



แบบจำลองการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

Dispersion Modeling of Radioactive Materials in Atmosphere from a Nuclear Power Plant

พีระศักดิ์ แสงอรุณ

Peerasak Sangarun

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Physics

Prince of Songkla University

๐

2540

เลขหมู่	00495.42 1161 1510 ค. 2
Bib Key	125866

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์ แบบจำลองการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศจากโรงไฟฟ้า
นิวเคลียร์


ผู้เขียน นายพีระศักดิ์ แสงอรุณ

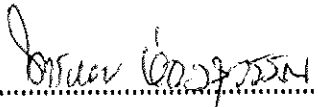
สาขาวิชา ฟิสิกส์


คณะกรรมการที่ปรึกษา

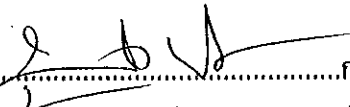
คณะกรรมการสอบ

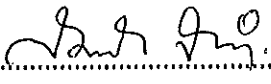

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวัช ชิตตระการ)


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวัช ชิตตระการ)

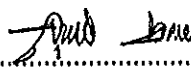

.....กรรมการ
(อาจารย์ไทรภพ ผ่องสุวรรณ)


.....กรรมการ
(อาจารย์ไทรภพ ผ่องสุวรรณ)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญเหลือ พงศ์คารา)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร จงก่า)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทร โสคติพันธ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ แบบจำลองการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศจาก โรงไฟฟ้า
 นิวเคลียร์
ผู้เขียน นายพีระศักดิ์ แสงอรุณ
สาขาวิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีทางอากาศชื่อ CAP88-PC ของ U.S. EPA ศึกษาการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีจาก โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยใช้ปริมาณการระบายของสารกัมมันตรังสีประจำปี ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ และ ข้อมูลประชากร เกษตรกรรมของพื้นที่อำเภอทับสะแกและอำเภอบางสะพานเป็นพื้นที่ศึกษา เพื่อคาดคะเนปริมาณรังสีที่ได้รับภายในรัศมี 20 กิโลเมตร รอบๆ บริเวณที่จะตั้ง โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ สำหรับปริมาณรังสีตรีเทียม และคาร์บอน-14 ภูมิภาคกระทำ โดยวิธีดักจับไอน้ำในบรรยากาศ และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดรังสีบีตาพลังงานต่ำ

ผลการศึกษาการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสี Kr-85m, Kr-85, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-135, I-129, I-131, I-133 และ I-135 จากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ชนิด PWR ขนาด 600 MWe ในภาวะเดินเครื่องปกติและมีความบกพร่องที่แท่งเชื้อเพลิง 1 % พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีสูงสุด 0.91 มิลลิเรมต่อปี ห่างจากที่ตั้ง 750 เมตร ทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ (NNW) และ 0.73 มิลลิเรมต่อปี ที่ระยะ 750 เมตร ทิศไปทางตะวันตกเฉียงใต้ก่อนไปทางใต้ (SSW) เป็นอันดับรองลงมา เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลที่อาจเป็นอันตราย คือการได้รับรังสีมากกว่า 500 มิลลิเรมต่อปี สำหรับประชาชนทั่วไป จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณรังสีสูงสุดที่ประชาชนได้รับในการศึกษาค้นนี้เป็นปริมาณรังสีที่รับได้อย่างปลอดภัย ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณตรีเทียมและคาร์บอน-14 ในบรรยากาศ มีค่า 0.1-0.4 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เมตร และ 0.1-0.3 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

Thesis Title Dispersion Modeling of Radioactive Materials in Atmosphere from a
 Nuclear Power Plant
Author Mr. Peerasak Sangarun
Major Program Physics
Academic Year 1996

Abstract

The dispersion modeling of radioactive materials from a nuclear power plant was studied by U.S. EPA CAP88-PC model. Dose prediction was calculated by using annual release rate of radioisotopes, meteorological data average over 10 years in Changwat Prachuap Khiri Khan, population and agricultural data within radius of 20 kilometers around the practical site. Studied area covers Amphoe Thap Sakae and Amphoe Bang Sa Pan. Background tritium and carbon-14 concentrations in air were studied by cold traps and analyzed by liquid scintillation counter.

The results of Kr-85m, Kr-85, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-135, I-129, I-131, I-133 and I-135 isotopes dispersion modeling from the normal operation and 1 % of the fuel rods assumed to release radioactivity to primary coolant of 600 MWe nuclear power plant type PWR showed maximally exposed individual dose were 0.89 mrem/year at NNW direction and 0.73 mrem/year at SSW direction distance 750 m from the site. Comparison with the maximum permissible dose based on ICRP is 500 mrem/year for general populations. The result showed that the predict dose from modeling was not exceed MPD. Tritium and carbon-14 concentrations in air were 0.1-0.4 Bq/m³ and 0.1-0.3 Bq/m³ respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือ แนะนำ ทั้งทางด้านวิชาการและปฏิบัติการภาคสนาม โดย ศศ.ดร.รวิช ชิตตระกูล และอาจารย์ไทรภพ ผ่องสุวรรณ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณอาจารย์ไพโรจน์ เบญจมานนท์ สำหรับคำแนะนำการพัฒนาโปรแกรม อาจารย์สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล ในงานปฏิบัติการภาคสนาม ผู้ชำนาญการ สมยศ วิชชุฉลัญช์ และคุณเทิดทูน ทองเจิม ในงานห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณโรงเรียนสทิงพระวิทยา กรมสามัญศึกษา ที่สนับสนุนและเปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ใช้เวลาในการศึกษาอย่างเต็มที่ตลอดมา

ขอขอบคุณสำนักงานเกษตร สำนักงานปศุสัตว์ สำนักงานพัฒนาชุมชน อำเภอทับสะแก และอำเภอบางสะพาน สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและ สถานีตรวจอากาศ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ให้บริการข้อมูลในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง Liquid Scintillation Counter

ขอขอบคุณสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติที่อนุเคราะห์การวัดตัวอย่างด้วยเครื่อง Liquid Scintillation Counter

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณ คุณนิธินาถ เด็กชายชฤต แสงอรุณ ที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

พระศักดิ์ แสงอรุณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(11)
คำย่อและสัญลักษณ์.....	(14)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	11
2. ทฤษฎี.....	12
นิวเคลียร์ฟิชชัน.....	12
ผลิตภัณฑ์ฟิชชัน (fission products).....	13
กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี.....	16
สารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์.....	19
ชนิดของ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์.....	22
Light water - cooled Reactor.....	22
Heavy water - cooled Reactor (HWR).....	25
Gas cooled Reactor หรือ High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGR).....	25
Sodium - cooled Fast Breeder Reactor (FBR).....	26
การแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ.....	27
สารกัมมันตรังสีในธรรมชาติ.....	27
ครีเดียมจาก โรงไฟฟ้านิวเคลียร์.....	28

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
อุตุนิยมวิทยากับการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ.....	29
โดสรังสี (Dose) และ ความเสี่ยง (Risk).....	33
สภาพที่ตั้ง โรงไฟฟ้านิวเคลียร์.....	36
องค์ประกอบที่ตั้ง โรงไฟฟ้านิวเคลียร์.....	36
เกณฑ์การเลือกทำเลที่ตั้ง.....	37
3. วิธีการศึกษา.....	40
การศึกษาแบบจำลอง CAP88-PC.....	40
การศึกษาสภาพเกษตรกรรมและจำนวนประชากรบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	40
การศึกษาสภาพอุตุนิยมวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	41
การเก็บตัวอย่างภาคสนามและการวิเคราะห์.....	44
การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์หาปริมาณตรีเทียม คาร์บอน-14.....	44
การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์หาปริมาณ eTh, eU และ K ในดิน.....	47
4. ผลและการอภิปรายผล.....	49
ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ระบายจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์.....	49
การศึกษาสภาพเกษตรกรรม และจำนวนประชากรบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	50
อุตุนิยมวิทยาพื้นที่ศึกษา.....	52
ปริมาณตรีเทียมและคาร์บอน-14 ในบรรยากาศ.....	63
ปริมาณทอเรียม ยูเรเนียม และ โปแทสเซียมในดินตัวอย่าง.....	67
การจำลองการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์.....	67
องค์ประกอบที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น	
โดสรังสีและความเสี่ยง.....	68
ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ระบายจากโรงไฟฟ้าขนาด 600 MWe ชนิด	
PWR ในภาวะเดินเครื่องปกติ.....	73
ปริมาณรังสีที่ระบายจากโรงไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ.....	75
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีและความเข้มข้นสารกัมมันตรังสี	
กับเสถียรภาพของบรรยากาศและความเร็วของลม.....	77

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
การจำลองลักษณะการแพร่กระจาย โดสรังสีและความเสี่ยงที่เกิดจากก๊าซ กัมมันตรังสีของโรงไฟฟ้าขนาดกำลังผลิต 600 MWe ในภาวะเดินเครื่องปกติ..81	
5. บทวิจารณ์และสรุป.....	87
บรรณานุกรม.....	90
ภาคผนวก.....	92
ประวัติผู้เขียน.....	135

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. ผลการคำนวณความเข้มข้นที่จุดระบายของสารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ขนาด 600 MWe ชนิด PWR.....	3
2. ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ยอมให้อยู่ในร่างกาย และความเข้มข้นในอากาศที่ยอม ให้รับได้ โดยไม่เป็นอันตราย.....	4
3. การแจกแจงพลังงานที่เกิดจากฟิชชันเทอร์มัลของ U-235.....	14
4. กัมมันตภาพ (α_p) และ fission yield ของสารกัมมันตรังสีในแกนเครื่องปฏิกรณ์ ขนาด 1000 MWe ชนิด PWR ขณะเดินเครื่องปฏิกรณ์เต็มกำลัง 500 วัน และ มีความบกพร่องของแท่งเชื้อเพลิง 1 % ถัดลออกไปยังวัสดุระบายความร้อน.....	20
5. องค์ประกอบหลักของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิดต่างๆ.....	26
6. ปริมาณสารกัมมันตรังสีในหินและดินเหนียว.....	27
7. ปริมาณรังสีที่มนุษย์จะได้รับจากธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในระยะเวลา 1 ปี.....	28
8. ปริมาณตรีเทียมที่ถูกผลิตขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ชนิด PWR, BWR ขนาด 1000 MWe และชนิด HTGR ขนาด 120 MWe.....	29
9. Weighting Factor.....	34
10. RBE ของรังสีชนิดต่างๆ.....	34
11. ผลของรังสีต่อร่างกายเมื่อได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาอันสั้น.....	35
12. ความสูงและจำนวนปล่อยระบาย กับอัตราการไหลของอากาศบริเวณต่าง ๆ.....	49
13. แสดงผลการคำนวณการระบายปริมาณสารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์.....	50
14. จำนวนเกษตรกรของบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	51
15. จำนวนประชากรในบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	52
16. ปริมาณเมฆเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.....	54
17. ความเร็วลมเฉลี่ยปี ค.ศ.1982-1991 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.....	56
18. อุณหภูมิเฉลี่ยปี ค.ศ.1982-1991 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.....	57
19. ความถี่ชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศจำแนกตามระดับชั้นและความเร็วลม.....	60
20. ปริมาณตรีเทียมและคาร์บอน-14 ในบรรยากาศบริเวณต่างๆ.....	63
21. ปริมาณทอเรียม ยูเรเนียม และ โปแทสเซียมในดินบริเวณต่างๆ.....	67

รายการตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
22. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสี ความเสี่ยง กับปริมาณฝน.....	68
23. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสี ความเสี่ยง กับความสูงของปล่องระบาย.....	69
24. ความสัมพันธ์ระหว่างโดสรังสี ความเสี่ยงและความเข้มข้นกับสภาพพื้นที่.....	70
25. สัดส่วนที่กำหนด สำหรับการบริโภคพืชผัก นมและเนื้อตามลักษณะพื้นที่.....	71
26. สัดส่วนของพื้นที่เพาะปลูกกับโดสรังสี ความเสี่ยง.....	72
27. ความสัมพันธ์ของความเร็วก๊าซที่จุดปล่อยกับ โดสรังสีและความเสี่ยง.....	72
28. ตำแหน่งที่ได้รับปริมาณรังสีสูงสุดจำแนกตามชนิดของ ไอโซโทป.....	74
29. ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นรังสีสูงสุดจำแนกตามชนิดของ ไอโซโทป.....	74
30. โดสรังสีและความเสี่ยงจากโรงไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ.....	75
31. โดสรังสีสูงสุดเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991.....	76
32. ความเสี่ยงสูงสุดเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991.....	76

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. ปริมาณตรีเทียมที่เกิดจากเครื่องปฏิกรณ์ใน 3 ปีแรกชนิด BWR	7
2. ปริมาณตรีเทียมที่เกิดจากเครื่องปฏิกรณ์ใน 3 ปีแรกชนิด PWR	7
3. ปริมาณตรีเทียมที่เกิดจากเครื่องปฏิกรณ์ใน 3 ปีแรกชนิด HWR.....	8
4. ปริมาณตรีเทียมที่เกิดจากเครื่องปฏิกรณ์ใน 3 ปีแรกชนิด FBR	8
5. เส้นทางการรับรังสีจากภายนอกร่างกายมนุษย์ (External Exposure).....	9
6. เส้นทางการรับรังสีเมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ (Internal Exposure).....	10
7. ปริมาณส่วนแยกฟิชชันที่เกิดจากนิวตรอนเทอร์มัลกับ U-233,U-235 และ Pu-239.....	15
8. ลักษณะทั่วไปของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิด BWR.....	23
9. ลักษณะทั่วไปของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิด PWR.....	24
10. Adiabatic Lapse Rate	31
11. ลักษณะของพายุ.....	32
12. ขอบเขตพื้นที่ที่รอบๆบริเวณที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์.....	36
13. บริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา.....	42
14. การแบ่งขอบเขตเพื่อศึกษาการกระจายของประชากรในพื้นที่.....	43
15. การติดตั้งเครื่องมือคักจับไอน้ำ.....	45
16. ลักษณะการทำงานของ LSC เพื่อลดผลกระทบจากอุณหภูมิ.....	45
17. ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างอากาศและตัวอย่างดิน.....	48
18. ปริมาณฝนเฉลี่ยปี ค.ศ. 1988-1994 อำเภอทับสะแก.....	53
19. ปริมาณเมฆเฉลี่ย (ส่วนใน 10 ส่วน) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาท้องถิ่น.....	54
20. แผนภูมิลมจังหวัดประจวบคีรีขันธ์.....	55
21. ความเร็วลมเฉลี่ย (นอต) ตามเวลาท้องถิ่น.....	56
22. อุณหภูมิเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.....	58
23. อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาท้องถิ่น.....	58
24. ปริมาณตรีเทียมในบรรยากาศบริเวณต่างๆ.....	64
25. ปริมาณคาร์บอน-14ในบรรยากาศบริเวณต่างๆ.....	65

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
26. ปริมาณน้ำค้างต่อปริมาตรอากาศในบริเวณต่างๆ.....	66
27. ความสัมพันธ์ระหว่าง โดสรังสี ความเสี่ยง กับความสูงของปล่องระบาย.....	69
28. โดสรังสีตามสภาพพื้นที่.....	70
29. โดสรังสีและความเสี่ยงกับความเร็วก๊าซที่จุดปล่อย.....	73
30. โดสรังสีและความเสี่ยงจากโรงไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ.....	75
31. โดสรังสีและความเสี่ยงเฉลี่ยปีค.ศ. 1982-1991.....	77
32. ปริมาณรังสี ความเร็วลม และชั้นเสถียรภาพบรรยากาศที่ระยะห่างจากที่ตั้ง 750 เมตร ทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ.....	78
33. ความเข้มข้นของ Xe-133 และความเร็วลมในแต่ละชั้นบรรยากาศ ที่ระยะห่างจากจุดปล่อย 750 เมตร.....	79
34. ความเข้มข้นของ Xe-133 ระยะห่างจากจุดระบาย ความเร็วลม ที่ระดับชั้น เสถียรภาพของบรรยากาศต่าง ๆ.....	80
35. ปริมาณรังสี ความเร็วลม และระดับชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ.....	81
36. โดสรังสี (mrem/y) ที่ประชากรจะได้รับในบริเวณต่าง ๆจากการระบายของ สารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe.....	82
37. โดสรังสี (mrem/y) ที่ประชากรจะได้รับในบริเวณต่าง ๆจากการระบายของ สารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 2400 MWe.....	83
38. ความเข้มข้นของ Xe-133 (pCi/m^3) ในอากาศที่ระดับพื้นดินบริเวณต่าง ๆ รัศมี 20 กิโลเมตร รอบ ๆ บริเวณโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe เมื่อสมมุติเป็นฤดูฝนเพื่อศึกษาทิศทางการแพร่กระจาย.....	84
39. ความเข้มข้นของ Xe-133 (pCi/m^3) ในอากาศที่ระดับพื้นดินบริเวณต่าง ๆ รัศมี 20 กิโลเมตร รอบ ๆ บริเวณโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe เมื่อสมมุติเป็นฤดูร้อนเพื่อศึกษาทิศทางการแพร่กระจาย.....	85

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
40. ความเข้มข้นของ Xe-133 (pCi/m^3) ในอากาศที่ระดับพื้นดินบริเวณต่าง ๆ รัศมี 20 กิโลเมตร รอบ ๆ บริเวณโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe เมื่อสมมติเป็นฤดูหนาวเพื่อศึกษาทิศทางการแพร่กระจาย.....	86

ตัวย่อและสัญลักษณ์

ICRP	= International Commission on Radiological Protection
NCRP	= National Committee on Radiation Protection
MPBB	= Maximum Permissible Body Burdens
MPC	= Maximum Permissible Concentration of Radionuclide
LSC	= Liquid Scintillation Counter
NRC	= Nuclear Regulatory Commission
DEL	= Dose Equivalent Limits
RBE	= Relative Biological Effective
QF	= Quality Factor
DF	= Distribution Factor
LET	= Linear Energy Transfer
IAEA	= International Atomic Energy Agency
OAEP	= Office of Atomic Energy for Peace
EPA	= Environmental Protection Agency

บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยมีมาตั้งแต่อดีต แต่เนื่องจากในขณะนั้นสามารถนำทรัพยากรอื่นๆภายในประเทศ เช่น ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน มาผลิตไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ จึงต้องล้มเลิกโครงการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ไป โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ต่างจากโรงไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ในส่วนการใช้เชื้อเพลิงจากสารกัมมันตรังสีภายในเครื่องปฏิกรณ์ ในปัจจุบันมีเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิชชันหลายๆชนิดที่นำมาผลิตกระแสไฟฟ้า และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะในอากาศ แต่มีปัญหาส่วนหนึ่งคือเป็นที่หวั่นเกรงอันตรายจากผลผลิตของปฏิกิริยาฟิชชัน (fission products) ที่เกิดขึ้น ถึงแม้มีมาตรการป้องกันควบคุมอย่างสมบูรณ์แล้วก็ตาม ดังนั้นการศึกษาคาดคะเนผลกระทบทางรังสีที่อาจแพร่กระจายสู่บรรยากาศจากเครื่องปฏิกรณ์จึงควรได้รับความสนใจ เพื่อช่วยให้การพิจารณาในการตัดสินใจเลือกพลังงานชนิดนี้มาใช้ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

บทนำต้นเรื่อง

ในปัจจุบันมนุษย์มีความจำเป็นในการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น จากรายงานการศึกษาการนำพลังงานนิวเคลียร์มาผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย 2537 (คณะกรรมการการพลังงาน, 2537) พบว่าประเทศไทยต้องผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละไม่น้อยกว่า 1,000 MWe ในปี 2535 มีกำลังผลิต 8,877 MWe ดังนั้นในปี พ.ศ.2549 จะต้องเพิ่มกำลังผลิตอีกไม่น้อยกว่า 15,000 MWe การนำทรัพยากรในประเทศมาใช้โดยเฉพาะพลังงานจากน้ำ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ ไม่สามารถรองรับความต้องการได้เพียงพอ การนำเข้าถ่านหิน และการพัฒนาร่วมแหล่งน้ำระหว่างประเทศจากประเทศลาวและพม่า ตลอดจนการใช้พลังงานทดแทนอื่นๆ เช่นพลังงานลม แสงแดด พลังงานชีวมวล เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการพัฒนาเพื่อเพิ่มกำลังผลิต พลังงานนิวเคลียร์ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ทั่วโลกสามารถนำมาใช้ได้อีกนับร้อยปี ทั้งนี้เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการการใช้ไฟฟ้าในอนาคตได้

ในการศึกษาข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณรังสี จำเป็นต้องมีการตรวจวัดระดับรังสีก่อนและหลังการสร้างโรงไฟฟ้า ครีเดียมเป็นไอโซโทปรังสีไอโซโทปหนึ่ง ที่อาจระบายจาก

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เนื่องจากปฏิกิริยานิวเคลียร์หรือผลจากปฏิกิริยาฟิชชัน เช่นเดียวกับสารรังสีอื่นๆเช่น ไอโอดีน ซีซอน คริปทอน ซึ่งเมื่อนำคุณสมบัติของสารแต่ละชนิดมาประกอบกับสภาพทางอุตุนิยมวิทยา และสภาพพื้นที่ด้านการเกษตรซึ่งเป็นเส้นทางรังสีที่จะเข้าสู่ร่างกายของประชากร ของแต่ละพื้นที่มาประกอบกันแล้ว สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดคะเนทิศทาง ปริมาณ การกระจายของสารกัมมันตรังสีรังสีในบรรยากาศได้ CAP88-PC เป็นโปรแกรมการศึกษาการแพร่กระจายของสารรังสี โปรแกรมหนึ่ง โดยพัฒนามาจากโปรแกรม CAP88 (Clean Air Act Assessment Package - 1988) เพื่อใช้ในคอมพิวเตอร์ระดับ PC มีการสำรวจประชากร ปริมาณโคเนื้อ โคนม พืชผลประจำพื้นที่ที่ต้องการศึกษาตามต้องการ ในการคำนวณจะใช้ Gaussian Plume Equation คำนวณความเข้มข้นสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ การวิเคราะห์โดย CAP88-PC ทำให้ลดขั้นตอนการคำนวณปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องในการประเมินผลกระทบ สามารถเลือกชนิดไอโซโทปรังสี เพื่อหาปริมาณรังสีและความเสี่ยงของประชากรที่อาจจะได้รับในแต่ละพื้นที่ได้

การศึกษาได้กำหนดพื้นที่ ตั้งอยู่ตำแหน่ง 568250E, 1269250N ในรัศมีบริเวณรอบๆ ที่ตั้ง 20 กิโลเมตร ประกอบด้วยพื้นที่อำเภอทับสะแก 6 ตำบล คือ ทับสะแก แสงอรุณ เขาล้าน นาหูกวาง อ่างทอง ห้วยยาง และบริเวณพื้นที่อำเภอบางสะพาน 2 ตำบล คือตำบลธงชัย และชัยเกษม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยทำการตรวจวัดปริมาณ H-3 และ C-14 ที่เป็นกัมมันต์ในบรรยากาศ รวมถึงปริมาณ ทอเรียม ยูเรเนียม และโพแทสเซียม ในดินรอบๆบริเวณที่ตั้งที่กำหนด 5 ตำแหน่งคือ โรงพยาบาลทับสะแก โรงเรียนทับสะแกวิทยา วัดนันทาราม สำนักงานป่าไม้ และสำนักงานเกษตร อำเภอทับสะแก เพื่อเป็นตัวแทนปริมาณรังสีกัมมันต์ก่อนการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ การวิเคราะห์การแพร่กระจายของรังสีสู่บรรยากาศกระทำโดยใช้ CAP88-PC ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจอากาศจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จัดรูปแบบข้อมูลผลผลิตทางการเกษตร จำนวนประชากรในพื้นที่ เพื่อคาดคะเนควบคุมปริมาณไอโซโทปรังสีหลังจากมีการสร้างโรงไฟฟ้า ตามตัวแปรต่างๆ เช่น ปริมาณการปลดปล่อย สภาพทางอุตุนิยมวิทยา ขนาดโรงไฟฟ้า บริเวณรอบๆโครงการได้

การตรวจเอกสาร

อนุรักษ์ ธารศิริโรจน์ (2520) ได้ศึกษา และ คำนวณปริมาณสารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe ชนิด PWR โดยคำนวณสารกัมมันตรังสีจากผลิตภัณฑ์ฟิชชัน

(fission products) ภายในแท่งเชื้อเพลิง การปล่อยสู่ระบบระบายน้ำในวงจรแรก และผ่านกระบวนการการกำจัดกาก ก่อนที่จะปล่อยสู่บรรยากาศต่อไป พบว่าหลังจากมีการกรองก๊าซและเก็บกักเพื่อให้ก๊าซรังสีส่วนใหญ่สลายตัว จนกระทั่งสุดท้ายเมื่อก๊าซผ่านเครื่องวัดรังสีและพบว่ามีความไม่เกินค่าที่กำหนด (MPC_{air}) จึงปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยจุดปล่อยก๊าซประกอบด้วยปล่องระบายอากาศที่อยู่บนหลังอาคารต่างๆดังนี้ (อนูรักษ์ ชารศิริโรจน์, 2520)

(1) ที่ระบายของโรงไฟฟ้า (The Plant Vent) ระดับความสูงประมาณ 200 ฟุต

(2) ก๊าซจากคอนเดนเซอร์ภายในอาคารกักเก็บ ระบายออกทางท่อระบายอากาศที่

ระดับความสูงประมาณ 235 ฟุต

(3) ก๊าซจากท่อระบายอากาศของอาคารกำจัดกาก (Radwaste Building) ที่ระดับ

ความสูงประมาณ 155 ฟุต

ผลการคำนวณความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ ณ จุดปล่อยสู่สภาพแวดล้อมแสดงไว้ในตาราง 1

ตาราง 1 ผลการคำนวณความเข้มข้นที่จุดระบายของสารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe ชนิด PWR

ไอโซโทป (Isotope)	ก๊าซจาก Condenser Air Ejector ($\mu\text{Ci/cc}$)	ก๊าซจาก Turbine Building ($\mu\text{Ci/cc}$)	ก๊าซจาก Auxiliary Building ($\mu\text{Ci/cc}$)
Kr-85m	1.85E-06	2.34E-12	5.38E-07
Kr-85	5.24E-06	6.63E-12	1.52E-06
Kr-87	9.75E-07	1.23E-12	2.84E-07
Kr-88	1.90E-06	2.40E-12	5.52E-07
Xe-133	5.37E-04	6.80E-10	1.56E-04
Xe-135	3.84E-06	4.86E-12	1.12E-06
I-129	3.69E-19	9.34E-21	2.15E-18
I-131	5.57E-11	1.41E-12	3.24E-10
I-133	9.05E-11	2.29E-12	5.27E-10
I-135	2.29E-11	5.81E-13	1.33E-10

ที่มา: อนูรักษ์ ชารศิริโรจน์, 2520

ข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการคำนวณอ้างอิง เครื่องปฏิกรณ์ชนิด PWR 600 MWe ของ Westinghouse Electric Corporation เฉพาะกรณีที่ให้ผลการปลดปล่อยมากที่สุดขณะเดินเครื่องปกติ และมีความบกพร่องที่แห่งเชื้อเพลิง 1 % เพื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีสูงสุด ที่ยินยอมให้รับได้โดยไม่เป็นอันตราย โดย NCRP แสดงไว้ในตาราง 2

ตาราง 2 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ยอมให้อยู่ในร่างกาย และความเข้มข้นในอากาศที่ยอมให้รับได้โดยไม่เป็นอันตราย

สารกัมมันตรังสีและชนิดของการสลายตัว	อวัยวะวิกฤต	ครึ่งชีวิต Phys, Eff	MPBB (μCi)	MPC ในอากาศ ($\mu\text{Ci/cc}$)	
				40 hour/week	168 hour/week
H-3 (β)	Body Tissue	12.3 yr, 12 d	10^3	2×10^{-5}	5×10^{-6}
	Total Body		2×10^3	2×10^{-5}	7×10^{-6}
Kr-85m(β, γ)	Total Body	4.4 hr	-	6×10^{-6}	10^{-6}
Kr-85(β)	Total Body	10.76 yr	-	10^{-5}	3×10^{-6}
Kr-87(β, γ)	Total Body	76 min	-	10^{-6}	2×10^{-7}
I-126(β, γ)	Thyroid	13.2 d	1	8×10^{-9}	3×10^{-9}
	Lung GI ¹ (LLI ²)		-	3×10^{-7} 5×10^{-7}	10^{-7} 2×10^{-7}
I-129(β, γ)	Thyroid	1.72×10^7 y	3	2×10^{-9}	6×10^{-10}
	Lung GI (LLI)		-	7×10^{-8} 10^{-6}	2×10^{-8} 4×10^{-7}
I-131(β, γ)	Thyroid	8 d, 7.6 d	0.7	9×10^{-9}	3×10^{-10}
	Lung		-	3×10^{-7}	10^{-7}
	GI (LLI)		-	3×10^{-7}	10^{-7}
I-132(β, γ)	Thyroid	2.28 hr,	0.3	2×10^{-7}	8×10^{-8}
	GI (ULI ³)		-	9×10^{-7}	3×10^{-7}
I-133(β, γ)	Thyroid	20.8 hr	0.3	3×10^{-8}	10^{-8}
	GI (LLI)		-	2×10^{-7}	7×10^{-8}
I-134(β, γ)	Thyroid	52.3 m	0.2	5×10^{-7}	2×10^{-7}
	GI (S ⁴)		-	3×10^{-6}	10^{-6}
I-135(β, γ)	Thyroid	6.7 hr	0.3	10^{-7}	4×10^{-8}
	GI (LLI)		-	4×10^{-7}	10^{-7}

ตาราง 2 (ต่อ)

สารกัมมันตรังสีและชนิดของการสลายตัว	อวัยวะวิกฤต	ครึ่งชีวิต Phys, Eff	MPBB (μCi)	MPC ในอากาศ($\mu\text{Ci}/\text{cc}$)	
				40 hour/week	168 hour/week
Xe-131m(γ)	Total Body	12 d	-	2×10^{-5}	4×10^{-6}
Xe-133(γ)	Total Body	5.27 d	-	10^{-5}	3×10^{-6}
Xe-135(γ, β)	Total Body	9.2 hr	-	4×10^{-6}	10^{-6}

ที่มา: NCRP Report No. 22

- 1 GI : gastrointestinal tract
- 2 LLI : lower large intestine
- 2 ULI : upper large intestine
- 4 S : stomach

จากผลการคำนวณ โดยทั่วไปความเข้มข้นต่ำกว่าระดับที่ยอมรับได้ นอกจาก Xe-135 ซึ่งสูงกว่าค่าที่กำหนดแต่เนื่องจากความเข้มข้นของสารรังสีดังกล่าว เป็นความเข้มข้นก่อนที่จะปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อม ซึ่งหากต้องการทราบค่าที่แน่นอนต้องพิจารณาร่วมกับปัจจัยของการแพร่กระจายสู่บรรยากาศภายนอกด้วยต่อไป

Okada and Momoshima. (1993) รายงานว่าตรีเทียมมีคุณลักษณะพิเศษแน่นอน เช่น ชัดสำหรับการวัดระดับความแรงของรังสีและการประเมินผลความเสี่ยงต่อสุขภาพ ตรีเทียมในรูปก๊าซสามารถแพร่ผ่านได้เกือบทุกภาชนะ ในสภาพแวดล้อมสามารถติดตามไปกับโมเลกุลของไฮโดรเจนมีการแพร่กระจายกว้างทั่วโลก ตรีเทียมสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยผ่านทางหายใจ การดื่มกิน และผ่านทางผิวหนัง ผลอันตรายเกิดขึ้นเมื่อเข้าสู่ร่างกายเท่านั้น แหล่งกำเนิดของตรีเทียมทั้งหมดทั่วโลกจนถึงปี ค.ศ. 1990 พบว่าจากธรรมชาติ $1-1.3 \times 10^{18}$ Bq (รวมถึงการปล่อยจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ $0.01-0.02 \times 10^{18}$ Bq/y) และจากการทดลองนิวเคลียร์ในอดีตรวม $40-52 \times 10^{18}$ Bq

คุมฎี ทันตวิวัฒนานนท์ และ คณะ (2531) ได้รายงานการศึกษาการวัดปริมาณตรีเทียมในบริเวณกักอากาศ ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติโดยการใช้ silica gel และนำไปผสม cocktail สำเร็จรูป ของ Packard ในอัตราส่วน ตัวอย่างน้ำ : cocktail = 10 : 11 วัดปริมาณตรีเทียมโดย Liquid Scintillation Counter พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง $0.2-9.9 \text{ Bq}/\text{m}^3$ นอก

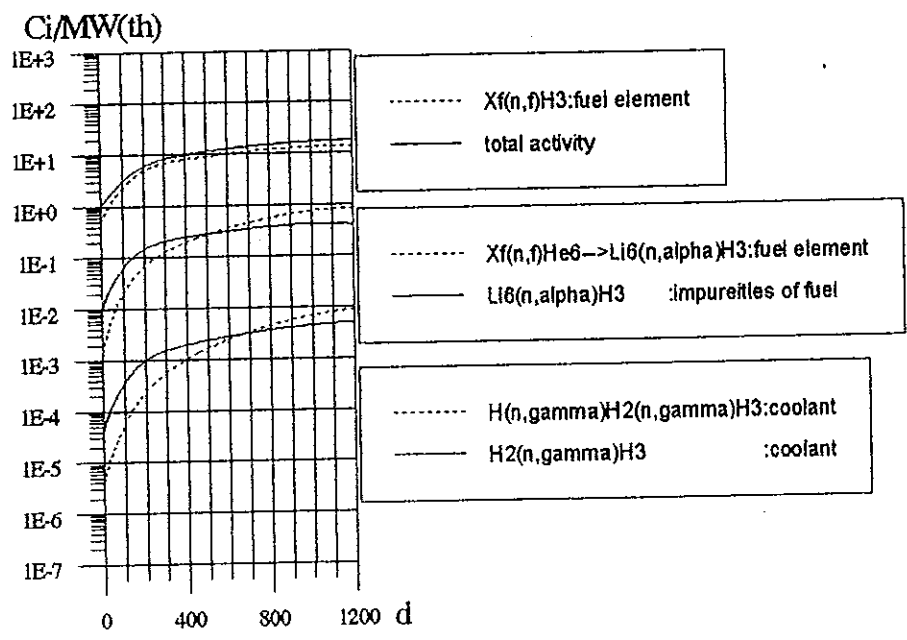
จากนี้ยังพบว่าค่าที่วัดได้สูงสุด 16.5 Bq/m^3 ซึ่งเป็นค่าที่วัดขณะมีการเผาถังรังสีที่มีตรีเทียมปนอยู่ด้วย นั่นคือปริมาณตรีเทียมในแต่ละพื้นที่มีค่าต่างกัน ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีนิวเคลียร์และการปัจจัยการเกิดตามธรรมชาติที่แตกต่างกัน

Wood, et al. (1993) ได้ตีพิมพ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดปริมาณตรีเทียมในบรรยากาศซึ่งในการตรวจวัดได้กล่าวถึงการตรวจวัดตรีเทียมโดย Okai (1991) พบว่าปริมาณตรีเทียมในสิ่งแวดล้อมที่ Fukuoka ประเทศญี่ปุ่น มีค่าอยู่ระหว่าง $10 - 100 \text{ mBq/m}^3$ และกล่าวถึงการดักจับความชื้นในบรรยากาศโดย Phillips and Easterly. (1982) พบว่าเมื่อใช้ ในโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ในการใช้วิธี single cold trap ได้ผลมากกว่า 95 % ขณะที่การใช้วิธี double cold trap จะให้ค่าสูงมากกว่า 99 %

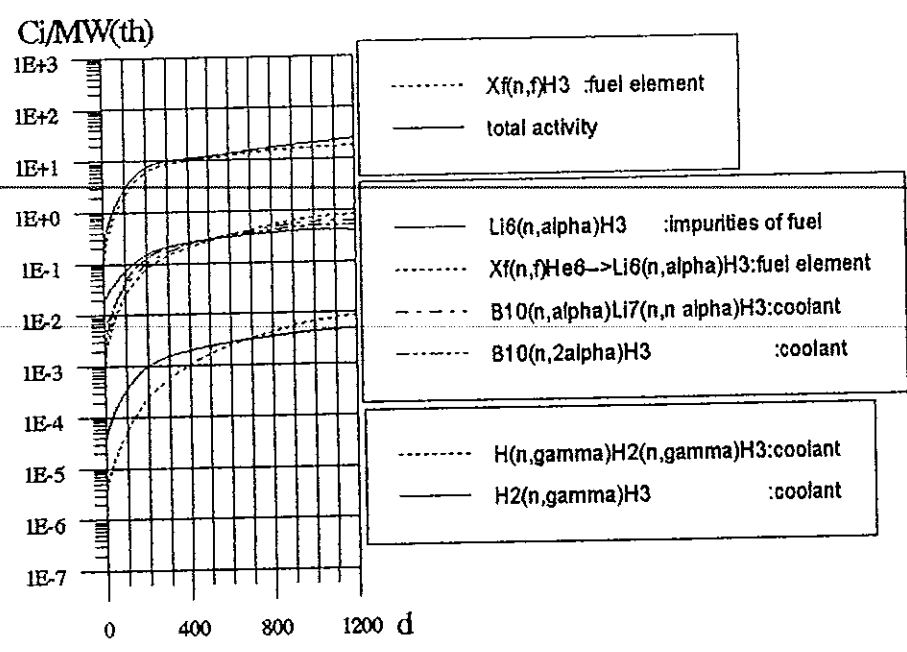
แหล่งกำเนิดของตรีเทียม เกิดขึ้นในธรรมชาติส่วนหนึ่ง จากเครื่องปฏิกรณ์และ Reprocessing Plants ส่วนหนึ่ง ในการเกิดขึ้นในธรรมชาติพบว่าเกิดขึ้นต่อเนื่องในบรรยากาศโดยปฏิกิริยานิวเคลียร์จากรังสีคอสมิก (n, T) และ (p, T) กับไนโตรเจน

Drapchinskij (1988) ได้รายงานสรุปการเกิดตรีเทียมในธรรมชาติ และจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดต่างๆ พบว่าอัตราเฉลี่ยของตรีเทียมเกิดขึ้นในธรรมชาติ $0.14 - 0.9 \text{ H-3/cm}^3\text{-s}$ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป HTO และ HT ส่วนตรีเทียมที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ในอดีตพบว่าอยู่ในอัตรา $6 - 30 \text{ MCi} : 1\text{Mt}$ ของระเบิดเทอร์โมนิวเคลียร์ (Thermonuclear Explosion) สำหรับตรีเทียมจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์พบว่าเป็นเกิดจาก ternary fission และปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับ $^2\text{H}, \text{Li}, \text{B}$ ในสารระบายความร้อนหรือในวัสดุประกอบอื่นๆ ทั้งนี้ได้รายงานตัวอย่างการปลดปล่อยตรีเทียมเนื่องจาก ternary fission ของโรงไฟฟ้าในรัสเซียชนิด RBMK = $0.37 - 0.74 \text{ TBq/MWe/y}$ และชนิด BN-Type = $0.74 - 1.5 \text{ TBq/MWe/y}$ ผลผลิตของตรีเทียมที่เกิดขึ้นจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดต่างๆ แสดงเปรียบเทียบได้ดังภาพประกอบ 1-4

ภาพประกอบ 1 ปริมาณตรีเทียมที่เกิดจากเครื่องปฏิกรณ์ใน 3 ปีแรก ชนิด BWR
 (ที่มา : Drapchinskij, 1988)

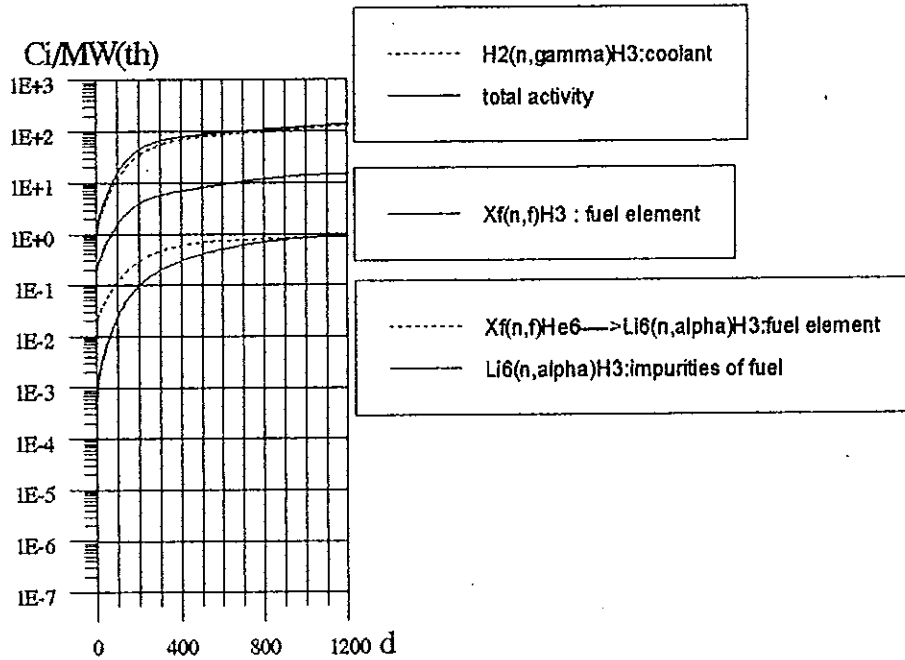


ภาพประกอบ 2 ปริมาณตรีเทียมที่เกิดจากเครื่องปฏิกรณ์ใน 3 ปีแรก ชนิด PWR
 (ที่มา : Drapchinskij, 1988)



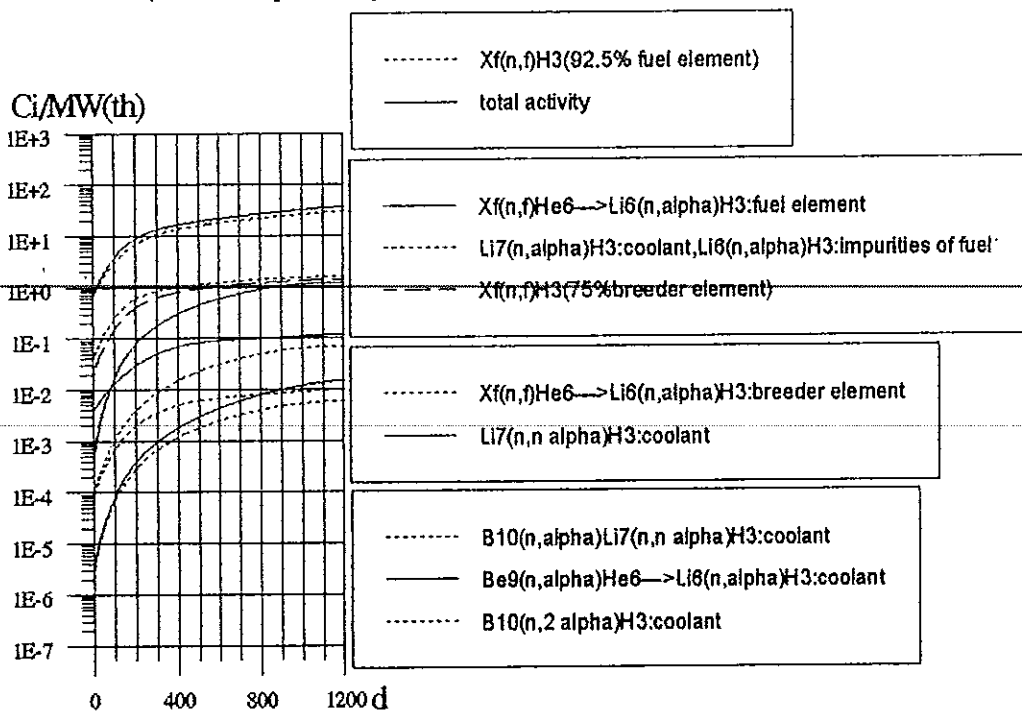
ภาพประกอบ 3 ปริมาณตรีเทียมที่เกิดจากเครื่องปฏิกรณ์ใน 3 ปีแรก ชนิด HWR

(ที่มา : Drapchinskij, 1988)



ภาพประกอบ 4 ปริมาณตรีเทียมที่เกิดจากเครื่องปฏิกรณ์ใน 3 ปีแรก ชนิด FBR

(ที่มา : Drapchinskij, 1988)

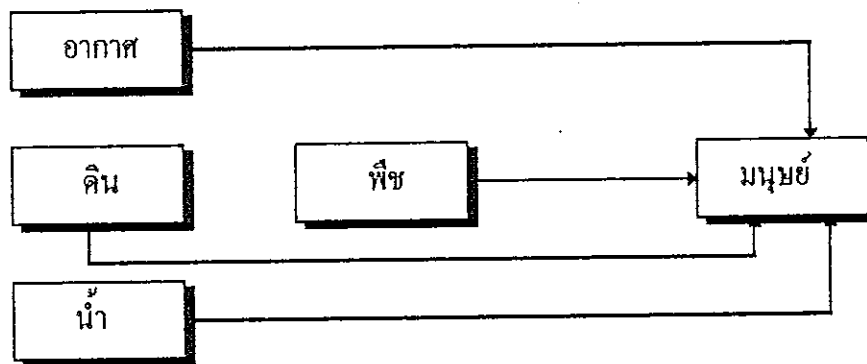


จากภาพประกอบ 3-4 พบว่าใน 3 ปีแรกของการเดินเครื่องส่วนใหญ่ตรีเทียมเกิดจาก ternary fission ยกเว้นเครื่องปฏิกรณ์ชนิด HWR ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยา $H-2(n,\gamma)H-3$ ในสารระบายความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบ PWR และ BWR พบว่าชนิด PWR จะมีปริมาณตรีเทียมเกิดขึ้นมากกว่า เนื่องจากมีปริมาณโบรอนอยู่ในน้ำประมาณ 500 ppm นอกจากนี้พบว่ามีการแพร่ผ่านเปลือกหุ้มเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งทำด้วย Zirconium ทนทานต่อรังสีสูงและดังปฏิกรณ์ (Steel canning) ออกมาสู่สารระบายความร้อนได้อีกส่วนหนึ่ง

ในส่วนการคำนวณ โดสรังสีและค่าความเสี่ยง Zach and Sheppard, (1991) ได้แสดงความสัมพันธ์กับการส่งผ่านปริมาณสารกัมมันตรังสีตามเส้นทางรังสี (Path way) เข้าสู่ร่างกาย ได้ 2 ลักษณะคือ การได้รับอันตรายจากแหล่งกำเนิดรังสีภายนอกร่างกาย (External Exposure) (ภาพประกอบ 5) และการได้รับอันตรายจากแหล่งกำเนิดรังสีหรือวัสดุที่ให้รังสีที่เข้าสู่ร่างกาย (Internal Exposure) เช่น โดยการรับประทาน หายใจ (ภาพประกอบ 6)

