปรับพื้นดิน และงานวางฐานราก	58
3.3	อาคารคลุมปฏิกรณ์นิวเคลียร์	60
3.4	อาคารส่วนอื่น ๆ	60
3.5	อุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ	60
3.5.1	หม้อปฏิกรณ์นิวเคลียร์	60
3.5.2	ชุดเครื่องผลิตไอน้ำ	62
3.5.3	ส่วนผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	62

บทที่ 4 เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ 67

4.1	วัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	67
4.1.1	การทำเหมืองและการแยกแร่	68
4.1.2	การเปลี่ยนยูเรเนียมออกไซด์ ให้เป็นยูเรเนียมเฮกซะฟลูออไรด์	69
4.1.3	การเพิ่มความเข้มข้นหรือความบริสุทธิ์ของยูเรเนียม-235	69
4.1.4	การประกอบเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	70

	หน้า
4.2 การจัดการเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	71
4.3 เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้แล้ว	75
4.4 การจัดการเก็บกากกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	76
4.4.1 ต้นกำเนิดกากกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	76
4.4.2 ชนิดของกากกัมมันตรังสีและระบบการจัดการกากกัมมันตรังสี	80
4.4.3 การเก็บเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้แล้ว	82
4.5 การศึกษาและพัฒนาแหล่งแร่โมนาไซต์ในประเทศไทย	85
4.6 การสำรวจแหล่งแร่ยูเรเนียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย	92
บทที่ 5 สิ่งแวดล้อมกับโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	95
5.1 หน่วยงานที่ควบคุมและปฏิบัติงานเกี่ยวกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทย	95
5.2 วัตถุประสงค์ของการสำรวจนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม	98
5.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเนื่องจากรังสี	99
5.3.1 รังสีที่มีอยู่เป็นพื้นฐานในธรรมชาติ	99
5.3.2 รังสีที่มีมนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น	101
5.3.3 วิถีทางที่มนุษย์จะได้รับสารกัมมันตรังสีที่มีความสำคัญและมีผลกระทบกระเทือนต่อสุขภาพ	103
5.4 ผลทางนิเวศวิทยาจากระบบระบายความร้อนในการใช้พลังงานนิวเคลียร์	105
5.4.1 ความต้องการของน้ำหล่อเย็นระบายความร้อน	107
5.4.2 ปริมาณการผสมกันระหว่างน้ำในแหล่งน้ำและน้ำระบายความร้อนจากเครื่องควบแน่น	108
5.4.3 ผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิ	109
5.4.4 การปล่อยน้ำอุ่นจากระบบระบายความร้อน	110
5.4.5 บ่อระบายความร้อน	111
5.4.6 หอระบายความร้อน	114
5.5 การป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	118
บทที่ 6 ความปลอดภัยในการใช้พลังงานนิวเคลียร์	121
6.1 หลักการทั่วไปเพื่อศึกษาความปลอดภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	121

6.1.1	ตำแหน่งและปริมาณสารกัมมันตรังสีในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	121
6.1.2	การเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	123
6.1.3	อุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	123
6.1.4	ลักษณะการออกแบบของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพื่อความปลอดภัย	124
6.1.5	การวิเคราะห์ความปลอดภัย	125
6.2	การปฏิบัติด้านความปลอดภัย	126
6.2.1	ขั้นเริ่มแรกของโครงการ	127
6.2.2	ขั้นตอนการออกแบบ	128
6.2.3	ขั้นตอนการก่อสร้าง	129
6.2.4	ขั้นตอนการเดินเครื่อง	129
6.3	การอนุญาตสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และรายงานการวิเคราะห์ความปลอดภัย	130
6.3.1	จุดมุ่งหมายในการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ความปลอดภัย	130
6.3.2	การพิจารณาบททวนและการประเมินรายงานวิเคราะห์ความปลอดภัย	131
6.3.3	การตรวจสอบและการบังคับปฏิบัติ	132
6.4	ชนิดและขอบเขตของอุบัติเหตุ	132
6.4.1	อุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	133
6.4.2	อุบัติเหตุเกี่ยวกับเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้แล้ว	135
6.4.3	การก่อวินาศกรรม	136
6.4.4	การถูกโจมตีในภาวะสงคราม	137
6.5	ระบบป้องกันอุบัติเหตุและป้องกันภัย	137
6.5.1	ระบบสำรอง	137
6.5.2	ระบบทำหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน	137
6.5.3	ระบบป้องกันอันตรายจากความผิดพลาด	137
6.5.4	ระบบป้องกันรังสีหลายชั้น	138
6.5.5	ระบบเตือนภัย	139
6.5.6	ระบบระบายความร้อนฉุกเฉิน	140
6.6	การปฏิบัติการณ์หลังจากเกิดอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์	141
6.6.1	แผนการป้องกันฉุกเฉิน	142
6.6.2	เหตุการณ์อุบัติเหตุจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่นับว่ารุนแรง	145