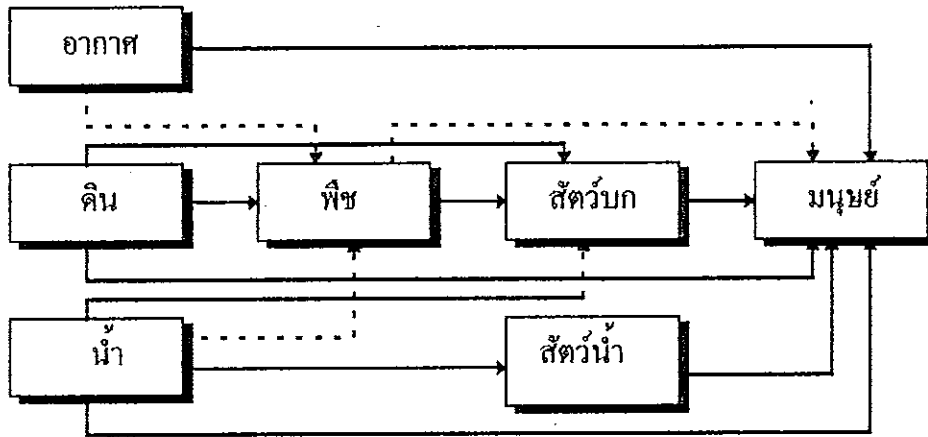
ภาพประกอบ 5 เส้นทางรับรังสีจากภายนอกร่างกายมนุษย์ (External Exposure)

(ที่มา : Zach and Sheppard, 1991)



ภาพประกอบ 6 เส้นทางการรับรังสีเมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ (Internal Exposure)

(ที่มา : Zach and Sheppard , 1991)



Hamby (1993) ได้รายงานผลด้วยแบบจำลอง โดยไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นในบรรยากาศ ผลการศึกษาปริมาณ Maximum Individual Dose จากทริเทียมออกไซด์ปริมาณ 5×10^5 Bq ที่ปล่อยจาก Savanna River Site (SRS) ในปี ค.ศ. 1991 สามารถประเมินค่าโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ XOQDOQ (Gaussian Plume Model), GASPAR (Dose Model) โดสรังสีที่ได้รับประมาณ $1.2 \mu\text{Sv/y}$ และในรายงานปี ค.ศ.1993 ได้ทำการประเมินผลจากทริเทียมเมื่อสมมุติว่ามีปริมาณทริเทียมในบรรยากาศ 0.13 ± 0.16 Bq/ml พบว่าค่าของโดสที่เกิดจากการได้รับทริเทียมในรูป HTO ที่แพร่กระจายอยู่ในบรรยากาศประจำปี มีค่าประมาณ $0.63 \mu\text{Sv}$ ในกระบวนการคำนวณโดสได้กล่าวถึงองค์ประกอบต่างๆตามเส้นทางการเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตและมนุษย์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ความเข้มข้นทริเทียมในอากาศ
2. Tritium Dose Factor $DF = \frac{0.592QEfTe}{\ln 2M}$
3. ความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีในพืช เนื้อ นม
4. Ingestion Pathway Dose
5. Inhalation Pathway Dose

นอกจากนี้ได้กล่าวถึงตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องคือ ปริมาณทริเทียมในบรรยากาศ ครึ่งชีวิตทางชีวภาพ มวลของเนื้อเยื่อที่ได้รับรังสี ปริมาณน้ำในพืชและสัดส่วนของทริเทียมในพืชกับทริเทียมในบรรยากาศ อัตราการบริโภคเนื้อ นม transport time ในเนื้อ นม อัตราการหายใจ

อัตราการบริโภคเนื้อ นม พืชผัก ดังนั้นในการคำนวณโคสจากกัมมันตภาพรังสีนั้นควรมีความ
สลับซับซ้อน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้แบบจำลองช่วยในการประเมิน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของก๊าซกัมมันตรังสีในบรรยากาศในภาวะ
ต่างๆของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
2. เพื่อคาดคะเนปริมาณความเข้มข้นของก๊าซกัมมันตรังสี บริเวณรอบ ๆ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในระยะ 20 กิโลเมตร ภาวะเดินเครื่องปกติ
3. เพื่อตรวจวัดปริมาณ H-3 และ C-14 ซึ่งเป็นค่าภูมิหลังในบรรยากาศก่อนการ
สร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
4. เพื่อศึกษาปริมาณรังสีภูมิหลัง ในดินและในบรรยากาศบริเวณที่ตั้ง โครงการสร้าง
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์
5. เพื่อหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ได้รับจากการระบายของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สู่
บรรยากาศในระดับที่ยอมรับได้โดยไม่เป็นอันตราย

บทที่ 2

ทฤษฎี

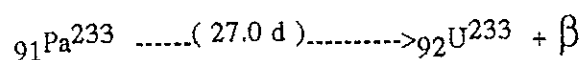
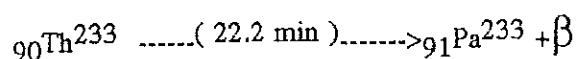
1. นิวเคลียร์ฟิชชัน (nuclear fission)

เป็นกระบวนการที่นิวเคลียสแยกออกเป็น 2 ส่วนหรือมากกว่า แบ่งได้ 4 ประเภทดังนี้

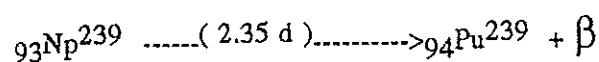
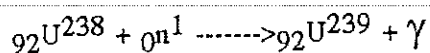
(1) ฟิชชันเทอร์มัล (thermal fission)

เกิดจากนิวเคลียสธาตุหนักถูกชนด้วยนิวตรอนเทอร์มัล (thermal neutron) พลังงานน้อยกว่า 0.4 eV ไอโซโทปที่สามารถเกิดฟิชชันได้กับนิวตรอนเทอร์มัลได้แก่ U-233, U-235 และ Pu-239 มีไอโซโทปอื่นๆที่สามารถเกิดฟิชชันกับนิวตรอนเทอร์มัลได้เช่นเดียวกัน แต่ไม่มีความสำคัญในแง่เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Omega, 1975)

U-235 มีอยู่ในธรรมชาติประมาณ 0.72 % และ U-238 ประมาณ 99.27 % ส่วน U-233 ไม่มีในธรรมชาติ สามารถผลิตได้โดยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



Pu-239 ไม่มีในธรรมชาติเช่นเดียวกันสามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



(2) ฟิชชันที่เกิดจากนิวตรอนพลังงานสูง (fast fission)

เกิดจากนิวตรอนพลังงานประมาณ 0.5-10 MeV เข้าชนนิวเคลียสธาตุหนัก ไอโซโทปที่เกิดฟิชชันกับนิวตรอนพลังงานสูงได้แก่ U-238 , Th-232 , U-234 และ U-236

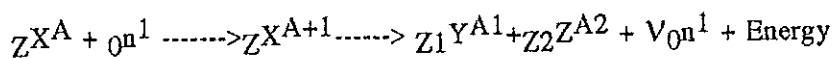
(3) particle induce fission เป็นฟิชชันที่เกิดจากอนุภาคโปรตอน คิวเทอรอน และอนุภาคแอลฟาที่มีพลังงานที่เหมาะสม เช่น คิวเทอรอนพลังงาน 8 MeV อนุภาคแอลฟาพลังงาน 20 MeV เกิดฟิชชันกับนิวเคลียสของธาตุที่มีเลขอะตอมมากกว่า 90 หรือเลขมวลประมาณ 200

(4) spontaneous fission เป็นการเกิดฟิชชันได้ด้วยตัวเองในธรรมชาติ

1.1 ผลิตภัณฑ์จากฟิชชัน (fission products)

จากการแตกตัวของนิวเคลียสของธาตุหนักกลายเป็นธาตุขนาดกลางที่มีขนาดใกล้เคียงกัน 2 ส่วน จะปลดปล่อยพลังงานออกมาพร้อมกับนิวตรอนจำนวนหนึ่ง พลังงานของนิวตรอนที่เข้าทำปฏิกิริยามีหลายค่า สามารถทำให้เกิดฟิชชันได้ตามชนิดและไอโซโทปของธาตุนั้นๆ

สมการฟิชชัน

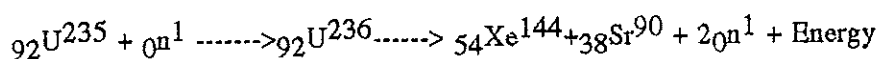


ZXA = นิวเคลียสที่เกิดฟิชชัน

${}_0n^1$ = อนุภาคนิวตรอน

Z_1YA^1 และ Z_2ZA^2 เป็นผลจากการแตกตัวของนิวเคลียสที่เกิดฟิชชัน มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 30-65 และเลขมวลอยู่ระหว่าง 70-160 จำนวนนิวตรอน (V) ที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับค่าของพลังงานนิวตรอนที่เข้าทำปฏิกิริยา

ตัวอย่างฟิชชันเทอร์มัล



สำหรับ U-235 จำนวนนิวตรอนที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 2.416 ± 0.008 นิวตรอนต่อฟิชชัน ในแต่ละปฏิกิริยาจะมีพลังงานเกิดขึ้นประมาณ 200 MeV จำแนกเป็นพลังงานของส่วนต่างๆ แสดงไว้ในตาราง 3

ตาราง 3 การแจกแจงพลังงานที่เกิดจากฟิชชันเทอร์มัลของ U-235

ส่วนของพลังงาน	พลังงาน (MeV)
พลังงานจลน์ของส่วนแยกฟิชชัน 2 ส่วน	167
พลังงานจลน์ของนิวตรอนจากฟิชชัน	5
พลังงานจลน์ของแกมมาจذبพลัน	7
พลังงานของอิเล็กตรอนจากการสลายตัวให้รังสีบีตา	5
พลังงานของรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยจากส่วนแยกฟิชชัน	5
พลังงานของนิวตริโนจากการสลายตัวให้รังสีบีตา	11
พลังงานรวม/ฟิชชัน	200

ที่มา : Omega, 1975

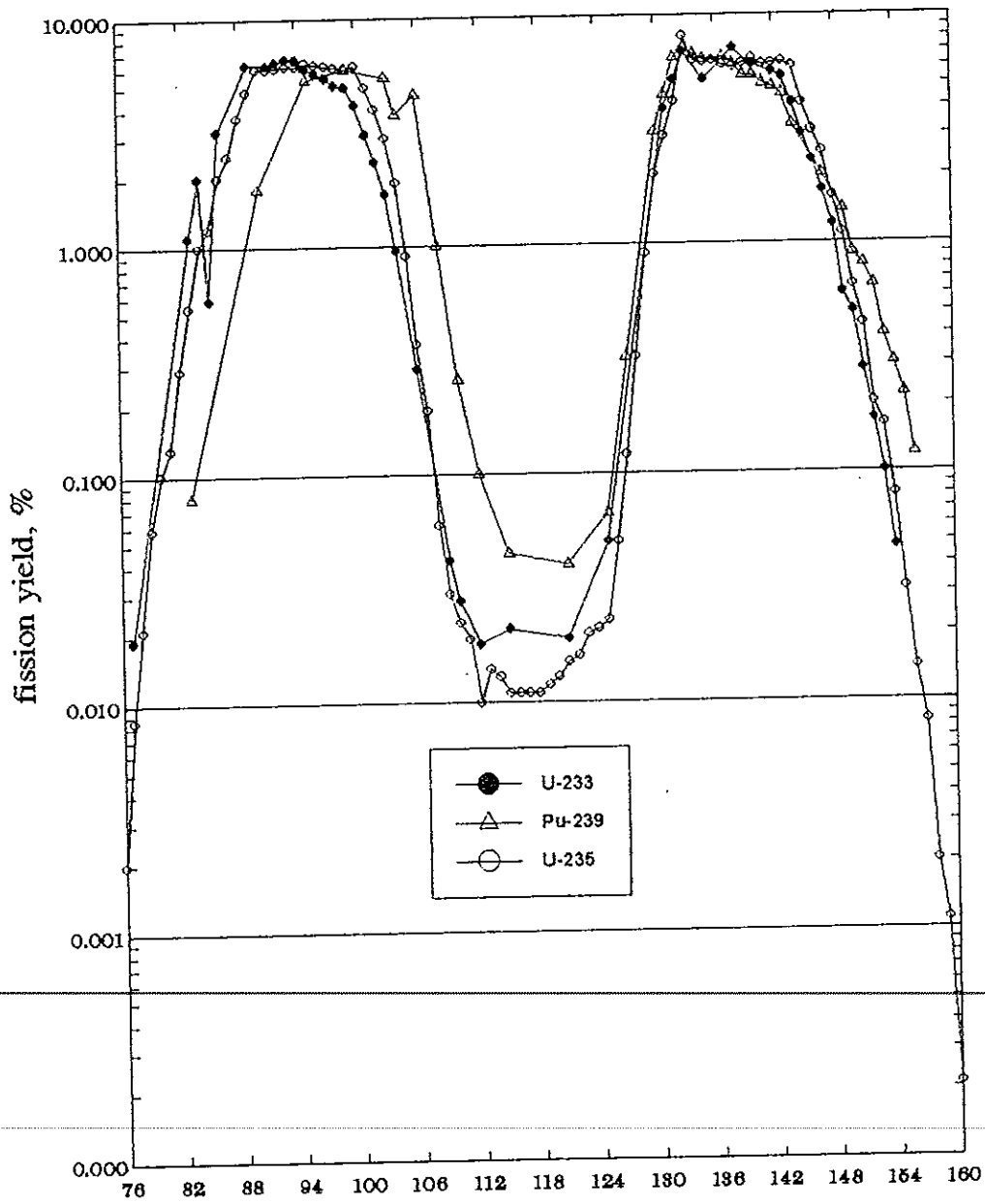
จากพลังงานทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาพลังงานของอนุภาคนิวตริโนมีค่าสูง จะทะลุผ่านตัวกลางไปหมด ไม่สามารถนับให้เป็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ในรูปพลังงานความร้อน จึงมีพลังงานประมาณ 190 MeV เท่านั้นที่มีประโยชน์จากการแบ่งแยกนิวเคลียส

ส่วนแยกฟิชชันโดยทั่วไปจะกล่าวในรูปของ fission yield หมายถึงร้อยละของการเกิดฟิชชันที่ทำให้ได้ผลผลิตนั้นๆ เช่น fission yield ของ Te-135 มีค่า 6.43 % หมายถึงใน 100 ฟิชชัน จะมีอะตอมของธาตุนั้นๆเกิดขึ้นเฉลี่ย 6.43 อะตอม fission yield ของธาตุต่างๆแสดงไว้ในภาพประกอบ 7

ภาพประกอบ 7 ปริมาณส่วนแยกฟิชชันที่เกิดจากนิวตรอนเทอร์มัลกับ U-233, U-235 และ

Pu-239

(ที่มา : Segre, 1977)



Abundance of different mass numbers in slow-neutron

fission of U-233, U-235 and Pu-239

Ternary fission

ในการแยกส่วนของนิวเคลียส 2 ส่วน จะมีทั้งนิวตรอนและพลังงานออกมาด้วยเสมอ แต่มีโอกาส 1 ใน 400 ฟิชชันที่จะมีอนุภาคเบตาถูกปล่อยตามมา โดยทั่วไปคือ อนุภาคแอลฟา และ ทริเทียม แต่อาจเป็นอนุภาคโปรตอน คิวเทอรอน ลิเทียม แบริลเลียม ก็ได้ด้วยเช่นกัน

ฟิชชันของ U-235 ที่เกิดจากนิวตรอนเทอร์มัล จะมีผลผลิตทริเทียมทุกๆ 100 อนุภาค แอลฟาที่ปล่อยออกมา หรือประมาณ 1 อะตอมของทริเทียมปลดปล่อยมาทุกๆ 6000 ฟิชชัน อะตอมของทริเทียมมีความสำคัญเนื่องจากสามารถเล็ดลอดเข้าไปในระบบหล่อเย็นของเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้ปนเปื้อนทริเทียมได้ พลังงานเฉลี่ยของทริเทียมที่ปล่อยมาจากขบวนการฟิชชันมีค่าประมาณ 8.4 MeV ซึ่งถือได้ว่าโดยทั่วไปไม่สามารถทะลุผ่านวัสดุหุ้มแท่งเชื้อเพลิงได้

1.2 กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี ขึ้นอยู่กับค่า λ ซึ่งเป็นค่าโอกาสการสลายตัวของนิวเคลียสใดๆต่อหน่วยเวลา โดยไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความดัน หรือสมบัติทางเคมี

ถ้าให้นิวเคลียสหนึ่งสลายตัวในช่วงเวลา Δt นั่นคือโอกาสที่นิวเคลียสจะสลายตัวไปทั้งหมด = $\lambda \Delta t$ และ โอกาสที่นิวเคลียสไม่สลายตัวไป = $1 - \lambda \Delta t$

เมื่อให้ m เป็นช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงน้อยๆระหว่างเวลา t จะได้ $t = m \Delta t$

โอกาสการที่นิวเคลียสไม่สลายตัวไป = $(1 - \lambda \Delta t)^m$

เมื่อ $x = \lambda \Delta t$ จะได้ โอกาสที่นิวเคลียสจะไม่สลายตัว = $(1 - \lambda \Delta t)^m = \{(1 - x)^{1/x}\}^{\lambda t}$

จาก $\lim_{x \rightarrow 0} \{(1 - x)^{1/x}\} = e^{-1}$

นั่นคือโอกาสที่นิวเคลียสไม่สลายตัวในช่วงเวลา t คือ $e^{-\lambda t}$ จะได้

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(2-1)$$

$N(t)$ = จำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่

N_0 = จำนวนนิวเคลียสเริ่มต้น

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(2-2)$$

พิจารณาที่เวลาผ่านไปครึ่งชีวิต ($T(1/2)$) หรือเมื่อ N มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนนิวเคลียสเริ่มต้น จะได้

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T(1/2)} \dots \dots \dots (2-3)$$

$$e^{-\lambda T(1/2)} = 1/2 \dots \dots \dots (2-4)$$

$$\lambda = 0.693/T(1/2) \dots \dots \dots (2-5)$$

อายุเฉลี่ย (mean life) τ เป็นช่วงเวลาเฉลี่ยที่อะตอมของธาตุกัมมันตรังสีหนึ่งยังคงอยู่ก่อนที่จะสลายตัวไป

$$\tau = 1/\lambda \dots \dots \dots (2-6)$$

ความแรงรังสี

$$A(t) = \lambda N \text{ มีหน่วยเป็น Bq (Becquerel)}$$

$$1 \text{ Bq(Becquerel)} = 1 \text{ dps}$$

$$1 \text{ Curie} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}$$

การสลายตัวแบบลูกโซ่ (decay chains)

เมื่อนิวเคลียส N_1 สลายตัวไปเป็นอะตอมลูก N_2 และ N_2 เป็นนิวเคลียสธาตุกัมมันตรังสี จำนวน N_2 ที่สลายตัวต่อไปจะเป็นดังนี้

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \dots \dots \dots (2-7)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \dots \dots \dots (2-8)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3 \dots \dots \dots (2-9)$$

เมื่อกำหนดให้ N_3 เป็นธาตุที่เสถียรและที่เวลาเริ่มต้นมีเฉพาะ N_1 เท่านั้นจะได้ N_2 ที่เวลาใดๆ คือ

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad \dots\dots\dots(2-10)$$

N_{01} = จำนวนนิวเคลียสเริ่มต้นของ N_1

สมดุลกัมมันตรังสี

(1) สมดุลแบบถาวร (Secular equilibrium)

สมดุลกัมมันตรังสีแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อครึ่งชีวิตของ N_1 มากกว่าครึ่งชีวิตของ N_2 มากๆ ประมาณ 10^4 เท่าหรือมากกว่า เริ่มต้นจะมี N_1 เพียงอย่างเดียวเมื่อเวลาผ่านไปจะมี N_2 และ N_3 ต่อไป

อัตราการเกิด $N_2 = \lambda_1 N_1 = \lambda_1 (N_{01} e^{-\lambda_1 t}) \quad \dots\dots\dots(2-11)$

เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณ N_2 เพิ่มขึ้นจนกระทั่งอัตราการเกิดของ N_2 เท่ากับอัตราการสลายตัวของ N_2 ไปเป็น N_3

อัตราการสลายตัว $N_2 = \lambda_2 N_2 = \lambda_1 (N_{01} e^{-\lambda_1 t}) \quad \dots\dots\dots(2-12)$

เนื่องจากครึ่งชีวิตของ $N_1 > N_2$ มาก ดังนั้น λ_1 มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ λ_2
 $e^{-\lambda_1 t}$ มีค่าเข้าใกล้ 1 สมการ (2-12) สามารถเขียนได้เป็นสมการ (2-13)

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{01} \quad \dots\dots\dots(2-13)$$

เนื่องจาก $e^{-\lambda_1 t}$ เข้าใกล้ 1 เพราะฉะนั้น $N_1 \approx N_{01}$ จะได้

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1 \quad \dots\dots\dots(2-14)$$

(2) สมดุลแบบชั่วคราว (Transient equilibrium)

เกิดขึ้นเมื่อนิวเคลียสแม่มีครึ่งชีวิตยาวกว่านิวเคลียสลูกไม่มากนัก ถ้าเริ่มต้นที่เวลา

t = 0 ไม่มีนิวเคลียสลูก N₂ อยู่เลย

$$\frac{dN_2}{dt} = \frac{\lambda_1 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} (-\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}) \dots\dots\dots(2-15)$$

สมการ 2-15 มีค่าเป็น 0 เมื่อ N₂ มีจำนวนอะตอมสูงสุด นั่นคือ

$$\lambda_2 e^{-\lambda_2 t} = \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} \dots\dots\dots(2-16)$$

เนื่องจาก $\lambda_2 > \lambda_1$ เมื่อ t มีค่ามากๆ สามารถเขียนรูปสมการได้ดังนี้

$$N_2 = \left(\frac{\lambda_1 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) (e^{-\lambda_1 t}) \dots\dots\dots(2-17)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \dots\dots\dots(2-18)$$

(3) กรณีไม่เกิดสมดุล

เกิดในกรณีที่นิวเคลียสแม่มีครึ่งชีวิตสั้นกว่านิวเคลียสลูก เนื่องจากนิวเคลียสแม่สลายตัวหมดไปก่อน เหลือแต่นิวเคลียสลูก จึงสลายตัวด้วยครึ่งชีวิตของนิวเคลียสลูกอย่างเดียว

1.3 สารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ให้เครื่องปฏิกรณ์ผลิตกำลังไฟฟ้า P MW(th) และพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละฟิชชันมีค่า 200 MeV จะได้อัตราการเกิดฟิชชัน

$$\begin{aligned} \text{fission rate} &= P \cdot MW \times \frac{10^6 J}{MW \cdot \text{sec}} \times \frac{\text{fission}}{200 \text{MeV}} \times \frac{\text{MeV}}{1.6 \times 10^{-13} J} \dots\dots\dots(2-19) \\ &= 3.13 \times 10^{16} P \text{ fissions/sec} \end{aligned}$$

กำหนดให้ γ_i คือ fission yield ของนิวไคลด์ใดๆ มีหน่วยเป็น อะตอม/ฟิชชัน

α_i คือกัมมันตภาพที่เกิดขึ้นที่เวลา t (saturation activity)

จะได้ปริมาณนิวไคลด์ที่เกิดขึ้น $3.13 \times 10^{16} P \gamma_i$ อะตอม/วินาที

$$\alpha_i = 3.13 \times 10^{16} P \gamma_i (1 - e^{-\lambda_i t}) \text{ disintegrations/sec} \dots\dots\dots(2-20)$$

$$= \frac{3.13 \times 10^{16}}{3.7 \times 10^{10}} P \gamma_i (1 - e^{-\lambda_i t}) \text{ Ci} \quad \text{เมื่อ } 1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$\alpha_i = 8.46 \times 10^5 P \gamma_i (1 - e^{-\lambda_i t}) \text{ Ci} \dots\dots\dots(2-21)$$

ถ้า $\lambda_i t \gg 1$ จะได้ $\alpha_i = 8.46 \times 10^5 P \gamma_i \text{ Ci} \dots\dots\dots(2-22)$

สารกัมมันตรังสีในบรรยากาศหาได้จาก

$$C_o = 8.46 \times 10^5 F_p F_b P \gamma_i (1 - e^{-\lambda_i t}) \dots\dots\dots(2-23)$$

F_p = สัดส่วนของสารกัมมันตรังสีที่หลุดออกจากแกนปฏิกรณ์สู่อาคารคลุมปฏิกรณ์

F_b = สัดส่วนที่สารกัมมันตรังสีออกจากอาคารสู่บรรยากาศ

ตาราง 4 กัมมันตภาพ (α_i) และ fission yield ของสารกัมมันตรังสีในแกนเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 1000 MWe ชนิด PWR ขณะเดินเครื่องปฏิกรณ์เต็มกำลัง 500 วันและมีความบกพร่องของแท่งเชื้อเพลิง 1 % เล็ดลอดไปยังวัตุระบายความร้อน

ไอโซโทป	ครึ่งชีวิต	fission yield %	α_i (MCi)
Kr-85m	4.4 h	0.0133	33.5
Kr-85	10.76 y	0.00285	0.66
Kr-87	76 m	0.0237	64.4
Kr-88	2.79 h	0.0364	93.0
Xe-133	5.27 d	0.0677	164
Xe-135	9.2 h	0.0672	43.6
I-131	8.04 d	0.0277	74.9
I-133	21 h	0.0676	171
I-135	6.7 h	0.0639	158

ที่มา : Eichholz, 1977

จากปริมาณสารกัมมันตรังสีที่เกิดในแท่งเชื้อเพลิง และความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีที่เล็ดลอดออกจากแท่งเชื้อเพลิงสู่ระบบระบายความร้อน สามารถคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสีสู่บรรยากาศ ได้ดังนี้

(1) ในแท่งเชื้อเพลิง สารกัมมันตรังสีเกิดจาก ฟิชชันโดยตรง การสลายตัวของ parents และ เกิดจากการทำปฏิกิริยากับนิวตรอนของ parents ในขณะที่เดียวกันสารกัมมันตรังสีมีการสูญหายไปกับการสลายตัว การทำปฏิกิริยากับนิวตรอน และการเล็ดลอดจากแท่งเชื้อเพลิง เข้าไปในระบบระบายความร้อน

สมการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\frac{dN_{pi}}{dt} = FY_{i,P} + (f_{i-1}\lambda_{i-1} + \sigma_{i-1}\phi)N_{pi-1} - (\lambda_i + \nu_i + \sigma_i\phi)N_{pi} \dots\dots\dots(2-24)$$

N	=	จำนวนอะตอม
F	=	อัตราการเกิดฟิชชันเฉลี่ย (fission/MWth-s)
Y	=	fission yield (atoms/fission)
P	=	กำลังผลิต (MWth)
λ	=	decay constant (1/s)
σ	=	microscopic capture cross-section (cm ²)
ϕ	=	thermal neutron flux (neutron/cm ² -s)
ν	=	escape rate coefficient (1/s)
f	=	branching fraction
subscripts p	=	ในแท่งเชื้อเพลิง
i	=	nuclide parameter
I-1	=	parent nuclide parameter

(2) ในระบบระบายความร้อนวงจรแรก สารกัมมันตรังสีเกิดจากผลของฟิชชันที่เล็ดลอดมาจากแท่งเชื้อเพลิงที่บกพร่อง การสลายตัวของ parents ขณะที่อยู่ในระบบระบายความร้อน และจาก nuclear bombardment ของส่วนแยกฟิชชันในระบบระบายความร้อน ในขณะเดียวกันสารกัมมันตรังสีมีการสลายตัวสูญหายไปกับระบบขจัดกาก ระบบควบคุมจำนวนโปรตอน และรั่วออกจากระบบระบายความร้อนส่วนหนึ่ง

สมการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\frac{dN_{ci}}{dt} = Dv_i N_{pi} + (f_{i-1} \lambda_{i-1} + \sigma_{i-1} \phi^{FCS}) N_{ci-1} - \left(\lambda_i + \frac{R}{W} \eta_i + \frac{1-\eta_i}{C_o - C_i} C + \frac{Q}{W} \right) N_{ci}$$

.....(2-25)

- D = เศษส่วนของแท่งเชื้อเพลิงที่บกพร่อง
- FCS = อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำระบายความร้อนในแกนเครื่องปฏิกรณ์ และในเครื่องปฏิกรณ์ทั้งหมด
- R = อัตราการไหลของน้ำผ่านระบบขจัดกากในขณะเดินเครื่องปกติ (lb/s)
- W = มวลของน้ำระบายความร้อนในขณะเดินเครื่องปกติ (lb)
- η = ประสิทธิภาพของเรซินในเครื่องขจัดกากสำหรับแต่ละธาตุ
- C_o = ความเข้มข้นเริ่มแรกของโบรอน
- C = อัตราการลดของ โบรอน เพื่อให้สมดุลกับเชื้อเพลิงที่ใช้ไป (ppm/s)
- Q = การรั่วไหลของน้ำระบายความร้อนออกจากระบบ (lb/s)
- subscript c = ในระบบระบายความร้อนวงจรแรก

2. ชนิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับการออกแบบ อาจมีความแตกต่างกันของเชื้อเพลิง วัสดุระบายความร้อน และวัสดุห่อหุ้มนิวตรอน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ การจำแนกตามชนิดของวัสดุระบายความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

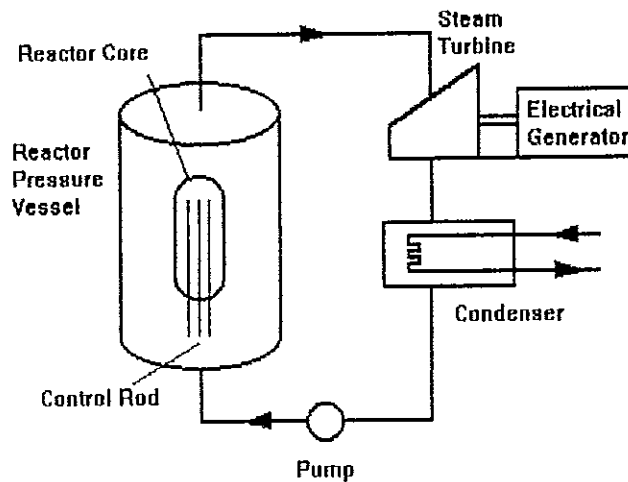
2.1 Light Water-Cooled Reactor

เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้น้ำเป็นวัสดุระบายความร้อน สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท ตามลักษณะการทำงานเช่น BWR, PWR และ RBMK

2.1.1 Boiling -Water Reactor (BWR) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ยูเรเนียมไดออกไซด์ (Enrichment UO_2) ที่มีความเข้มข้นของยูเรเนียม (U-235) 2-3 % เป็นเชื้อเพลิง และใช้

นิวตรอนเทอร์มัล เป็นตัวทำปฏิกิริยา มีน้ำเป็นวัสดุหน่วงนิวตรอน (Moderator) และวัสดุระบายความร้อน (Coolant)

ภาพประกอบ 8 ลักษณะทั่วไปของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิด BWR



หลักการทํางาน นิวตรอนเทอร์มัลทำปฏิกิริยาฟิชชันกับเชื้อเพลิง ได้ส่วนแยกฟิชชันที่มีพลังงานจลน์ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นภายในเม็ดเชื้อเพลิง ถ่ายเทไปยังปลอกหุ้มแท่งเชื้อเพลิง (Cladding) และวัสดุระบายความร้อนซึ่งเป็นน้ำตามลำดับ น้ำจะเดือดกลายเป็นไอน์ที่อุณหภูมิ 285°C เมื่อควบคุมความดันเป็น 70.3 kg/cm^2 ไอน์จะผ่านไปยังเครื่องแยกความชื้น (Moisture Separator) ทำให้ความชื้นของไอน์ลดลงก่อนที่จะไปหมุนเครื่องจักรไอน์และควบแน่นกลับสู่จรรออีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ไอน์จากทะเลหรือแม่น้ำมาเป็นตัวควบแน่น น้ำจากทะเลหรือแม่น้ำจะไหลกลับสู่ธรรมชาติในระดับที่ไม่ทำให้มีผลต่อสิ่งมีชีวิตจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ส่วนประกอบที่สำคัญภายใน Reactor Pressure Vessel ซึ่งเป็นภาชนะที่บรรจุแกนของเครื่องปฏิกรณ์ ความสูงประมาณ 19-22 เมตร ทนแรงดันได้ 88 kg/cm^2 เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.3-7.1 เมตร หนา 14-16 cm ภายในแกนของเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วย

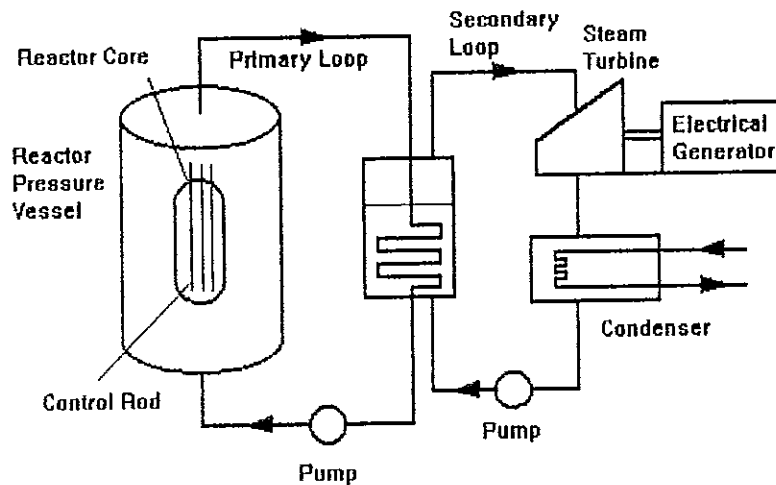
(1) เชื้อเพลิง (Fuel) ประกอบด้วยเม็ดเชื้อเพลิงทรงกระบอก บรรจุอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง (Fuel Rod) ขนาด 8×8 แท่ง ตามลักษณะการออกแบบเรียกแท่งเชื้อเพลิงที่รวมกันนี้ว่า มัดเชื้อเพลิง (fuel assembly)

(2) แท่งควบคุม (Control rod) เป็นลักษณะแท่งกากบาท (control blade) ทำจาก B_4C ใช้เป็นตัวควบคุมปฏิกิริยาหรือจับนิวตรอน ระบบควบคุมมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งอยู่บริเวณด้านข้างของภาชนะบรรจุแกนเครื่องปฏิกรณ์

(3) Moisture Separator ทำหน้าที่ลดความชื้นของไอน้ำก่อนที่จะนำไปหมุนกังหัน

2.1.2 Pressurized-Water Reactor (PWR) ใช้ยูเรเนียมไดออกไซด์ (Low-enriched Uranium UO_2) ความเข้มข้น 2-3 % และนิวตรอนเทอร์มัล มีน้ำในระบบปฐมภูมิเป็นทั้งตัวระบายความร้อนและวัสดุหน่วงนิวตรอน อยู่ใน Reactor Vessel น้ำในวงจรปฐมภูมิมีอุณหภูมิประมาณ 295 องศาเซลเซียส ถูกปั๊มเข้าทางด้านบนข้างและไหลลงด้านล่างผ่านแกนเครื่องปฏิกรณ์ออกทางด้านบน ถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำส่วนระบายความร้อนในวงจรทุติยภูมิ ส่วนน้ำในวงจรปฐมภูมิจะไหลกลับสู่วงจรอีกครั้งหนึ่งเป็นลักษณะวงจรปิด เมื่อน้ำในวงจรทุติยภูมิได้รับความร้อนก็จะเดือดกลายเป็นไอน้ำผ่านเครื่องแยกไอน้ำ (steam separator) ถูกส่งไปยังกังหันเพื่อหมุนเครื่องจักรไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป ส่วนไอน้ำที่ผ่านกังหันแล้วจะเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) ซึ่งมีท่อรับน้ำจากภายนอกเข้ามาถ่ายเทความร้อน ในวงจรทุติยภูมิจะเป็นลักษณะวงจรปิดกลับเข้าสู่วงจรอีกครั้งหนึ่ง

ภาพประกอบ 9 ลักษณะทั่วไปของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิด PWR



ส่วนประกอบที่สำคัญภายใน Reactor Pressure Vessel ซึ่งเป็นภาชนะทนแรงดันสูง หนาประมาณ 22-25 cm ทำด้วย Low-alloy Steel ภายในเป็นแกนของเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วย

(1) แท่งเชื้อเพลิง (Fuel Rod) ขนาด 14×14 หรือ 17×17 ขึ้นกับการออกแบบ รวมกันเป็นมัดเชื้อเพลิง โดยรวมกันประมาณ 121-193 Assembly ตามลักษณะการออกแบบ

(2) แท่งควบคุม (Control Rod) ทำจากเหล็กกล้าปลอดสนิมหรือโลหะ Zirconium ขนาดเท่ากับแท่งเชื้อเพลิง ภายในบรรจุ แคดเมียม โบรอน หรือโลหะผสมของเงิน-อินเดียม ซึ่งเป็นวัสดุดูดนิวตรอน มีส่วนระบบการควบคุมอยู่ด้านบนของแกนเครื่องปฏิกรณ์

(3) เครื่องผลิตไอน้ำ (Steam Generator) เป็นส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน

ระหว่างน้ำร้อนในวงจรปฐมภูมิกับทุติยภูมิ ไอน้ำจากวงจรทุติยภูมิจะผ่านเครื่องแยกไอน้ำ ไอน้ำที่มีความชื้นต่ำจะไปผลักดันเครื่องจักรไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป

(4) เครื่องควบคุมความดัน (Pressurizer) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการปรับความดันในระบบระบายความร้อนให้คงที่ มีส่วนประกอบคือส่วนให้ความร้อน (Heater) บริเวณด้านล่าง และสเปรย์ (Spray Nozzle) อยู่ด้านบน เมื่อความดันไอน้ำในวงจรปฐมภูมิสูงขึ้นจากการขยายตัวของน้ำ จะทำให้ไอน้ำในเครื่องควบคุมความดันถูกอัดตัว น้ำเย็นจากวงจรปฐมภูมิจะถูกพ่นเข้าเครื่องควบคุมความดันทำให้ความดันปกติ กรณีความดันในวงจรปฐมภูมิลดลงไอน้ำในเครื่องควบคุมจะขยายตัวทำให้ความดันลดลง เครื่องให้ความร้อนจะให้ความร้อนกับน้ำส่วนล่างทำให้ความดันภายในระบบคงที่

2.1.3 Reactor Cooled by Water and Moderate by Graphite (RBMK) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ประเภทหนึ่งซึ่งใช้ในสหภาพโซเวียต ใช้แกรไฟต์เป็นวัสดุหน่วงนิวตรอน และน้ำเป็นวัสดุระบายความร้อน ภายในแกนของเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วยแท่งของแกรไฟต์ที่มีช่องว่าง (Fuel Channel) ในแนวตั้งประมาณ 1600 ช่อง เพื่อให้แท่งควบคุมและวัสดุระบายความร้อนผ่านได้ อุณหภูมิของแกรไฟต์สูงประมาณ 700 องศาเซลเซียส ทางด้านล่างของแกนเครื่องปฏิกรณ์มีบ่อน้ำขนาดใหญ่ (bubbler) เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ หลักการทำงาน อุณหภูมิของวัสดุระบายความร้อนในวงจรปฐมภูมิถ่ายเทให้กับวงจรทุติยภูมิเพื่อไปผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นลักษณะเช่นเดียวกับการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ชนิด PWR เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้สามารถเปลี่ยนเชื้อเพลิงขณะที่เดินเครื่องปกติได้โดยไม่ต้องหยุดเดินเครื่อง

2.2 Heavy-Water-Cooled Reactor (HWR)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ น้ำมวลหนัก (D_2O) เป็นวัสดุหน่วงนิวตรอนและวัสดุระบายความร้อน ใช้ enriched Uranium UO_2 เป็นเชื้อเพลิงหลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องปฏิกรณ์ชนิด PWR

ตัวอย่างของเครื่องปฏิกรณ์ที่จัดอยู่ในประเภทนี้คือ CANDU ซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่สามารถใช้ได้กับยูเรเนียมในธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ใช้ น้ำมวลหนัก (D_2O) เป็นวัสดุหน่วงนิวตรอนและวัสดุระบายความร้อน

2.3 Gas-Cooled Reactor หรือ High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGR)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ก๊าซฮีเลียม (Helium) เป็นวัสดุระบายความร้อนโดยใช้

แกรไฟต์เป็นวัสดุห่อหุ้มนิวตรอน เชื้อเพลิงที่ใช้คือ ThC_2 และ UC_2 โดยมี enriched Uranium 93 % U-235 แกนของเครื่องปฏิกรณ์รูปร่างเป็นช่องแกรไฟต์รูปหกเหลี่ยม มีช่องสำหรับเชื้อเพลิงและให้วัสดุระบายความร้อนผ่านลงด้านล่างที่ความดัน 725 psi และก๊าซฮีเลียมที่ออกมามีอุณหภูมิประมาณ 1460°F

2.4 Sodium-Cooled-Fast-Breeder-Reactor (FBR)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้เชื้อเพลิงจาก UO_2 และ PuO_2 และใช้โซเดียมเป็นวัสดุระบายความร้อนไม่ใช้วัสดุห่อหุ้มนิวตรอนโดยพลังงานเฉลี่ยของนิวตรอนประมาณ 0.5 eV อุณหภูมิของโซเดียมขณะเข้าสู่แกนเครื่องปฏิกรณ์มีค่า 800°F และออกจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ $1,100^\circ\text{F}$

ตาราง 5 องค์ประกอบหลักของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิดต่างๆ

ชนิดเครื่องปฏิกรณ์	เชื้อเพลิง	ปลอกหุ้มแท่งเชื้อเพลิง	วัสดุระบายความร้อน	วัสดุห่อหุ้มนิวตรอน	Primary Coolant Conditions	Steam Conditions	Cycle Eff	Av. Fuel Exposure MWd/T
PWR	UO_2	Zircaloy	H_2O	H_2O	2300 psi (161.8 kg/cm ²) 610°F (320°C)	780 psi (54.9 kg/cm ²) 514°F (268°C)	33%	33000
BWR	UO_2	Zircaloy	H_2O	H_2O	1000 psi (70.3 kg/cm ²) satur. Temp	1000 psi (70.3 kg/cm ²) 545°F (285°C)	33%	27500
GCR	UO_2	Mg alloy	CO_2	Graphite				
HTGR	(Th - U^{235}) C_2	Pyrolytic carbon	He	Graphite	700 psi (49.2 kg/cm ²) 1430°F (777°C)	2400 psi (169 kg/cm ²) 950°F (510°C)	39.4 %	100000
OCR	U Mo	Zr alloy	HB-40 Terphenyl	D_2O	7 kg/cm ² 400°C		35.4 %	6500 20000Pu recycle
HWR	UO_2	Zr-Nb	D_2O	D_2O	88.7 kg/cm ² 300°C		31%	10000 20000 Pu recycle
LMFBR	(U - Pu)C	304 Stainless steel	Na-K	-	100 psi (7 kg/cm ²) 1025°F (552°C)	2415 psi (170 kg/cm ²) 950°F (510°C)	28.1 %	75000

ที่มา : Eichholz, 1977

3. การแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ

3.1 สารกัมมันตรังสีในธรรมชาติ

ในชีวิตประจำวันมนุษย์ได้รับรังสีในธรรมชาติ ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดหลายๆแหล่ง เช่นจากรังสีคอสมิก จากพื้นดิน หรือจากแหล่งกำเนิดภายในร่างกายโดยการบริโภคอาหารและการหายใจ

3.1.1 รังสีคอสมิก

รังสีคอสมิกที่ผ่านเข้ามาในบรรยากาศของโลกในรูปโปรตอนพลังงานสูง ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของบรรยากาศชั้นบนได้นิวตรอน โปรตอน พายออนและ เคออน ซึ่งมีประจุไฟฟ้า ดังนั้นรังสีคอสมิกจึงมีการกระจายไปบนพื้นโลกที่บริเวณต่างๆ ตามความแรงของสนามแม่เหล็กโลก และปริมาณรังสีคอสมิกจะเปลี่ยนไปตามระดับความสูงต่ำของพื้นที่ โดสรังสีที่มนุษย์ได้รับเฉลี่ยจากรังสีคอสมิกมีค่าประมาณ 40.9 mrem/y

3.1.2 รังสีบนพื้นดิน

ปริมาณรังสีในหินและดินบนพื้นโลกมีอยู่ส่วนหนึ่ง และมนุษย์จะได้รับปริมาณรังสีอีกทางหนึ่งจากสิ่งก่อสร้างที่มีสารกัมมันตรังสีโพแทสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียม เป็นส่วนประกอบอยู่ ปริมาณรังสีในหินและดินเฉลี่ยแสดงไว้ในตาราง 6

ตาราง 6 ปริมาณสารกัมมันตรังสีในหินและดินเฉลี่ย

ชนิด	ยูเรเนียม		ทอเรียม		โพแทสเซียม		โคสรวม (mrem/y)
	(ppm)	mrem/y	(ppm)	mrem/y	(ppm)	mrem/y	
เบสิค	0.9	5.2	2.7	7.3	1.2	14.7	27.2
แกรนิต	4.7	26.9	20.0	53.8	5.0	61.3	142.0
หินชั้น	3.7	21.1	12.0	32.3	3.2	39.2	92.7
หินทราย	0.45	2.6	1.7	4.6	1.1	13.5	20.7
หินปูน	2.2	12.6	1.7	4.6	0.32	3.9	21.1
ดินชั้นบน	1.8	10.3	9.0	24.2	1.8	21.8	56.3

ที่มา : Eichholz, 1977

3.1.3 แหล่งกำเนิดภายในร่างกาย

แหล่งกำเนิดภายในร่างกายส่วนใหญ่เกิดจากโพแทสเซียม-40 ซึ่งเป็นองค์ประกอบอยู่ในร่างกาย กระดูก เลือด กล้ามเนื้อ สมอง โดยเฉลี่ยร่างกายมนุษย์จะมีโพแทสเซียม-40 อยู่ 1 % ของน้ำหนักของร่างกาย นอกจากนี้มีสารกัมมันตรังสีชนิดอื่นๆ ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับโพแทสเซียม-40

ตาราง 7 ปริมาณรังสีที่มนุษย์จะได้รับจากธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในระยะเวลา 1 ปี

แหล่งกำเนิด	ปริมาณรังสี(mSv/y)
รังสีคอสมิก	0.3
สิ่งแวดล้อมเช่นที่อยู่อาศัย	0.4
อาหาร	0.37
อากาศ	0.8
การตรวจรักษาโรค	0.25
การเดินทางโดยเครื่องบิน	0.01
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์	0.002

ที่มา : สุชาติ มงคลพันธุ์, 2537

3.2 ตรีเทียมจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ปริมาณตรีเทียมที่ผลิตจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน ในเครื่องปฏิกรณ์ชนิด PWR มีการเติมกรดบอริกลงไปในตัวระบายความร้อนในอัตราสูงสุดประมาณ 500 ppm ตรีเทียมผลิตขึ้นจากปฏิกิริยา $^{10}\text{B}(n,2\alpha)\text{T}$ เมื่อนิวตรอนที่เข้าทำปฏิกิริยามีค่าพลังงานประมาณ 1.5 MeV ปฏิกิริยา $^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$ เกิดได้ทั้งพลังงานสูงและต่ำ และปฏิกิริยา $\text{D}(n,\gamma)\text{T}$ นอกจากนี้ตรีเทียมถูกผลิตด้วย ternary fission อีกส่วนหนึ่ง

ในเครื่องปฏิกรณ์ชนิด BWR ไม่มีวัสดุโบรอน และ ลิเทียม เป็นองค์ประกอบในตัวระบายความร้อน จึงทำให้ตรีเทียมเกิดขึ้นน้อยกว่า ในการออกแบบโรงไฟฟ้านิวเคลียร์บางชนิดจะใช้ Ag-In-Cd แทน B_4C เพื่อลดปริมาณตรีเทียม

เครื่องปฏิกรณ์ชนิด HTGR ตรีเทียมเกิดจาก ternary fission และ Helium-3-Capture ปริมาณตรีเทียมที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิดต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 8

ตาราง 8 ปริมาณตรีเทียมที่ถูกผลิตขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ชนิด PWR,BWR ขนาด 1000 MWe และชนิด HTGR ขนาด 120 MWe

แหล่งกำเนิด	อัตราการปลดปล่อยวัสดุระบายความร้อน (Ci/y)		อัตราผลิต (Ci/y) HTGR
	PWR	BWR	
ternary fission	40	40	605
สารละลายโบรอน	560	-	-
Lithium-recation	17	-	3
^3_2He -Capture	-	-	91
D Reaction	10	10	-
รวม	627	50	699

ที่มา : Eichholz, 1977

ตรีเทียมจะกระจายสู่สภาพแวดล้อมในรูปของ HTO มนุษย์จะได้รับตรีเทียม 2 ทางคือ การกินอาหาร ดื่มน้ำและทางผิวหนัง ปริมาณตรีเทียมที่ถูกผลิตขึ้นจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถลดลงได้โดยการใช้วัสดุอื่นแทนโบรอน และ การลดปริมาณวัสดุระบายความร้อน

3.3 อุตุนิยมวิทยากับการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ

การแพร่กระจายของสารในบรรยากาศขึ้นอยู่กับกำลังลม ทิศทางลม ความแปรปรวนของบรรยากาศ สภาพภูมิประเทศ ซึ่งจะมีผลทำให้มลสารมีความเข้มข้นแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณและเวลา

3.3.1 ลม

ลมเกิดจากความกดอากาศ แรงคอริโอลิส (Coriolis) และแรงเสียดทาน ความเร็วลม ความถี่และทิศทางลมทางอุตุนิยมวิทยาใช้แผนภูมิลมในการแสดงข้อมูล ทิศทางของลมกำหนดจากทิศที่ลมพัดมา ร้อยละของลมสงบจะบอกที่จุดศูนย์กลาง ส่วนที่ความเร็วต่าง ๆ จะบอกเป็นร้อยละ ซึ่งแสดงเป็นความกว้างของเส้น (ภาพประกอบ 20) นอกจากนี้ผลของภูมิประเทศของผิวโลกอาจมีอิทธิพลต่อลมประจำถิ่น เช่น

ลมบก-ลมทะเล ลมบกเกิดในเวลากลางคืนเนื่องจากบริเวณพื้นน้ำมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นดิน จึงทำให้เกิดลมพัดจากพื้นดินสู่ทะเล ส่วนลมทะเลเกิดในเวลากลางวัน เนื่องจากบริเวณพื้นดินอุณหภูมิสูงกว่าพื้นน้ำจึงทำให้อากาศเหนือพื้นดินลอยสูงขึ้น อากาศจากพื้นน้ำจะไหลเข้า

มาแทนที่เกิดลมพัดจากพื้นน้ำสู่แผ่นดิน กรณีมีปล่องควันอยู่บริเวณใกล้ฝั่งทะเล ในเวลากลางวัน อาจมีผลทำให้มีการกระจายของพุ่มพัดพาเข้าไปในพื้นดิน และมีผลให้เกิดความเข้มข้นสูงขึ้นได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับเสถียรภาพของบรรยากาศที่เหมาะสม

ลมภูเขา-ลมหุบเขา ในเวลากลางวันอากาศบริเวณหุบเขาจะเย็นกว่าพื้นดินบนภูเขา จึงทำให้อากาศพัดจากหุบเขาสู่บนภูเขา ในเวลากลางคืนอากาศบริเวณหุบเขาที่ระดับต่ำจะร้อนกว่า จึงทำให้อากาศพัดจากตอนบนมาตามหุบเขา กรณีมีปล่องควันอยู่ในหุบเขาอาจมีผลทำให้ลมเกิดการหมุนวนเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายในบริเวณหุบเขา จนมีความเข้มข้นถึงจุดอันตรายได้

3.3.2 ความแปรปรวนของลม

แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือความแปรปรวนทางกล เกิดจากการเคลื่อนไหวของอากาศ ผ่านสิ่งกีดขวาง และความแปรปรวนทางความร้อนเกิดจากความร้อนจากแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดการผสมของบรรยากาศเพิ่มขึ้น

การไหลแยก (Separated flows) เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านสิ่งกีดขวาง ในกรณีความเร็วก๊าซที่ออกจากปล่องประมาณเท่ากับหรือน้อยกว่าความเร็วลมในบรรยากาศ พุ่มจะถูกดูดลงด้านหลังปล่องควันได้ การไหลผ่านอาคารอาจทำให้เกิดการไหลย้อนทางด้านหลังอาคาร หรือการไหลผ่านภูเขาซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ทางด้านหลังเขาหรือหุบเขา นอกจากนี้ในกรณีปล่องควันที่อยู่บนอาคารหรือใกล้อาคาร ควรมีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 เท่าของความสูงอาคาร เพื่อให้มีการกระจายทางด้านล่างหลังอาคาร

3.3.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับความสูง

Adiabatic Lapse Rate เป็นอัตราการลดอุณหภูมิตามความสูง ความแปรปรวนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ เนื่องจากที่ระดับสูงขึ้นความกดอากาศจะลดลง

จากกฎข้อที่ 1 Thermodynamics

$$dT = C_p dT - VdP$$

เมื่อสมมติไม่มีการถ่ายเทความร้อน ในขณะที่กลุ่มอากาศเคลื่อนที่จึงถือได้ว่าเป็นแบบ adiabatic

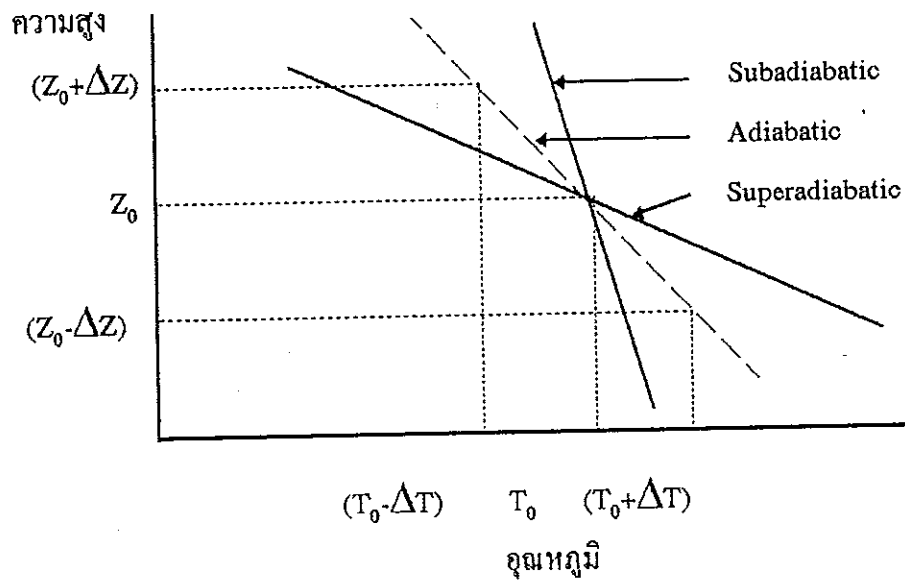
$$dQ = 0 \text{ จะได้ dry adiabatic lapse rate} = -dT/dZ = 10 \text{ C/km}$$

ซึ่งเป็นลักษณะ neutrally stable

ถ้าอุณหภูมิที่ความสูงเพิ่มขึ้นรวดเร็ว จะทำให้มีการผสมกันอย่างรวดเร็วและมีการเจือจางของมลสาร จึงถือได้ว่าเสถียรภาพของอากาศเป็น Unstable

ถ้าอุณหภูมิที่ความสูงเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จะทำให้บรรยากาศจัดอยู่ในสภาพ Stable มีผลให้ความเข้มข้นของมลสารสูงขึ้น

ภาพประกอบ 10 Adiabatic Lapse Rate

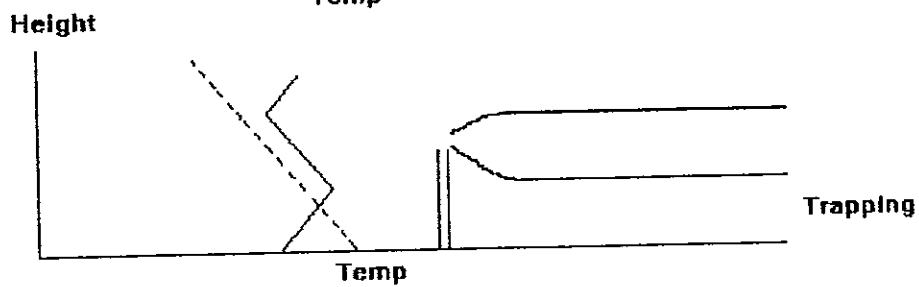
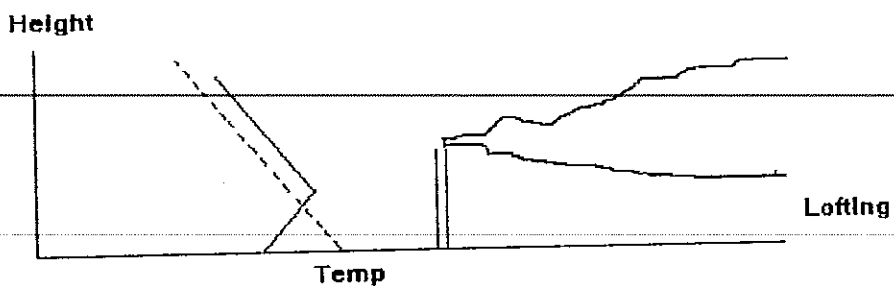
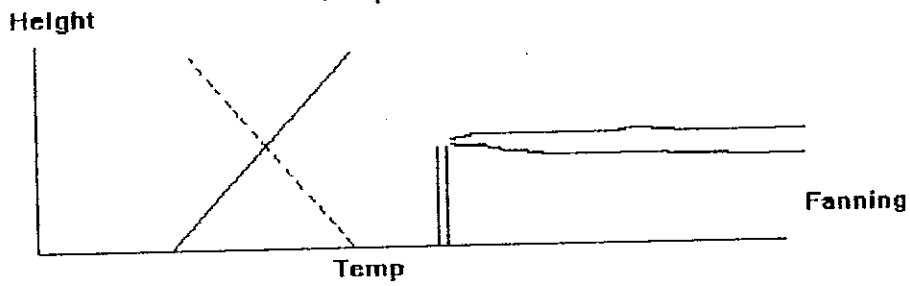
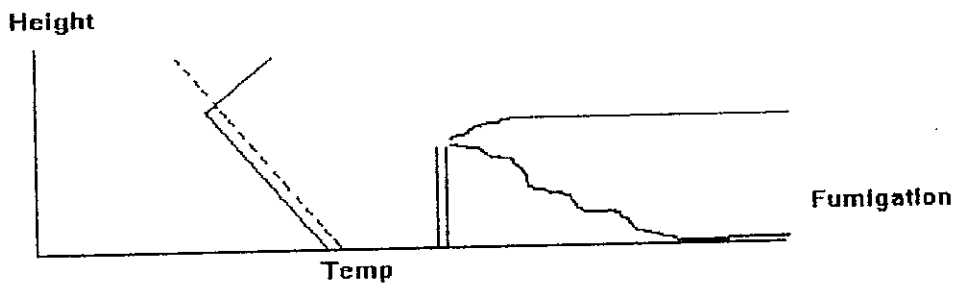
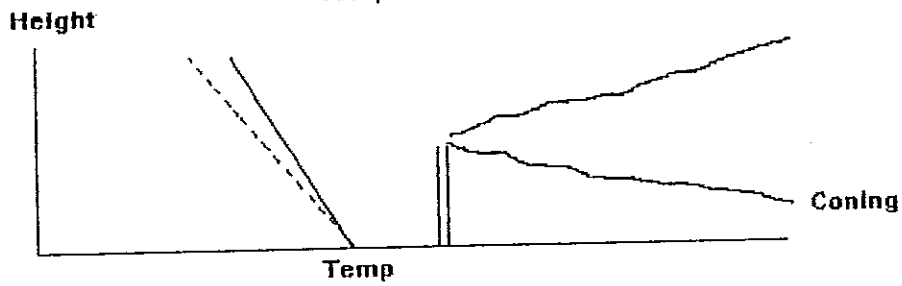
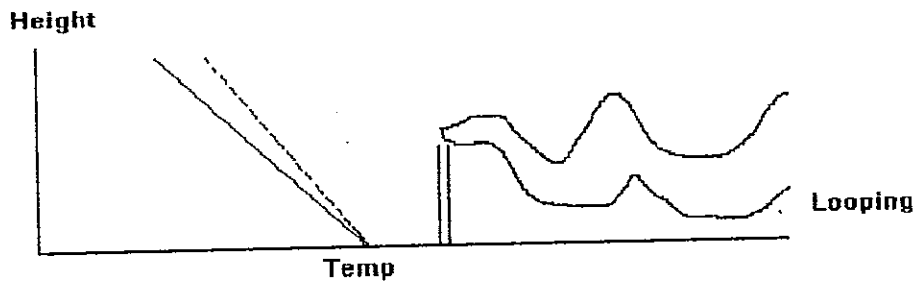


Subadiabatic เป็นลักษณะที่กลุ่มอากาศลอยขึ้นเมื่อถึงจุด Z ทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าสิ่งรอบตัว ทำให้หนักกว่าอากาศรอบ ๆ เนื่องจากความกดอากาศเท่ากันดังนั้นอากาศจึงพยายามกลับที่เก่า

dry adiabatic เมื่อกลุ่มอากาศลอยตัวไปถึงตำแหน่ง Z อุณหภูมิจะเท่ากับสิ่งรอบตัว จึงไม่มีการเคลื่อนที่ของอากาศ

Super adiabatic เมื่ออากาศลอยไปถึง Z จะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณรอบ ๆ จึงลอยขึ้นไปเรื่อย ๆ

ภาพประกอบ 11 ลักษณะของพุ่ม



Mixing Height หมายถึงความสูงของการผสมของบรรยากาศ คือระยะทางแนวตั้งในบรรยากาศที่สารสามารถผสมกันได้ ความสูงของการผสมนี้ถูกจำกัดโดยระดับ Inversion ที่เกิดทางด้านบน

3.3.4 Inversion

เป็นสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มอุณหภูมิไปตามความสูงเกิดได้ 2 ลักษณะคือ

3.3.4.1 จากการแผ่รังสีของโลก (Radiation Inversion) เกิดจากการแผ่รังสีของโลกเมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ในเวลากลางวันอากาศเหนือพื้นดินจะร้อน และในตอนกลางคืนพื้นดินจะเย็น

3.3.4.2 อินเวอร์ชันจากการจมตัว (Subsidence Inversion) เกิดจากการที่อากาศในแอนตี้ไซโคลน (ศูนย์กลางความกดสูง) ลอยต่ำลงขณะที่อากาศจมลงสู่ระดับต่ำที่มีความดันสูง จะถูกกดทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิที่จุดนั้นๆก่อนที่จะจมลง

3.4 โดสรังสี (Dose) และความเสียหาย (Risk)

ปริมาณรังสี (Dose) แบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

3.4.1 โดสดูดกลืน (Absorb Dose) เป็นปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนต่อหน่วยของเนื้อสาร หน่วยของ Absorb Dose คือ rad (Radiation Absorbed Dose)

1 rad หมายถึงการดูดกลืนพลังงาน 100 ergs ของเนื้อวัสดุ 1 gm ปัจจุบันใช้หน่วย SI คือ เกรย์ 1 Gray (Gy) = 100 rads = 1 J/Kg

3.4.2 โดสสมมูล (Dose Equivalent) เป็นปริมาณรังสีที่นำเอาผลทางชีววิทยาของกัมมันตภาพรังสีมาพิจารณาร่วม ประกอบด้วย Quality Factor (QF) ซึ่งค่าจะเปลี่ยนไปตามสภาพทางชีววิทยา

หน่วยของ Dose Equivalent คือ rem (Roentgen Equivalent Man)

$$\text{Dose (rem)} = \text{Dose (rad)} \times \text{RBE}$$

RBE = Relative Biological Effective (Quality Factor QF, Distribution Factor DF)

$$1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv (Sievert) (SI unit)}$$

Effective Dose Equivalent (H_E)

$$H_E = \sum W_T H_T \dots\dots\dots(2-26)$$

W_T = Weighting Factor

$H_T = \text{Dose Equivalent to tissue T}$

ตาราง 9 Weighting Factor

อวัยวะวิกฤต	Weighting Factor
Gonads	0.25
Breast	0.15
R Mar	0.12
Lungs	0.12
Thyroid	0.03
Endost	0.03
RMNDR	0.30

ที่มา : Herman Cember, 1987

DEL (Dose Equivalent Limits) คือระดับรังสีที่ยอมให้รับได้

LET (Linear Energy Transfer) หมายถึงการถ่ายเทพลังงานต่อหน่วยระยะทางที่ผ่านไปในตัว
ขึ้นอยู่กับค่า QF

ICRP ได้กำหนดค่า Maximum Permissible Dose (MPD) เพื่อความปลอดภัยของ
มนุษย์ ไม่ควรรับรังสีเกิน 5 เร็มต่อปี สำหรับผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับทางรังสี และ 500 มิลลิเร็ม
ต่อปีสำหรับบุคคลทั่วไป

ตาราง 10 RBE ของรังสีชนิดต่างๆ

ชนิดของรังสี	RBE
รังสีเอกซ์และแกมมา	1
รังสีบีต้า	1
เทอร์มัลนิวตรอน	3-5
นิวตรอนเร็ว	10
โปรตอน	10
อนุภาคอัลฟา	10-20
heavy ions	20

ที่มา : Omega, 1975

3.4.3 Exposure เป็นปริมาณรังสีในอากาศ ไม่เกี่ยวข้องกับผลโดยตรงของรังสีกับมนุษย์ ใช้กับ X-rays, γ -rays หน่วยเป็น Roentgen

1 Roentgen หมายถึงปริมาณ X-rays หรือ γ -rays ที่ทำให้อากาศ 1 m³ 0°C ความดัน 76 cmHg(มวลอากาศ 1.293E-3 g) แยกตัวเป็น ions มีปริมาณไฟฟ้าสถิตย์ 1 esu

$$1\text{roentgen} = \frac{1\text{esu}}{1\text{cu.m(air)}} \left(\frac{1\text{c}}{3E9\text{esu}} \right) \left(\frac{1\text{cu.m(air)}}{1.293E-6\text{kg}} \right)$$

$$= 2.58E-4 \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ Roentgen}$$

ตาราง 11 ผลของรังสีต่อร่างกายเมื่อได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาอันสั้น

ปริมาณรังสีที่ได้รับ (rem)	ผลที่เกิดขึ้นในร่างกาย
0-25	ไม่แสดงอาการ
25-50	อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดโลหิตแดง
50-100	เกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดโลหิตแดง, กลืนไส้, อ่อนเพลีย
100-200	เกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดโลหิตแดง, กลืนไส้, อ่อนเพลีย อาจใช้เวลานาน 3 - 6 เดือนจึงกลับสู่ปกติ
200-400	กลืนไส้, อาเจียน, อ่อนเพลีย บางครั้งอาจถึงตายได้
400-600	มีโอกาสเสียชีวิต 50 %
มากกว่า 600	เสียชีวิตเกือบทั้งหมด

ที่มา : Omega, 1975

3.4.4 ความเสี่ยง (Risk)

Risk เป็นโอกาสที่จะเกิดผลของเหตุการณ์หนึ่งต่อหน่วยเวลา สามารถแสดงความหมายที่แตกต่างกันได้หลายลักษณะ เช่น ความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุทางรถยนต์ มีหน่วยเป็นจำนวนคนต่อปี ความเสี่ยงของแต่ละบุคคลต่ออุบัติเหตุ มีหน่วยเป็น โอกาสการเสียชีวิตต่อคนต่อปี

ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มีผลผลิตจากฟิชชัน อยู่มากมาย ซึ่งถือเป็นแหล่งพลังงานที่มากพอที่จะนำไปสู่อุบัติเหตุได้

$$\text{ความเสี่ยง} = \text{ความถี่ของเหตุการณ์} \times \text{ขนาดความรุนแรง}$$

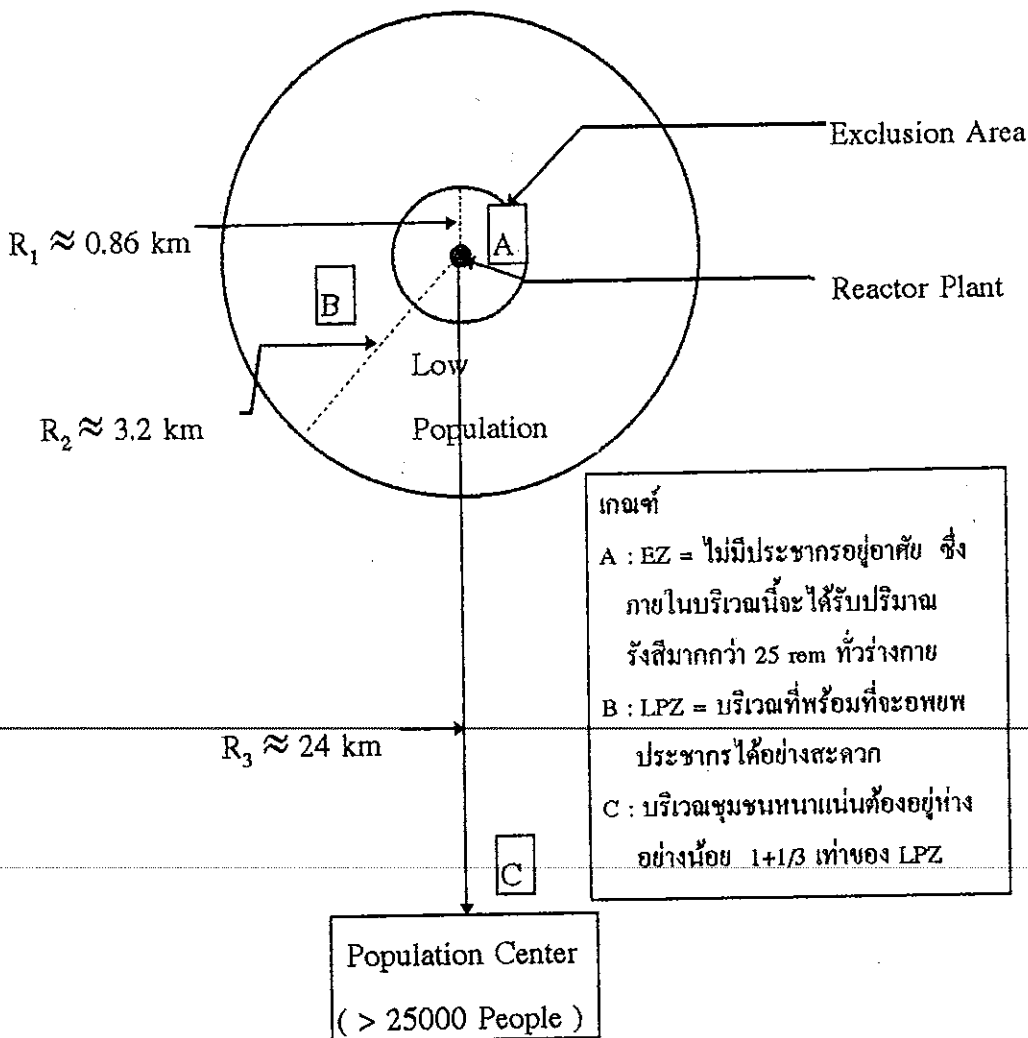
การคำนวณความเสี่ยงจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขึ้นอยู่กับโอกาสการปลดปล่อยกัมมันตภาพรังสีจากโรงไฟฟ้า และผลของความรุนแรงจากชนิดและปริมาณรังสีที่เกิดกับประชากร

4. สภาพที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

4.1 องค์ประกอบที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ภาพประกอบ 12 ขอบเขตพื้นที่รอบๆบริเวณที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

(ที่มา : Pederson, 1984)



Exclusion Area คือพื้นที่รอบๆเครื่องปฏิกรณ์ เป็นอำนาจของโรงงานที่จะย้ายบุคคลหรือสิ่งของออกจากพื้นที่ได้ ภายในบริเวณมีถนน ทางรถไฟ หรือทางน้ำ ติดต่อกับภายนอกอย่าง

สะดวก ตามปกติจะไม่อนุญาตให้มีผู้อาศัยอยู่ ขอบเขตของบริเวณดังกล่าวแตกต่างกันไปในแต่ละทำเลที่ตั้งและขนาดกำลังผลิต โดยมีข้อกำหนดว่าเป็นบริเวณที่อาจมีส่วนแยกพิชชันที่รั่วไหลเมื่อสมมุติเกิดอุบัติเหตุ และทำให้ได้รับโดสรังสี (Dose) รวมทั้งร่างกาย มากกว่า 25 rem หรือต่อมไทรอยด์ได้รับไอโอดีนมากกว่า 300 rem ภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

Low Population Zone คือบริเวณพื้นที่รอบๆ Exclusion area ในกรณีเกิดอุบัติเหตุสามารถเคลื่อนย้ายออกนอกบริเวณได้อย่างสะดวก ขอบเขตแตกต่างกันไปในแต่ละทำเลที่ตั้งและขนาดกำลังผลิต มีข้อกำหนดสำหรับสำหรับผู้ที่อยู่อาศัยโดยได้รับปริมาณรังสี (โดส) รวมทั้งร่างกายจากอุบัติเหตุที่สมมุติขึ้น มากกว่า 25 rem หรือต่อมไทรอยด์ได้รับไอโอดีนมากกว่า 300 rem ตลอดระยะเวลาที่อาศัยอยู่

Population Center คือบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัยมากกว่า 25,000 คน ต้องอาศัยอยู่ห่างจาก Low Population Zone ออกอย่างน้อย 30 % ของขอบเขตรัศมีของ LPZ

4.2 เกณฑ์การเลือกทำเลที่ตั้ง

การเลือกที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีองค์ประกอบที่สำคัญทั้งทางด้านเทคนิคสิ่งแวดล้อม สังคม เศรษฐศาสตร์ และความปลอดภัย ทั้งนี้มีองค์ประกอบหลายๆอย่างที่ใช้ร่วมกับโรงไฟฟ้าชนิดอื่นๆ หรือโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ต่างๆไป และเมืองประกอบบางส่วนที่เพิ่มเข้ามาเนื่องจากลักษณะการทำงานที่ต่างออกไปของขั้นตอนการผลิตพลังงาน ซึ่งจะต้องทำการคัดเลือกโดยตัวแทนหลายๆฝ่าย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและเหมาะสมมากที่สุด

เกณฑ์การเลือกโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ลักษณะคือ

4.2.1 การพิจารณาด้านเทคนิค

ตำแหน่งที่สร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ต้องพิจารณาถึงปริมาณ ความต้องการการใช้กระแสไฟฟ้า และต้องตั้งอยู่บริเวณศูนย์กลางของความต้องการการใช้นั้น สำหรับระบบต่างๆในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ ระบบระบายความร้อนตลอดจนระบบเชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องเลือกอย่างเหมาะสม การคมนาคมขนส่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเชื่อมต่อกันทั้งถนน ทางรถไฟ ทางน้ำ ในการขนส่งวัสดุที่มีขนาดใหญ่หรือวัสดุอันตรายสามารถขนส่งโดยทางน้ำหรือทางรถไฟจะปลอดภัยกว่า ในระบบระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ต้องคำนึงถึงแหล่งน้ำที่เหมาะสมเพียงพอเช่นแหล่งน้ำธรรมชาติ ทะเลสาบ แม่น้ำ หรือที่เก็บกักน้ำ ในบางครั้งจะใช้

หอระบายความร้อน นอกจากนี้จะต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่เป็นเขตหวงห้ามเพื่อให้เกิดความปลอดภัย องค์ประกอบต่างๆเหล่านี้ต้องเลือกประกอบกันให้เหมาะสมให้มากที่สุด สามารถจำแนกได้ดังนี้

4.2.1.1 ปริมาณ ความต้องการและความจำเป็นในการใช้พลังงานไฟฟ้า

4.2.1.2 ตำแหน่งที่ตั้งกับศูนย์กลางความต้องการและการใช้

4.2.1.3 ขนาดของระบบผลิตกระแสไฟฟ้า

4.2.1.4 ชนิดของโรงไฟฟ้า

4.2.1.5 จำนวนระบบผลิตไอน้ำ

4.2.1.6 การคมนาคมขนส่ง ทางหลวง ทางรถไฟ ทางน้ำ

4.2.1.7 ระยะเวลาในการก่อสร้าง

4.2.1.8 ระบบระบายความร้อน

4.2.1.9 จำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้

4.2.1.10 ความมั่นคง และปลอดภัย

4.2.2 การพิจารณาด้านกายภาพและสิ่งแวดล้อม

4.2.2.1 พื้นที่ใช้สอย (Land Use and Land Requirements) บริเวณพื้นที่ใช้สอยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ อาคารประกอบต่างๆตลอดจนการจัดเก็บกากเชื้อเพลิง รวมทั้งหมอกภายในบริเวณพื้นที่หวงห้าม (Exclusion area) ซึ่งจะมีผลต่อระบบนิเวศน์ของน้ำ ดิน ตลอดจนผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ และ ทัศนียภาพที่เปลี่ยนไป พื้นที่ที่เป็นเขตหวงห้ามติดต่อกันประมาณ 600 - 1000 เอเคอร์(1500-2500 ไร่) สำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 1200 MWe ในประเทศอเมริกา (Eichholz,1977) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นๆตามความเหมาะสมของพื้นที่เฉพาะท้องถิ่นนั้นๆ

4.2.2.2 ระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling Water)

ในระบบหล่อเย็นจะต้องมีการระบายน้ำอย่างเพียงพอ และต้องไม่ทำให้เป็นผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเมื่อปล่อยออกภายนอก ในกรณีใช้หอระบายความร้อนต้องศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านอุณหภูมิตามวิชาเช่น ความเร็วลม ความถี่ของอุณหภูมิระดับอินเวอร์ชัน อุณหภูมิสุดท้ายของไอน้ำที่ปล่อยออกไป บริเวณที่มีการระบายของน้ำบนพื้นดินจะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อชุมชนและสภาพแวดล้อม

4.2.2.3 สภาพโครงสร้างทางธรณีวิทยา สภาพดิน บริเวณพื้นดินที่รองรับสิ่งก่อสร้างจะต้องมีการเจาะสำรวจ โดยพิจารณาถึงลักษณะดิน น้ำในดิน การเคลื่อนตัวของดิน รอยเลื่อนของหิน การเกิดแผ่นดินไหว ภูเขาไฟ

4.2.2.4 สภาพอุทกวิทยา ความเสี่ยงกับน้ำท่วมและการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้น

4.2.2.5 สภาพทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจากอาจมีการแพร่กระจายสู่บรรยากาศของสารกัมมันตรังสีจากอุบัติเหตุ โดยเฉพาะบริเวณ BZ สามารถขยายให้กว้างขึ้นได้เมื่อพบว่ามีลักษณะการแพร่กระจายมีความเสี่ยงต่อประชากรสูง สำหรับบริเวณหุบเขา ความเร็วลมจะต่ำและระดับที่ผสมสารในบรรยากาศผสมกันได้ (mixing height) ถูกจำกัด ทำให้มีการกระจายได้ช้า มีความเสี่ยงสูง นอกจากนี้ความถี่ของการเกิดพายุ นับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเช่นกัน

4.2.2.6 ความปลอดภัยทางรังสี

4.2.2.7 ในกรณีที่ตั้งอยู่นอกฝั่งทะเลหรืออยู่ใต้พื้นดินต้องพิจารณาเป็นกรณีพิเศษ

4.2.2.8 ผลต่อสัตว์น้ำกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

4.2.2.9 กิจกรรมขณะดำเนินการก่อสร้าง เช่นปัญหามลภาวะด้านเสียง ฝุ่น

4.2.3 การพิจารณาคำนึงสังคมและเศรษฐศาสตร์

บริเวณที่ตั้งจะมีความเพิ่มขึ้นอย่างมากมาทั้งในขณะการก่อสร้างและภายหลังสร้างแล้วเสร็จ ที่ดินมีราคาสูง การคมนาคมขนส่งมากขึ้น พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม โบราณคดี ธรรมชาติที่สำคัญ ทักษะคุณภาพ ความสวยงาม เปลี่ยนแปลงไป การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรเปลี่ยนแปลงไป อาจแบ่งเป็นองค์ประกอบดังนี้

4.2.3.1 ประชากรมีอาชีพมากขึ้น

4.2.3.2 ที่ดินมีราคาสูงขึ้น

4.2.3.3 ความงามและทัศนียภาพเปลี่ยนไป

4.2.3.4 สภาพทางประวัติศาสตร์ โบราณคดี และวัฒนธรรม

4.2.3.5 การยอมรับ ความพึงพอใจของชุมชน

4.2.3.6 มีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรม

4.2.3.7 การคมนาคมขนส่ง

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาได้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การศึกษาแบบจำลอง CAP88-PC
2. การศึกษาสภาพเกษตรกรรมและจำนวนประชากรบริเวณพื้นที่ศึกษา
3. อุดหนุนวิทยาพื้นที่ศึกษา
4. การเก็บตัวอย่างภาคสนามและการวิเคราะห์

1. การศึกษาแบบจำลอง CAP88-PC

1.1 อุปกรณ์

1.1.1. เครื่องคอมพิวเตอร์

1.1.2. CAP88-PC เป็น โปรแกรมที่ใช้ประเมินผลกระทบทางรังสีในบรรยากาศ

1.2 วิธีดำเนินการ

1.2.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของ CAP88-PC (ภาคผนวก ช)

1.2.2 ศึกษาลักษณะข้อมูลที่ใช้ประกอบการจำลอง

1.2.3 ใช้ข้อมูลเกษตรกรรม อุดหนุนวิทยา และประชากรของพื้นที่วิเคราะห์การแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีจากแบบจำลอง

2. การศึกษาสภาพเกษตรกรรม และจำนวนประชากรบริเวณพื้นที่ศึกษา

วิธีดำเนินการ

2.1 กำหนดพื้นที่บริเวณศึกษา (ภาพประกอบ 13)

2.2 รวบรวมจำนวนประชากร สํารวจจำนวนโคนม โคนม และพืชผักต่อพื้นที่เพาะปลูกจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2.3 แบ่งขอบเขตพื้นที่เป็นส่วนๆ เพื่อศึกษาการกระจายของประชากร

(ภาพประกอบ 14)

2.4 จัดรูปแบบเพิ่มข้อมูลประชากรตามลักษณะการใช้กับแบบจำลอง

8. การศึกษาสภาพอุตุนิยมวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา

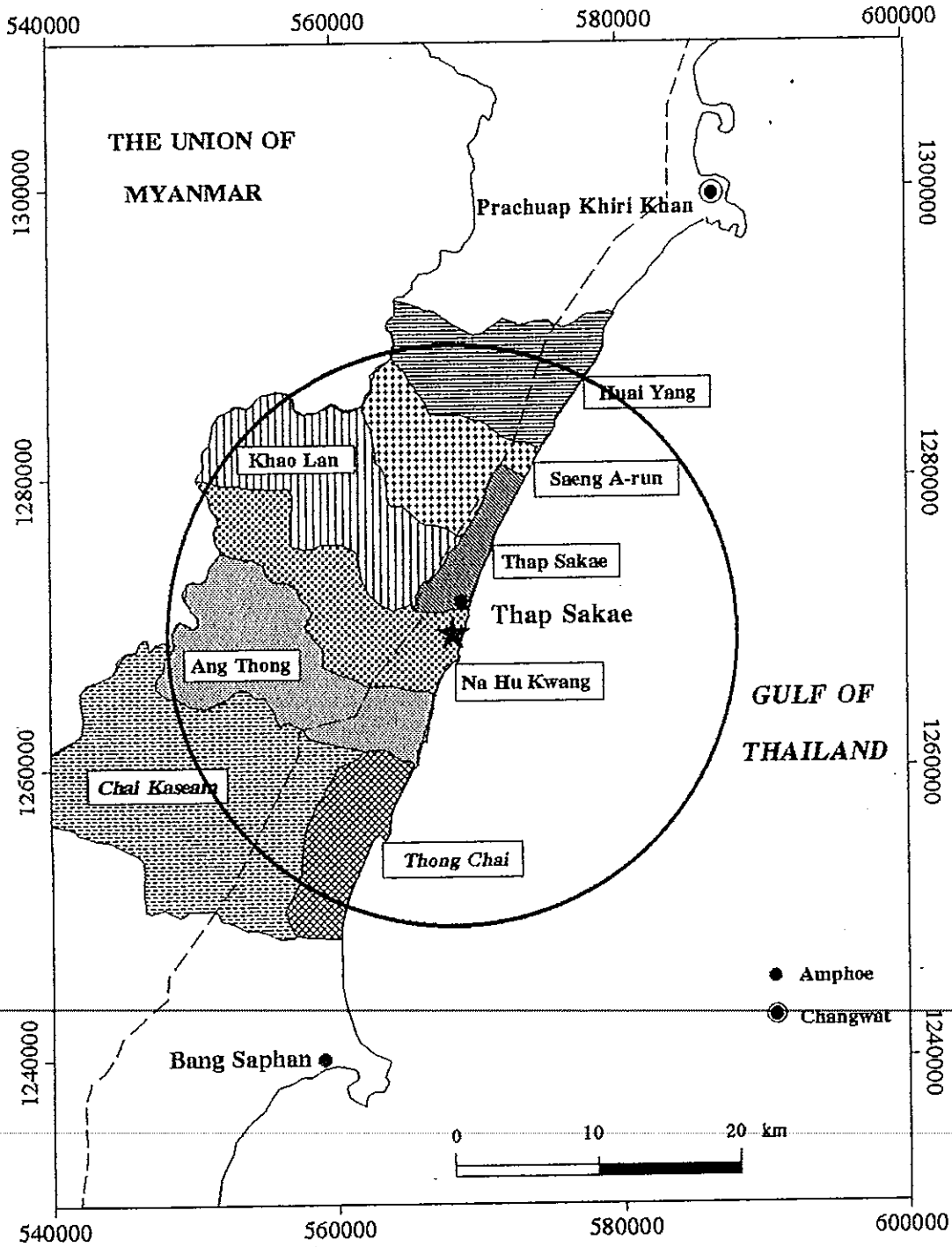
วิธีดำเนินการ

3.1 รวบรวมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา กำลังลม ทิศทางลม ปริมาณเมฆ เพื่อประกอบลักษณะการจัดชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ย 10 ปีย้อนหลัง (ค.ศ. 1982-1991) ตลอดจนอุณหภูมิ และปริมาณฝนเฉลี่ย

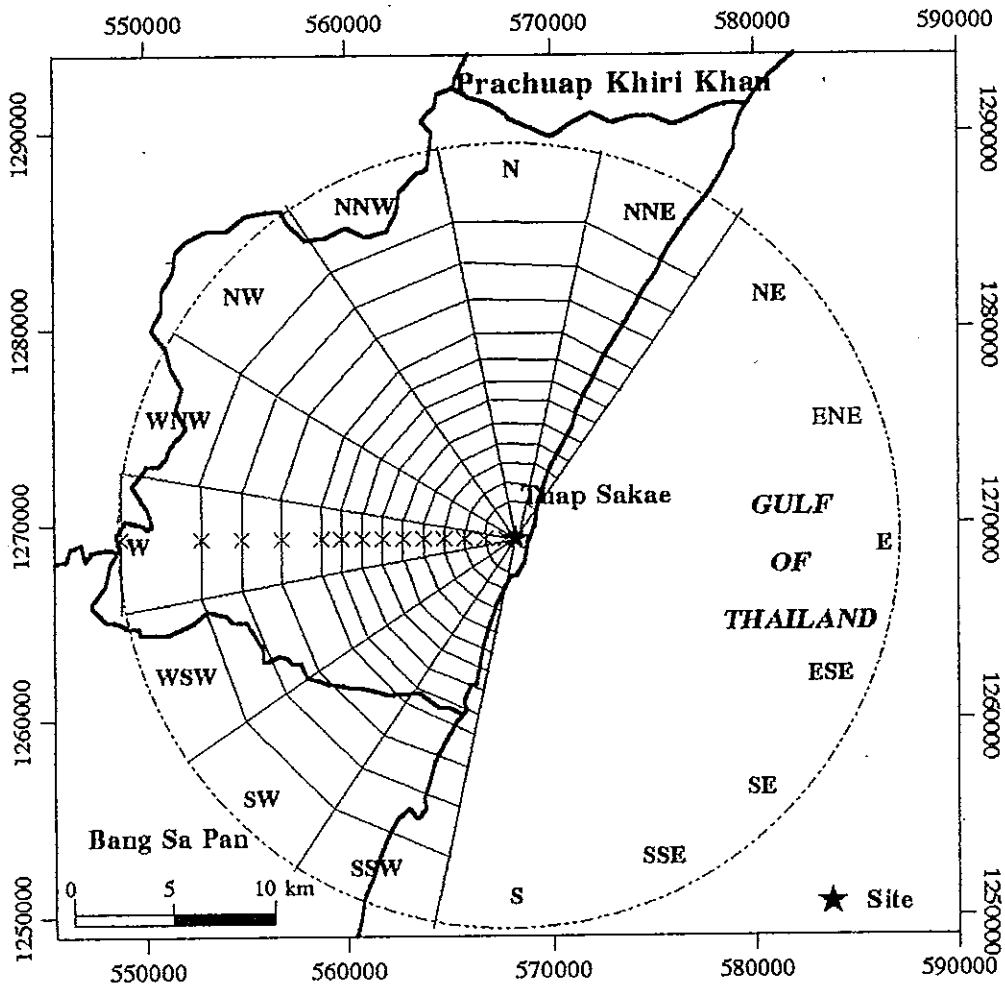
3.2 จัดระดับชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ จำแนกตามความถี่ของระดับชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ ความเร็วลมและทิศทางลม (ภาคผนวก ข)

3.3 จัดรูปแบบเพิ่มข้อมูลตามลักษณะการใช้กับแบบจำลอง (ภาคผนวก ค)

ภาพประกอบ 13 บริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา



ภาพประกอบ 14 การแบ่งขอบเขตเพื่อศึกษาการกระจายของประชากรในพื้นที่



4. การเก็บตัวอย่างภาคสนามและการวิเคราะห์

4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์หาปริมาณทริเทียม คาร์บอน-14

4.1.1 วัสดุ

4.1.1.1 ท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 0.5 cm

4.1.1.2 ภาชนะกันความร้อน

4.1.1.3 น้ำแข็ง

4.1.1.4 แท่งแก้วกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 cm

4.1.1.5 vial ขนาด 25 ml.