	หน้า
บทที่ 7 การใช้พลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทย	149
7.1 การดำเนินการตามพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ	150
7.2 การพัฒนาการใช้ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์วิจัยในกิจการต่าง ๆ	151
7.3 ประวัติการดำเนินการของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยของประเทศไทย	152
7.4 การดำเนินการด้านเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังในประเทศไทย	156
7.5 ปัญหา และแนวโน้มการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	159
7.5.1 ปัญหาทางด้านเศรษฐศาสตร์	160
7.5.2 ปัญหาและแนวทางการประชาสัมพันธ์โรงไฟฟ้านิวเคลียร์	161
7.5.3 ปัญหาด้านการพัฒนาบุคคล การศึกษาวิจัย การบริการด้านวิชาการ และให้ความรู้ต่อนักศึกษา ประชาชน	168
ภาคผนวก	171
ภาคผนวก 1 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบก๊าซอุณหภูมิสูง	173
ภาคผนวก 2 เครื่องนิวเคลียร์แบบความดันสูง	215
ภาคผนวก 3 เครื่องนิวเคลียร์แบบน้ำเดือด	252
บรรณานุกรม	263
ดัชนี	267
3.1 แสดงการเลือกส่วนที่จะให้ในแบบของสัญญาก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	50
3.2 แสดงความสัมพันธ์ของมาตรฐานการประกันคุณภาพในประเทศต่าง ๆ	56
3.3 อาคารคลุมปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังก่อสร้างในประเทศสหรัฐอเมริก	61
3.4 ภาพโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศฟิลิปปินส์ กับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งแรกของกลุ่มประเทศอาเซียน	61
3.5 การวางแผนก่อสร้างอาคารคลุมปฏิกรณ์ระยะต่าง ๆ	62
3.6 การวางรูปแบบปฏิกรณ์นิวเคลียร์และอุปกรณ์	63
3.7 เครื่องผลิตไอน้ำ	64
3.8 อาคารกักเก็บเครื่องกักเก็บไอน้ำของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	65
4.1 วัสดุทนร้อน และผงนิวไทรเนียม	73
4.2 แสดงการจัดการวางแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	74
4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของธาตุกัมมันตรังสีในแท่งเชื้อเพลิง	77
4.4 วัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	85

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างชั้นหรือเซลล์ของอะตอม วงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสของอะตอมเรียงซ้อนกันเป็นชั้น	4
รูปที่ 1.2 ไอโซโทปของไฮโดรเจนมีจำนวนโปรตอนเท่ากัน แต่จำนวนนิวตรอนต่างกัน	5
รูปที่ 1.3 โมเลกุลของน้ำ	7
รูปที่ 1.4 แสดงปฏิกิริยาแตกตัวนิวเคลียร์	18
รูปที่ 2.1 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบก๊าซธรรมชาติ	27
รูปที่ 2.2 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบก๊าซอุณหภูมิสูง	28
รูปที่ 2.3 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำมวลหนัก	29
รูปที่ 2.4 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบความดันสูง	31
รูปที่ 2.5 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบน้ำเดือด	32
รูปที่ 2.6 แสดงหลักการผลิตไอน้ำของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนเชื้อเพลิงจากธรรมชาติกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	34
รูปที่ 3.1 แสดงการเลือกส่วนที่จะใช้ในรูปแบบของสัญญาณก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	50
รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของมาตรฐานการประกันคุณภาพในประเทศต่าง ๆ	56
รูปที่ 3.3 อาคารคลุมปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังก่อสร้างในประเทศสหรัฐอเมริกา	61
รูปที่ 3.4 ภาพโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศฟิลิปปินส์ เป็นโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งแรกของกลุ่มประเทศอาเซียน	61
รูปที่ 3.5 การวางแผนก่อสร้างอาคารคลุมปฏิกรณ์ระยะต่าง ๆ	62
รูปที่ 3.6 การวางแผนปฏิกรณ์นิวเคลียร์และอุปกรณ์	63
รูปที่ 3.7 เครื่องผลิตไอน้ำ	64
รูปที่ 3.8 อาคารที่ติดตั้งเครื่องกักกันไอน้ำของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	65
รูปที่ 4.1 แร่ยูเรเนียม และผงแร่ยูเรเนียม	73
รูปที่ 4.2 แสดงการจัดการวางแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	74
รูปที่ 4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของธาตุกัมมันตรังสีในแท่งเชื้อเพลิง	77
รูปที่ 4.4 วัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	85