4.1.1.6 PPO (2,5-diphenyloxazole) : Primary Scintillant ทำหน้าที่เปลี่ยน
บีตาเป็นพลังงานแสง

4.1.1.7 POPOP (1,4-bis-2-(5-phenyloxazolyl)-benzene) : Secondary
Scintillant ทำหน้าที่ปรับความยาวคลื่นของแสงเพื่อให้อยู่ในขอบเขต
ของ Phototube

4.1.1.8 Xylene เป็นตัวทำละลาย Scintillant (PPO, POPOP)

4.1.1.9 Triton X-114

4.1.1.10 กระจกกรองใยแก้ว GF/A ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 7 cm

4.1.2 อุปกรณ์

4.1.2.1 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ(Rotameter) ขนาด 20 CFH, 4 CFH

4.1.2.2 Air Pump อัตราการไหลของอากาศประมาณ 4 CFH และ 20 CFH

4.1.2.3 เทอร์โมมิเตอร์ , บารอมิเตอร์

4.1.2.4 Liquid Scintillation Counter ยี่ห้อ Beckman รุ่น LS 6000 TA

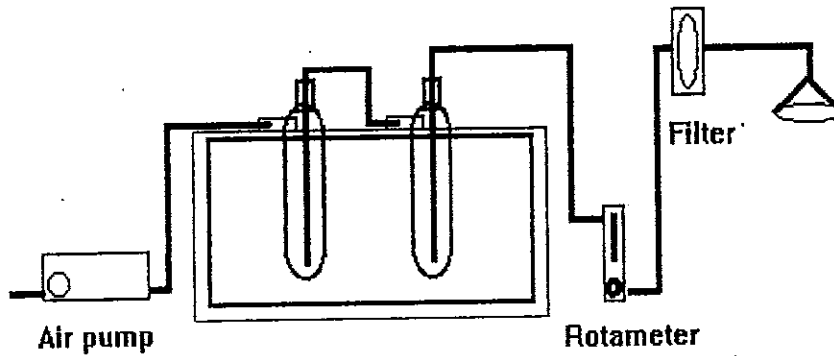
4.1.3 วิธีดำเนินการ

4.1.3.1 ปรับแก้อัตราการไหลของอากาศที่ผ่าน Rotameter

4.1.3.2 การเก็บตัวอย่าง

ก. ใช้แท่งแก้วกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.5 cm เชื่อมต่อท่อ
พลาสติกไปยังหลอดแก้วและให้อากาศออกจากปลายอีกด้านหนึ่ง ดังภาพประกอบ 15

ภาพประกอบ 15 การติดตั้งเครื่องมือวัดจับไอน้ำ



ข. วางหลอดแก้ว ลงในภาชนะกันความร้อนซึ่งบรรจุน้ำแข็ง ปรับ Rotameter ให้อัตราการไหลผ่านของอากาศสม่ำเสมอ บันทึก อัตราการไหล อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ

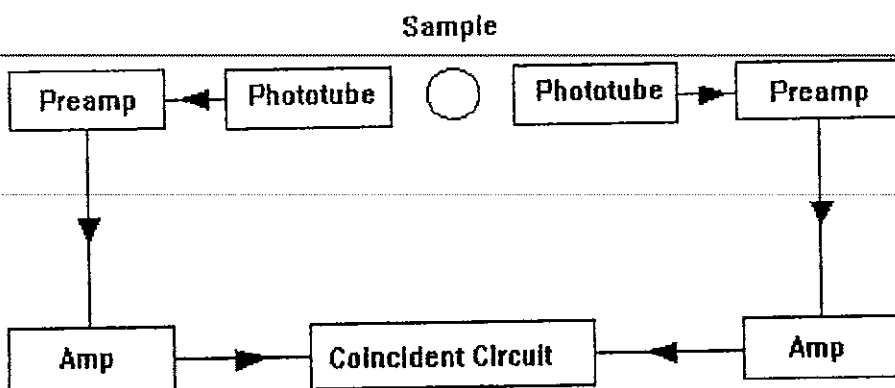
ค. ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ทอยเติมน้ำแข็งเพื่อควบคุมอุณหภูมิเป็นระยะ ๆ

ง. เก็บปริมาณตัวอย่างน้ำที่ได้ใส่ภาชนะ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4.1.3.3 วัดปริมาณตรีเทียมและคาร์บอน-14 โดยวิธี Dual Label

ใช้ vial ที่บรรจุ cocktail ปริมาณ 13 และ 14 ml เป็นการเปรียบเทียบ Background และ นำตัวอย่างทั้งหมด วางเรียงในภาชนะตามหมายเลข ใช้เวลาวัดตัวอย่างละ 10 นาที โดยวัดซ้ำ 3 ครั้ง

ภาพประกอบ 16 ลักษณะการทำงานของ LSC เพื่อลดผลกระทบจากอุณหภูมิ



แสงวาบที่เกิดขึ้นเนื่องจาก ปีตา กับ Fluorescent (PPO,POPOP) ซึ่งละลายอยู่ใน Xylene จะถูกนับโดย Phototube 2 หลอดผ่านเครื่องขยาย Preamp และ Amplifier จึงผ่านเข้า

วงจร Coincidence วงจร Coincidence จะทำหน้าที่คัดสัญญาณที่มาจาก Phototube หลอดใดหลอดหนึ่งเพียงหลอดเดียว ซึ่งมาจากการรบกวนเนื่องจากความร้อน

4.1.3.4 การคำนวณหาปริมาณ H-3 และ C-14

ก. หาเวลาที่ทำการวัดทั้งหมด ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิ และ ความดันบรรยากาศขณะทำการวัด

ข. ปรับแก้อัตราการไหลของอากาศ จากค่าที่ได้จากการทดสอบอัตราการไหลของอากาศของเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

ค. คำนวณปริมาตรอากาศที่ผ่านระบบ

$$CFH = (30.48 \times 10^3 \text{ cm}^3 \times CFH \times \text{hr}) / 1000 \text{ liters}$$

ง. ปรับแก้ปริมาตรของอากาศที่ผ่านทั้งหมด ที่ STP อุณหภูมิ 25 °C

ความดัน 29.92 inchHg

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots\dots\dots(3-1)$$

$$V_{STD} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \times \frac{T_{STP}}{P_{STP}} \dots\dots\dots(3-2)$$

อุณหภูมิที่ STP = 273 + 25 K

จ. หาปริมาตรตัวอย่างน้ำ โดยวัดอุณหภูมิ ความดัน และปรับแก้ไปที่ STP

ฉ. หาปริมาตรน้ำ 1 ml/ปริมาตรอากาศ 1 ml ตามสมการ

$$V = \frac{tF}{m} \dots\dots\dots(3-3)$$

V = ปริมาตรอากาศ 1 ml/ปริมาตรน้ำ 1 ml

t = เวลาของการเก็บตัวอย่าง (hr)

F = อัตราการไหลผ่านของอากาศเฉลี่ย (ml/hr)

m = ปริมาตรของน้ำที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง (ml)

ข. วัดด้วย LSC จะได้ค่าเป็น DPM
ค่าที่อ่านได้เป็นค่าที่วัดจาก ตัวอย่างน้ำ 4 ml
ความเข้มข้นของทริเทียมในน้ำ 1 ml = DPM/60/4 Bq/ml

ข. กำหนดความเข้มข้นของ H-3 และ C-14 ในอากาศ

$$C_{air} = \frac{C_{water}}{V} \dots\dots\dots(3-4)$$

V = ปริมาตรอากาศ 1 ml/ปริมาตรน้ำ 1 ml

C_{air} = ความเข้มข้นของ H-3 ในอากาศ

C_{water} = ความเข้มข้นของ H-3 ในน้ำ

ฉ. เปลี่ยนให้อยู่ในหน่วย Bq/m³

4.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์หาปริมาณ eTh ,eU และ K ในดิน

4.2.1 วัสดุ

ภาชนะบรรจุดินขนาดความจุ 200 - 300 g

4.2.2 อุปกรณ์

4.2.2.1 หัววัดรังสีแบบเยอมาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe)

4.2.2.2 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA)

4.2.2.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังสูง

4.2.2.4 เครื่องขยายสัญญาณ

4.2.2.5 เครื่องคอมพิวเตอร์

4.2.2.6 โปรแกรม PC UTIL

4.2.3 วิธีดำเนินการ

4.2.3.1 เก็บตัวอย่างดิน โดยเลือกบริเวณที่เป็นพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนเป็นเวลานาน จากพื้นที่ 1 ตารางเมตร ที่ระดับความลึกไม่เกิน 5 cm ประมาณตัวอย่างละ 200 กรัม

4.2.3.2 นำมาบด และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 10 ชั่วโมง

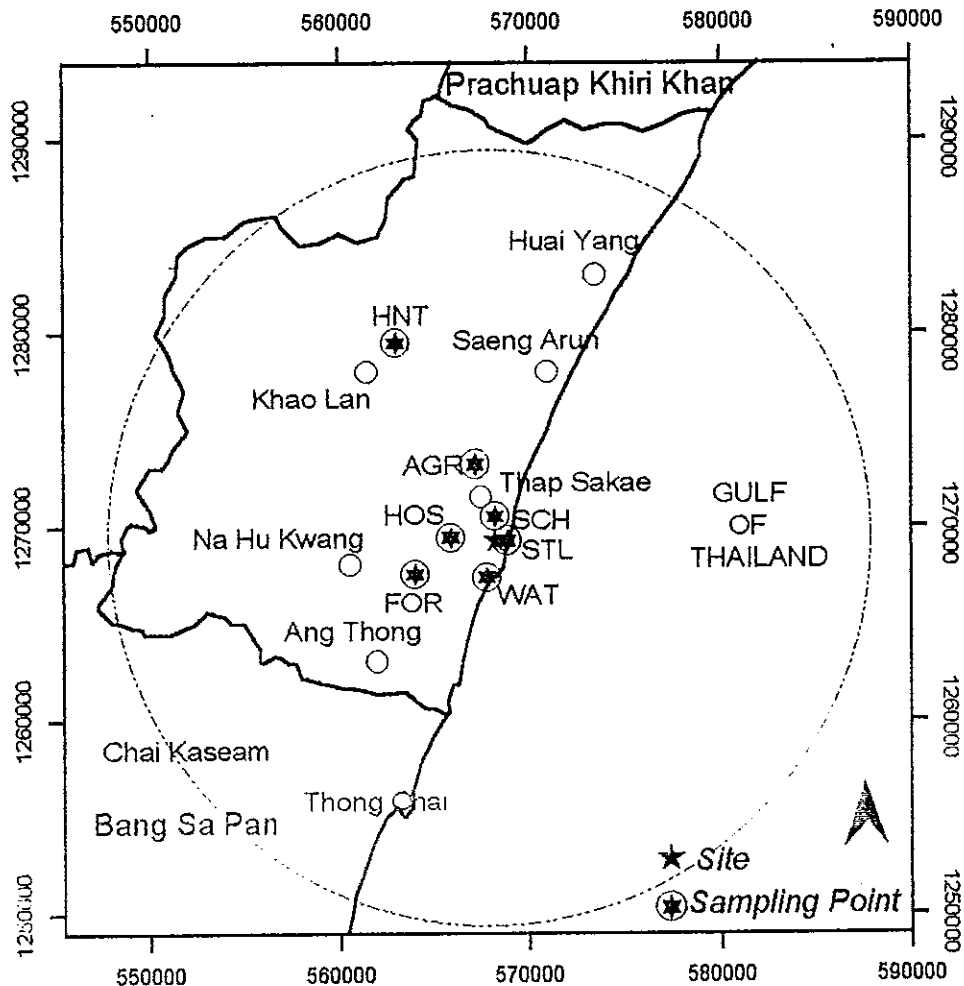
4.2.3.3 ชั่งและเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิด ทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือนเพื่อให้เข้าสู่สมดุลทางกัมมันตรังสีแบบถาวร

4.2.3.4 นำไปวัดด้วยเครื่องวัดรังสีแกมมา เป็นเวลาตัวอย่างละ 10 ชั่วโมง

4.2.2.5 วิเคราะห์ปริมาณรังสีโดยใช้สารมาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบ

(ภาค สนวนก จ)

ภาพประกอบ 17 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างอากาศและตัวอย่างดิน



- (1) HOS : โรงพยาบาลทับสะแก ตำแหน่งเก็บตัวอย่างอยู่ติดกับเนินเขา หลังโรงพยาบาล
- (2) SCH : โรงเรียนทับสะแกวิทยา ตำแหน่งที่เก็บอยู่ในป่าตรงเนินเขาด้านบนเขาเป็นบริเวณวัด
- (3) WAT: วัดนันทาราม เป็นลักษณะดินทรายในป่าค่อนข้างสมบูรณ์ ในบริเวณวัด
- (4) AGR : สำนักงานเกษตร บริเวณที่เก็บอยู่ในสวนมะพร้าวติดกับสำนักงานเกษตร
- (5) FOR : สำนักงานป่าไม้ เป็นดินจากสนามหญ้าบริเวณสวนป่าหลังสำนักงาน
- (6) HNT : บริเวณเขาหินเทิน บริเวณที่เก็บอยู่ใกล้กับเทือกเขาสูง ห่างออกมาประมาณ 500 m เป็นที่ราบประกอบด้วยป่าละเมาะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นเวลานานเช่นเดียวกับบริเวณอื่นๆ

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

1. ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ระบายจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

จากผลการศึกษาและคำนวณก๊าซกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe ชนิด PWR ในภาวะเดินเครื่องปกติและสมมติให้มีความบกพร่องที่แท่งเชื้อเพลิง 1 % (อนุรักษ์, 2520) และในการคำนวณได้ใช้ข้อมูลจำนวนปล่องระบายและอัตราการไหล ผ่านท่อระบายจากบริเวณสู่บรรยากาศ แสดงไว้ในตาราง 12

ตาราง 12 ความสูงและจำนวนปล่องระบายกับอัตราการไหลของอากาศบริเวณต่างๆ

บริเวณที่ปลดปล่อย	ความสูงปล่อง m	จำนวนปล่อง	อัตราการไหลของอากาศ	
			CF/min	m ³ /s
Auxiliary Building	61	1	50000	23.60
Turbine Building	71.6	3	110000	51.91
Condenser Air Ejector	71.6	1	10000	4.72

จากตาราง 12 สามารถคำนวณอัตราการรั่วไหลตลอดปีโดยใช้ความเข้มข้นในอากาศที่บริเวณปลดปล่อย และอัตราการไหลผ่านที่ปล่องระบาย ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

ปริมาณที่รั่วไหลต่อปี = ความเข้มข้นที่บริเวณปลดปล่อย × อัตราการปลดปล่อย
การคำนวณอัตราการรั่วไหลต่อปีของปริมาณสารกัมมันตรังสีแสดงไว้ใน ภาคผนวก ง

ตาราง 13 แสดงผลการคำนวณการระบายปริมาณสารกัมมันตรังสี จากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ไอโซโทป	ก๊าซจาก	ก๊าซจาก	ก๊าซจาก	ก๊าซจาก	ก๊าซจาก	ก๊าซจาก
	Condenser Air Ejector	Turbine Building	Auxiliary Building	Condenser Air Ejector 1 ปล่อง	Turbine Building 3 ปล่อง	Auxiliary Building 1 ปล่อง
	$\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$	$\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$	$\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$	Ci/yr	Ci/yr	Ci/yr
Kr-85m	1.85E-06	2.34E-12	5.38E-07	2.75E+02	1.15E-02	4.00E+02
Kr-85	5.24E-06	6.63E-12	1.52E-06	7.80E+02	3.26E-02	1.13E+03
Kr-87	9.75E-07	1.23E-12	2.84E-07	1.45E+02	6.04E-03	2.11E+02
Kr-88	1.90E-06	2.40E-12	5.52E-07	2.83E+02	1.18E-02	4.11E+02
Xe-133	5.37E-04	6.80E-10	1.56E-04	7.99E+04	3.34E+00	1.16E+05
Xe-135	3.84E-06	4.86E-12	1.12E-06	5.72E+02	2.39E-02	8.33E+02
I-129	3.69E-19	9.34E-21	2.15E-18	5.49E-11	4.59E-11	1.60E-09
I-131	5.57E-11	1.41E-12	3.24E-10	8.29E-03	6.93E-03	2.41E-01
I-133	9.05E-11	2.29E-12	5.27E-10	1.35E-02	1.12E-02	3.92E-01
I-135	2.29E-11	5.81E-13	1.33E-10	3.41E-03	2.85E-03	19.90E-02

2. การศึกษาสภาพเกษตรกรรม และจำนวนประชากรบริเวณพื้นที่ศึกษา

2.1 สภาพเกษตรกรรม

อำเภอทับสะแกเป็นอำเภอที่มีพื้นที่ลาดเอียงจากด้านทิศตะวันตก บริเวณเทือกเขาตะนาวศรีไปทางทิศตะวันออกสู่ฝั่งทะเลอ่าวไทย ลักษณะดินประมาณ 35 % ของพื้นที่ทั้งหมดเป็นที่ดินมีอินทรีย์วัตถุน้อย เนื้อดินเป็นดินทราย มีพื้นที่การเพาะปลูกเป็นมะพร้าว 90 % ของพื้นที่ปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้นซึ่งกระจายอยู่ทั่วทุกตำบล นอกจากนี้เป็นพืชไร่ 4,2126 ไร่ ข้าว 12,384 ไร่ และพืชผัก 853 ไร่ สภาพป่ามีไม่มากนักในบริเวณเทือกเขาตะนาวศรี 20 % ของพื้นที่ทั้งหมดเป็นเขตอุทยานแห่งชาติ ไม่มีแหล่งน้ำในธรรมชาติสำหรับการเกษตร เพราะห้วยคลอง ตื้นเขิน มีเฉพาะแหล่งน้ำที่ทางราชการและเกษตรกรสร้างขึ้นเอง การเลี้ยงโคเนื้อส่วนใหญ่เป็นการส่งออกไปขายนอกพื้นที่ มีการเลี้ยงโคนมเฉพาะบางพื้นที่และเป็นกลุ่มย่อยเท่านั้น ข้อมูลด้านการเกษตรกรรมแสดงไว้ในตาราง 14

ตาราง 14 จำนวนเกษตรกรของบริเวณพื้นที่ศึกษา

ตำบล	โคเนื้อ (ตัว)	โคนม (ตัว)	พืชผัก (ไร่)	พื้นที่ทั้งหมด (ไร่)	ประชากร (คน)	โคเนื้อ ตัว/km ²	โคนม ตัว/km ²	พืชผัก พื้นที่
ทับสะแก	1288	0	14	16425	11371	49.01	0	8.52E-04
นาหมูกวาง	5065	45	145	86831	9073	36.46	0.32	1.67E-03
อ่างทอง	3713	194	380	65218	8870	35.58	1.86	5.83E-03
เขาด้าน	2698	60	260	61125	7438	27.59	0.61	4.25E-03
แสงอรุณ	1344	0	30	30800	3660	27.27	0	9.74E-04
ห้วยยาง	2104	945	24	63351	9016	20.76	9.32	3.79E-04
ธงชัย	2297	25	2465	44659	10141	32.15	0.35	5.52E-02
ชัยเกษม	5223	300	4880	101250	10536	32.24	1.85	4.82E-02
รวม	28792	1569	8198	469659	70105	31.58	2.09	1.75E-02

ที่มา : สำนักงานเกษตร อ.ทับสะแก และ อ.บางสะพาน

2.2 ประชากร

อำเภอทับสะแกมีประชากรประมาณ 50,000 คน ในพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 323,750 ไร่ บริเวณตำบลทับสะแกมีจำนวนประชากรมากที่สุด ห่างจากพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งที่กำหนดเป็นที่ตั้ง ประมาณ 2-3 กิโลเมตร ไปทางตอนเหนือจำนวนประชากรในพื้นที่รอบๆตำแหน่งที่ตั้งในรัศมี 20 กิโลเมตร แสดงไว้ในตาราง 16 การจัดรูปแบบ เพิ่มข้อมูลประชากร (POPFILES) เพื่อประกอบการวิเคราะห์โดย CAP88-PC มีลำดับขั้นตอนแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ตาราง 15 จำนวนประชากรในบริเวณพื้นที่ศึกษา

จำนวนประชากร (คน) ที่ระยะห่างจากที่ตั้ง															
ทิศ	0-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-6.0	6.0-7.0	7.0-8.0	8.0-9.0	9.0-10.0	10.0-12.0	12.0-14.0	14.0-16.0	16.0-20.0
N	5	35	1311	2088	1113	572	654	741	527	373	360	668	598	1034	2601
NNW	5	35	1249	561	797	402	518	356	236	366	434	462	251	212	0
NW	5	35	189	278	1032	869	576	145	318	151	98	349	203	257	546
WNW	5	25	93	133	228	178	135	116	605	281	405	450	450	103	0
W	5	25	93	150	228	162	96	120	151	141	218	397	292	291	1121
WSW	5	20	93	126	202	432	486	325	412	549	220	589	663	544	815
SW	5	15	80	87	174	214	206	248	206	190	189	1396	2756	1699	2562
SSW	5	15	120	190	441	318	451	209	324	244	288	778	1379	2321	2066
S	5	15	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENE	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE	5	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NNE	5	35	166	322	322	499	424	489	263	272	304	634	406	1123	3529

3. อุตุนิยมวิทยาพื้นที่ศึกษา

จากการแบ่งฤดูกาลของประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยาได้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 บริเวณคือ

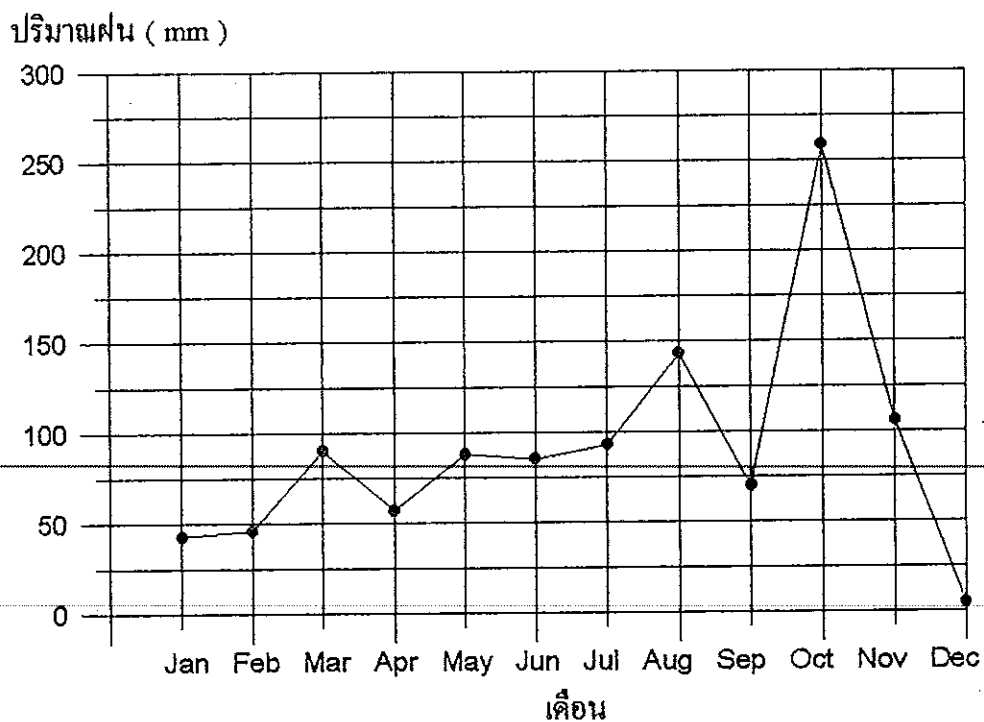
- ก. ประเทศไทยตอนบนเหนือกันอ่าวไทยขึ้นไปแบ่งเป็น 3 ฤดูคือ
- (1) ฤดูหนาว กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์
 - (2) ฤดูร้อน กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม
 - (3) ฤดูฝน กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม
- ข. ประเทศไทยตอนล่างหรือภาคใต้ แบ่งเป็น 2 ฤดูคือ
- (1) ฤดูร้อน กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม

(2) ฤดูฝน แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ฝนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กลางเดือน พฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ทางด้านฝั่งตะวันตกของภาค ฝนฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ทางด้านฝั่งตะวันออกของภาค

3.1 ปริมาณฝน

จากการศึกษาปริมาณฝนบริเวณอำเภอทับสะแกในปี ค.ศ.1988-1994 พบว่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตั้งแต่ปี ค.ศ.1988 - 1994 ของอำเภอทับสะแกมีค่า 1083.47 มิลลิเมตรต่อปี เดือนที่มีฝนตกน้อยที่สุดคือเดือน ธันวาคม มีค่า 5 มิลลิเมตร อิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นฤดูฝนอยู่ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เดือนที่มีฝนตกมากที่สุดคือ เดือน ตุลาคม มีค่า 258 มิลลิเมตร

ภาพประกอบ 18 ปริมาณฝน (mm) เฉลี่ยปี 1988 - 1994 อำเภอทับสะแก

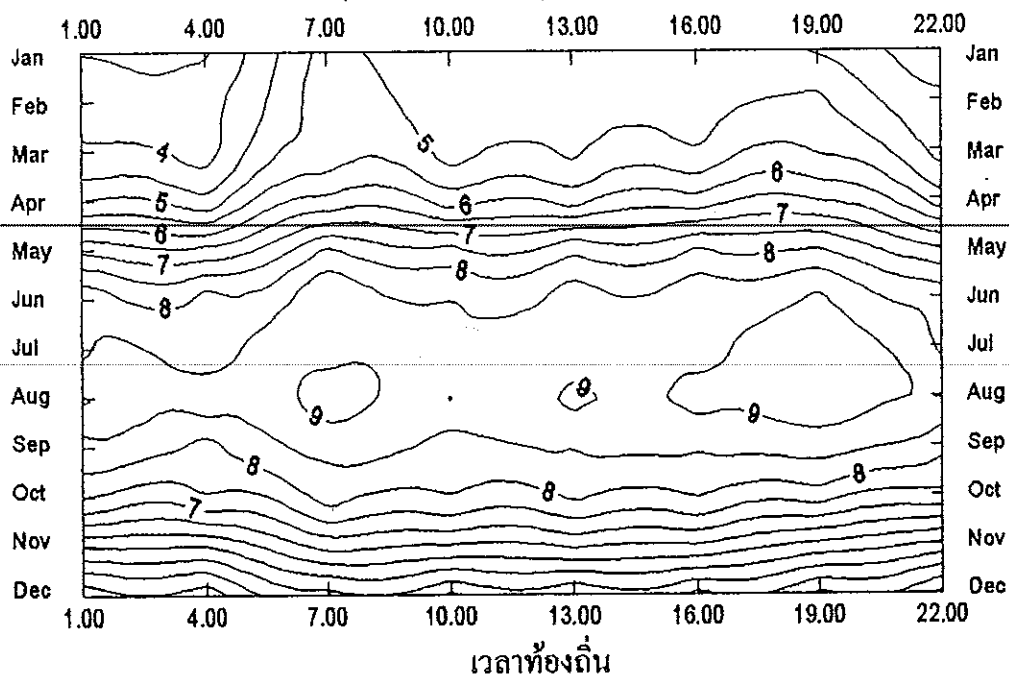


3.2 ปริมาณเมฆ

ตาราง 16 ปริมาณเมฆเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เดือน	ปริมาณเมฆ (ส่วนใน 10 ส่วนของท้องฟ้า) ตามเวลาท้องถิ่น								
	01:00	04:00	07:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	เฉลี่ย
มกราคม	2.96	2.92	4.68	4.06	4.15	4.19	3.94	3.01	3.76
กุมภาพันธ์	3.50	3.45	4.80	4.32	4.45	4.38	4.60	3.63	4.15
มีนาคม	3.50	3.24	4.63	4.21	4.35	4.42	4.88	3.74	4.13
เมษายน	4.45	4.08	5.58	5.18	5.18	5.59	5.92	4.59	5.09
พฤษภาคม	6.40	6.14	7.56	7.13	7.39	7.52	7.48	6.46	7.03
มิถุนายน	8.01	7.77	8.56	8.06	8.29	8.37	8.64	7.81	8.20
กรกฎาคม	7.85	7.55	8.18	7.93	8.04	8.14	8.59	7.87	8.03
สิงหาคม	8.58	8.37	8.89	8.54	8.67	8.73	8.93	8.54	8.66
กันยายน	7.79	7.24	8.04	7.67	7.98	8.02	8.21	7.63	7.84
ตุลาคม	7.18	7.07	7.84	7.61	7.72	7.63	7.35	6.98	7.43
พฤศจิกายน	5.01	4.99	6.19	6.01	6.14	6.02	5.38	4.90	5.60
ธันวาคม	3.07	3.13	4.29	3.92	4.01	3.88	3.40	2.86	3.58

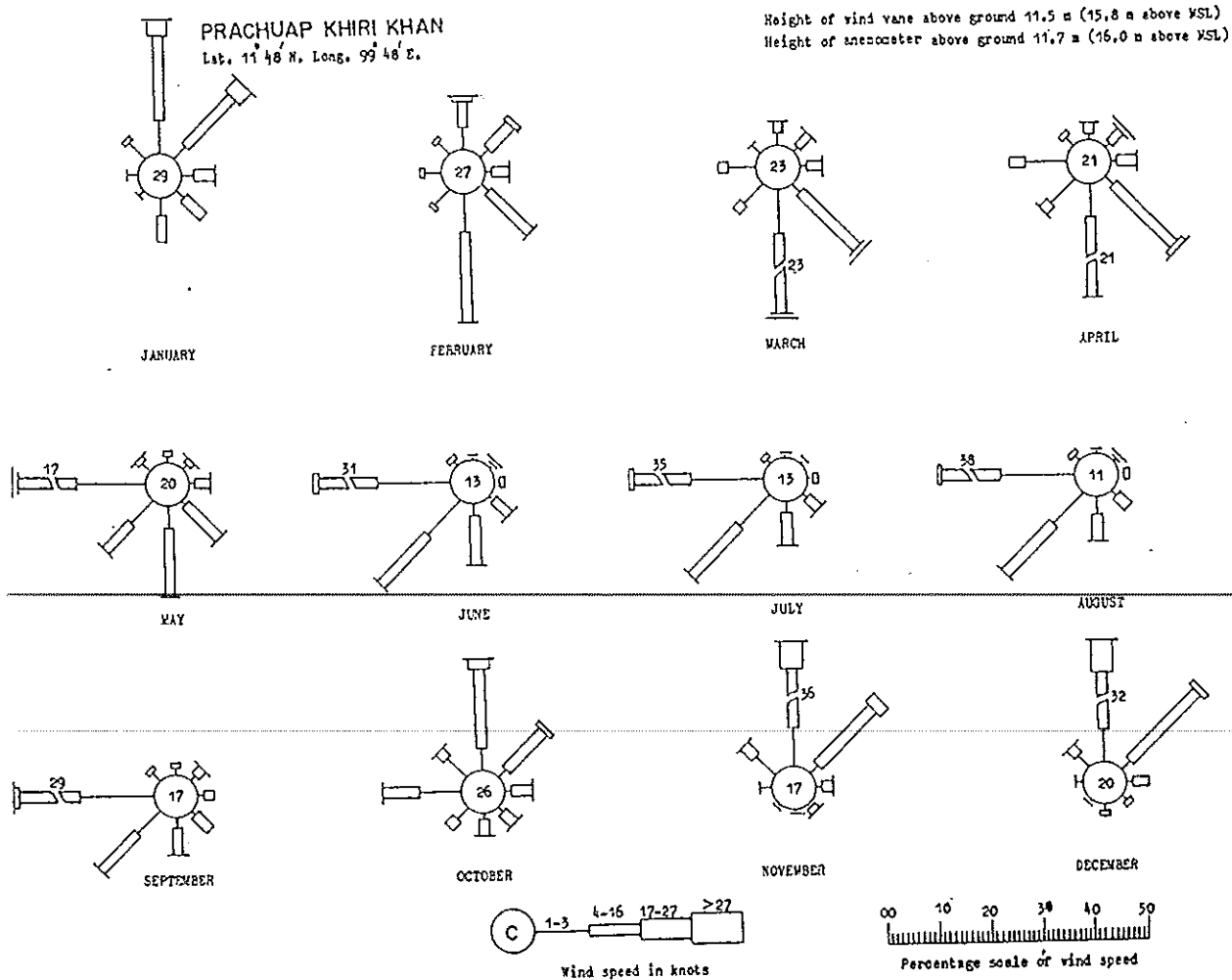
ภาพประกอบ 19 ปริมาณเมฆเฉลี่ย (ส่วนใน 10 ส่วน) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาท้องถิ่น



ปริมาณเมฆบริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์เฉลี่ยรายเดือน โดยแยกตามเวลาที่ท้องถิ่น ตั้งแต่ปี 1982-1991 พบว่าในช่วงเดือนสิงหาคมซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝนมีปริมาณเมฆสูงสุด ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคมปริมาณเมฆจะน้อยกว่าระยะอื่นๆ ปริมาณเมฆเฉลี่ยสูงสุดมากกว่า 7 ส่วนของท้องฟ้าอยู่ในช่วงเดือน พฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม

3.3 ความเร็วและทิศทางลม

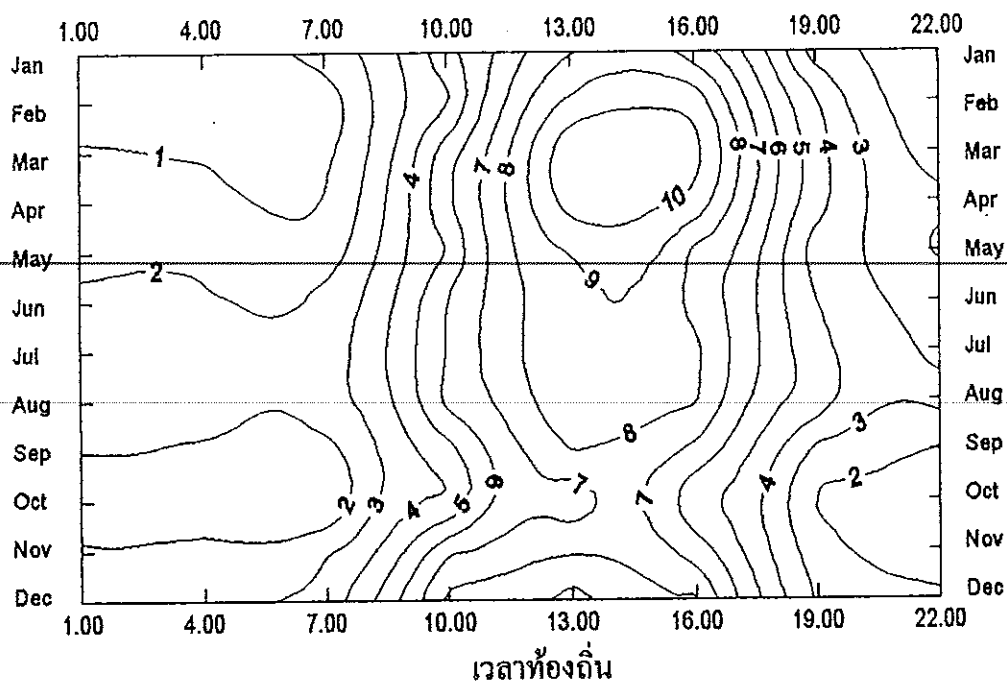
ภาพประกอบ 20 แผนภูมิลมจังหวัดประจวบคีรีขันธ์



ตาราง 19 ความเร็วลมเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982 - 1991 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ความเร็วลม (น็อต) ตามเวลาท้องถิ่น								
เดือน	0100	0400	0700	1000	1300	1600	1900	2200
มกราคม	0.83	1.02	1.46	4.73	7.93	7.43	2.51	0.98
กุมภาพันธ์	0.45	0.33	0.31	3.69	9.14	9.65	4.16	1.03
มีนาคม	1.15	0.93	0.79	5.64	10.88	10.38	4.46	1.50
เมษายน	1.67	1.33	1.03	5.83	10.44	9.79	4.51	2.22
พฤษภาคม	1.55	1.87	1.43	5.03	9.05	7.82	3.52	1.82
มิถุนายน	2.37	2.09	2.36	6.12	8.56	7.65	3.99	2.65
กรกฎาคม	2.73	2.60	2.45	6.07	8.97	8.21	4.33	2.74
สิงหาคม	3.03	2.69	2.70	6.32	8.82	8.07	4.72	3.39
กันยายน	2.02	1.77	1.64	4.65	8.04	6.77	2.81	1.92
ตุลาคม	1.09	0.94	1.05	3.92	6.38	5.130	1.82	1.07
พฤศจิกายน	2.26	2.48	2.91	6.85	7.85	6.41	2.48	1.81
ธันวาคม	2.43	2.95	3.45	8.27	9.34	8.02	2.87	2.05

ภาพประกอบ 21 ความเร็วลมเฉลี่ย (น็อต) ตามเวลาท้องถิ่น



ความเร็วลมเฉลี่ยสูงในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม ในแต่ละวัน
ความเร็วลมจะสูงในช่วงบ่ายและจะลดลงในตอนกลางคืน ช่วงที่ลมสงบมากที่สุดคือประมาณ
ระหว่าง 22.00 - 07.00 น.

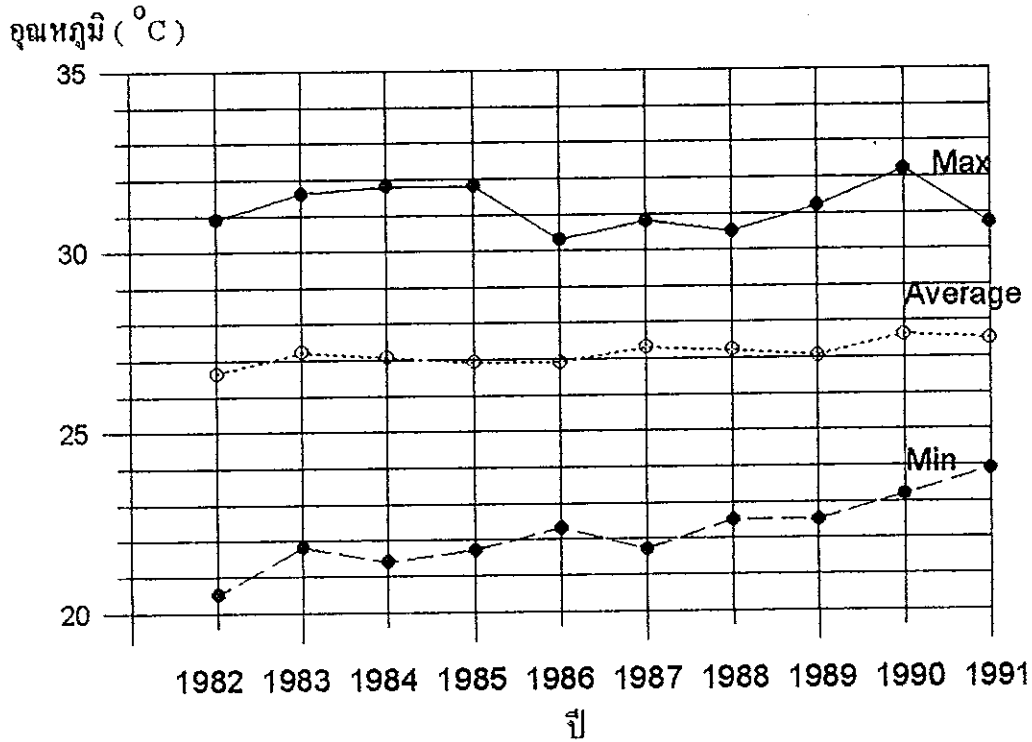
3.4 อุณหภูมิ

จังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นรอยต่อระหว่างภาคกลางกับภาคใต้ อุณหภูมิอากาศไม่
หนาวมากนัก อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี 27.15°C อุณหภูมิสูงสุด 32.2°C ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูง
สุด 31.18°C ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิต่ำสุด 22.15°C

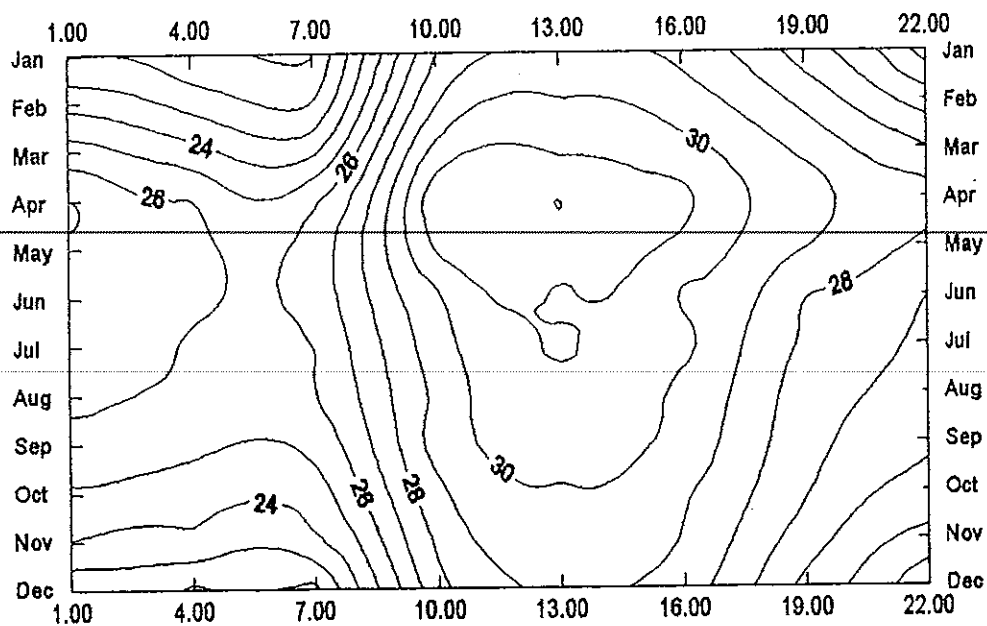
ตาราง 18 อุณหภูมิเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ตามเวลาท้องถิ่น								
เดือน	01:00	04:00	07:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00
มกราคม	21.88	21.16	20.93	27.97	29.51	28.74	26.46	23.45
กุมภาพันธ์	23.72	22.64	21.87	28.93	30.00	29.40	27.72	25.49
มีนาคม	25.46	24.40	3.70	30.33	30.82	30.29	28.68	27.02
เมษายน	27.12	26.07	25.82	31.81	32.02	31.30	29.75	28.48
พฤษภาคม	26.91	26.24	26.41	31.18	31.84	30.83	29.09	27.77
มิถุนายน	26.54	26.18	26.39	29.80	30.73	29.82	27.92	26.95
กรกฎาคม	26.19	25.85	25.94	29.63	31.20	30.36	27.88	26.76
สิงหาคม	26.19	25.88	25.96	29.21	30.62	29.64	27.48	26.59
กันยายน	25.71	25.26	25.29	29.60	30.74	29.79	27.38	26.24
ตุลาคม	24.86	24.40	24.48	28.79	29.84	29.10	27.10	25.58
พฤศจิกายน	24.08	23.84	23.90	28.29	29.64	28.94	26.55	24.81
ธันวาคม	22.09	21.80	21.72	27.78	29.44	28.54	25.68	23.08

ภาพประกอบ 22 อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) เฉลี่ย 10 ปี (1982-1991) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



ภาพประกอบ 23 อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาท้องถิ่น



เวลาท้องถิ่น

8.5 ความถี่ของชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ

การจัดชนิดเสถียรภาพของบรรยากาศ อาศัยการพัฒนาโปรแกรม (ภาคผนวก ก) โดยใช้ความเร็วลม ปริมาณเมฆ ของสถานีตรวจอากาศ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ปี ค.ศ. 1982 ถึง 1991 เฉลี่ย 10 ปี และเงื่อนไขในภาคผนวก ข สามารถสามารถแจกแจงความถี่ชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศดังตาราง 19

ตาราง 19 ความถี่ชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศจำแนกตามระดับชั้นและความเร็วลม

WIND DIR	STAB CLASS	0-3 knot	4-6 knot	7-10 knot	11-16 knot	17-21 knot	>21 knot
N	A	0.00044	0.00029	0	0	0	0
NNE	A	0.00061	0.00078	0	0	0	0
NE	A	0.00057	0.00099	0	0	0	0
ENE	A	0.00048	0.00058	0	0	0	0
E	A	0.00120	0.00205	0	0	0	0
ESE	A	0.00128	0.00100	0	0	0	0
SE	A	0.00141	0.00154	0	0	0	0
SSE	A	0.00157	0.00182	0	0	0	0
S	A	0.00078	0.00103	0	0	0	0
SSW	A	0.00040	0.00004	0	0	0	0
SW	A	0.00036	0.00008	0	0	0	0
WSW	A	0.00025	0.00017	0	0	0	0
W	A	0.00054	0.00015	0	0	0	0
WNW	A	0.00032	0.00028	0	0	0	0
NW	A	0.00032	0.00008	0	0	0	0
NNW	A	0.00064	0.00017	0	0	0	0
Total	A	0.01117	0.01106	0	0	0	0
N	B	0.00281	0.00130	0.00040	0	0	0
NNE	B	0.00325	0.00252	0.00345	0	0	0
NE	B	0.00247	0.00216	0.00230	0	0	0
ENE	B	0.00262	0.00131	0.00112	0	0	0
E	B	0.00402	0.00172	0.00089	0	0	0
ESE	B	0.00307	0.00159	0.00051	0	0	0
SE	B	0.00335	0.00267	0.00217	0	0	0
SSE	B	0.00340	0.00305	0.00494	0	0	0
S	B	0.00321	0.00279	0.00345	0	0	0
SSW	B	0.00271	0.00047	0	0	0	0
SW	B	0.00249	0.00044	0.00004	0	0	0
WSW	B	0.00289	0.00089	0.00036	0	0	0
W	B	0.00330	0.00143	0.00068	0	0	0
WNW	B	0.00291	0.00070	0.00056	0	0	0
NW	B	0.00271	0.00047	0.00009	0	0	0
NNW	B	0.00371	0.00048	0	0	0	0
Total	B	0.04892	0.02899	0.02096	0	0	0

ตาราง 19 (ต่อ)

WIND DIR	STAB CLASS	0-3 knot	4-6 knot	7-10 knot	11-16 knot	17-21 knot	>21 knot
N	C	0.00545	0.00234	0.00127	0.00130	0.00008	0
NNE	C	0.00503	0.00411	0.00603	0.00508	0.00043	0
NE	C	0.00433	0.00357	0.00481	0.00335	0.00004	0
ENE	C	0.00428	0.00262	0.00219	0.00067	0	0
E	C	0.00508	0.00432	0.00187	0.00008	0	0
ESE	C	0.00522	0.00272	0.00137	0.00021	0	0
SE	C	0.00548	0.00426	0.00444	0.00246	0.00004	0
SSE	C	0.00601	0.00441	0.01011	0.01261	0.00031	0
S	C	0.00630	0.00508	0.00816	0.01112	0.00013	0.00004
SSW	C	0.00496	0.00085	0.00024	0.00013	0	0
SW	C	0.00453	0.00076	0.00019	0.00004	0	0
WSW	C	0.00578	0.00328	0.00088	0.00012	0	0
W	C	0.00700	0.00590	0.00576	0.00079	0	0
WNW	C	0.00490	0.00262	0.00306	0.00064	0.00004	0
NW	C	0.00483	0.00049	0.00065	0.00016	0	0
NNW	C	0.00502	0.00039	0.00011	0.00004	0	0
Total	C	0.0842	0.04772	0.06114	0.0388	0.00107	0.00004
N	D	0.00634	0.00468	0.00393	0.002920	0.00015	0.00004
NNE	D	0.00532	0.00699	0.00828	0.00865	0.00067	0
NE	D	0.00483	0.00317	0.00306	0.00356	0	0
ENE	D	0.00473	0.00154	0.00118	0.00044	0.00004	0
E	D	0.00466	0.00306	0.00123	0.00053	0.00004	0
ESE	D	0.00454	0.00189	0.00089	0.00086	0.00004	0
SE	D	0.00463	0.00374	0.00288	0.00232	0.00009	0
SSE	D	0.00486	0.00565	0.00745	0.01221	0.00038	0.00004
S	D	0.00539	0.00638	0.01265	0.01309	0.00021	0.00005
SSW	D	0.00674	0.00293	0.00113	0.00020	0.00005	0
SW	D	0.00721	0.00560	0.00125	0.00011	0	0
WSW	D	0.01144	0.01976	0.00655	0.00185	0.00008	0
W	D	0.01455	0.03449	0.02810	0.01366	0.00054	0
WNW	D	0.00710	0.01042	0.01473	0.00818	0.00048	0.00008
NW	D	0.00584	0.00179	0.00165	0.00151	0.00004	0
NNW	D	0.00609	0.00250	0.00039	0.00008	0.00004	0
Total	D	0.10427	0.11469	0.09686	0.07017	0.00286	0.00021

ตาราง 19 (ต่อ)

WIND DIR	STAB CLASS	0-3 knot	4-6 knot	7-10 knot	11-16 knot	17-21 knot	>21 knot
N	B	0.00469	0.00273	0.00264	0	0	0
NNE	B	0.00344	0.00347	0.00259	0	0	0
NE	B	0.00271	0.00063	0.00036	0	0	0
ENE	B	0.00278	0.00061	0.00008	0	0	0
E	B	0.00273	0.00041	0	0	0	0
ESE	B	0.00269	0.00041	0	0	0	0
SE	B	0.00254	0.00032	0.00004	0	0	0
SSE	B	0.00257	0.00141	0.00057	0	0	0
S	B	0.00515	0.00508	0.00299	0	0	0
SSW	B	0.00507	0.00242	0.00020	0	0	0
SW	B	0.00491	0.00252	0.00011	0	0	0
WSW	B	0.00703	0.00688	0.00011	0	0	0
W	B	0.01007	0.01519	0.00192	0	0	0
WNW	B	0.00456	0.00512	0.00173	0	0	0
NW	B	0.00389	0.00144	0.00020	0	0	0
NNW	B	0.00442	0.00093	0.00023	0	0	0
Total	B	0.06925	0.04957	0.01377	0	0	0
N	F	0.00686	0.00662	0	0	0	0
NNE	F	0.00622	0.00646	0	0	0	0
NE	F	0.00500	0.00134	0	0	0	0
ENE	F	0.00409	0.00043	0	0	0	0
E	F	0.00442	0.00020	0	0	0	0
ESE	F	0.00378	0.00005	0	0	0	0
SE	F	0.00390	0.00027	0	0	0	0
SSE	F	0.00421	0.00128	0	0	0	0
S	F	0.00655	0.00884	0	0	0	0
SSW	F	0.00622	0.00221	0	0	0	0
SW	F	0.00584	0.00182	0	0	0	0
WSW	F	0.00757	0.00323	0	0	0	0
W	F	0.01053	0.00525	0	0	0	0
WNW	F	0.00593	0.00272	0	0	0	0
NW	F	0.00595	0.00149	0	0	0	0
NNW	F	0.00960	0.00226	0	0	0	0
Total	F	0.09667	0.0447	0	0	0	0
	A-F	0.41448	0.29139	0.18122	0.10897	0.00892	0.00025

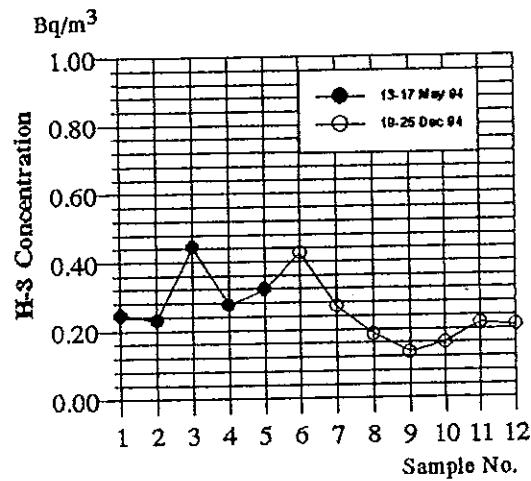
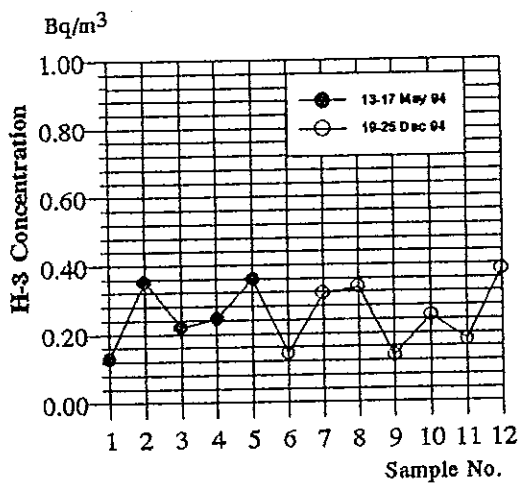
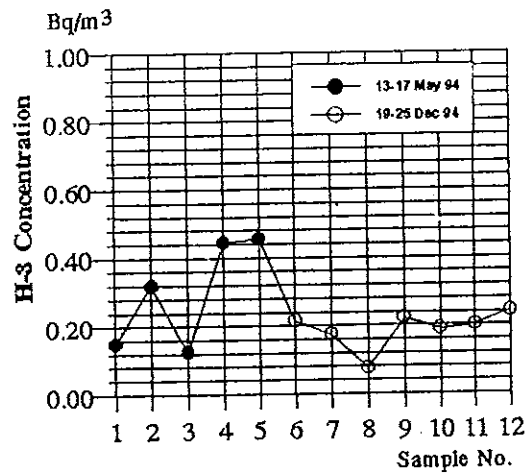
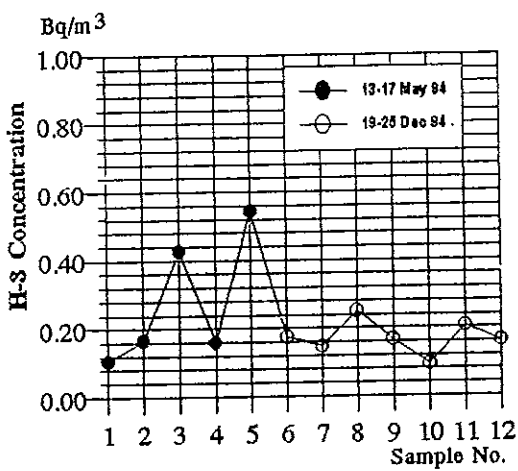
4. ปริมาณตรีเทียมและคาร์บอน-14 ในบรรยากาศ

การเก็บตัวอย่างน้ำแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกระหว่างวันที่ 13-17 พฤษภาคม 2537 และระยะที่ 2 ระหว่างวันที่ 19-25 ธันวาคม 2537 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตรีเทียม และคาร์บอน-14 ในอากาศเฉลี่ย แสดงไว้ในตารางที่ 21 จากตารางพบว่า ปริมาณตรีเทียมในอากาศที่คำนวณจากตัวอย่างน้ำระหว่างวันที่ 13-17 พฤษภาคม มีค่าสูงกว่าในช่วงเดือนธันวาคม ค่าเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤษภาคมมีค่า 0.28 Bq/m^3 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างน้ำในเดือนธันวาคมมีค่า 0.21 Bq/m^3 ทั้งนี้เพราะความชื้นในบรรยากาศต่างกัน ในเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวอากาศค่อนข้างหนาวความชื้นจะน้อยกว่าคือมีความชื้นเฉลี่ยประมาณ 70-75 % ในขณะที่เดือนพฤษภาคมมีความชื้นประมาณ 75-80 % และเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนปริมาตรของน้ำที่เก็บได้กับปริมาตรอากาศที่ผ่าน พบว่าค่าที่ได้ช่วงเดือนธันวาคมจะมีค่าต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกัน ปริมาณตรีเทียมและคาร์บอน-14 ตามสถานที่และวันที่ทำการเก็บตัวอย่างแสดงไว้ในภาพประกอบ 24 - 26

ตาราง 20 ปริมาณตรีเทียมและคาร์บอน-14 ในบรรยากาศบริเวณต่างๆ

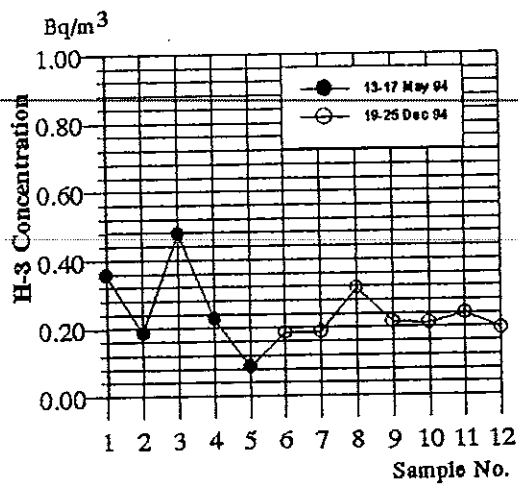
ตำแหน่ง	ปริมาณตรีเทียม (Bq/m^3)		ปริมาณคาร์บอน-14(Bq/m^3)		เฉลี่ย(Bq/m^3)	
	13-17 พค37	19-25 ธค 37	13-17 พค37	19-25 ธค 37	ตรีเทียม	คาร์บอน-14
โรงเรียนทับสะแกวิทยา	0.2622	0.2483	0.2406	0.1719	0.2514	0.2063
สนง.เกษตร	0.2795	0.1705	0.1943	0.1516	0.2250	0.1730
โรงพยาบาลทับสะแก	0.2980	0.1877	0.1837	0.1560	0.2429	0.1699
วัดนันทาราม	0.3027	0.2277	0.1731	0.1678	0.2652	0.1705
สนง.ป่าไม้	0.2666	0.2212	0.2015	0.1827	0.2439	0.1921
เฉลี่ย	0.2818	0.2111	0.1986	0.1660	0.2464	0.1823
SD	0.0163	0.0281	0.0231	0.0112	0.0131	0.0145

ภาพประกอบ 24 ปริมาณตรีเทียมในบรรยากาศบริเวณต่างๆ



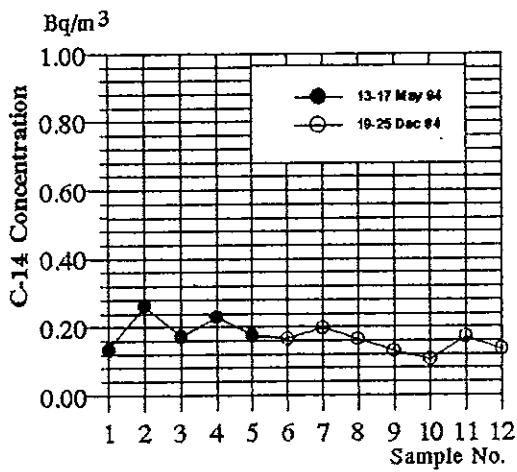
โรงเรียนทับสะแกวิทยา

วัดนันทาราม

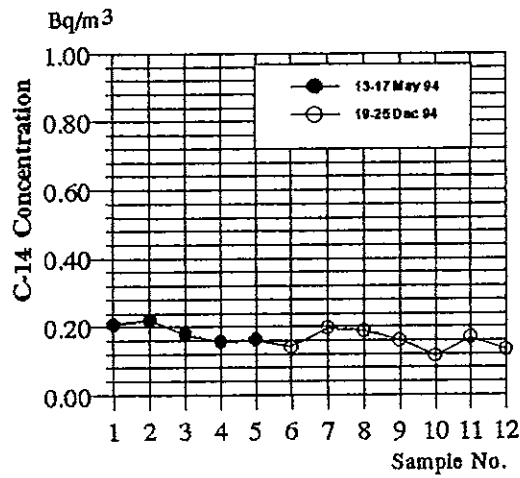


สำนักงานป่าไม้อำเภอทับสะแก

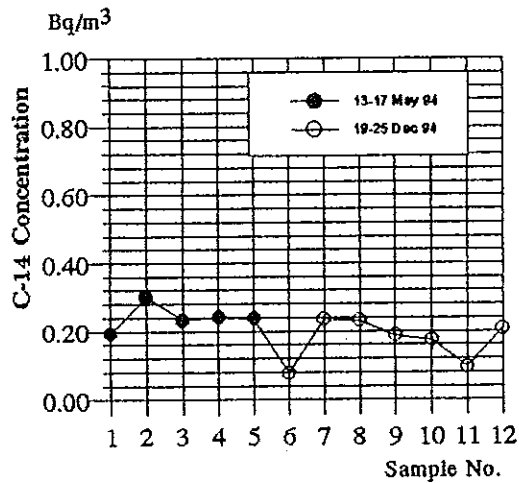
ภาพประกอบ 25 ปริมาณคาร์บอน-14ในบรรยากาศบริเวณต่างๆ



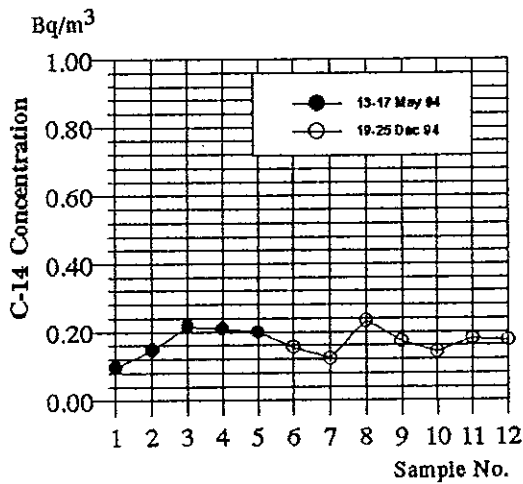
สำนักงานเกษตรอำเภอทับสะแก



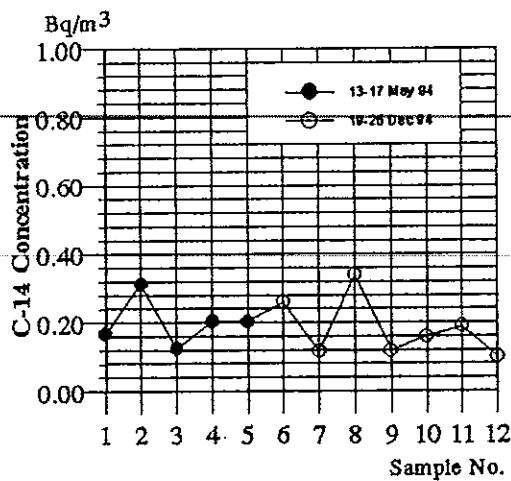
โรงพยาบาลทับสะแก



โรงเรียนทับสะแกวิทยา



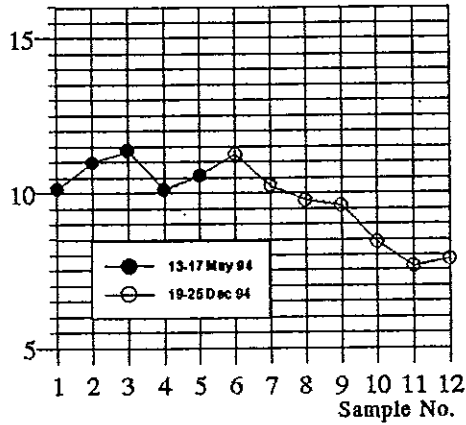
วัดนันทาราม



สำนักงานป่าไม้อำเภอทับสะแก

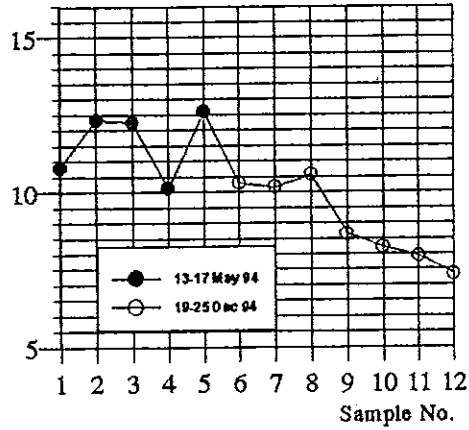
ภาพประกอบ 26 ปริมาณน้ำดีตัวอย่างต่อปริมาตรอากาศในบริเวณต่างๆ

$V(\text{water})/V(\text{air}) * 10^{-6}$



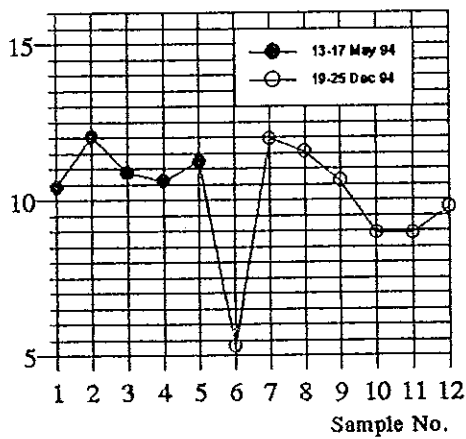
สำนักงานเกษตรอำเภอทับสะแก

$V(\text{water})/V(\text{air}) * 10^{-6}$



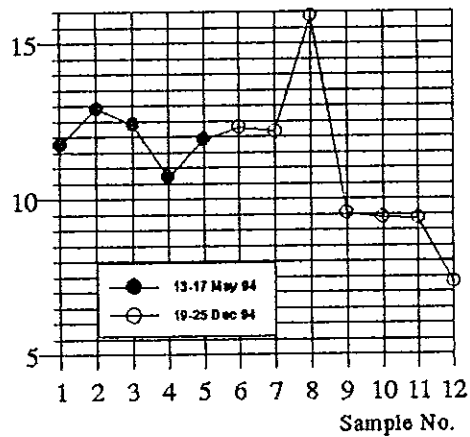
โรงพยาบาลทับสะแก

$V(\text{water})/V(\text{air}) * 10^{-6}$



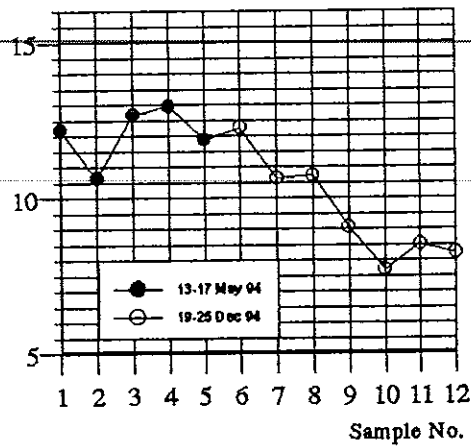
โรงเรียนทับสะแกวิทยา

$V(\text{water})/V(\text{air}) * 10^{-6}$



วัดนันทาราม

$V(\text{water})/V(\text{air}) * 10^{-6}$



สำนักงานป่าไม้อำเภอทับสะแก

5. ปริมาณ ทอเรียม ยูเรเนียม และโพแทสเซียม ในดินตัวอย่าง

จากพื้นดินทั่วไปจะมีสารกัมมันตรังสีเป็นส่วนประกอบ ในที่นี้ได้ทำการวัดหาปริมาณโพแทสเซียม (K), ยูเรเนียม (eU) และทอเรียม (eTh) ในดินตัวอย่าง ผลการวัดแสดงไว้ในตาราง 21 สเปกตรัมรังสีแกมมาทั้งหมดในดินซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ จะเป็นการแสดงปริมาณรังสีแกมมาในดินตัวอย่างก่อนการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ สามารถนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีที่เป็นผลผลิตของพืชชั้นในดินตัวอย่างภายหลังต่อไป

ตาราง 21 ปริมาณทอเรียม ยูเรเนียม และโพแทสเซียมในดินบริเวณต่างๆ

ตำแหน่ง	K (Bq/kg)	eU (Bq/kg)	eTh (Bq/kg)
โรงพยาบาลทับสะแก	345.97±12.34	9.96±1.18	120.58±11.48
โรงเรียนทับสะแกวิทยา	356.57±11.68	13.09±1.15	147.85±11.23
วัดนันทาราม	465.84±11.79	12.09±0.96	179.23±10.88
สำนักงานเกษตร	215.33±08.31	22.48±1.23	390.36±14.94
สำนักงานป่าไม้	92.42±06.60	5.89±0.88	82.84±09.08
เขานินเทิน	1197.39±21.32	74.72±2.46	1025.91±28.11

ปริมาณโพแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียมในดิน ที่บริเวณเขานินเทินมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณที่เก็บตัวอย่างอยู่ใกล้กับภูเขา ซึ่งมีหินแกรนิตเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้พบมีการสัมปทานนำหินแกรนิตจากภูเขาดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ ส่วนบริเวณสำนักงานป่าไม้ มีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเป็นบริเวณป่าประกอบด้วยต้นไม้ใหญ่ ทำให้ดินตัวอย่างมีอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าบริเวณอื่น

6. การจำลองการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

เนื่องจากในการวิเคราะห์ปริมาณรังสีที่ประชากรจะได้รับ มีตัวแปรที่สำคัญหลายตัวแปรจำเป็นต้องศึกษาความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้โดยสภาพทั่วไปได้กำหนดคั้งนี้คือ ใช้ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่รั่วไหลจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิด PWR ขนาด 600 MWe ที่ภาวะเดินเครื่องปกติ และมีความบกพร่องของแท่งเชื้อเพลิง 1 % (ตาราง 13)

ข้อมูลการเกษตรปี พ.ศ. 2537 (ตาราง 14) และความถี่ของชั้นบรรยากาศจำแนกตามระดับชั้นเฉลี่ยปี ค.ศ.1982-1991 พร้อมทั้งค่าเฉลี่ยรายปี (ตาราง 19) ปริมาณฝนเฉลี่ยอำเภอทับสะแกปี 1988-1994 มีค่า 103.8 mm/y อุณหภูมิเฉลี่ยของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (ค.ศ.1982-1991) มีค่า 27.15 °C ความสูงของปล่องระบายอากาศคลุมและอาคารทั่วไป 61 เมตร และจากคอนเดนเซอร์ภายในอาคารกักกัน สูง 71.6 เมตร Lid Height 1000 เมตร สภาพพื้นที่ที่ศึกษาเป็น Rural

6.1 องค์ประกอบที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น โดสรังสี และความเสียง

6.1.1 ปริมาณฝน

จากการเปลี่ยนค่าปริมาณฝนในช่วง 108-2166 mm/y พบว่าปริมาณโดสรังสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณฝนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากฝนจะทำให้อัตราการตกสู่พื้นดินมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาปริมาณรังสีจะใช้ปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปี ดังนั้นถือได้ว่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ปริมาณรังสีและความเสียงที่เปลี่ยนไปแสดงไว้ในตาราง 22

ตาราง 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสี ความเสียง กับปริมาณฝน

ปริมาณฝน (cm/y)	ปริมาณรังสี (mrem/y)	ความเสียงในการเสียชีวิตด้วยมะเร็ง (คนใน 10 ล้านคน)
108.3	0.912	196
1083	0.938	198
2166	0.965	200

6.1.2 อุณหภูมิเฉลี่ย

จากการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณรังสีที่ได้รับจากกรณีอุณหภูมิที่เปลี่ยนจาก 5 , 15 และ 27.15 °C

6.1.3 ความสูงของปล่องระบาย

เนื่องจากการคำนวณของอนุรักษ์ ธาราสีโรจน์(2520) ใช้ปล่องระบายจำนวน 5 ปล่องระบาย ในที่นี้ได้ศึกษาโดยใช้ความสูงที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 20 เมตรเพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีที่เปลี่ยนไป พบว่าความสูงของปล่องระบายสูงขึ้นทำให้ปริมาณรังสีที่ได้รับที่

ตำแหน่งเดียวกันจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายของพุ่มไค้ดีขึ้น ปริมาณรังสีและความเสี่ยงแสดงไว้ในตาราง 23

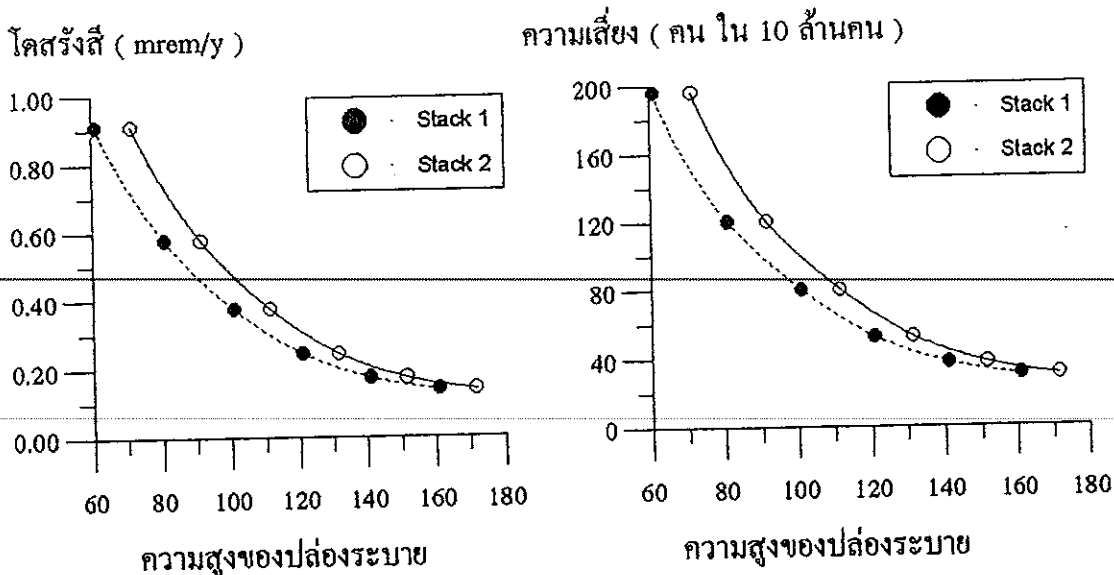
ตาราง 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสี ความเสี่ยง กับความสูงของปล่องระบาย

ความสูง (ปล่อง 1,ปล่อง 2) (m)	ปริมาณรังสี (mrem/y)	ความเสี่ยงในการเสียชีวิตด้วยมะเร็ง (คนใน 10 ล้านคน) $\times 10^{-7}$
61,71.6	0.912	196
81,91.6	0.577	124
101,111.6	0.376	81
121,131.6	0.245	52
141,151.6	0.172	37
161,171.6	0.138	30

ปล่อง 1 : ปล่องระบายอากาศของอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์และอาคารทั่วไป

ปล่อง 2 : ปล่องระบายอากาศจากคอนเดนเซอร์และอาคารกักกัน

ภาพประกอบ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างโคสรังสี ความเสี่ยง กับความสูงของปล่องระบาย



6.1.4 Lid Height

พบว่า การเปลี่ยนแปลง Lid Height ไม่มีผลทำให้โคสรังสี ความเสี่ยง และความเข้มข้น เปลี่ยนไป

6.1.5 สภาพพื้นที่

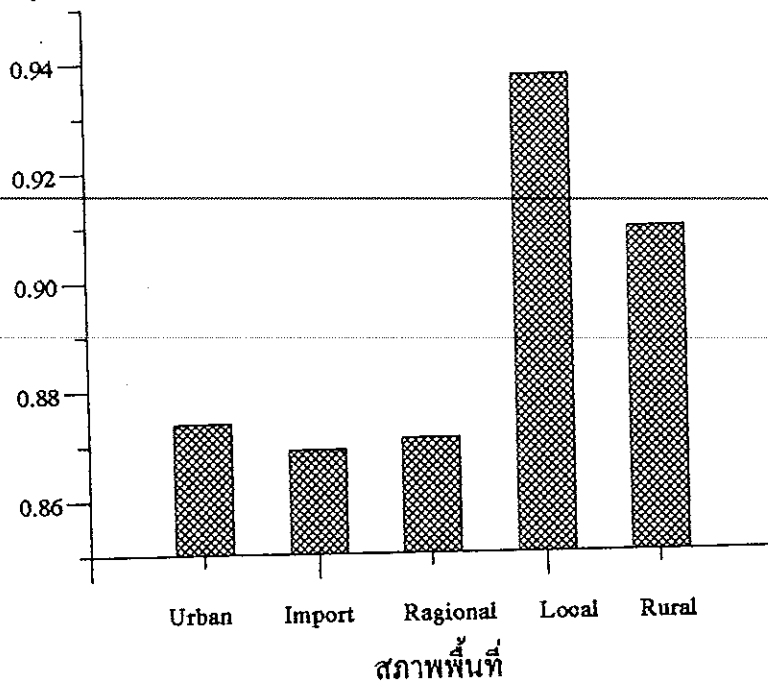
ในการศึกษา CAP88-PC ได้แบ่งบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาออกเป็น 5 รูปแบบตามลักษณะการบริโภคผลผลิตทางการเกษตรคือ Urban , Import , Regional , Local และ Rural รายละเอียดในการจัดรูปแบบแสดงไว้ในตาราง 25 นอกจากนี้ยังสามารถเลือกรูปแบบการกำหนดโดยผู้ใช้องค์ได้ว่าในสัดส่วนของการบริโภคเป็นอย่างไร ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีและความเสี่ยงแสดงไว้ในตาราง 24

ตาราง 24 ความสัมพันธ์ระหว่างโดสรังสี ความเสี่ยง และความเข้มข้นกับสภาพพื้นที่

สภาพพื้นที่	ปริมาณรังสี	ความเสี่ยงในการเสียชีวิตเนื่องจากมะเร็ง (คน ใน 10 ล้านคน)
Urban	0.874	194
Import	0.869	194
Regional	0.871	194
Local	0.942	198
Rural	0.912	196

ภาพประกอบ 28 โดสรังสีตามสภาพพื้นที่

โดสรังสี (mrem/y)



ตาราง 25 สัดส่วนที่กำหนดสำหรับการบริโภคพืชผัก นม และเนื้อ ตามลักษณะพื้นที่

ลักษณะพื้นที่ศึกษา	สัดส่วนการบริโภค	พืชผัก	นม	เนื้อ
Regional	ภายในครัวเรือน	0	0	0
	ภายในพื้นที่	1	1	1
	การนำเข้า	0	0	0
Import	ภายในครัวเรือน	0	0	0
	ภายในพื้นที่	0	0	0
	การนำเข้า	1	1	1
Urban	ภายในครัวเรือน	0.076	0	0.008
	ภายในพื้นที่	0.924	1	0.992
	การนำเข้า	0	0	0
Rural	ภายในครัวเรือน	7	0.399	0.442
	ภายในพื้นที่	3	0.601	0.558
	การนำเข้า	0	0	0
Local	ภายในครัวเรือน	1	1	1
	ภายในพื้นที่	0	0	0
	การนำเข้า	0	0	0

Urban เป็นบริเวณที่มีการจัดให้สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกจากบ้านเรือนมีน้อยส่วนใหญ่นำเข้าจากนอกพื้นที่ จึงมีโคสร้างสีและความเสี่ยงต่ำกว่า Rural และ Local

Rural เป็นบริเวณที่มีการเพาะปลูกกับเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่สูงกว่า Urban จึงทำให้ปริมาณรังสี และ ความเสี่ยง สูงกว่า

Local เป็นพื้นที่ที่การบริโภคผลผลิตการเกษตรภายในพื้นที่ทั้งหมด จึงทำให้ปริมาณและความเสี่ยงสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นๆ

Import เป็นการประเมินเมื่อนำผลผลิตการเกษตร จากภายนอกพื้นที่ทั้งหมดซึ่งพบว่ามีความเสี่ยงต่ำสุด

6.1.6 ปริมาณการเลี้ยงโคนเนื้อ โคนม ไม่มีผลต่อโคสและความเสี่ยงเนื่องจากจะขึ้นอยู่กับ
การบริโภค ส่วนพื้นที่การเพาะปลูกเมื่อลดปริมาณลงจะทำให้ปริมาณรังสีและความเสี่ยงลดลงเล็กน้อย

ตาราง 26 สัดส่วนของพื้นที่เพาะปลูกกับโดสรังสีและความเสี่ยง

สัดส่วนพื้นที่เพาะปลูก	ปริมาณรังสี (mrem/y)	ความเสี่ยงในการเสียชีวิตเนื่องจาก มะเร็ง (คน ใน 10 ล้านคน)
0.175	0.902	194
0.0175	0.912	196
0.00175	0.875	193

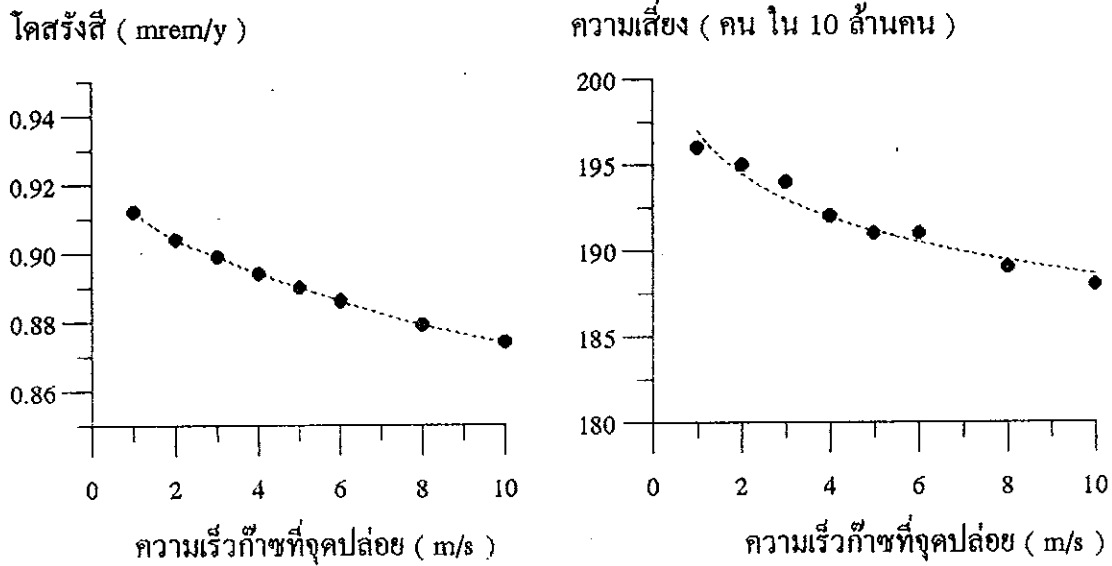
6.1.7 ความเร็วก๊าซจากปล่อง

ได้ทำการศึกษาโดยสมมุติให้ความเร็วที่จุดปล่อยมีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อความเร็วสูงขึ้นจะทำให้ โดสและความเสี่ยง ที่ระยะห่างเท่ากันมีขนาดต่ำลง แสดงได้ในตาราง 27 และภาพประกอบ 29

ตาราง 27 ความสัมพันธ์ของความเร็วก๊าซที่จุดปล่อยกับโดสรังสีและความเสี่ยง

ความเร็ว (m/s)	ปริมาณรังสี (mrem/y)	ความเสี่ยงในการเสียชีวิตเนื่องจาก มะเร็ง (คน ใน 10 ล้านคน)
1	0.912	196
2	0.904	195
3	0.899	194
4	0.894	192
5	0.890	191
6	0.886	191
8	0.879	189
10	0.874	188

ภาพประกอบ 29 โดสรังสีและความเสี่ยงกับ ความเร็วก๊าซที่จุดปล่อย



8.2 ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ระบายจากโรงไฟฟ้าขนาด 600 MWe ชนิด PWR ใน ภาวะเดินเครื่องปกติ

จากการนำผลอัตราการรั่วไหลสู่บรรยากาศของสารกัมมันตรังสีชนิดต่างๆ ในตาราง 13 และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เมื่อผ่านการคำนวณของ CAP88-PC สามารถแสดงผลลักษณะการกระจาย ความเข้มข้น และความเสี่ยงที่ตำแหน่งใดๆ ของสารแต่ละชนิดจำแนกไว้ตามชนิดของสารกัมมันตรังสีนั้นๆ ดังตาราง 28

ตาราง 28 ตำแหน่งที่ได้รับปริมาณรังสีสูงสุดจำแนกตามชนิดของไอโซโทป

ชนิดของไอโซโทป	โคตรังสีสูงสุด อันดับ 1 (mrem/y)	ทิศ,ระยะทาง (m)	โคตรังสีสูงสุด อันดับ 2 (mrem/y)	ทิศ,ระยะทาง (m)
Kr-85m	1.0×10^{-2}	NNW,750	8.1×10^{-3}	SSW,750
Kr-85	5.9×10^{-4}	NNW,750	4.8×10^{-4}	SSW,750
Kr-87	2.8×10^{-2}	NNW,750	2.3×10^{-2}	SSW,750
Kr-88	1.4×10^{-1}	NNW,750	1.2×10^{-1}	SSW,750
Xe-133	6.5×10^{-1}	NNW,750	5.2×10^{-1}	SSW,750
Xe-135	3.3×10^{-2}	NNW,750	2.6×10^{-2}	SSW,750
I-129	1.2×10^{-9}	NNW,750	9.6×10^{-10}	SSW,750
I-131	4.5×10^{-2}	NNW,750	3.7×10^{-2}	SSW,750
I-133	1.5×10^{-3}	NNW,750	1.2×10^{-3}	SSW,750
I-135	1.0×10^{-4}	NNW,750	1.7×10^{-4}	SSW,750
รวม	9.1×10^{-1}	NNW,750	7.3×10^{-1}	SSW,750

ตาราง 29 ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นรังสีสูงสุดจำแนกตามชนิดของไอโซโทป

ชนิดของไอโซโทป	ความเข้มข้น (pCi/m ³)	ทิศ,ระยะทาง (m)	ความเข้มข้น (pCi/m ³)	ทิศ,ระยะทาง (m)
Kr-85m	13	NNW,750	10	SSW,750
Kr-85	36	NNW,750	29	SSW,750
Kr-87	6.4	NNW,750	5.1	SSW,750
Kr-88	1.3	NNW,750	10	SSW,750
Xe-133	3700	NNW,750	3000	SSW,750
Xe-135	26	NNW,750	21	SSW,750
I-129	1.6×10^{-12}	NNW,750	1.2×10^{-12}	SSW,750
I-131	5×10^{-3}	NNW,750	4.0×10^{-3}	SSW,750
I-133	8.1×10^{-3}	NNW,750	6.5×10^{-3}	SSW,750
I-135	2.0×10^{-3}	NNW,750	1.6×10^{-3}	SSW,750

จากตารางพบว่าสารกัมมันตรังสีที่มีความเข้มข้นมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ Xe-133 , Kr-85 และ Xe-135 ตามลำดับ ความเข้มข้น Xe-133 มีค่า 3700 pCi/m^3 ในอากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า MPC_{air} คือ $1 \times 10^{-5} \text{ } \mu\text{Ci/cc}$ และในการพิจารณาโคสรังสีพบว่าค่าสูงสุดของ Xe-133 คือ 0.65 mrem/y

6.3 ปริมาณรังสีที่ระบายจากโรงไฟฟ้าขนาดต่างๆ

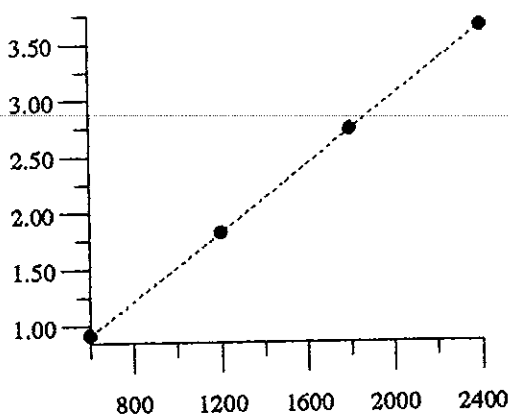
พิจารณาโดยการเพิ่มอัตราการรั่วไหลของการปลดปล่อยที่ 600 MWe พบว่าปริมาณรังสีจะสูงขึ้น แสดงได้ดังตาราง 31 และภาพประกอบ 32 สามารถหาโคสสูงสุดที่จะได้รับที่ 2400 MWe คือ 3.64 mrem/y

ตาราง 30 โคสรังสีและความเสี่ยงจากโรงไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ

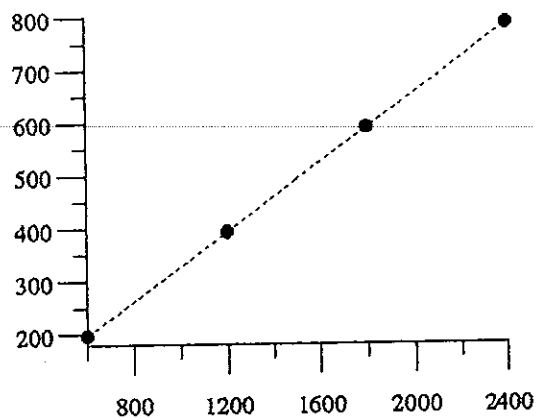
กำลังผลิต	ปริมาณรังสี (mrem/y)	ความเสี่ยงจากการเสียชีวิตจากมะเร็ง (คน ใน 10 ล้านคน)
$1 \times 600 \text{ MWe}$	0.90	196
$2 \times 600 \text{ MWe}$	1.82	393
$3 \times 600 \text{ MWe}$	2.73	589
$4 \times 600 \text{ MWe}$	3.64	785

ภาพประกอบ 30 โคสรังสีและความเสี่ยงจากโรงไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ

โคสรังสี (mrem/y)



ความเสี่ยง (คน ใน 10 ล้านคน)



กำลังผลิต (MWe)

กำลังผลิต (MWe)

ตาราง 31 โคสรังสีสูงสุดเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991

ปี ค.ศ.	โคสรังสีสูงสุด อันดับ 1 (mrem/y)	ทิศ,ระยะทาง (m)	โคสรังสีสูงสุด อันดับ 2 (mrem/y)	ทิศ,ระยะทาง (m)
1982	0.77	NNW,750	0.67	W,750
1983	0.89	NNW,750	0.73	S,750
1984	0.87	NNW,750	0.67	NW,750
1985	0.92	N,750	0.90	NNW,750
1986	1.0	NNW,750	0.82	SSW,750
1987	0.89	N,750	0.81	NNW,750
1988	1.2	N,750	0.97	NNW,750
1989	1.2	N,750	1.0	NNW,750
1990	1.2	N,750	0.92	NNW,750
1991	1.2	N,750	0.91	SSW,750
1982-1991	0.91	NNW,750	0.88	N,750

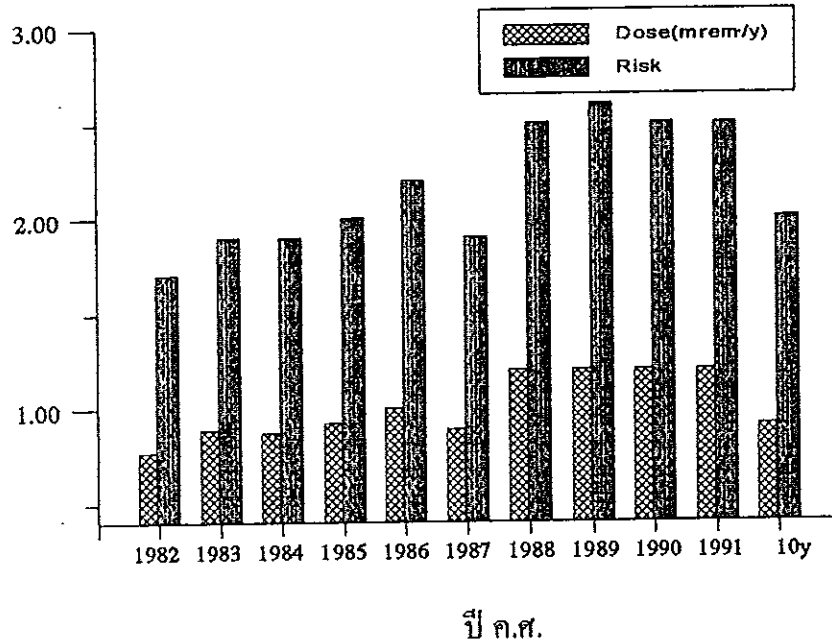
ตาราง 32 ความเสี่ยงสูงสุดเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991

ปี ค.ศ.	ความเสี่ยงสูงสุดอันดับ 1 (คน ในล้านคน)	ทิศ,ระยะทาง (m)	ความเสี่ยงสูงสุดอันดับ 2 (คน ในล้านคน)	ทิศ,ระยะทาง (m)
1982	17	NNW,750	14	W,750
1983	19	NNW,750	16	S,750
1984	19	NNW,750	15	NW,750
1985	20	N,750	20	NNW,750
1986	22	NNW,750	18	SSW,750
1987	19	N,750	17	NNW,750
1988	25	N,750	21	NNW,750
1989	26	N,750	23	NNW,750
1990	25	N,750	20	NNW,750
1991	25	N,750	20	SSW,750
1982-1991	20	NNW,750	19	N,750

ภาพประกอบ 31 โดสรังสีและความเสี่ยงเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991

โดส (mrem/y)

ความเสี่ยง (คน ใน แสนคน)

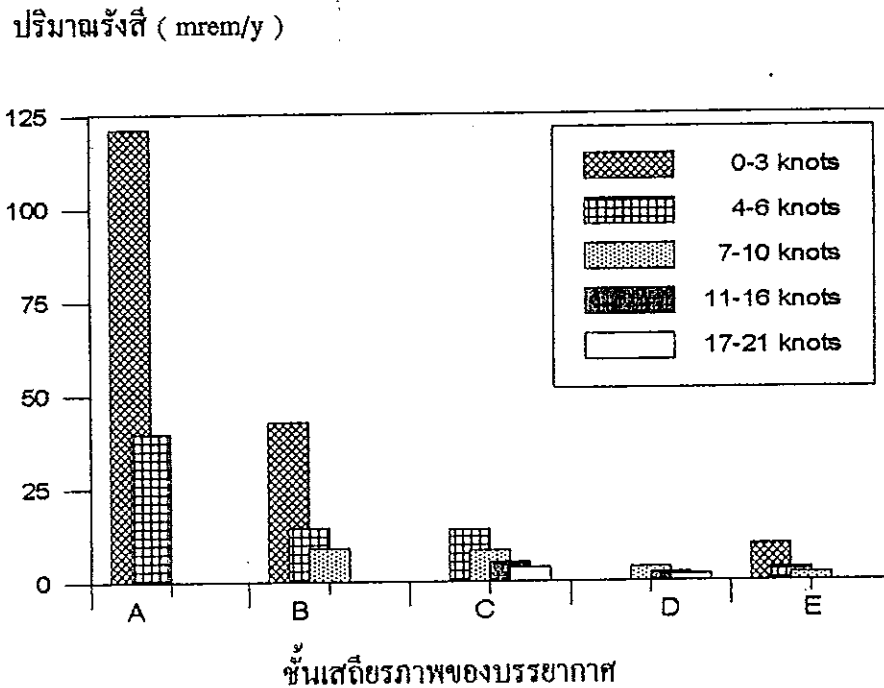


6.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีและความเข้มข้นสารกัมมันตรังสีกับเสถียรภาพของบรรยากาศและความเร็วของลม

จากการศึกษาข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษา 10 ปี โดยใช้แบบจำลองพบว่า ปริมาณรังสีที่ได้รับสูงสุดอยู่ที่ระยะห่างจากที่ตั้ง 750 เมตร ทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ จึงได้สมมุติให้มีทิศทางของลมที่ทำให้เกิดความเสียหายสูงสุดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ก่อนไปทางใต้ (SSE) เพียงทิศทางเดียว เพื่อคาดคะเนหาปริมาณรังสีที่ได้รับในช่วงระยะเวลาที่ลมพัดผ่าน และทำให้เกิดความเสี่ยงเฉลี่ยสูงสุด

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม ปริมาณรังสี กับ เสถียรภาพของบรรยากาศ แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 32

ภาพประกอบ 32 ปริมาณรังสี ความเร็วลม และชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศที่ระยะห่าง
จากที่ตั้ง 750 เมตร ทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ



จากภาพประกอบ 32 แสดงปริมาณรังสีที่ระยะ 750 เมตร จากจุดปล่อย พบว่าระดับชั้นบรรยากาศ A ซึ่งมีความแปรปรวนของบรรยากาศมากจะมีการกระจายได้ดีที่สุด เมื่อความเร็วลมต่ำ โอกาสที่ประชากรจะได้รับรังสีในปริมาณที่สูงมากกว่าที่ความเร็วลมสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายเกิดขึ้นที่ระยะไกล ๆ กับจุดปล่อย ในระดับชั้นบรรยากาศเดียวกันจะมีการกระจายกว้างขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นทำให้ปริมาณรังสีที่ได้รับต่ำลง และระดับชั้นบรรยากาศที่มีความแปรปรวนน้อยกว่ามีโอกาสเกิดกระจายไปได้ที่ระยะไกล ๆ ปริมาณรังสีที่ได้รับที่ระยะนี้จึงลดน้อยลง

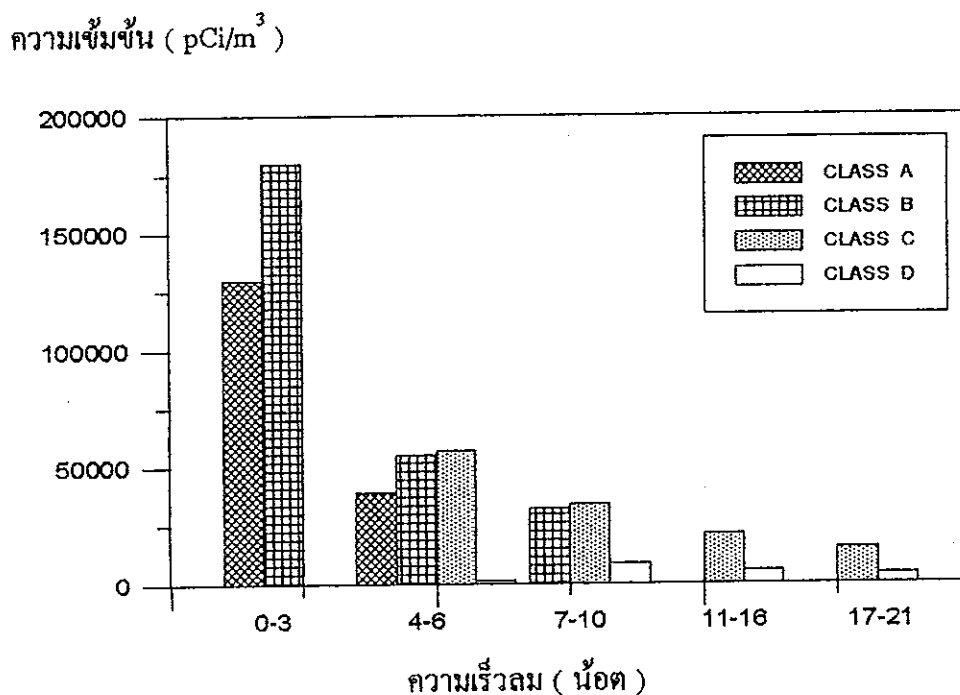
ในกรณีความเร็วลม 0-3 น็อต ระดับชั้นบรรยากาศเป็น A พบว่าปริมาณรังสีที่ประชากรมีโอกาสได้รับที่ระยะ 750 เมตร มีค่า 121 มิลลิเรมต่อปี นั่นคือถ้ามีลมอ่อนๆพัดผ่านจากทิศ SSE ไปยังทิศ NNW ตลอดปี ประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวจะได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ย 121 มิลลิเรมต่อปี หรือคิดเป็นปริมาณรังสีที่ได้รับ 0.33 มิลลิเรมต่อวัน หรือ 0.014 มิลลิเรมต่อชั่วโมง

ในการศึกษาปริมาณรังสีที่ระยะ 750 เมตร ชนิดของไอโซโทปที่ให้ปริมาณรังสีสูงสุด 3 อันดับแรก คือ Xe-133 , Kr-88 , I-131 ในที่นี้ได้เลือกพิจารณาเฉพาะความเข้มข้น

ของ Xe-133 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น ปริมาณรังสีที่ได้รับ ระดับชั้นบรรยากาศ และความเร็วลม

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่ระดับความเร็วลมต่าง ๆ ในแต่ละระดับชั้นแสดงไว้ในภาพประกอบ 33