		หน้า
รูปที่ 5.1	วิถีทางที่ประชากรใกล้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะได้รับรังสีจากสารกัมมันตรังสีที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ	104
รูปที่ 5.2	เปรียบเทียบการได้รับรังสีของประชากรจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และแหล่งอื่น	105
รูปที่ 5.3	รูปทางทฤษฎีแสดงบริเวณการกระจายตัวของอนุภาคนิวเคลียร์ และบริเวณอนุภาคนิวเคลียร์บนผิวหน้าของแหล่งน้ำ	108
รูปที่ 5.4	การถ่ายเทระบายความร้อน	112
รูปที่ 5.5	แสดงการเพิ่มขึ้นของอนุภาคนิวเคลียร์ใกล้บริเวณการกระจายตัวของอนุภาคนิวเคลียร์ในสภาวะที่มีการไหลของน้ำ	112
รูปที่ 5.6	รูปย่ออย่างง่ายแสดงให้เห็นกำแพงกันน้ำ	113
รูปที่ 5.7	แสดงหลักการของหอระบายความร้อนแบบเปียกตามแนวขวาง	115
รูปที่ 5.8	แสดงหลักการของหอระบายความร้อนแบบเปียกโดยวิธีธรรมชาติตามแนวขวาง	116
รูปที่ 5.9	แสดงหลักการของหอระบายความร้อนแบบผสมระหว่างแบบเปียกและแบบแห้ง	117
รูปที่ 6.1	สิ่งปิดกั้นรังสี	126
รูปที่ 6.2	แสดงการคัดเลือกสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ตามระยะต่าง ๆ และการวิเคราะห์ความปลอดภัยที่นิยมใช้กันในประเทศ	127
รูปที่ 6.3	แสดงขั้นตอนการผูกฐานราก และเชื่อมเหล็กกล้าฐานรากของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ อาคารคลุมปฏิกรณ์นิวเคลียร์	129
รูปที่ 6.4	ระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์นิวเคลียร์กรณีฉุกเฉิน	134
รูปที่ 6.5	ผลึกแก้วและถังกากกัมมันตรังสีแรงสูง	136
รูปที่ 6.6	แท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ มัดเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และแท่งควบคุม	139
รูปที่ 7.1	Linkage ระหว่างสถาบันวิจัยพลังงานกับหน่วยงานอื่นในด้านพลังงานนิวเคลียร์	169

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางธาตุ	22
ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างของระบบในปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบต่าง ๆ	35
ตารางที่ 3.1 กำหนดการโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	43
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบหนังสือมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร ญี่ปุ่น และทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ	55
ตารางที่ 3.3 ประมาณปริมาณวัสดุก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ของประเทศญี่ปุ่น	59
ตารางที่ 4.1 ครึ่งชีวิตของธาตุที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาการแตกตัว	75
ตารางที่ 4.2 ครึ่งชีวิตของกากกัมมันตรังสีที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวและการสลายตัว	84
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณร้อยละของแรรีเออร์ทอกโซไซด์ชนิดต่าง ๆ ในแรรีเออร์ทอกโซไซด์ผสมจากการย่อยแรมโมนาไซด์ในประเทศไทย	87
ตารางที่ 4.4 แสดงส่วนประกอบของสารมาตรฐานสำหรับแรมโมนาไซด์	88
ตารางที่ 5.1 ค่าความเข้มข้นสูงสุดของไอโซโทปของธาตุกัมมันตรังสีที่กำหนดโดยคณะกรรมการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ (ICRP)	98
ตารางที่ 5.2 ธาตุจากปฏิกิริยาแตกตัวในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	102
ตารางที่ 5.3 อาการที่เกิดขึ้นหลังจากได้รับรังสีในช่วงเวลาสั้นของปริมาณรังสีระดับต่าง ๆ กัน	106
ตารางที่ 6.1 แสดงปริมาณของสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น และตำแหน่งที่เกิดขึ้นในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ขนาด 1,000 เมกกะวัตต์	122
ตารางที่ 6.2 ค่าต่ำสุดของรังสีที่จะทำให้เกิดผลต่อมนุษย์ ที่มีผลต่อการเกิดมะเร็งของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย	141
ตารางที่ 6.3 แสดงชนิดของธาตุต่าง ๆ จากกัมมันตรังสีที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อเกิดอุบัติเหตุร้ายแรง	142
ตารางที่ 6.4 มาตรากำหนดความรุนแรงของอุบัติเหตุจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	144
ตารางที่ 7.1 ประวัติกิจกรรมสำคัญการผลิตไอโซโทปจากปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยตั้งแต่แรกเริ่มดำเนินการผลิตจนถึงระยะปัจจุบัน	154

พลังงานนิวเคลียร์และพัฒนาการในประเทศไทย

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE
สำนักหอสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ



1110005590

สุวัฒน์ นิลายน

ดุชนีย์ นิลายน

เลขหมู่ 539.7
447
2539
เลขทะเบียน 9468
วันที่ 7 18-12-53
0029-28860



สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2539