ภาพประกอบ 33 ความเข้มข้นของ Xe-133 และความเร็วลมในแต่ละชั้นบรรยากาศที่ระยะห่างจากจุดปล่อย 750 เมตร

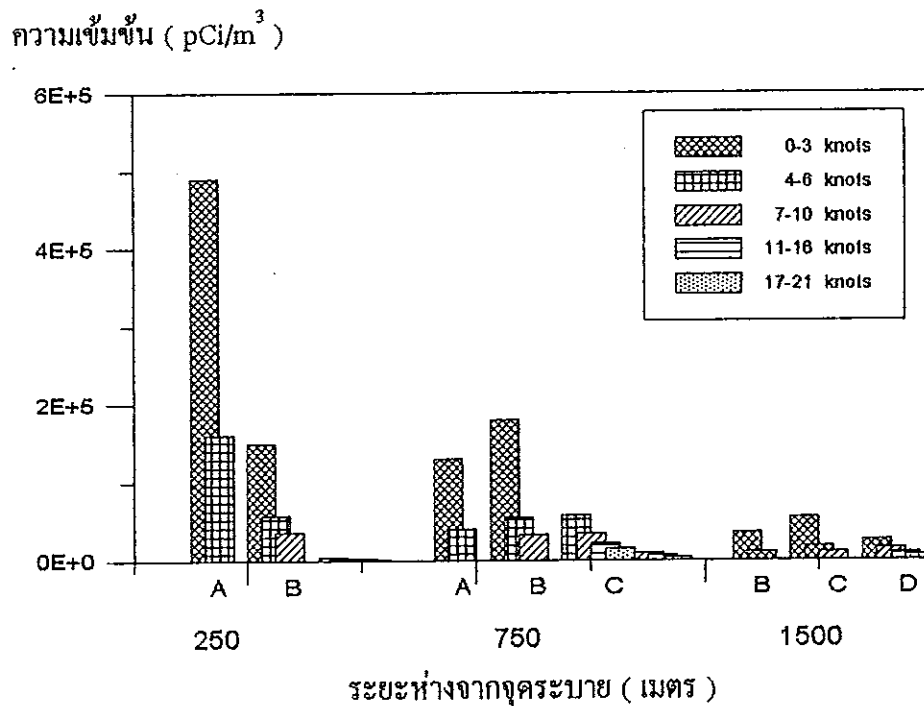


จากภาพประกอบ 33 ความเข้มข้นของ Xe-133 ที่ระยะ 750 เมตร ทิศ NNW ระดับชั้นบรรยากาศ B มีโอกาสที่จะทำให้เกิดความเข้มข้น สูงสุดเมื่อความเร็วลม 0-3 น็อต และเมื่อชั้นบรรยากาศมีเสถียรภาพสูงขึ้นความเข้มข้นที่บริเวณดังกล่าวจะน้อยลง ความเข้มข้นสูงสุดของ Xe-133 ที่ระดับชั้นบรรยากาศ B มีค่า 1.8×10^5 pCi/m³ หรือ 1.8×10^{-7} μ Ci/cm³ ซึ่งต่ำกว่า MPC 3×10^{-6} μ Ci/cm³

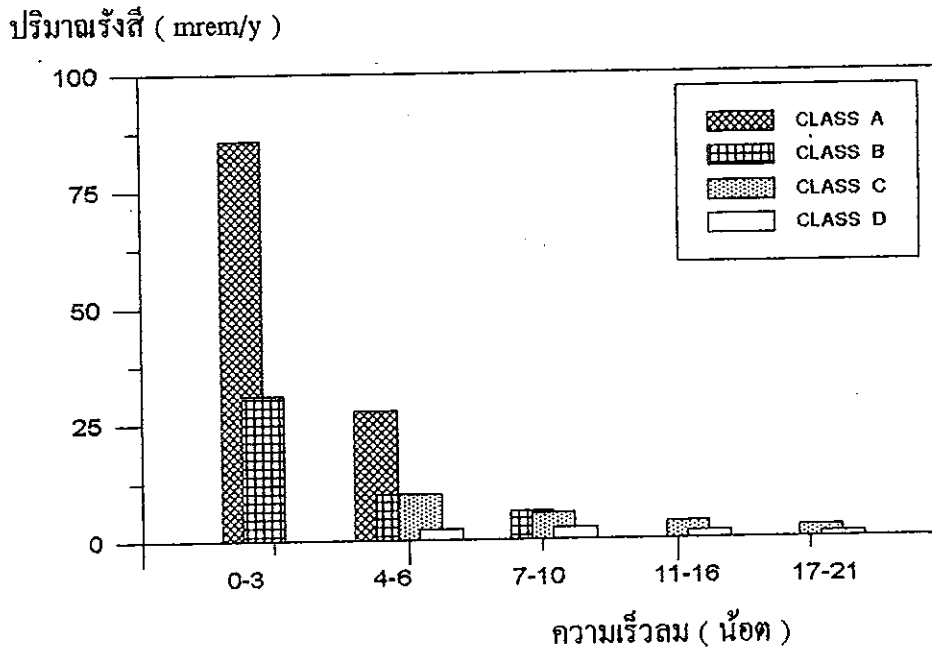
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่ระยะต่างๆของ Xe-133 พบว่าความเข้มข้นที่ระยะ 250 เมตร ระดับชั้นบรรยากาศ A มีค่าสูงที่สุดและจะลดลงเมื่อระยะห่างมากขึ้น ถ้าบรรยากาศอยู่ในสภาวะเสถียรจะทำให้เกิดความเข้มข้นสูงสุดที่ระยะห่างจากปล่องระบายมากขึ้นในระดับชั้นบรรยากาศเดียวกัน ในระดับชั้นบรรยากาศ F มีเสถียรภาพสูงมีการกระจาย

น้อยลมสงบ ดังนั้นจึงมีผลให้ Xe-133 ถูกพัดพาไปในทิศทางตามลมได้ในระยะไกล จากการศึกษาคั้งนี้ที่ระดับชั้นบรรยากาศ B และ F จะเกิดความเข้มข้นสูงสุดที่ระยะ 6500 เมตรมีค่า 9100 pCi/m³ ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นสูงสุดที่ระยะใกล้ๆและเมื่อความเร็วลมสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณรังสีที่เกิดจาก Xe-133 มีค่าลดลง ดังภาพประกอบ 34 และภาพประกอบ 35

ภาพประกอบ 34 ความเข้มข้นของ Xe-133 ระยะห่างจากจุดระบาย ความเร็วลม ที่ระดับชั้น
เสถียรภาพของบรรยากาศต่างๆ



ภาพประกอบ 35 ปริมาณรังสี ความเร็วลม และระดับชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ



ผลการศึกษาปริมาณกัมมันตรังสีที่ระบายจากโรงไฟฟ้าชนิด PWR ขนาด 1000 MWe พบว่าปริมาณกัมมันตรังสีในวัสดูระบายความร้อน 627 Ci/y เมื่อพิจารณาด้วยแบบจำลองใช้ข้อมูล อุตุนิยมหาวิทยาลัย 10 ปี และในกรณีศึกษาจากวัสดูระบายความร้อนรั่วไหลออกสู่บรรยากาศ ทั้งหมด พบว่าความเข้มข้นในบรรยากาศที่ระยะ 750 เมตร มีค่าเป็น 13 pCi/m³ หรือ 0.48 Bq/m³ หรือ ซึ่งปริมาณดังกล่าวไม่แตกต่างจากสภาพแวดล้อมทั่วไปคือ 0.3-0.4 pCi/m³

6.5 การจำลองลักษณะการแพร่กระจาย โดสรังสี และความเสี่ยงที่เกิดจากก๊าซ

กัมมันตรังสีของโรงไฟฟ้า ขนาดกำลังผลิต 600 MWe ในภาวะเดินเครื่องปกติ

ได้แบ่งการศึกษาเป็น 3 ลักษณะคือ

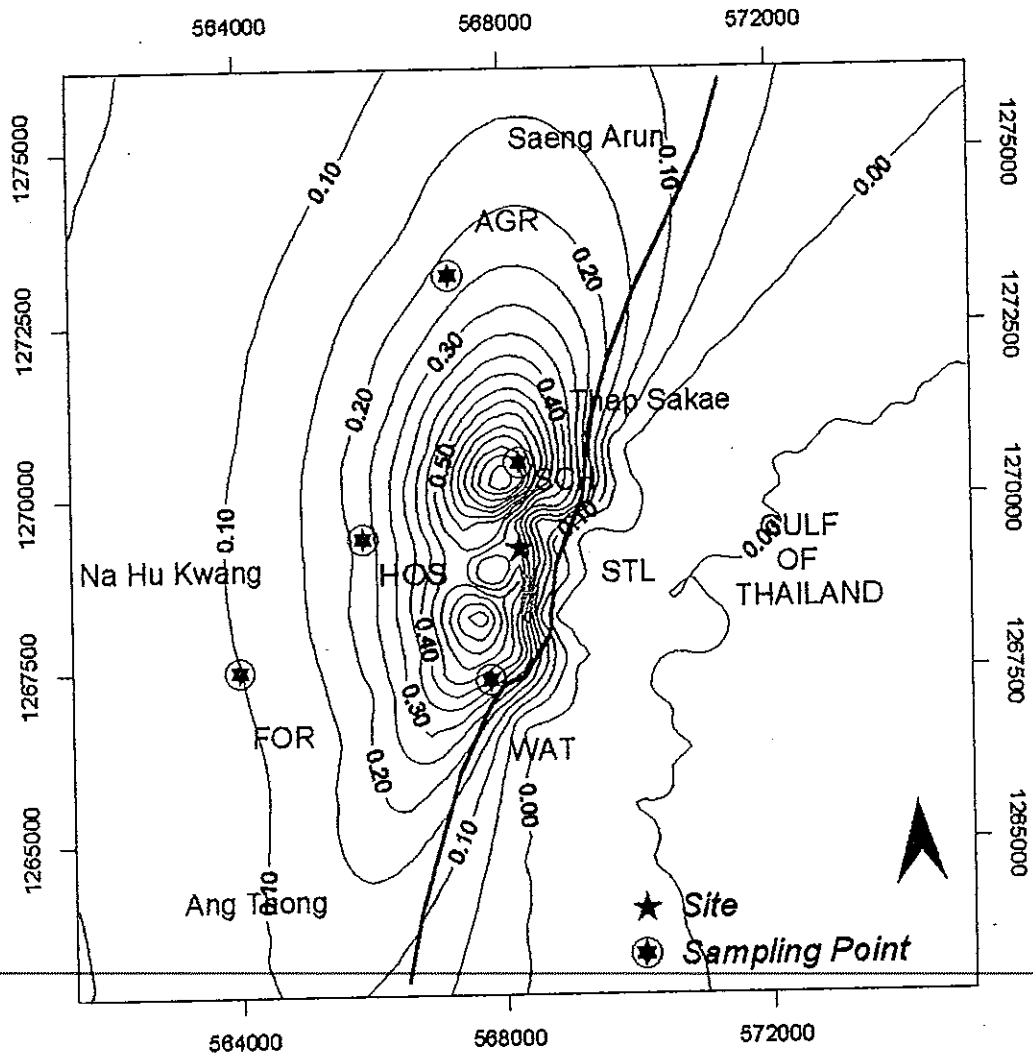
(1) โดสรังสีรวม (mrem/y) ที่ประชากรได้รับระยะ 5 และ 20 กิโลเมตร ที่ กำลังผลิต 600 และ 2400 MWe

(2) ความเข้มข้น (pCi/m³) ที่ระดับพื้นดินระยะ 5 และ 20 กิโลเมตร จำแนก ตามไอโซโทปรังสี

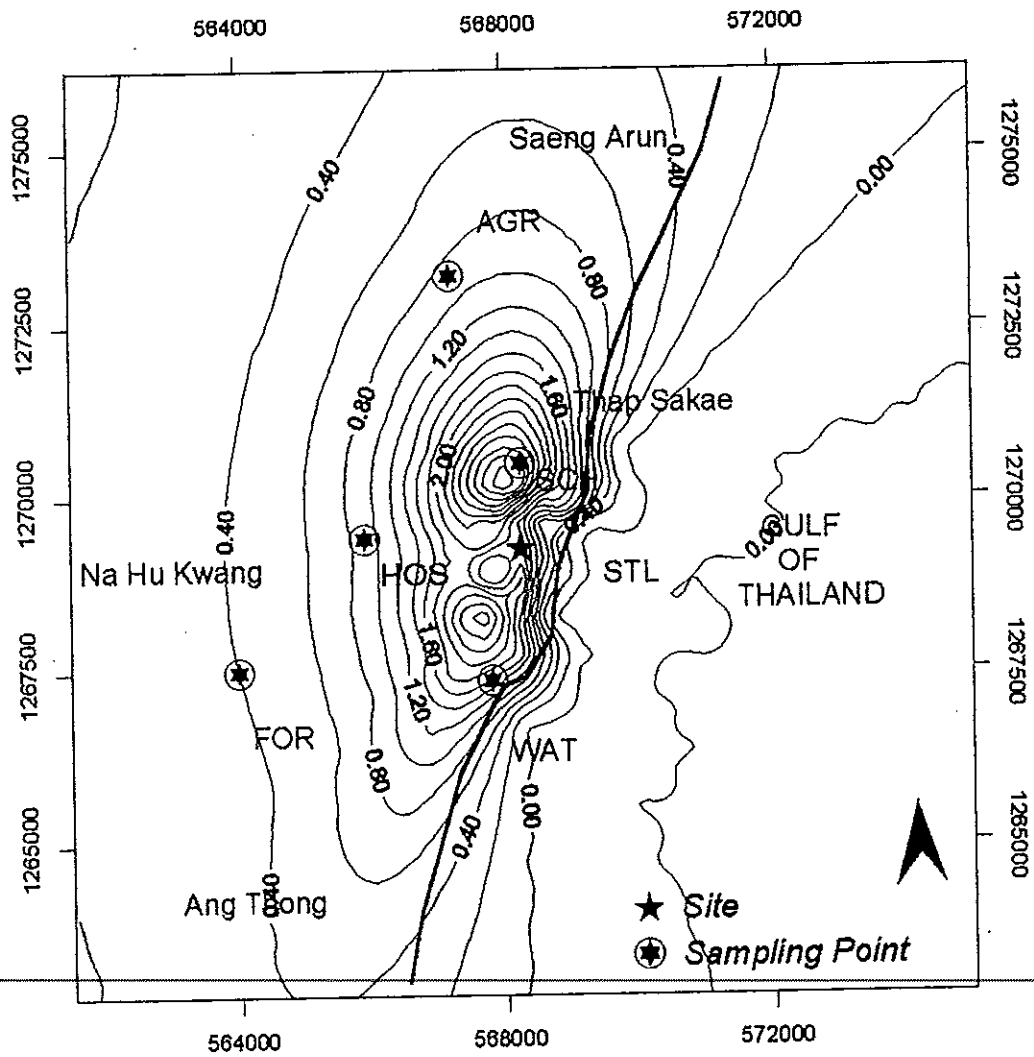
(3) การสมมุติการแพร่กระจายตามฤดูกาล

ผลการจำลองแสดงได้ดังภาพประกอบ 36-40

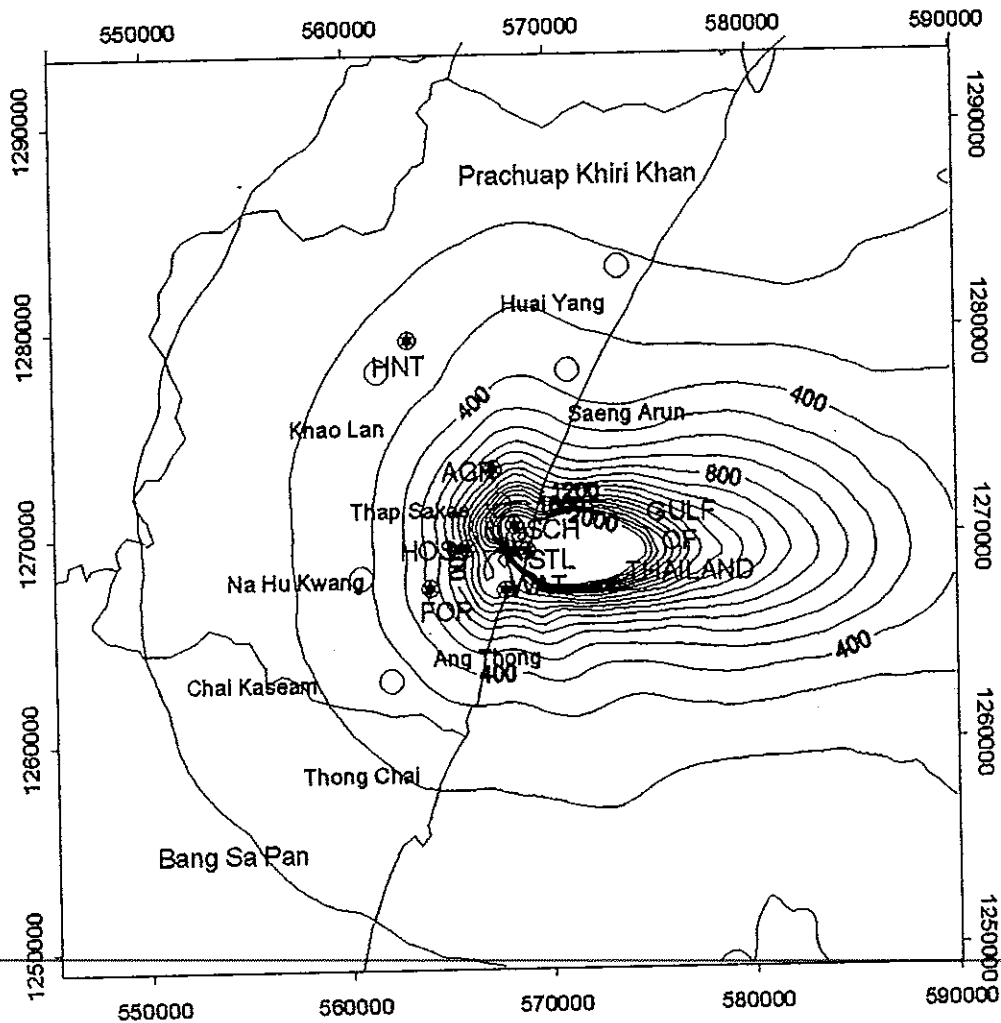
ภาพประกอบ 36 โดสรังสี (mrem/y) ที่ประชากรจะได้รับในบริเวณต่าง ๆ จากการระบายของสารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe



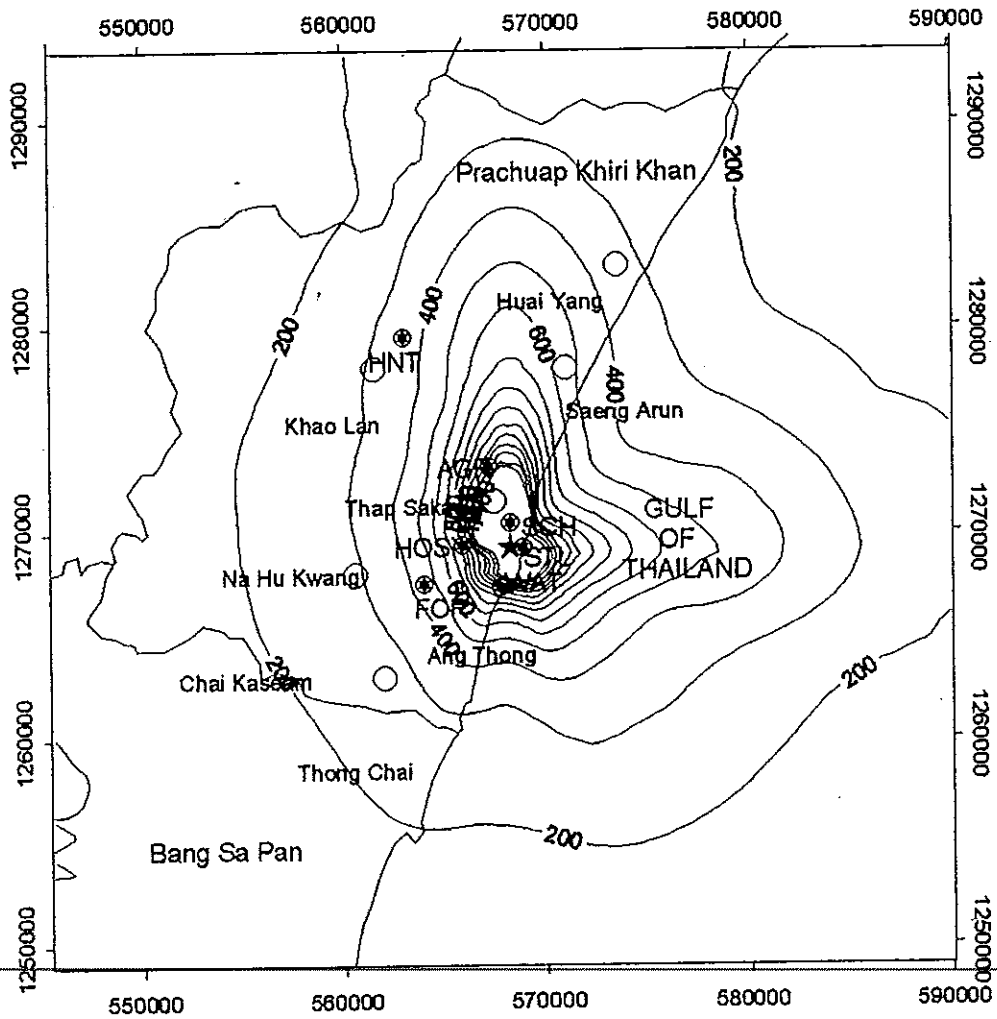
ภาพประกอบ 37 โดสรังสี (mrem/y) ที่ประชากรจะได้รับในบริเวณต่าง ๆ จากการระบายของ
สารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 2400 MWe



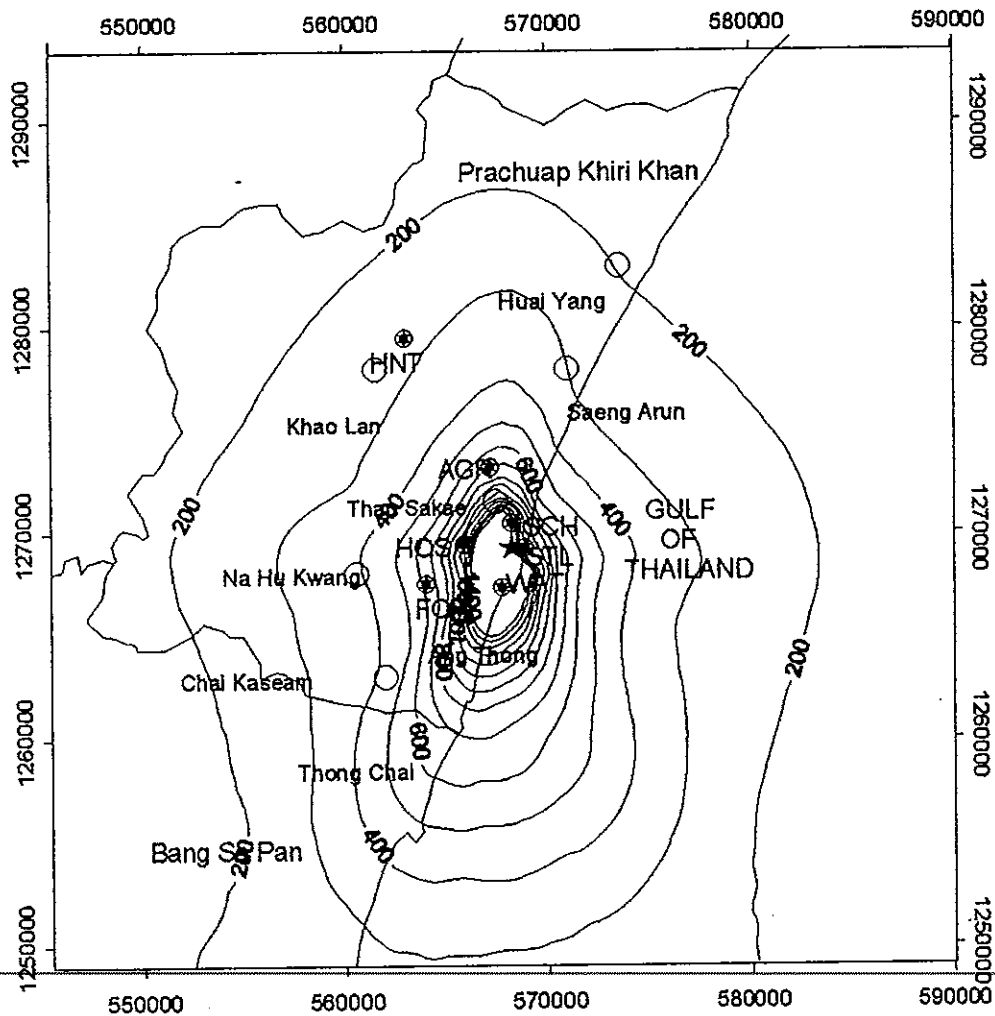
ภาพประกอบ 38 ความเข้มข้นของ Xe-133 (pCi/m^3) ในอากาศที่ระดับพื้นดินบริเวณต่าง ๆ
รัศมี 20 กิโลเมตร รอบ ๆ บริเวณ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe เมื่อ
สมมุติเป็นจุดศูนย์กลางเพื่อศึกษาทิศทางการแพร่กระจาย



ภาพประกอบ 39 ความเข้มข้นของ Xe-133 (pCi/m^3) ในอากาศที่ระดับพื้นดินบริเวณต่าง ๆ
รัศมี 20 กิโลเมตร รอบ ๆ บริเวณโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe เมื่อ
สมมุติเป็นฤดูร้อนเพื่อศึกษาทิศทางการแพร่กระจาย



ภาพประกอบ 40 ความเข้มข้นของ Xe-133 ($\mu\text{Ci}/\text{m}^3$) ในอากาศที่ระดับพื้นดินบริเวณต่าง ๆ
รัศมี 20 กิโลเมตร รอบ ทุบบริเวณ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe เมื่อ
สมมุติเป็นฤดูหนาวเพื่อศึกษาทิศทางการแพร่กระจาย



บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

บทวิจารณ์

ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสี Kr-85m, Kr-85, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-135, I-129, I-131 และ I-135 ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีที่ระเหยจากปล่องระบายอากาศ โดยใช้ข้อมูลประชากร เกษตรกรรม และสภาพทางอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยปี ค.ศ. 1982-1991 ของบริเวณพื้นที่ที่ศึกษา ปริมาณ โดสรังสีที่คาดคะเนมีค่าเฉลี่ย 0.91 mrem/y ระยะห่างจากที่ตั้ง 750 เมตรทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ (NNW) ในขณะที่ความเสี่ยงของการเสียชีวิตเนื่องจากมะเร็งของแต่ละบุคคลตลอดระยะเวลาที่อาศัยอยู่มีค่าอยู่ระหว่าง 17-26 คนในล้านคน หรือความเสี่ยงในการเสียชีวิตเนื่องจากมะเร็ง ของประชากรทั้งหมดประมาณ 0.002 คนต่อปี ผลดังกล่าวเป็นโอกาสที่จะได้รับปริมาณรังสีสูงสุด ที่เกิดขึ้นเมื่ออาศัยอยู่ใกล้กับโรงไฟฟ้า นิวเคลียร์ขนาดกำลัง 600 MWe และสมมุติให้มีความบกพร่องที่แท่งเชื้อเพลิง 1% เล็ดลอดเข้าสู่ระบบระบายความร้อน ในขณะที่กำลังผลิต 2400 MWe โดสรังสีที่มีโอกาสได้รับสูงสุดคือ 3.64 mrem/y ความเสี่ยง 785 คนใน 10 ล้านคนมีโอกาสเสียชีวิตเนื่องจากโรคมะเร็ง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีที่ได้รับจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ 2 mrem/y (Eichholz, 1977) และ โดสรังสีจากรังสีคอสมิก 50 mrem/y จากการรักษาโรคประมาณ 90 mrem/y และปริมาณรังสีที่เป็นข้อกำหนดความปลอดภัยของ ICRP ก็ต้องได้รับไม่เกิน 500 mrem/y สำหรับบุคคลทั่วไป จึงถือว่าในภาวะเคินเครื่องปกติไม่ได้ทำให้เกิดอันตรายต่อประชากร สำหรับความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตด้วยมะเร็งของประชากรแต่ละคนมีค่า 198 คน ใน 10 ล้านคน เป็นค่านี้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุ เช่นในปี พ.ศ. 2537 มีผู้เสียชีวิตเนื่องจากอุบัติเหตุ 15,176 คน คิดเป็นความเสี่ยงในการเสียชีวิตเนื่องจากอุบัติเหตุ 2533 คน ใน 10 ล้านคนต่อปี

ลักษณะการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสี และ โดสรังสีที่เกิดจากสารกัมมันตรังสีแต่ละชนิดจะต่างกันเนื่องจากครึ่งชีวิตชนิดของรังสี และผลทางชีวภาพของสารนั้นๆ

ผลการศึกษากการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีจากการจำลองสภาพทางอุตุนิยมวิทยาเป็นฤดูกาลต่าง ๆ โดยสมมุติให้เป็นฤดูหนาว ฤดูฝน และ ฤดูร้อน พบว่าในช่วงฤดูฝนคือ

กลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม แนวโน้มการกระจายไปทางทิศตะวันออก บริเวณที่มีโอกาสได้รับสูงสุดคือ ทิศเหนือห่างจากที่ตั้งเป็นระยะ 750 เมตร

ในช่วงฤดูร้อน คือกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม แนวโน้มการกระจายไปทางทิศเหนือ บริเวณที่มีโอกาสได้รับรังสีสูงสุดคือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ (NNW) ห่างจากที่ตั้งเป็นระยะ 750 เมตร

ในช่วงฤดูหนาว คือกลางเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ แนวโน้มการกระจายไปทางทิศใต้ บริเวณที่มีโอกาสได้รับรังสีสูงสุดคือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ก่อนไปทางใต้ (SSW) ห่างจากที่ตั้งเป็นระยะ 750 เมตร

สรุปผล

ในการศึกษาลักษณะการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ โดยแบบจำลอง CAP88-PC สามารถคาดคะเนความเข้มข้น ปริมาณรังสีที่ได้รับ และความเสี่ยง ของประชากรที่อาศัยอยู่รอบๆ แหล่งกำเนิดได้จากอัตราการปลดปล่อยสารกัมมันตรังสีประจำปี การปลดปล่อยสารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นตัวอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นที่ห่วงใยของบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย จากผลการวิจัย พบว่าปริมาณรังสีสูงสุดที่ได้รับจากการปลดปล่อยสารกัมมันตรังสีของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 600 MWe ในภาวะเดินเครื่องปกติโดยสมมุติให้มีความบกพร่องที่แท่งเชื้อเพลิง 1 % มีค่า 0.91 mrem/y และเมื่อให้กำลังผลิตสูงขึ้นเป็น 4,000 MWe ปริมาณรังสีที่มีโอกาสจะได้รับสูงสุดมีค่าเป็น 3.64 mrem/y ซึ่งต่ำกว่าค่า MPD ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 500 mrem/y สำหรับบุคคลทั่วไป การคาดคะเนบริเวณที่มีโอกาสได้รับความเข้มข้นสูงสุด มีประโยชน์ในการวางแผนตรวจสอบ ควบคุม หรือ การอพยพประชากร ในกรณีที่มีการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสีที่อาจเกิดขึ้นจากอุบัติเหตุ หรือเหตุอื่นใดที่ทำให้รั่วไหลสู่บรรยากาศ ซึ่งต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียดต่อไป การศึกษาปริมาณรังสีภูมิหลังในดินโดยสเปกตรัมรังสีแกมมา ปริมาณทริเทียม และคาร์บอน-14 ในบรรยากาศ เป็นประโยชน์ในการเปรียบเทียบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกัมมันตรังสี ทั้งในกรณีการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ หรือ กรณีเทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลจากการคำนวณการระบายของสารกัมมันตรังสีจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดต่างๆหลายๆกรณี
2. ควรศึกษาปริมาณกัมมันตรังสีในบรรยากาศ
3. ควรศึกษาการแพร่กระจายของฝุ่นกัมมันตรังสีอื่นๆที่เป็น fission products นอกเหนือไปจากก๊าซกัมมันตรังสี
4. ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกัมมันตภาพรังสีในแม่น้ำ ทะเล ที่เกิดจากการแพร่กระจายของฝุ่นและสารกัมมันตรังสีสู่บรรยากาศ
5. ควรศึกษาโครงสร้างที่มีโอกาสจะได้รับ เมื่อเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

บรรณานุกรม

คณะกรรมการสภาผู้แทนราษฎร. 2537. "รายงานการศึกษาการนำพลังงานนิวเคลียร์มาผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย". การไฟฟ้าฝ่ายผลิต : ฝ่ายประชาสัมพันธ์. (สำเนา)

คุณหญิง ทันทวิวัฒนานนท์, สมบุญ จิระกาญจน์, ลภชัย สิริภิมย์, โกมล เขียวสกุล และ พิสิฏฐ์ สุนทรภักย์. 2531. "ปริมาณตรีเทียมในบริเวณก้นอากาศ", สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. (สำเนา)

เทิดทูน ทองเจิม. 2538 "การวิเคราะห์ไอโซโทปกับมันตรังสีและจำแนกชนิดสารประกอบพื้นฐานในฝุ่นภูเขาไฟปีนาตูกโบ". สงขลา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

แผนที่ทหาร, กรม. 2515. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ระวัง 4931I-4931IV, 4932III และ 4832III. กรุงเทพฯ : กรมแผนที่ทหาร.

สุชาติ มงคลพันธุ์. 2537. "มารู้จักโรงไฟฟ้านิวเคลียร์กันเถอะ", ใน รายงานการประชุมทางวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 5 21-23 พฤศจิกายน 2537 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. หน้า 20. กรุงเทพฯ : กุรุสภา.

อนุรักษ์ ชารศิริโรจน์. 2520. "ศึกษาและคำนวณปริมาณสารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้าปรมาณูขนาด 600 MWe แบบ PWR ในภาวะเดินเครื่องปกติ", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (สำเนา)

2536. "ชี้ภาคใต้เหมาะที่สุดสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์", ผู้จัดการ. 9 กรกฎาคม 2536.

Drapchinskij L.V.,1988. "Nuclear Data for Calculation of Tritium Production in Nuclear Power Reactor". ,IAEA,Vienna : p 39-47.

Eichholz G.G. 1977. Environmental Aspects of Nuclear Power. 2d ed. Michigan : Ann Arbor Sciences Publishers, Inc.

Hamby D.M. 1993. "A Probabilistic Estimation of Atmospheric Tritium Dose". *Health Physics*. Vol 65, No 1. p 33-39

Okada S., et al. 1993 "Overview of Tritium, Characteristics, Sources and Problems". *Health Physics*, 65(6) : p 595-609.

Onega R.J. 1975. An Introduction to Fission Reactor Theory. Virginia : Physical Biology Sciences Ltd.

Parks B.S.,1992. "User's Guide for Cap88-pc Version 1.0". U.S. Environmental Protection Agency : Las Vegas.

Pederson E.S. 1982. Nuclear Power. 4th ed. Volume 1 Nuclear Power Plant Design, Michigan : Ann Arbor Sciences Publishers, Inc.

Segre E. 1977. Nuclei and Particles. 2d ed. Cannada : W.A. Benjamin, Inc.

Wood, M.J., et al. 1993. "Tritium Sampling and Measurement". *Health Physics*, 65(6): p.610-627.

Zach R. and Sheppard S.C. 1991, "Food Chain and Dose model, Caldos, For Assessing Cannada's Nuclear Fuel management Concept". *Healths Physics* Vol 60, No.5 (May),pp643-656.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การจัดรูปแบบข้อมูลประชากร

เริ่มต้นตำแหน่งแถวที่ 1 ด้วยเครื่องหมาย \$ และตามด้วยรายละเอียดต่างๆเช่นชื่อไฟล์ เส้นรุ้ง เส้นแวง หรือข้อความอื่นๆ เช่น NSEC = 16 หมายถึง 16 ทิศทาง NRADS = 15 คือ จำนวนระยะห่างของข้อมูล โดยความสำคัญอยู่ที่ \$ และ ตัวเลข 2 ตำแหน่งที่บอกระยะ ต้องอยู่ในตำแหน่งคอลัมน์ที่ 68 และ 69 เท่านั้น

ตัวอย่างรูปแบบ

แถวที่ 1 \$ THAP SAKAE LAT= LON= NSEC=16 NRADS= 15

(หมายเลข 1 ต้องอยู่ที่ตำแหน่งคอลัมน์ที่ 68 และหมายเลข 5 ต้องอยู่ที่ตำแหน่งคอลัมน์ที่ 69)

แถวที่ 2 เริ่มต้นด้วยขอบเขตของระยะห่างหน่วยเป็นกิโลเมตร ซึ่งในการคำนวณจะหาค่ากลางไปคำนวณ ในการแบ่งจะวางตำแหน่งข้อมูลแถวละ 8 ค่าในจำนวน 80 คอลัมน์ของแต่ละแถว โดยกำหนดให้ตัวเลขหรือสัญลักษณ์ตัวเลขท้าย วางอยู่ในตำแหน่งคอลัมน์ที่ 10 , 20 , 30 ,... ไปจนกระทั่งถึงคอลัมน์ที่ 80

หลังจากสิ้นสุดค่าสุดท้ายของจำนวนระยะห่างแล้ว ขึ้นแถวใหม่เริ่มต้นคอลัมน์ที่ 1 ด้วยจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวในทิศเหนือ โดยให้ตำแหน่งจุดอยู่หลังตัวเลขทุกครั้งและตรงกับหมายเลขสุดท้ายของคอลัมน์ในแถวบน ถ้าไม่มีประชากรอาศัยอยู่จะใส่เลข 0 ต่อไปจนครบ 20 ค่า ตามด้วยทิศ NNW และทิศต่อไปทวนเข็มนาฬิกา จนกระทั่งถึงทิศ NNE เก็บลงเพิ่มข้อมูล .POP

ตัวอย่างการจัดรูปแบบ

\$ TAPAKAE STATE									
					NSEC=16 NRDS=15				
0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0		
8.0	9.0	10.0	12.0	14.0	16.0	20.0			
5.	35.	1131.	2088.	1113.	572.	654.	741.		
527.	373.	360.	668.	598.	1034.	2601.	0.		
0.	0.	0.	0.	5.	35.	1249.	561.		
797.	402.	518.	356.	236.	366.	434.	462.		
251.	212.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
5.	35.	189.	278.	1032.	869.	576.	145.		
318.	151.	98.	349.	203.	257.	546.	0.		
0.	0.	0.	0.	5.	25.	93.	133.		
228.	178.	135.	116.	605.	281.	405.	450.		
450.	103.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
5.	25.	93.	150.	228.	162.	96.	120.		
151.	141.	218.	397.	292.	291.	1121.	0.		
0.	0.	0.	0.	5.	20.	93.	126.		

ภาคผนวก ข

เสถียรภาพของบรรยากาศ

การแบ่งชนิดเสถียรภาพของบรรยากาศ สามารถแบ่งระดับชั้นเสถียรภาพได้ 6 ระดับ
ชั้นคือ A B C D E F ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญต่อการกระจายคือ กำลังลม ทิศทางลม
ปริมาณเมฆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบในการจัดระดับชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ ในการจัดระดับ
ชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศสามารถใช้เงื่อนไขในตาราง 1

ตาราง 1 การแบ่งชนิดเสถียรภาพของบรรยากาศ

ความเร็วลม (m/s) ¹	กลางวัน ระดับของแสง			กลางคืน ปริมาณเมฆ ⁵	
	มาก ² strong	กลาง ³ moderate	น้อย ⁴ slight	มาก >=4/8	น้อย <=3/8
< 2	A	A - B ⁶	B	E	F
2-3	A - B	B	C	E	F
3-5	B	B - C	C	D	E
5-6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

¹ ที่มา : Turner, 1970

A : Very unstable B : Moderately unstable C : Slightly unstable

D : Neutral E : Slightly stable F : Moderately stable

¹ วัดที่ระดับ 10 m เหนือพื้นดิน

² ควงอาทิตย์อยู่สูงกว่า 60 องศาคือเวลาทำการวัด 1300 น ถ้าปริมาณเมฆน้อยกว่า
3/8 ส่วนของท้องฟ้า จัดให้เป็นระดับความเข้มแสงมาก (strong) และถ้าปริมาณเมฆมากกว่า
หรือเท่ากับ 4/8 จัดเป็นระดับความเข้มของแสงน้อย (slight)

³ ควงอาทิตย์อยู่สูงกว่า 35 องศา ต่ำกว่า 60 องศา ตรงกับเวลาทำการวัด 1000 น ถ้า
ปริมาณเมฆน้อยกว่า 3/8 ของท้องฟ้าจัดระดับความเข้มของแสงเป็นระดับกลาง (moderate) และ
ถ้าปริมาณเมฆมากกว่าหรือเท่ากับ 4/8 ระดับความเข้มของแสงน้อยลงเป็นระดับต่ำ (slight) โดย

ให้อยู่ในชั้นเสถียรภาพ C เมื่อความเร็วลมน้อยกว่า 2 m/s และถ้าความเร็วลมมากกว่า 2 m/s จัดเป็นชั้นเสถียรภาพ D ทั้งหมด

4 ดวงอาทิตย์อยู่สูงกว่า 15 องศา ต่ำกว่า 35 องศา ตรงกับเวลาทำการวัด 1600 และ 0700 น ถ้าปริมาณเมฆมากกว่า 4/8 จัดระดับความแจ่มแสงเช่นเดียวกับข้อ 3

5 สัดส่วนของเมฆบนท้องฟ้า ในเวลากลางคืน 0100 , 0400 , 1900 , 2200 น

6 เฉลี่ยระหว่าง class ทั้งสอง (A - B, B - C, C - D)

ทั้งในกรณีกลางวันและกลางคืนถ้าปริมาณเมฆเต็มท้องฟ้า คือ 8/8 ส่วน จะให้อยู่ในระดับชั้นเสถียรภาพ D ทั้งหมด

ภาคผนวก ค

การจัดรูปแบบข้อมูลลม (WINDFILES)

รูปแบบ WINDFILES มีลักษณะดังนี้

กอดัมน์	ปริมาณ
1	ที่ว่าง
2-4	ทิศทางลม
5	ที่ว่าง
6	ระดับชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ
7	ที่ว่าง
8	เริ่มสกัดส่วนความเร็วลม
8-14	สกัดส่วนความเร็วลม 1-3 นี้อต
15-21	สกัดส่วนความเร็วลม 4-6 นี้อต
22-28	สกัดส่วนความเร็วลม 7-10 นี้อต
29-35	สกัดส่วนความเร็วลม 11-16 นี้อต
36-42	สกัดส่วนความเร็วลม 17-21 นี้อต
43-49	สกัดส่วนความเร็วลม >21 นี้อต

ตัวอย่างการจัดรูปแบบข้อมูล

```

N A 0.000440.000290.000000.000000.000000.000000
NNE A 0.000610.000780.000000.000000.000000.000000
NE A 0.000570.000990.000000.000000.000000.000000
ENE A 0.000480.000580.000000.000000.000000.000000
E A 0.001200.002050.000000.000000.000000.000000
ESE A 0.001280.001000.000000.000000.000000.000000
SE A 0.001410.001540.000000.000000.000000.000000
SSE A 0.001570.001820.000000.000000.000000.000000
S A 0.000780.001030.000000.000000.000000.000000
SSW A 0.000400.000040.000000.000000.000000.000000
SW A 0.000360.000080.000000.000000.000000.000000
WSW A 0.000250.000170.000000.000000.000000.000000
W A 0.000540.000150.000000.000000.000000.000000
WNW A 0.000320.000280.000000.000000.000000.000000
NW A 0.000320.000080.000000.000000.000000.000000
NNW A 0.000640.000170.000000.000000.000000.000000

```

N B 0.002810.001300.000400.000000.000000.000000
 NNE B 0.003250.002520.003450.000000.000000.000000
 NE B 0.002470.002160.002300.000000.000000.000000
 ENE B 0.002620.001310.001120.000000.000000.000000
 E B 0.004020.001720.000890.000000.000000.000000
 ESE B 0.003070.001590.000510.000000.000000.000000
 SE B 0.003350.002670.002170.000000.000000.000000
 SSE B 0.003400.003050.004940.000000.000000.000000
 S B 0.003210.002790.003450.000000.000000.000000
 SSW B 0.002710.000470.000000.000000.000000.000000
 SW B 0.002490.000440.000040.000000.000000.000000
 WSW B 0.002890.000890.000360.000000.000000.000000
 W B 0.003300.001430.000680.000000.000000.000000
 WNW B 0.002910.000700.000560.000000.000000.000000
 NW B 0.002710.000470.000090.000000.000000.000000
 NNW B 0.003710.000480.000000.000000.000000.000000
 N C 0.005450.002340.001270.001300.000080.000000
 NNE C 0.005030.004110.006030.005080.000430.000000
 NE C 0.004330.003570.004810.003350.000040.000000
 ENE C 0.004280.002620.002190.000670.000000.000000
 E C 0.005080.004320.001870.000080.000000.000000
 ESE C 0.005220.002720.001370.000210.000000.000000
 SE C 0.005480.004260.004440.002460.000040.000000
 SSE C 0.006010.004410.010110.012610.000310.000000
 S C 0.006300.005080.008160.011120.000130.000004
 SSW C 0.004960.000850.000240.000130.000000.000000
 SW C 0.004530.000760.000190.000040.000000.000000
 WSW C 0.005780.003280.000880.000120.000000.000000
 W C 0.007000.005900.005760.000790.000000.000000
 WNW C 0.004900.002620.003060.000640.000040.000000
 NW C 0.004830.000490.000650.000160.000000.000000
 NNW C 0.005020.000390.000110.000040.000000.000000
 N D 0.006340.004680.003930.002920.000150.000004
 NNE D 0.005320.006990.008280.008650.000670.000000
 NE D 0.004830.003170.003060.003560.000000.000000
 ENE D 0.004730.001540.001180.000440.000040.000000
 E D 0.004660.003060.001230.000530.000040.000000
 ESE D 0.004540.001890.000890.000860.000040.000000
 SE D 0.004630.003740.002880.002320.000090.000000
 SSE D 0.004860.005650.007450.012210.000380.000004
 S D 0.005390.006380.012650.013090.000210.000005
 SSW D 0.006740.002930.001130.000200.000050.000000
 SW D 0.007210.005600.001250.000110.000000.000000
 WSW D 0.011440.019760.006550.001850.000080.000000
 W D 0.014550.034490.028100.013660.000540.000000
 WNW D 0.007100.010420.014730.008180.000480.000008
 NW D 0.005840.001790.001650.001510.000040.000000
 NNW D 0.006090.002500.000390.000080.000040.000000
 N E 0.004690.002730.002640.000000.000000.000000
 NNE E 0.003440.003470.002590.000000.000000.000000
 NE E 0.002710.000630.000360.000000.000000.000000

ENE E 0.002780.000610.000080.000000.000000.000000
E E 0.002730.000410.000000.000000.000000.000000
ESE E 0.002690.000410.000000.000000.000000.000000
SE E 0.002540.000320.000040.000000.000000.000000
SSE E 0.002570.001410.000570.000000.000000.000000
S E 0.005150.005080.002990.000000.000000.000000
SSW E 0.005070.002420.000200.000000.000000.000000
SW E 0.004910.002520.000110.000000.000000.000000
WSW E 0.007030.006880.000110.000000.000000.000000
W E 0.010070.015190.001920.000000.000000.000000
WNW E 0.004560.005120.001730.000000.000000.000000
NW E 0.003890.001440.000200.000000.000000.000000
NNW E 0.004420.000930.000230.000000.000000.000000
N F 0.006860.006620.000000.000000.000000.000000
NNE F 0.006220.006460.000000.000000.000000.000000
NE F 0.005000.001340.000000.000000.000000.000000
ENE F 0.004090.000430.000000.000000.000000.000000
E F 0.004420.000200.000000.000000.000000.000000
ESE F 0.003780.000050.000000.000000.000000.000000
SE F 0.003900.000270.000000.000000.000000.000000
SSE F 0.004210.001280.000000.000000.000000.000000
S F 0.006550.008840.000000.000000.000000.000000
SSW F 0.006220.002210.000000.000000.000000.000000
SW F 0.005840.001820.000000.000000.000000.000000
WSW F 0.007570.003230.000000.000000.000000.000000
W F 0.010530.005250.000000.000000.000000.000000
WNW F 0.005930.002720.000000.000000.000000.000000
NW F 0.005950.001490.000000.000000.000000.000000
NNW F 0.009600.002260.000000.000000.000000.000000

ลักษณะการจัดรูปแบบข้อมูล ความถี่ชั้นเสถียรภาพของบรรรยากาศจำแนกตามระดับชั้นและ
ความเร็วลม

```

Program Pclass1_Year;
uses crt;
type MatrixA = array[1..366,1..16] of integer; {read pcw}
   MatrixB = array[1..366,1..8] of integer;
{class,direct,velocity}
   MatrixC = array[1..366,1..9] of real; {read pccl}
   MatrixD = array[0..16,1..8,1..8] of byte; {calculate}
   MatrixE = array[0..16,1..8,1..8] of real; {output}
   InPutF = array[1..2] of text; {input filename}
var
   OutPutF : text;
   InPut : InPutF;
   a,d : MatrixA;
{speed,knot}
   c,w : MatrixB;
{direct,class}
   s : MatrixC; {cloud}
   e : MatrixD; {calculation}
   f : MatrixE; {output file}
data)
   i,j,x,o,y,z,sum,m,t : integer;
   Direct : string[3];
   Class : char;
   InF1 : array[1..2] of string[14];
   OutF : string[14];
   Ch : String[12];
   Time : string[4];
   n : char;
{-----}
Procedure Pcw_To_Class;
Label Slight,SubSlight,Moderate,Subslight1;
begin
[read data]
   write('Inputfile: ');
   for o := 1 to 2 do
   begin
      if o = 1 then Ch := 'Pcwd'else Ch := 'Pccld';
      gotoxy(15,11+o);write('(',o,') ',Ch:5,'.year
(82..91) :');
      readln(InF1[o]);
      assign(InPut[o],InF1[o]);
      reset(InPut[o]);
   end;
   i:=1; repeat
      for j := 1 to 9 do
         read(InPut[2],s[i,j]);
         i :=i+1;
      until s[i-1,1] = 0; m := i-2;

```

```

for i := 1 to m do
  for j := 1 to 16 do
    read(InPut[1],a[i,j]);
    {-----}
    {speed & time & cloud : class}
    for i := 1 to m do

      begin
        for j := 1 to 8 do
          begin
            {cloudy summer day,clear summer day 15-35 above horizon time
            0700 and 1600}
            if ( j = 3 ) or ( j = 6 ) then
              begin
                Slight:
                begin
                  if s[i,j+1] = 10 then w[i,j] := 4 else
                  if (a[i,2*j] <= 4) and (s[i,j+1] < 5)
                  then w[i,j] := 2 else
                  if (a[i,2*j] <= 4) and (s[i,j+1] >= 5)
                  then w[i,j] := 3 else
                  if (a[i,2*j] > 4 ) and (s[i,j+1] < 5)
                  then w[i,j] := 3 else
                  if (a[i,2*j] > 4 ) and (s[i,j+1] >= 5)
                  then w[i,j] := 4 else
                  if (a[i,2*j] >= 11) then w[i,j] := 4 else
                  end;
                goto moderate;
                subslight1:
                begin
                  if s[i,j+1] = 10 then w[i,j] := 4 else
                  if (a[i,2*j] <= 4) then w[i,j] := 3 else
                  if (a[i,2*j] > 4 ) and (a[i,2*j] <= 10)
                  then
                    w[i,j] := 4 else
                    if (a[i,2*j] >= 11) then w[i,j] := 4 else
                    end;
                  goto moderate;
                  subslight:{B CC DD}
                  begin
                    if s[i,j+1] = 10 then w[i,j] := 4 else
                    if (a[i,2*j] <= 4) then w[i,j] := 2 else
                    if (a[i,2*j] > 4 ) and (a[i,2*j] <= 10)
                    then
                      w[i,j] := 3 else
                      if (a[i,2*j] >= 11) then w[i,j] := 4 else
                      end;
                    moderate:
                  end else
                  {clear summer day 35-60 time 1000}
                  if j = 4 then {moderate}
                  begin

```

```

if (s[i,j+1] < 5) or (s[i,j+1] = 10) then
  begin
    if i = 1 then
      begin
        if s[i,j+1] = 10 then w[i,j] := 4
      else
        if (a[i,2*j] <= 4 ) then w[i,j] := 1
      else
        if (a[i,2*j] > 4) and (a[i,2*j] <= 6)
        then
          w[i,j] := 2 else
          if (a[i,2*j] >= 7) and (a[i,2*j] <=
10) then
            w[i,j] := 2 else
            if (a[i,2*j] >= 11) and (a[i,2*j] <=
12) then
              w[i,j] := 3 else
              if (a[i,2*j] > 12) then w[i,j] := 4
            else
              end else
            if i > 1 then
              begin
                if s[i,j+1] = 10 then w[i,j] := 4
              else
                if (a[i,2*j] <= 4 ) then
                  begin
                    (average A-B)
                    t := i;
                    repeat
                      t := t - 1;
                    until (w[t,j] = 0) or (w[t,j] =
1) or (w[t,j] = 2);
                    w[i,j] := 2 else
                    if (w[t,j] = 1) or (w[t,j] = 0) then
                      if w[t,j] = 2 then w[i,j] := 1
                    else
                      end else
                    if (a[i,2*j] > 4) and (a[i,2*j] <= 6)
then
                    w[i,j] := 2 else
                    if (a[i,2*j] >= 7) and (a[i,2*j] <=
10) then
                      begin
                        t := i;
                        repeat
                          t := t - 1;
                        until (w[t,j] = 0) or (w[t,j] =
2) or (w[t,j] = 3);
                        w[i,j] := 3 else
                        if (w[t,j] = 2) or (w[t,j] = 0) then
                          if w[t,j] = 3 then w[i,j] := 2
                        else
                          end else

```

```

12) then
    if (a[i,2*j] >= 11) and (a[i,2*j] <=
begin
    t := i;
    repeat
        t := t - 1;
        until (w[t,j] = 0) or (w[t,j]
= 3) or (w[t,j] = 4);
        if (w[t,j] = 3) or (w[t,j] = 0)
then w[i,j] := 4 else
            if w[t,j] = 4 then w[i,j] := 3
else
            end else
            if (a[i,2*j] > 12) then w[i,j] := 4
else
            end else
            end else goto subslight1
    end else
{clear summer day 60 time 1300}
    if j = 5 then {strong}
    begin
        if (s[i,j+1] < 5) or (s[i,j+1] = 10) then
        begin
            if i = 1 then
            begin
                if s[i,j+1] = 10 then w[i,j] := 4 else
                if a[i,2*j] <= 4 then w[i,j] := 1 else
                if (a[i,2*j] > 4) and (a[i,2*j] <= 6) then
                w[i,j] := 1 else
                if (a[i,2*j] >= 7) and (a[i,2*j] <= 10) then
                w[i,j] := 2 else
                if a[i,2*j] >= 11 then w[i,j] := 3 else
            end else
            if i > 1 then
            begin
                if s[i,j+1] = 10 then w[i,j] := 4 else
                if (a[i,2*j] <= 4) then w[i,j] := 1 else
                if (a[i,2*j] > 4) and (a[i,2*j] <= 6) then
                begin
                    t := i;
                    repeat
                        t := t - 1;
                    until (w[t,j] = 0) or (w[t,j] = 1) or
(w[t,j] = 2);
                    if (w[t,j] = 1) or (w[t,j] = 0) then w
[i,j] := 2 else
                        if w[t,j] = 2 then w[i,j] := 1 else
                    end else
                    if (a[i,2*j] >= 7) and (a[i,2*j] <= 10) then
                    w[i,j] := 2 else
                    if (a[i,2*j] >= 11) then w[i,j] := 3 else
                end else

```

```

        end else goto subslight
    end else
(night cloudiness)
    if (j=1)or(j=2)or(j=7)or(j=8) then
        begin
            if s[i,j+1] = 10 then w[i,j] := 4 else
            if (s[i,j+1] < 5) and (a[i,2*j] <=6) then
                w[i,j] := 6 else
            if (s[i,j+1] >= 5) and (a[i,2*j] <= 6) then
                w[i,j] := 5 else
            if (s[i,j+1] < 5) and (a[i,2*j] >= 7) and
                (a[i,2*j] <= 10) then w[i,j] := 5 else
            if (s[i,j+1] >= 5) and (a[i,2*j] >= 7) and
                (a[i,2*j] <= 10) then w[i,j] := 4 else
            if (s[i,j+1] >= 5) and (a[i,2*j] >= 11)
                then w[i,j] := 4 else
            if (s[i,j+1] < 5) and (a[i,2*j] >= 11)
                then w[i,j] := 4 else
        end;
    end;
end;
end;
end;
{ c = direct  a = velocity }
Procedure Pcw_to_Direct_Velocity;
begin
    for i := 1 to m do
        begin
            for j := 1 to 8 do
                begin
                    if a[i,2*j-1]=0 then c[i,j] := 0 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 348)or(a[i,2*j-1] < 11) then
                        c[i,j] := 1 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 11)and(a[i,2*j-1] < 33) then
                        c[i,j] := 2 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 33)and(a[i,2*j-1] < 56) then
                        c[i,j] := 3 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 56)and(a[i,2*j-1] < 78) then
                        c[i,j] := 4 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 78)and(a[i,2*j-1] < 101) then
                        c[i,j] := 5 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 101)and(a[i,2*j-1] < 123) then
                        c[i,j] := 6 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 123)and(a[i,2*j-1] < 146) then
                        c[i,j] := 7 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 146)and(a[i,2*j-1] < 168) then
                        c[i,j] := 8 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 168)and(a[i,2*j-1] < 191) then
                        c[i,j] := 9 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 191)and(a[i,2*j-1] < 213) then
                        c[i,j] := 10 else
                    if (a[i,2*j-1] >= 213)and(a[i,2*j-1] < 236) then
                        c[i,j] := 11 else

```

```

        if (a[i,2*j-1] >= 236)and(a[i,2*j-1] < 258) then
            c[i,j] := 12 else
        if (a[i,2*j-1] >= 258)and(a[i,2*j-1] < 281) then
            c[i,j] := 13 else
        if (a[i,2*j-1] >= 281)and(a[i,2*j-1] < 303) then
            c[i,j] := 14 else
        if (a[i,2*j-1] >= 303)and(a[i,2*j-1] < 326) then
            c[i,j] := 15 else
        if (a[i,2*j-1] >= 326)and(a[i,2*j-1] < 348) then
            c[i,j] := 16 else
    end;
end;
{speed(1:1..3knot,2:4..6knot,3:7..10knot,4:11..16
knot,5:17..21knot,>6:21knot)
    for i := 1 to m do
        begin
            for j := 1 to 8 do
                begin
                    if a[i,2*j] < 1 then d[i,2*j] := 1 else
                    if (a[i,2*j] <= 3)and(a[i,2*j] >= 1) then d
[i,2*j] := 1 else
                    if (a[i,2*j] >= 4)and(a[i,2*j] <=6) then
                        d[i,2*j] := 2 else
                    if (a[i,2*j] >= 7)and(a[i,2*j] <=10) then
                        d[i,2*j] := 3 else
                    if (a[i,2*j] >= 11)and(a[i,2*j] <= 16)
then
                        d[i,2*j] := 4 else
                    if (a[i,2*j] >= 17)and(a[i,2*j] <= 21) then
                        d[i,2*j] := 5 else
                    if (a[i,2*j] > 21) then
                        d[i,2*j] := 6 else
                end;
            end;
        end;
    {test data time,direct,speed,cloud,class}
    Procedure Checkdata;
Label stopcheck;
    begin
        for i:=1 to m do
            begin
                clrscr;
                write('Test Data ');          writeln('    Date :',i,' for all
                ',m,' days');
                write('----- ');writeln;
                write('Time :      Direct   :   Speed   :   Cloud   :
                Class ');writeln;
                write('L.T.-:-----:---knots---:---deca---:-A-1..F-
                6- ');writeln;
                write('----- ');writeln;
                for j:=1 to 8 do
                    begin

```

```

        case j of
          1 : time := '0100';
          2 : time := '0400';
          3 : time := '0700';
          4 : time := '1000';
          5 : time := '1300';
          6 : time := '1600';
          7 : time := '1900';
          8 : time := '2200';
        end;
        writeln(time:3,a[i,2*j-1]:12,a[i,2*j]:12,s[i,j+1]
:12:0,w[i,j]:12);
        end;
write('----- ');writeln;
        write(' (Enter to continue : N to end) :');n:=readkey;
        if (n='N')or(n='n') then
            goto stopcheck;
        if n = #13 then
            end;
            stopcheck:
end;
{ write on files }
PROCEDURE WriteOut;
begin
    writeln;
    if inF1[1] = 'pcwd.82' then outf := 'av82.dat' else
    if inF1[1] = 'pcwd.83' then outf := 'av83.dat' else
    if inF1[1] = 'pcwd.84' then outf := 'av84.dat' else
    if inF1[1] = 'pcwd.85' then outf := 'av85.dat' else
    if inF1[1] = 'pcwd.86' then outf := 'av86.dat' else
    if inF1[1] = 'pcwd.87' then outf := 'av87.dat' else
    if inF1[1] = 'pcwd.88' then outf := 'av88.dat' else
    if inF1[1] = 'pcwd.89' then outf := 'av89.dat' else
    if inF1[1] = 'pcwd.90' then outf := 'av90.dat' else
    if inF1[1] = 'pcwd.91' then outf := 'av91.dat' else
    if inF1[1] = 'jancw123.dat' then outf := 'testjan.dat';
    writeln('Output : Exam av82.dat:in 1982....
av91.dat:in 1991 ');
    writeln('Output : FileName := ',outf);
    write('Enter to continue');readln;
    assign(outputf,outf);
    rewrite(outputf);
    for x := 1 to 6 do
        begin
            case x of
              1 : Class := 'A';
              2 : Class := 'B';
              3 : Class := 'C';
              4 : Class := 'D';
              5 : Class := 'E';
              6 : Class := 'F';
            end;
end;

```



```

for y := 1 to 16 do
  begin
    case y of
      1 : Direct := 'N';
      2 : Direct := 'NNE';
      3 : Direct := 'NE';
      4 : Direct := 'ENE';
      5 : Direct := 'E';
      6 : Direct := 'ESE';
      7 : Direct := 'SE';
      8 : Direct := 'SSE';
      9 : Direct := 'S';
      10 : Direct := 'SSW';
      11 : Direct := 'SW';
      12 : Direct := 'WSW';
      13 : Direct := 'W';
      14 : Direct := 'WNW';
      15 : Direct := 'NW';
      16 : Direct := 'NNW';
    end;
    write(Direct:4,Class:2);write(' ');
    for z := 1 to 6 do{velocity}
      begin
        write(OutPutF,e[y,x,z]/sum+f[0,x,z]
:9:5);
        write(e[y,x,z]/sum+f[0,x,z]:7:5);
      end;
      writeln;
      writeln(outputf);
    end;
  end;readln;
end;
{ Calculate & format }
Procedure Calculate;
begin
  for i := 1 to m do
    for j := 1 to 8 do
      e[c[i,j],w[i,j],d[i,2*j]]:=e[c[i,j],w[i,j],d[i,2*j]]
+1;
      for y := 0 to 16 do{direct}
        for x := 1 to 6 do{class}
          for z := 1 to 6 do{velocity}
            begin
              sum := sum + e[y,x,z];
            end;
            for x := 1 to 6 do{class}
              for z := 1 to 6 do
                f[0,x,z]:=(e[0,x,z]/(sum))/16;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
Procedure description;
begin

```

```

    writeln('Input
',
',
      Pcwd.82 correct - Pcw.82 cut first column and
last column
',
      :Matrix[366,16]
',
',
      Pccld.82 correct - Pccl.82 cut last column
',
',
      :Matrix[366,9]');
writeln('condition : cloudy (strong) change strong to
slight');
writeln('          cloudy (moderate) change moderate to
subslight');
writeln('          cloudy (slight) change slight to
subslight');
writeln('          subslight change slight class B,C,C to D
');
writeln('          cloudy = 10 : class D day or night');
end;
{-----}
{main program}
begin  clrscr;
description;
    sum := 0;
    for y := 0 to 16 do
        for x := 1 to 6 do
            for z := 1 to 6 do
                e[y,x,z] := 0;
                for i := 1 to 366 do
                    for j := 1 to 8 do
                        begin
                            a[i,j] := 0;
                            c[i,j] := 0;
                            d[i,j] := 0;
                            w[i,j] := 0;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
Pcw_To_Class;
Pcw_to_direct_velocity;
    for i := 1 to m do
        for j := 1 to 8 do
            e[c[i,j],w[i,j],a[i,2*j]] := 0;
        end;
    end;
checkdata;
calculate;
writeout;
    close(InPut[1]);
    close(InPut[2]);
    close(OutPutF)
end.
.....
Program Pclass10_Year;
uses crt;
type MatrixA = array[1..96,1..6] of real; {read data}

```

```

MatrixB = array[1..10,1..96,1..6] of real; [cal data]
InPutF = array[1..10] of text;
var
  OutPutF : text;
  InPut : InPutF;
  a : MatrixA;
  b : MatrixB;
  i,j,o,count,x,y : integer;
  InF1 : array[1..10] of string[14];
  OutF : string[14];
  direct : string[3];
  class : char;
{Class} Procedure Readdata;
begin
  clrscr;
  inF1[1] := 'av82.dat';
  inF1[2] := 'av83.dat';
  inF1[3] := 'av84.dat';
  inF1[4] := 'av85.dat';
  inF1[5] := 'av86.dat';
  inF1[6] := 'av87.dat';
  inF1[7] := 'av88.dat';
  inF1[8] := 'av89.dat';
  inF1[9] := 'av90.dat';
  inF1[10] := 'av91.dat';
  for o := 1 to 10 do
    begin
      assign(InPut[o],InF1[o]);
      reset(InPut[o]);
    end;
  write('Enter : Output filename : ');
  readln(outF);
  assign(outputf,outF);
  rewrite(outputf);
  for o := 1 to 10 do
    begin
      for I := 1 to 96 do
        for J := 1 to 6 do
          begin
            b[o,i,j] := 0;
            a[i,j] := 0;
          end;
        end;
      end;
    {write on b[o,i,j]}
    for o := 1 to 10 do
      for i := 1 to 96 do
        for j := 1 to 6 do
          read(InPut[o],b[o,i,j]);
        end;
      for i := 1 to 96 do
        for j := 1 to 6 do
          begin
            for o := 1 to 10 do
              begin

```

```

        a[i,j] := a[i,j] + b[o,i,j];
    end;
end;
count := 0;
for x := 1 to 6 do
begin
    case x of
        1 : Class := 'A';
        2 : Class := 'B';
        3 : Class := 'C';
        4 : Class := 'D';
        5 : Class := 'E';
        6 : Class := 'F';
    end;
    for y := 1 to 16 do
    begin
        count := count + 1;
        case y of
            1 : Direct := 'N';
            2 : Direct := 'NNE';
            3 : Direct := 'NE';
            4 : Direct := 'ENE';
            5 : Direct := 'E';
            6 : Direct := 'ESE';
            7 : Direct := 'SE';
            8 : Direct := 'SSE';
            9 : Direct := 'S';
            10 : Direct := 'SSW';
            11 : Direct := 'SW';
            12 : Direct := 'WSW';
            13 : Direct := 'W';
            14 : Direct := 'WNW';
            15 : Direct := 'NW';
            16 : Direct := 'NNW';
        end;
        write(OutPutF, Direct:4, Class:2); write
(OutPutF, ' ');
        for j := 1 to 6 do {velocity}
            write(OutPutF, a[count,j]
/10:7:5);
            writeln(outputf);
        end;
    end;
end;
end;
{main program}
begin
readdata;
    for o := 1 to 10 do
        close(input[o]);
        close(outputf);
    end.□

```

ภาคผนวก ง

การคำนวณอัตราการระบายของสารกัมมันตรังสี

วิธีคำนวณ

1. คำนวณหาปริมาณ Kr-85m ที่ระบายตลอดปี จากความเข้มข้นในอากาศที่บริเวณ
ปล่องระบายจาก Condenser Air Ejector $1.85E-6 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณที่ระบายต่อปี} &= 1.85E-6 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \times 10,000 \text{ CF/min} \\ &= 1.85E-6 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \times 10,000 \times \text{CF/min} \quad (1 \text{ ฟุต} = 30.48 \text{ cm}) \\ &= 1.85E-6 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \times 10,000 \times 28,316.85 \text{ cm}^3/\text{min} \\ &= 1.85E-6 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \times 10,000 \times 28,316.85 \text{ cm}^3 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ cm}^3/\text{yr} \\ &= 1.85E-6 \times 1E-6 \text{ Ci}/\text{cm}^3 \times 10,000 \times 28,316.85 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ cm}^3/\text{yr} \\ \text{จะได้ปริมาณการระบายต่อปี จำนวน 1 ปล่อง} &= 275.34 \text{ Ci/yr} \end{aligned}$$

2. คำนวณหาปริมาณ Kr-85m ที่ระบายตลอดปี จากความเข้มข้นในอากาศที่บริเวณ
ปล่องระบายจาก Turbine Building $2.34E-12 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณที่ระบายต่อปี} &= 2.34E-12 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \times 110,000 \text{ CF/min} \\ &= 2.34E-12 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \times 110,000 \times \text{CF/min} \quad (1 \text{ ฟุต} = 30.48 \text{ cm}) \\ &= 2.34E-12 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \times 110,000 \times 28,316.85 \text{ cm}^3/\text{min} \\ &= 2.34E-12 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \times 110,000 \times 28,316.85 \text{ cm}^3 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ cm}^3/\text{yr} \\ &= 2.34E-12 \times 1E-6 \text{ Ci}/\text{cm}^3 \times 110,000 \times 28,316.85 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ cm}^3/\text{yr} \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ปริมาณการระบายต่อปี จำนวน 1 ปล่อง} = 0.00383 \text{ Ci/yr}$$

$$\text{ดังนั้นการระบายต่อปี จำนวน 3 ปล่องคือ} = 0.0115 \text{ Ci/yr}$$

3. คำนวณหาปริมาณ Kr-85m ที่ระบายตลอดปี จากความเข้มข้นในอากาศที่บริเวณ
ปล่องระบายจาก Auxilliary Building $5.38E-7 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$

$$\text{ปริมาณที่ระบายต่อปี} = 5.38\text{E-}7 \mu\text{Ci/cm}^3 \times 50,000 \text{ CF/min}$$

$$= 5.38\text{E-}7 \mu\text{Ci/cm}^3 \times 50,000 \times \text{CF/min} \quad (1 \text{ ฟุต} = 30.48 \text{ cm})$$

$$= 5.38\text{E-}7 \mu\text{Ci/cm}^3 \times 50,000 \times 28,316.85 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$= 5.38\text{E-}7 \mu\text{Ci/cm}^3 \times 50,000 \times 28,316.85 \text{ cm}^3 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ cm}^3/\text{yr}$$

$$= 5.38\text{E-}7 \times 1\text{E-}6 \text{ Ci/cm}^3 \times 50,000 \times 28,316.85 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ cm}^3/\text{yr}$$

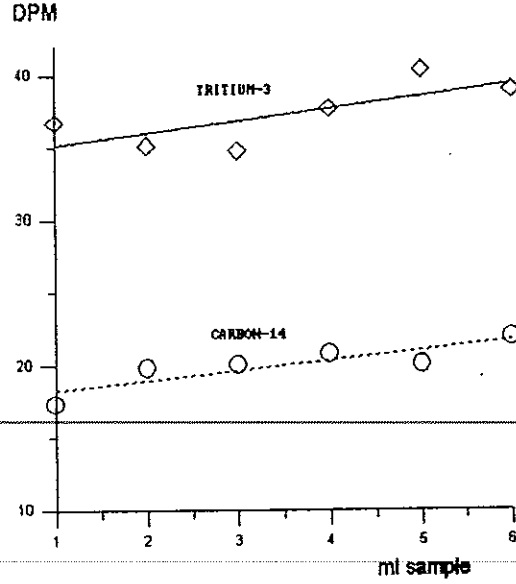
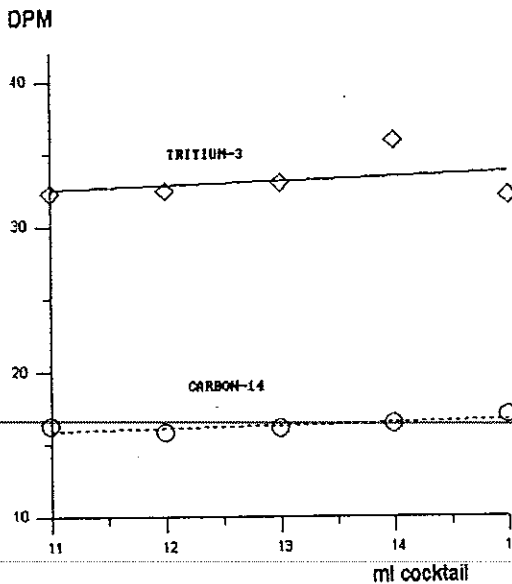
$$\text{จะได้ปริมาณการระบายต่อปี จำนวน 1 ปล่อง} = 400.36 \text{ Ci/yr}$$

ภาคผนวก จ

การหาอัตราส่วนของ Cocktail ที่เหมาะสม และผลการวัดจาก พปส.

การหาอัตราส่วนของ Cocktail ที่เหมาะสม

Xylene ทำหน้าที่เป็นตัวละลาย สารผลิตแสงวาบ (Scintillant) PPO, POPOP Triton X-114 เป็นตัวทำละลายสารตัวอย่างใน cocktail พบว่าปริมาณ Triton X-114 ที่ใช้ในปริมาณ 500 ml สามารถทำให้เพิ่มส่วนผสม Sample ได้ตั้งแต่ 1 - 8 ml : Cocktail 10 ml โดยที่ Cocktail ไม่เสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 20 °C แต่เนื่องจากข้อจำกัดในการควบคุมอุณหภูมิ ในการใช้อัตราส่วน Sample 4 ml : Cocktail 10 ml พบว่า Cocktail มีลักษณะปกติที่อุณหภูมิห้อง ในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกใช้อัตราส่วน 4 : 10 ml การทดสอบค่าภูมิหลังโดยใช้ ปริมาณ Cocktail 11, 12, 13, 14 และ 15 ml พบว่ามีความสัมพันธ์ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ รังสีภูมิหลังใน Cocktail

ภาพประกอบ 2 แสดงความสัมพันธ์ ของปริมาณรังสีในตัวอย่างน้ำ รวมกับ cocktail 10 mL

พบว่าสามารถแยกความแตกต่างระหว่างค่าภูมิหลังและปริมาณอัตราส่วนตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น

ในการทดลองนี้เลือกตัวอย่างใช้ที่ 4 ml เนื่องจากในอัตราส่วนที่สูงกว่านี้ Cocktail จะเสื่อมสภาพจนเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้องหรือประมาณ 28 °C

ผลการวัดจาก พปส.

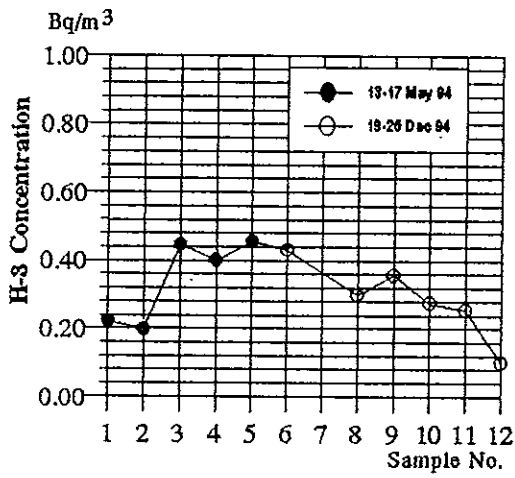
ตาราง 1 ปริมาณตรีเทียมในบรรยากาศเมื่อวัดตัวอย่างที่ พปส.

ตำแหน่ง	HOS (Bq/m ³)	FOR (Bq/m ³)	WAT (Bq/m ³)	AGR (Bq/m ³)	SCH (Bq/m ³)	Average (Bq/m ³)
ค่าสูงสุด	0.4120	0.3183	0.3975	0.4555	0.41011	0.3969
ค่าเฉลี่ย	0.2778	0.1399	0.2342	0.2861	0.2267	0.2329
ค่าต่ำสุด	0.0765	0.0057	0.1049	0.1007	0.1138	0.0803

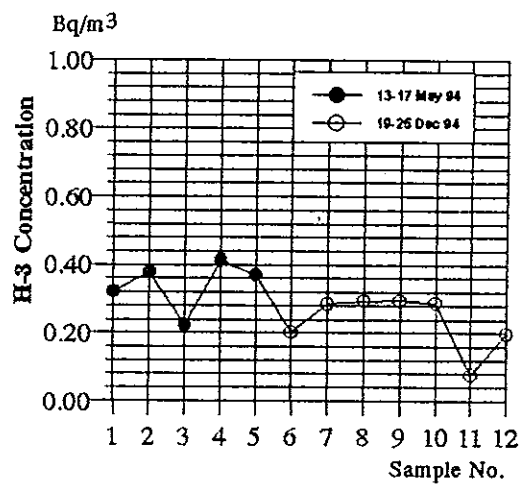
ตาราง 2 ปริมาณคาร์บอน-14ในบรรยากาศเมื่อวัดตัวอย่างที่ พปส.

ตำแหน่ง	HOS (Bq/m ³)	FOR (Bq/m ³)	WAT (Bq/m ³)	AGR (Bq/m ³)	SCH (Bq/m ³)	Average (Bq/m ³)
ค่าสูงสุด	0.2841	0.2044	0.2969	0.2258	0.2761	0.2575
ค่าเฉลี่ย	0.1650	0.1381	0.1693	0.1378	0.1615	0.1543
ค่าต่ำสุด	0.0331	0.0875	0.1121	0.0725	0.0544	0.0719

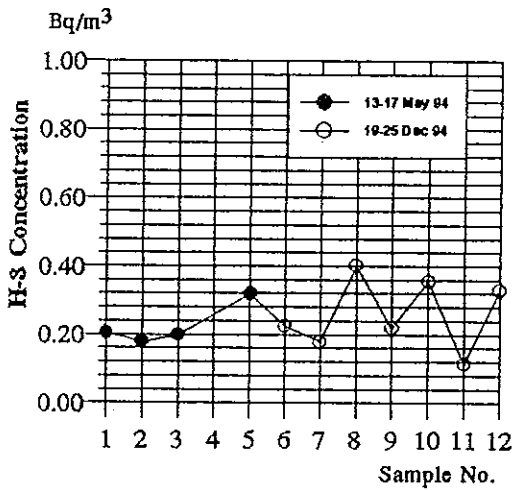
ภาพประกอบ 3 ปริมาณตรีเทียมในตัวอย่างน้ำเมื่อวัดที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ



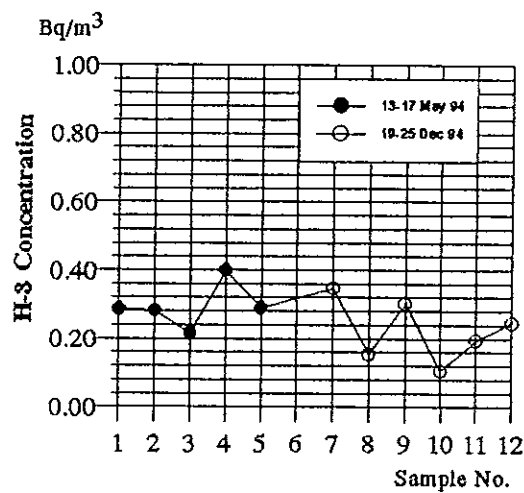
สำนักงานเกษตรอำเภอทับสะแก



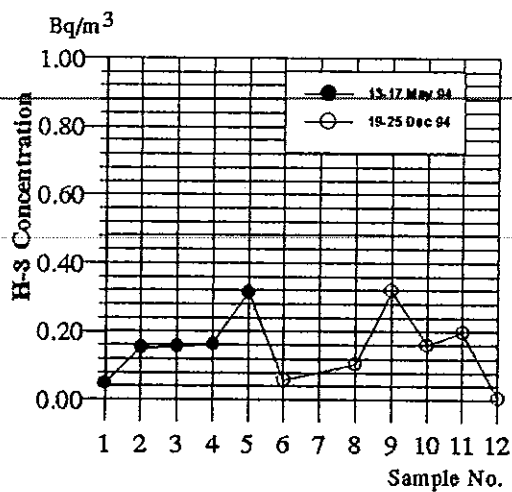
โรงพยาบาลทับสะแก



โรงเรียนทับสะแกวิทยา

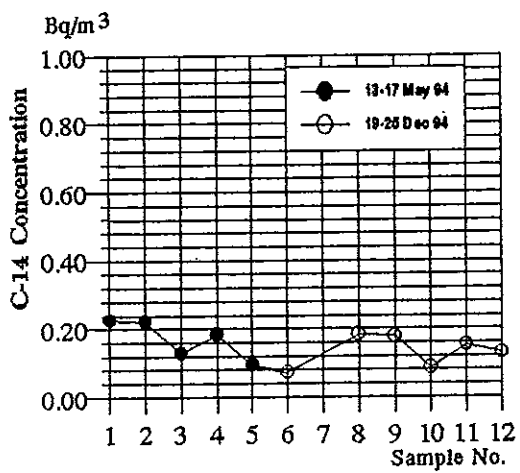


วัดนันทวาราราม

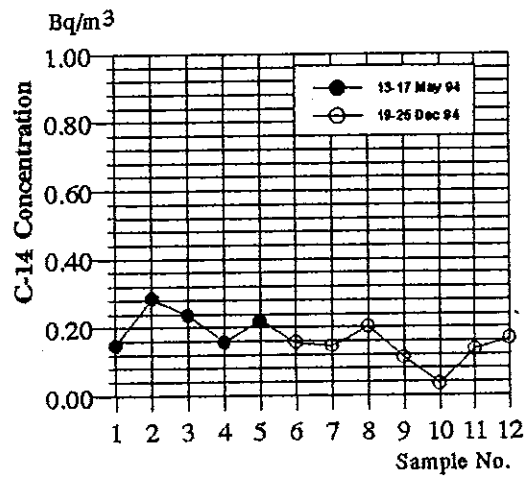


สำนักงานป่าไม้อำเภอทับสะแก

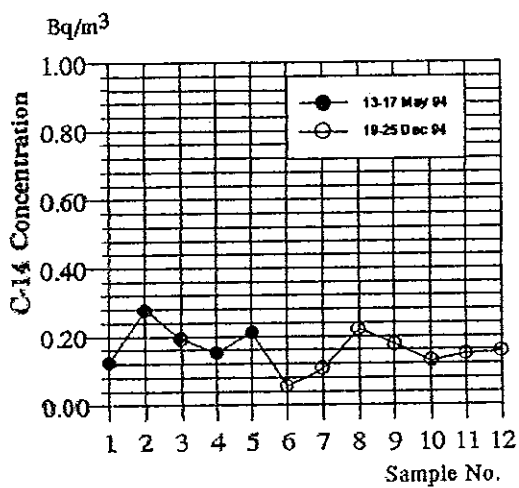
ภาพประกอบ 4 ปริมาณ C-14 ในตัวอย่างน้ำเมื่อวัดที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ



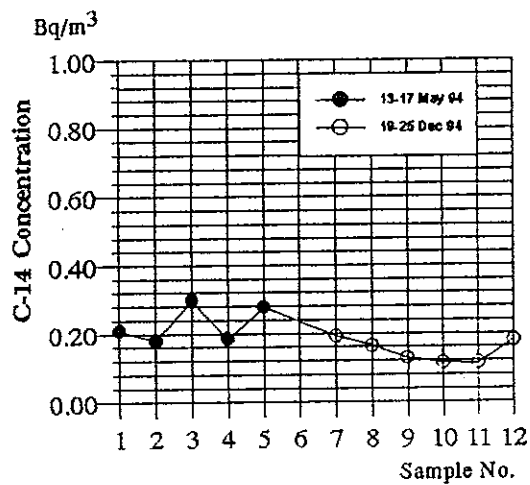
สำนักงานเกษตรอำเภอทับสะแก



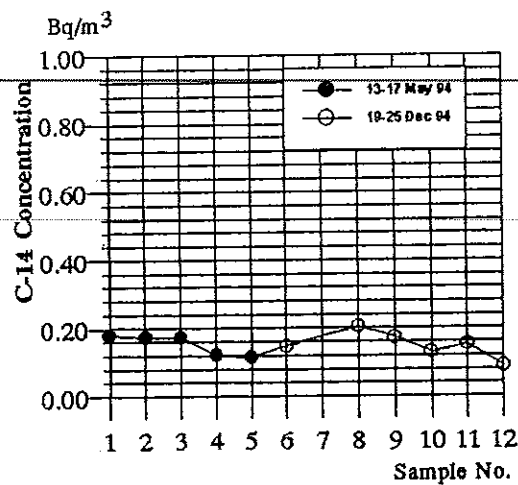
โรงพยาบาลทับสะแก



โรงเรียนทับสะแกวิทยา



วัดนันทวาราม



สำนักงานป่าไม้อำเภอทับสะแก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ปริมาณรังสีในดิน

ความเข้มข้นสารมาตรฐาน (ที่มา : เท็ดทูน ทองเจิม 2537)

ตาราง 1 รายละเอียดของสารมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์

Matrix	Reference Analyte	Activity or Concentration	Confidence Interval	Standard Code
Potassium Sulfate	K	448 mg/g	445-451	RG K-1
Th-Ore, Diluted with silica	K	0.2 $\mu\text{g/g}$	0.1-0.3	RG Th-1
	Th	800 $\mu\text{g/g}$	784-816	
	U	6.3 $\mu\text{g/g}$	5.9-6.7	
U-Ore, Diluted with silica	U	400 $\mu\text{g/g}$	398-402	RG U-1

ตัวอย่างการคำนวณความแรงรังสี

1. Th 5 ppm สารทั้งหมด 100 g มี Th 5×10^{-4} g

$$\text{มีจำนวนอะตอม} \frac{6.02252 \times 10^{23} \times 5 \times 10^{-4}}{232.0381} \quad \text{อะตอม}$$

$$\text{คำนวณความแรงรังสี} \quad A = \lambda N$$

2. U 2 ppm สารทั้งหมด 100 g มี U 2×10^{-4} g

$$\text{มีจำนวนอะตอม} \frac{6.02252 \times 10^{23} \times 2 \times 10^{-4}}{238.0289} \quad \text{อะตอม}$$

$$\text{คำนวณความแรงรังสี} \quad A = \lambda N$$

3. K 2 % สารทั้งหมด 100 g มี K 2 g

$$\text{มีจำนวนอะตอม} \frac{6.02252 \times 10^{23} \times 2}{39.102} \quad \text{อะตอม}$$

$$\text{คำนวณความแรงรังสี} \quad A = \lambda N$$

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนการผสม

1. Th 800 g อยู่ใน RG Th-1 1 g

$$\text{Th } 5 \text{ ppm } (5 \times 10^{-4} \text{ g}) \text{ ได้มาจาก RGTh-1 } \frac{1 \times 5 \times 10^{-4}}{800 \times 10^{-6}} \text{ g}$$

$$\text{RG Th-1 1 g มี U } 6.3 \text{ } \mu\text{g} \text{ ดังนั้น RGTh-1 0.625 g มี U } 0.625 \times 6.3 \times 10^{-6} \text{ g}$$

$$\text{RG Th-1 1 g มี U } 0.23 \text{ mg} \text{ ดังนั้น RGTh-1 0.625 g มี U } 0.625 \times 0.2 \times 10^{-3} \text{ g}$$

2. U 400 g อยู่ใน RG U-1 1 g

$$\text{เนื่องจากใน RG Th มี U } 3.9375 \times 10^{-4} \text{ g}$$

$$\text{U } 2 \text{ ppm } (5 \times 10^{-4} \text{ g}) \text{ ได้มาจาก RG U-1 } \frac{1 \times (2 \times 10^{-4} - 3.9375 \times 10^{-6})}{400 \times 10^{-6}} \text{ g}$$

3. K 448 g อยู่ใน RG K-1 1 g

$$\text{เนื่องจากใน RG Th มี K } 1.25 \times 10^{-4} \text{ g}$$

$$\text{K } 2 \% (2 \text{ g}) \text{ ได้มาจาก RG K-1 } \frac{1 \times (2 - 1.25 \times 10^{-4})}{448 \times 10^{-3}} \text{ g}$$

จากวิธีการเดียวกันได้สารมาตรฐานที่ประกอบด้วย RG K-1, RG U-1, RG Th-1 และ Silica Sand ตามรายการต่อไปนี้

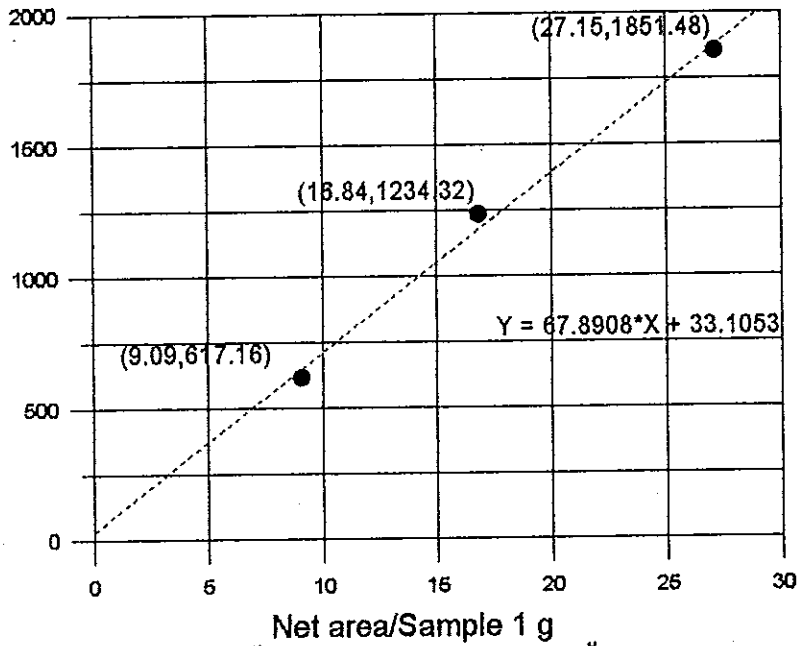
ตาราง 2 ปริมาณส่วนผสมของสารมาตรฐานและความแรงรังสี

สารมาตรฐาน	ไอโซโทป	ความเข้มข้น	มวลของสารผสม	ความแรงรังสี
สารมาตรฐานที่ 1 100 g	Th	5 ppm	0.625	63.2302
	U	2 ppm	0.49015625	8.20657
	K	2 percent	4.464007	617.1594
	Silica Sand	-	94.420837	-
สารมาตรฐานที่ 2 100 g	Th	10 ppm	1.25	126.4646
	U	4 ppm	0.9803125	16.41314
	K	4 percent	8.928133	1234.31879
	Silica Sand	-	88.841674	-
สารมาตรฐานที่ 3 100 g	Th	15 ppm	1.875	189.6969
	U	6 ppm	1.4704687	24.61971
	K	6 percent	13.39202	1851.47733
	Silica Sand	-	83.262511	-

การวิเคราะห์หาความแรงรังสีในสารตัวอย่าง ได้ผลความสัมพันธ์ของพื้นที่ใต้กราฟต่อน้ำหนักสาร 1 g ของสารมาตรฐาน และ ความแรงรังสีดังนี้

ภาพประกอบ 1 แสดงความสัมพันธ์พื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 g และความแรงรังสีโพแทสเซียม

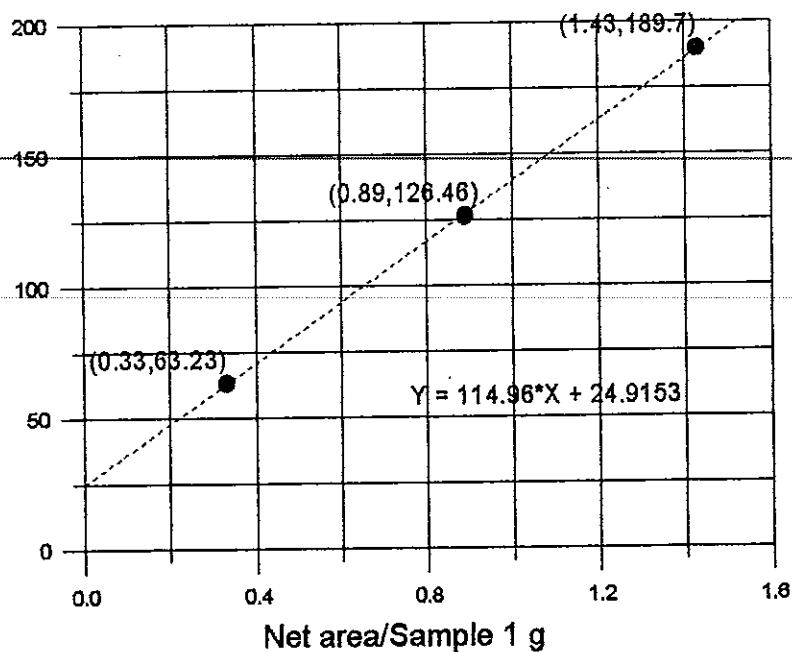
K(Bq/Kg)



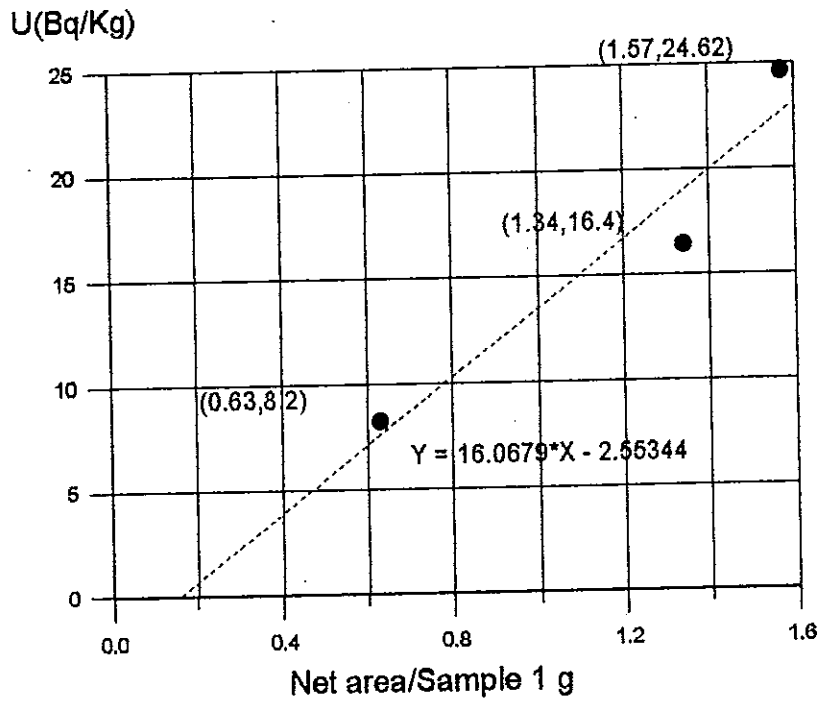
ภาพประกอบ 2 แสดงความสัมพันธ์พื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 g และความแรงรังสีทอเรียม

รังสีทอเรียม

Th(Bq/Kg)



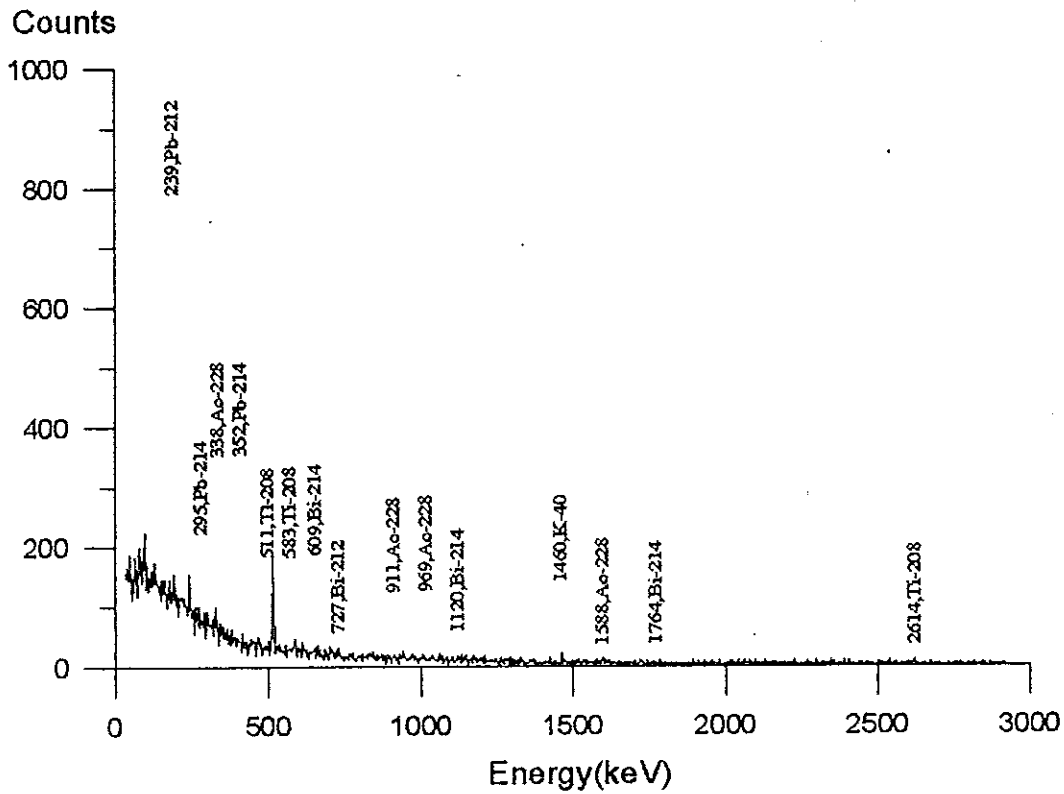
ภาพประกอบ 3 แสดงความสัมพันธ์พื้นที่สเปกตรัมรังสีแกมมาต่อน้ำหนัก 1 g และความแรงรังสียูเรเนียม



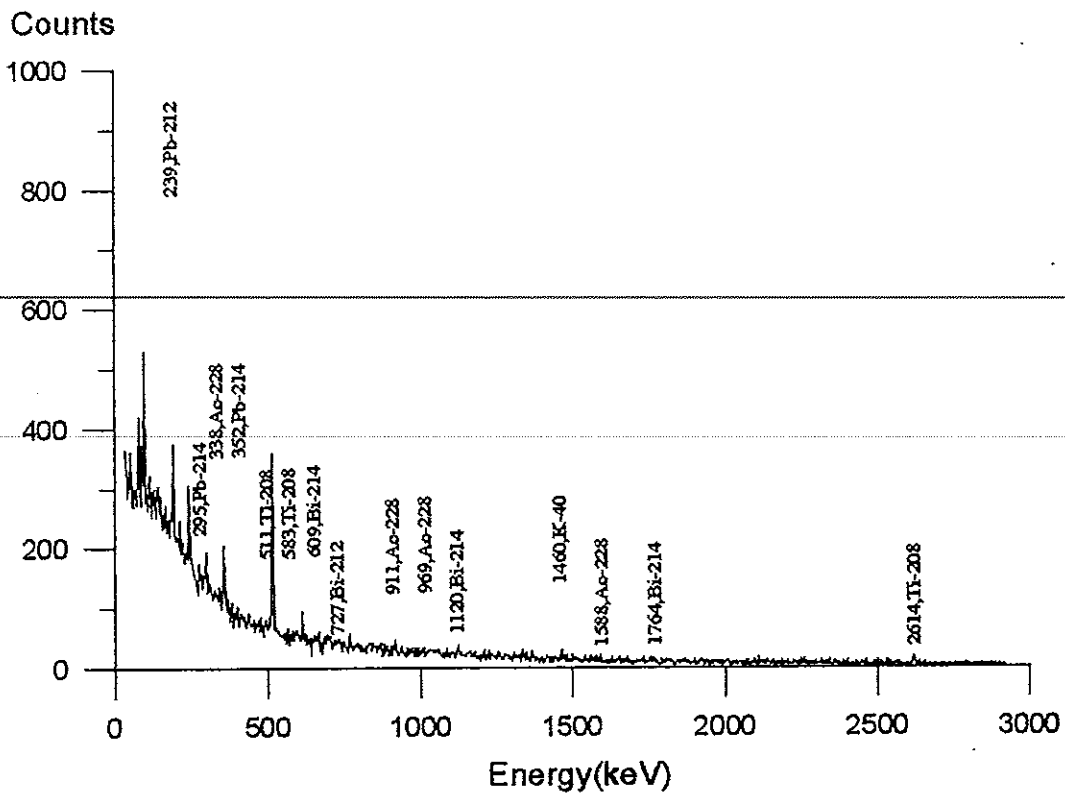
พิจารณาเวลาวัดพบว่าค่าที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดคือใช้เวลาวัดภูมิหลังและตัวอย่างเท่ากัน และเวลาวัดตัวอย่างที่มากขึ้นจะให้ค่าความผิดพลาดน้อยลง

ผลการวัดรังสีในตัวอย่างดินด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

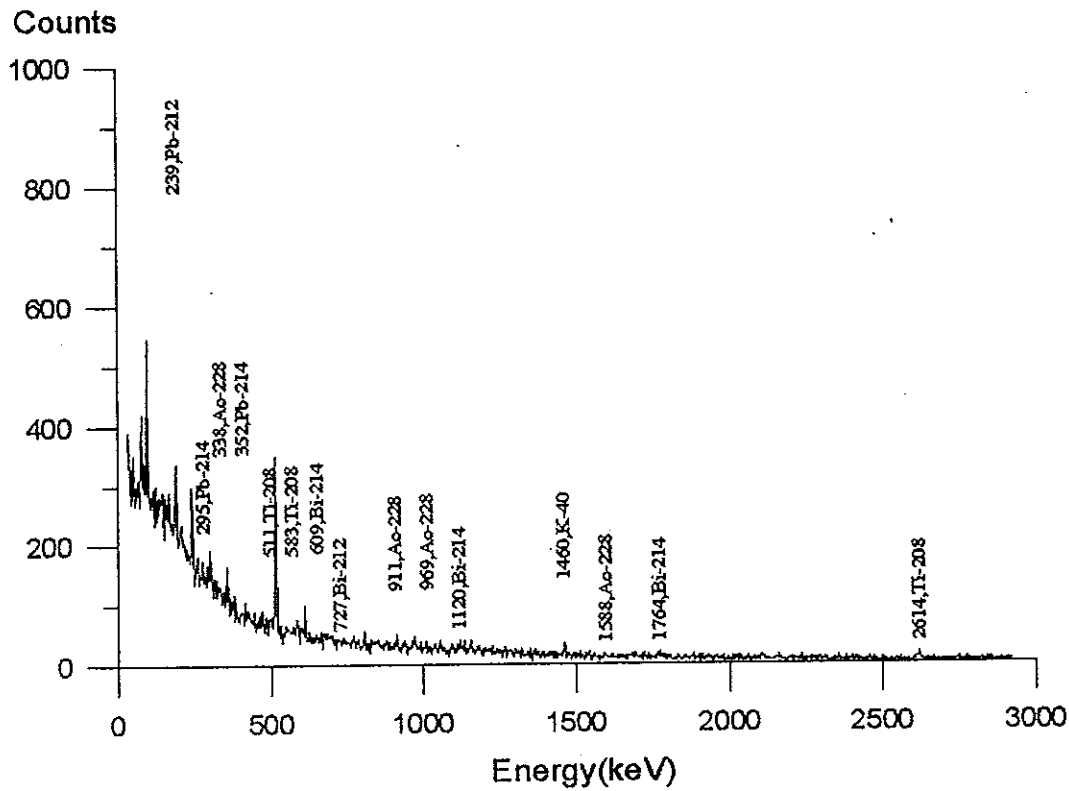
ภาพประกอบ 4 สเปกตรัมรังสีแกมมาของรังสีภูมิหลัง



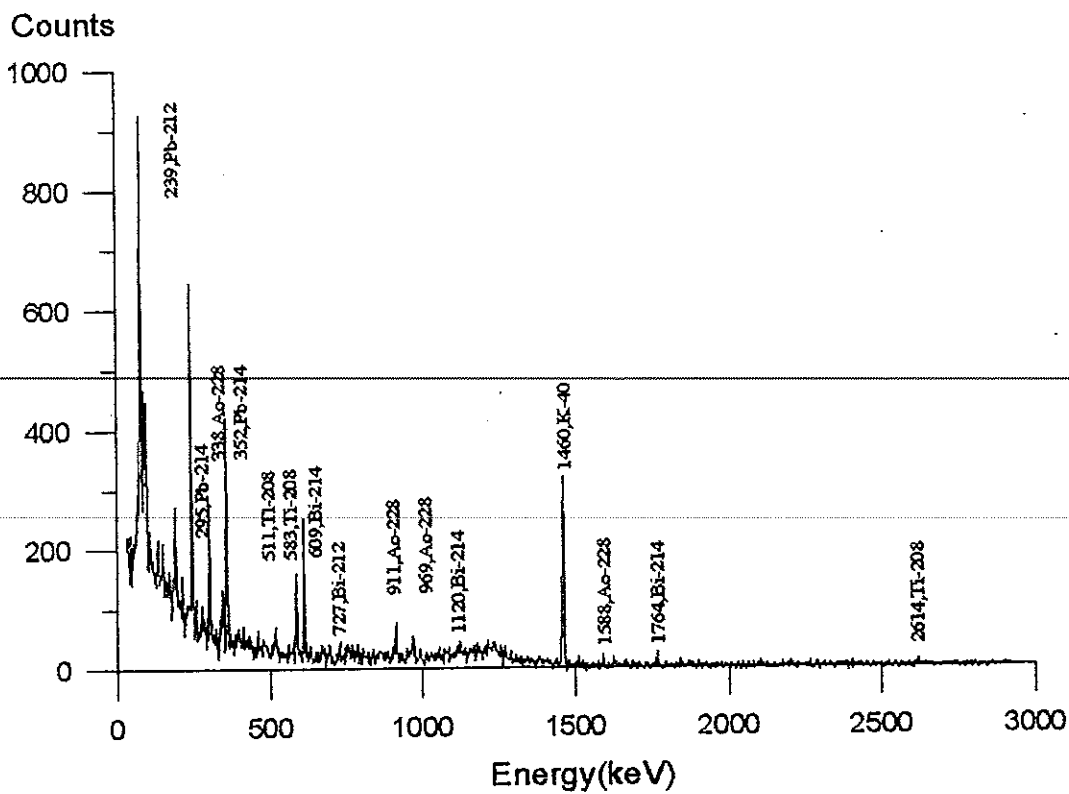
ภาพประกอบ 5 สเปกตรัมรังสีแกมมาของรังสีภูมิหลังกระดาษกรอง



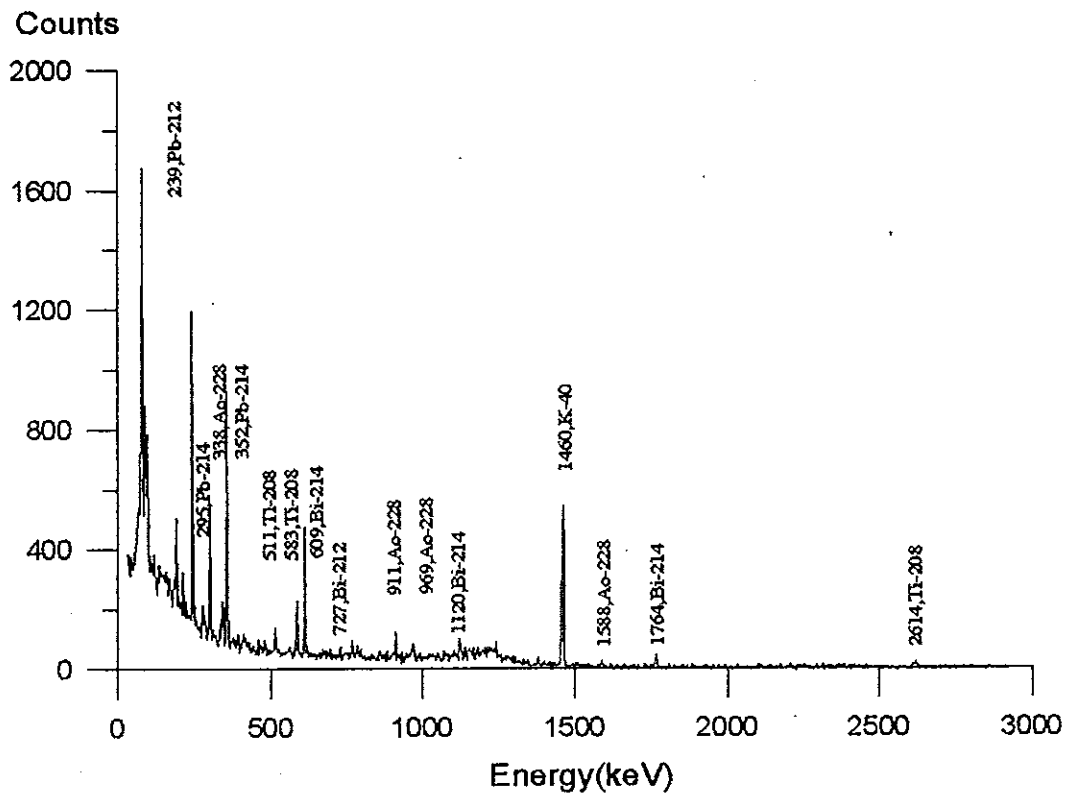
ภาพประกอบ 6 สเปกตรัมรังสีในฝุ่นกระดาษกรองบริเวณโรงพยาบาลทับสะแก



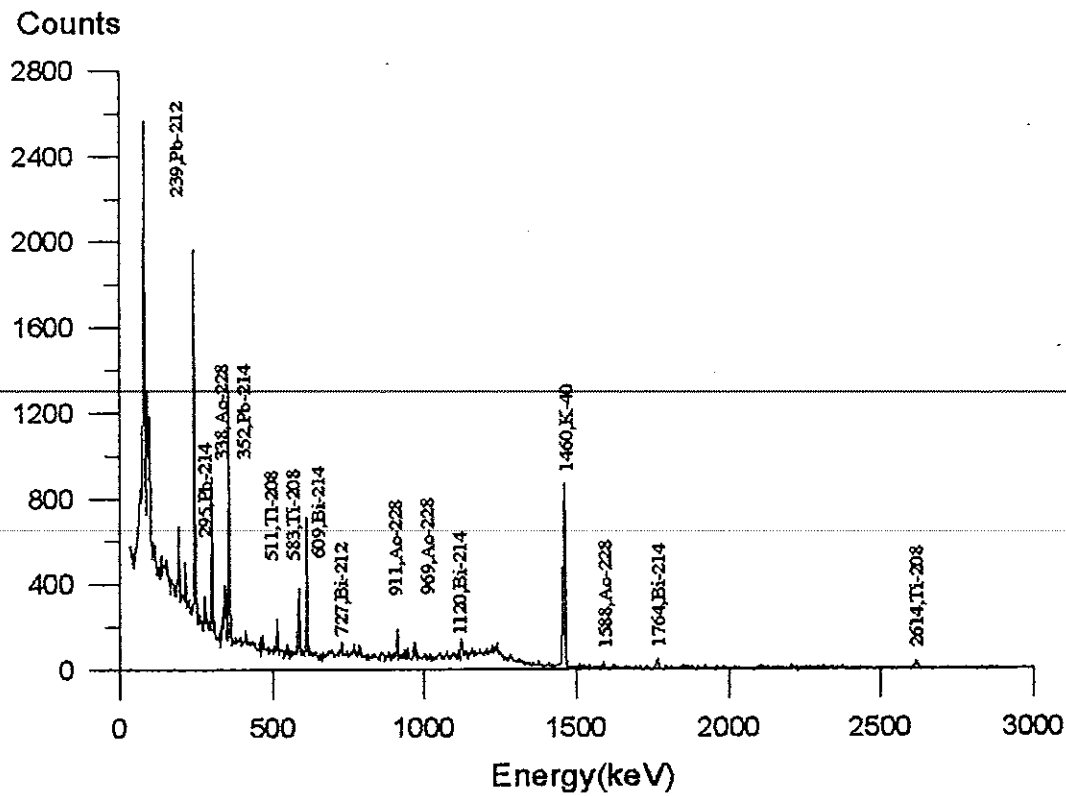
ภาพประกอบ 7 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐาน STD 1



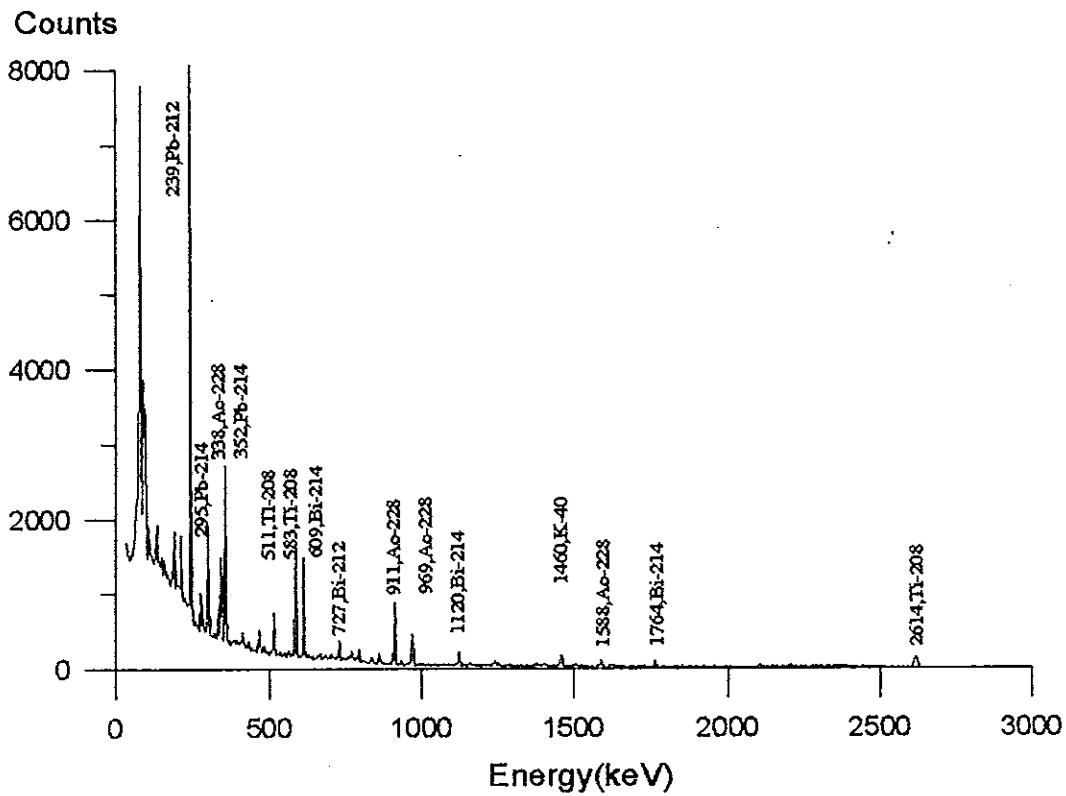
ภาพประกอบ 8 สเปกตรัมรังสีแกมมาสารมาตรฐานที่ 2 STD 2



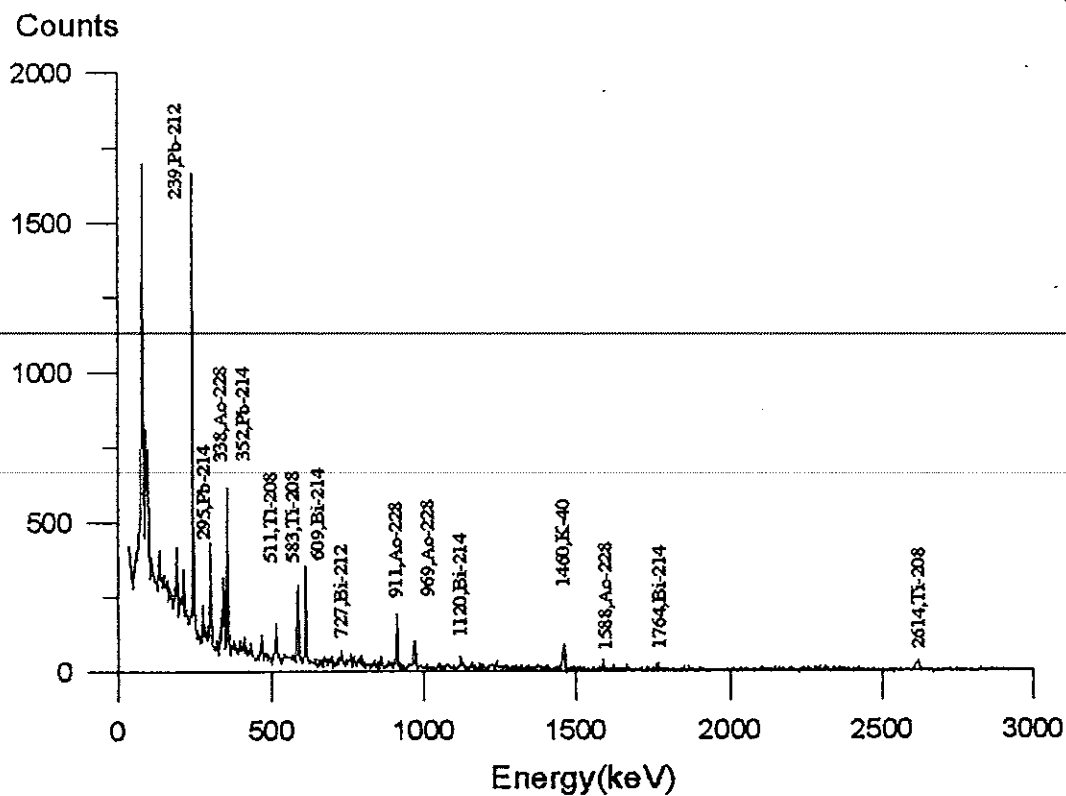
ภาพประกอบ 9 สเปกตรัมรังสีแกมมาสารมาตรฐานที่ 3 STD 3



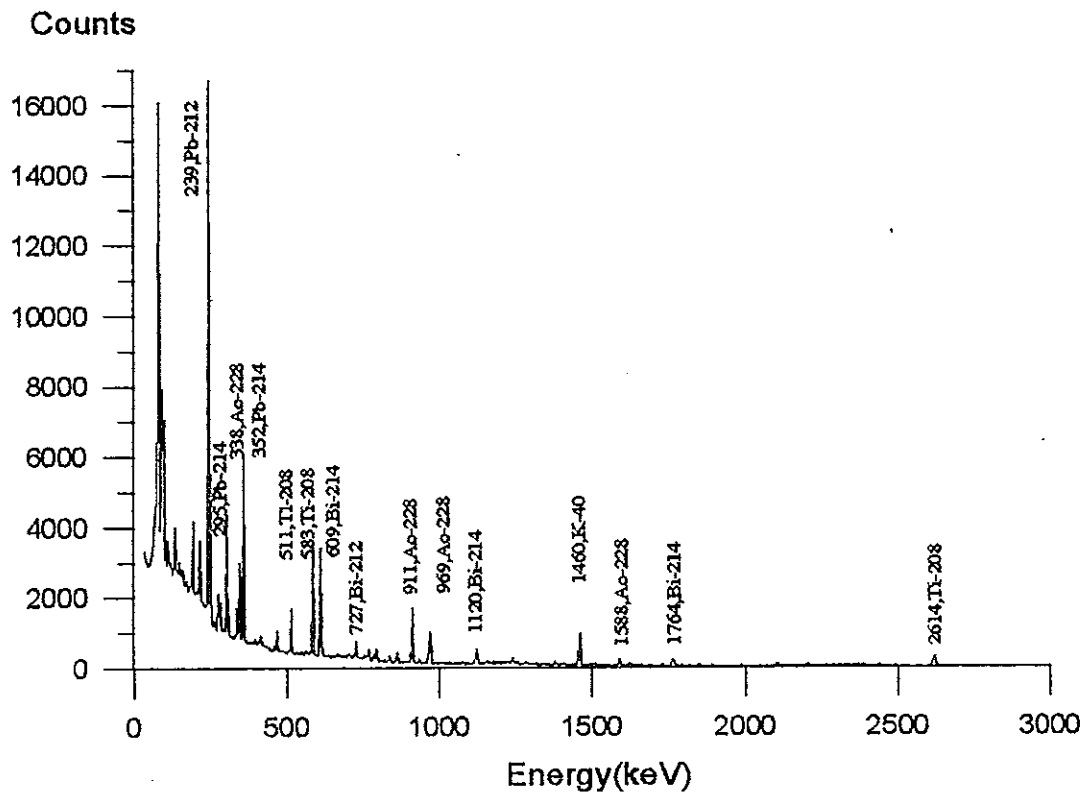
ภาพประกอบ 10 สเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างดินบริเวณสำนักงานเกษตร



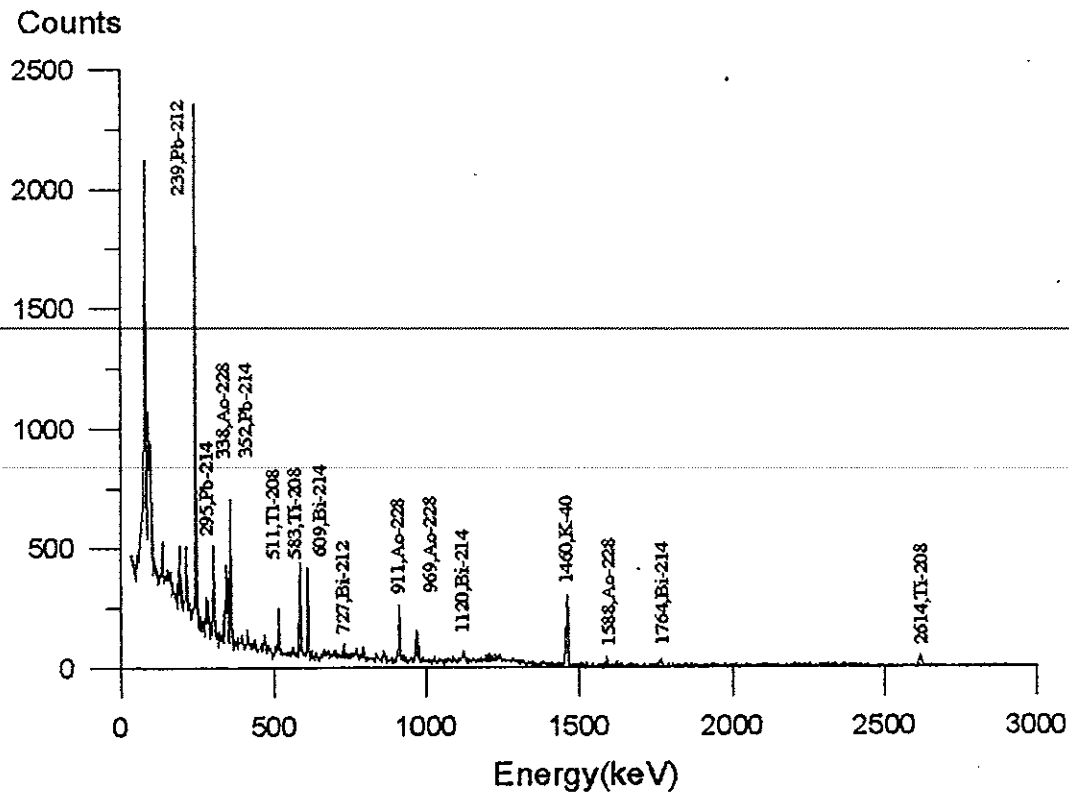
ภาพประกอบ 11 สเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างดินบริเวณสำนักงานป่าไม้



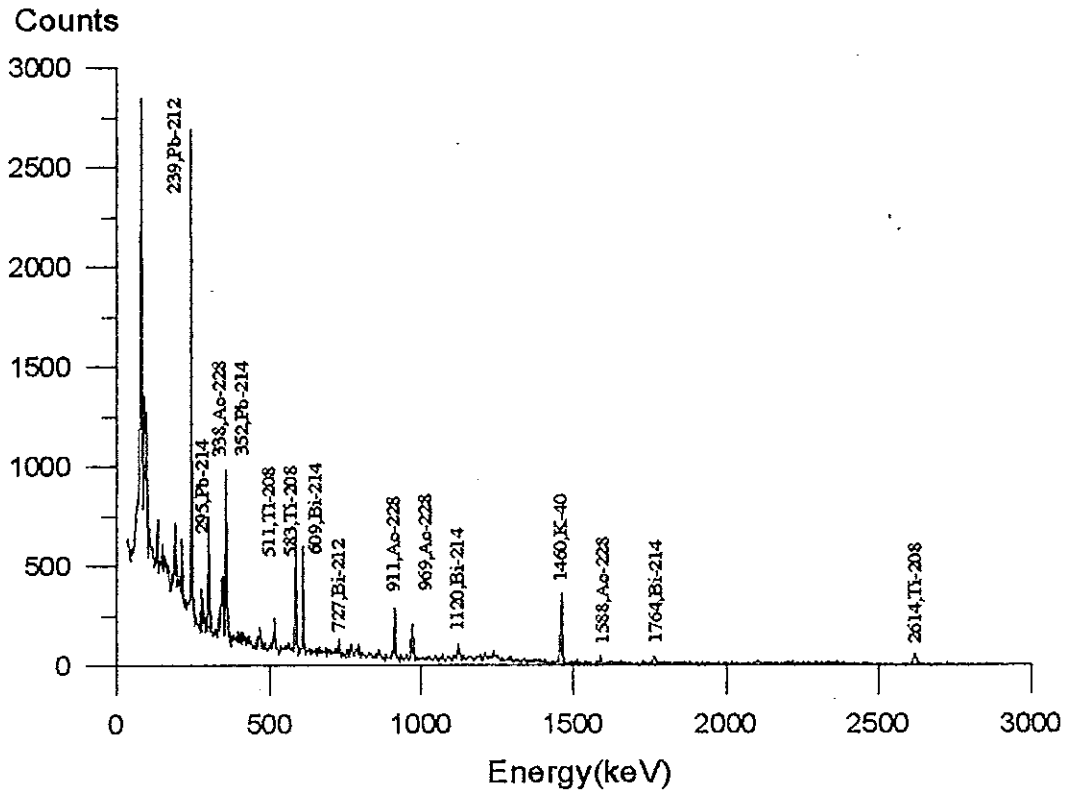
ภาพประกอบ 12 สเปกตรัมรังสีแกมมาของดินตัวอย่างบริเวณเขาหินเทิน



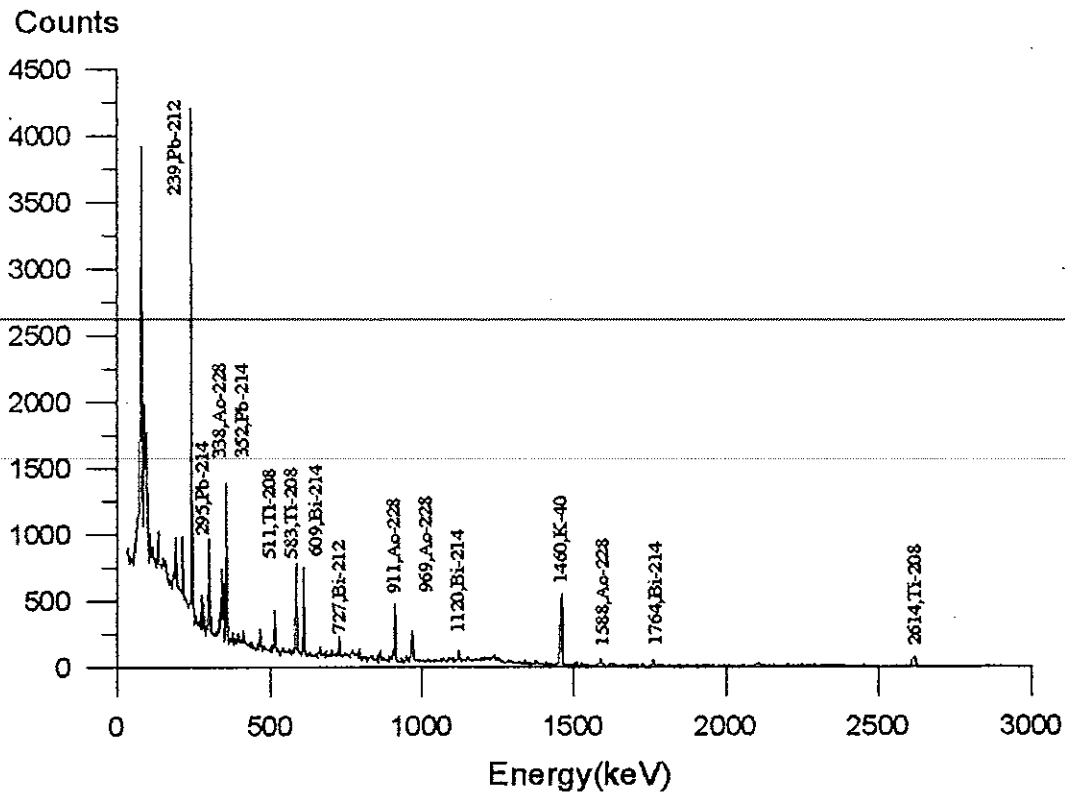
ภาพประกอบ 13 สเปกตรัมรังสีแกมมาของดินตัวอย่างบริเวณ โรงพยาบาลทับสะแก



ภาพประกอบ 14 สเปกตรัมรังสีแกมมาของดินตัวอย่างบริเวณ โรงเรียนทับสะแกวิทยา



ภาพประกอบ 15 สเปกตรัมรังสีแกมมาบริเวณวัดนันทาราม



ภาคผนวก ข

แบบจำลอง CAP88-PC

1. ลักษณะทั่วไปของ CAP88-PC

1.1 CAP88-PC เป็นการพัฒนาโปรแกรม CAP88 (Clean Air Act Assessment Package - 1988) เพื่อใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับ PC สำหรับการประเมินการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ คำนวณ โดสรังสีและความเสี่ยงได้ 2 ลักษณะคือ collective population และ maximally exposed individual สามารถกำหนดสารกัมมันตรังสี ข้อมูลอนุกรมวิธาน จำนวนประชากร และข้อมูลอื่น ๆ เช่น พืชผัก โคเนื้อ โคนม ตามต้องการของแต่ละพื้นที่ศึกษาได้

1.2 ข้อจำกัดของ CAP88-PC

1.2.1 ใช้ประเมินเฉพาะพื้นที่ราบ

1.2.2 ค่าความผิดพลาดจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยที่ระยะห่างมาก ๆ

1.2.3 การคำนวณโดสรังสีและความเสี่ยง ใช้ได้เฉพาะการได้รับรังสีติดต่อกันเป็นระยะเวลานานๆ (low-level chronic exposure)

1.3 การคาดคะเนโดสรังสีและความเสี่ยง

1.3.1 ใช้ Gaussian plume equation ประเมินค่าการกระจายสารกัมมันตรังสี จากแหล่งกำเนิดได้สูงสุด 6 แหล่ง ทั้งกรณีแหล่งกำเนิดเป็นปล่องระบายอากาศและบริเวณพื้นที่ที่มีสารกัมมันตรังสี สามารถเลือกลักษณะการลอยขึ้นของพุ่มได้ 2 ลักษณะคือ โมเมนตัมและแรงลอยตัว

1.3.2 คำนวณความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีในอากาศ อัตราการทับถมบนดิน การเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานอาหาร โดยใช้ความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีในอาหารจากผลของ U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulatory Guide 1.109 terrestrial food chain models

1.3.3 มีการสำรวจประชากร จำนวนโค โคนม พืชผล และข้อมูลอนุกรมวิธานประจำพื้นที่ศึกษา

1.3.4 การคำนวณโดสรังสีและความเสี่ยง ใช้อัตราการหายใจ การกิน ความเข้มข้น

ขั้นสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ ค่า dose และ risk conversion factors จะอยู่ในแฟ้มข้อมูลชื่อ radisk ส่วน effective dose equivalent หาได้จากผลคูณ weighting factor กับ dose equivalent การแสดงผลสามารถแสดงได้ตามชนิดของไอโซโทปรังสี เส้นทางการเข้าสู่ร่างกายของรังสี ตำแหน่งที่ตั้ง และอวัยวะที่เกี่ยวข้อง (critical organ)

2. ลักษณะการรับข้อมูลเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย CAP88-PC

2.1 รวบรวมข้อมูลประชากรจากพื้นที่ที่กำหนดในระยะรัศมี 20 km สร้างแฟ้มข้อมูลประชากร (popfiles) โดยการรวบรวมจำนวนประชากรในตำบลต่างๆของอำเภอทับสะแก และ 2 ตำบลในอำเภอบางสะพาน แยกเป็นหมู่บ้าน ประกอบกับแผนที่แสดงขอบเขตหมู่บ้านเพื่อแสดงจำนวนประชากรในพื้นที่ ตามรูปแบบในภาคผนวก ก ในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งตามระยะห่างจากที่ตั้ง 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16 และ 20 km ตามลำดับ ใน 16 ทิศทาง

2.2 รวบรวมข้อมูล จำนวนโคนเนื้อ โคนมและพืชผักที่ปลูกต่อพื้นที่ทั้งหมดที่ทำการศึกษา

2.3 รวบรวมข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา คือ ความเร็วลม ทิศทางลม ปริมาณเมฆ ปริมาณฝนเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ย

2.4 หาสัดส่วนของค่าระดับชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ (A-F) โดยใช้กฎเกณฑ์ในตาราง 3 โดยพัฒนาโปรแกรม เพื่อจัดแบ่งชั้นเสถียรภาพของบรรยากาศ อาศัยข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา คือ ปริมาณเมฆ ความเร็วลม ทุกๆ 3 ชั่วโมงตามเวลาที่ท้องถิ่น (L.T.) 0100 0400 0700 1000 1300 1600 1900 2200 น และจัดเรียงลำดับตามรูปแบบที่กำหนด

2.5 รวบรวมข้อมูลแหล่งเกิดของก๊าซ จุดปล่อย และปริมาณรังสีที่มีโอกาสรั่วไหลจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ตลอดจนปริมาณรังสีที่ยอมให้รับได้โดยไม่เป็นอันตราย

3. ลักษณะการแสดงผลข้อมูล

3.1 การแสดงผลโคสรังสี แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

3.1.1 collective population เป็นการแสดงผลปริมาณรังสีที่ประชากรทั้งหมดได้รับมีหน่วยเป็น เริ่มต่อคนต่อปี

3.1.2 maximally exposed individual เป็นการพิจารณาการได้รับรังสีในบริเวณที่มีความเข้มรังสีสูงสุดและมีผู้อาศัยอยู่อย่างน้อย 1 คน มีหน่วยเป็นมิลลิเรมต่อปี เมื่อให้ระยะเวลาการได้รับรังสีตลอดชีพของผู้พักอาศัย 50 ปี

3.2 การแสดงผลความเสี่ยงแบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้

3.2.1 collective population เป็นลักษณะการประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับประชากรทั้งหมดมีหน่วยเป็น จำนวนคนที่เสียชีวิตต่อปี

3.2.2 maximally exposed individual เป็นการพิจารณาความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับประชากรที่มีความเสี่ยงสูงสุด ที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างน้อย 1 คน โดยประเมินให้ประชากรได้รับรังสีตลอดชีพเป็นระยะเวลา 70.7565 ปี เป็นโอกาสที่จะเสียชีวิตในขณะที่มีชีวิตอยู่ ในการแสดงผลความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ จะแสดงที่ตำแหน่งกึ่งกลางของระยะห่างจากที่ตั้งที่กำหนดให้ ทั้ง 16 ทิศทาง

4. การแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ

การคำนวณความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีที่ตำแหน่งต่างๆต้องอาศัยองค์ประกอบต่างๆดังนี้

4.1 ระยะลอยขึ้นของพุ่ม

$$\Delta H = H_e - H_s \quad (1)$$

ΔH = ระยะลอยขึ้นของพุ่ม (m)

H_e = ความสูงจากระดับพื้นดินของเส้นผ่าศูนย์กลางพุ่ม (m)

H_s = ความสูงของปล่อง (m)

การพิจารณาระยะลอยขึ้นของพุ่มแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

4.1.1 ระยะลอยขึ้นของพุ่มเนื่องจากโมเมนตัม (Rupp's Equation)

เป็นการพิจารณาเมื่อก๊าซที่ออกจากปล่องมีความเร็ว

$$\Delta H = \frac{1.5vd}{\mu} \dots\dots\dots(2)$$

v = ความเร็วลมที่ออกจากปล่อง (m/s)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของปล่อง (m)

μ = ความเร็วลมที่จุดปล่อยของปล่อง (m/s)

4.1.2 ระยะลอยขึ้นของพุ่มเนื่องจากแรงลอยตัว (Briggs' Equation)

เป็นการพิจารณาเมื่อก๊าซที่ออกจากปล่องมีความร้อนแบ่งตามเสถียรภาพของบรรยากาศเป็น 2 ลักษณะคือ

4.1.2.1 Stability Category A,B,C,D

$$\Delta H = \frac{1.6F^{1/3}X^{2/3}}{\mu} \dots\dots\dots(3)$$

$$F = 3.7 \times 10^{-5} Q_H$$

Q_H = อัตราการแผ่พลังงานความร้อนจากปล่อง (cal/sec)

X = ระยะห่างจากปล่อง ที่ทิศทางตามลม (m)

4.1.2.2 Stability Category E,F,G

$$\Delta H = 2.9 \left(\frac{F}{\mu S} \right)^{1/3} \dots\dots\dots(4)$$

$$S = \left(\frac{g}{T_a} \right) \left(\frac{\partial T_a}{\partial Z} + \Gamma \right)$$

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s²)

T_a = อุณหภูมิของอากาศ (°K)

$\frac{\partial T_a}{\partial Z}$ = Vertical Temperature Gradient (°K/m)

Z = Vertical Distance above Stack (m)

Γ = Adiabatic Lapse Rate of Atmosphere = (0.0098 K/m)

$\frac{\partial T_a}{\partial z}$ ที่ใช้ใน CAP88PC class E = 7.280E-02 °K/m

class F = 1.090E-01 °K/m

class G = 1.455E-01 °K/m

4.2 การแพร่กระจายของพุ่ม (Plume Dispersion)

สามารถคำนวณความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีตามความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆดังนี้

$$x = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\mu} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (5)$$

x = ความเข้มข้นรังสีในอากาศตามทิศทาง x, y, z (Ci/m³)

Q = อัตราการปล่อยรังสีจากปล่อง (Ci/sec)

σ_y, σ_z = Horizontal, Vertical Dispersion Coefficient (m)

H = ความสูงของเส้นผ่าศูนย์กลางพุ่ม (Effective Stack Height)

y = Crosswind Distance (m)

z = Vertical Distance (m)

ในกรณีความเข้มข้นในอากาศตามแกน x ($y, z = 0$)

$$x = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z\mu} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \dots\dots\dots(6)$$

กรณี $X \leq 2X_L$ ความเข้มข้นเฉลี่ยจากพื้นดินถึง Lid Height

$$x = \frac{Q}{0.15871\pi\sigma_zx\mu} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \dots\dots\dots(7)$$

หมายถึงระยะทางตามลมน้อยกว่าระยะทางที่ Plume กระจายถึงระดับ inversion ($\sigma_z = 0.47$ เท่าของ Lid Height) กรณี $X > 2X_L$ ใช้สมการ

$$\chi_{ave} = \frac{Q}{2.5066\sigma_y L \mu} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{2\sigma_y}\right)^2\right] \dots\dots\dots(8)$$

$$\chi_{avg} = \frac{Q}{0.397825xL\mu} \dots\dots\dots(9)$$

4.3 Dry Deposition

$$R_d = v_d \chi \dots\dots\dots(10)$$

R_d =Surface Deposition Rate (pCi/cm²sec)

v_d = Deposition Velocity (cm/sec)

= 3.5×10^{-2} m/s สำหรับ Iodine

= 1.8×10^{-3} m/s สำหรับ Particulates

= 0 สำหรับ Gases

χ = ระดับความเข้มข้นที่ระดับพื้นดิน (pCi/cm³)

4.4 Precipitation Scavenging

$$R_s = \phi \chi_{ave} L \dots\dots\dots(11)$$

R_s = Surface Deposition Rate (pCi/cm²sec)

ϕ = Scavenging Coefficient = Rainfall Rate (RR cm/yr)

χ_{ave} = Average Concentration in Plume up to Lid Height(pCi/cm³)

$L = \text{Lid Height (cm)}$

$$\phi = RR \left(\frac{\text{cm}}{\text{yr}} \right) \times 1 \times 10^{-7} \left(\frac{\text{yr}}{\text{cm} - \text{sec}} \right)$$

4.5 Plume Depletion

กัมมันตภาพรังสีจากพุ่มจะลดไปโดยการชะล้างโดยฝน หิมะ (Precipitation Scavenging) การตกลงสู่พื้น (Dry Deposition) และการสลายตัว (Radioactive decay)

4.5.1 การลดลงโดยการชะล้าง (Precipitation Scavenging)

$$\frac{Q^1}{Q} = e^{-\phi t} \dots\dots\dots(12)$$

$Q^1 =$ อัตราการลดลงของกัมมันตภาพรังสี

$Q =$ อัตราการลดลงของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น

$\phi =$ Scavenging Coefficient (sec^{-1})

$t =$ เวลา (วินาที) ที่พุ่มเคลื่อนที่มาถึงระยะทางตามลมเป็นระยะ X

4.5.2 การลดลงจาก Dry Deposition

$$\frac{Q^1}{Q} = \exp \left\{ - \left(\frac{2}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{v_d}{\mu} \int_0^x \frac{\exp \left[- \left(\frac{(H - v_g x / \mu)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right]}{\sigma_z} dx \right\} \dots\dots\dots(13)$$

$v_d =$ Deposition Velocity (m/s)

$\mu =$ Wind Speed (m/s)

$\sigma_z =$ Vertical Dispersion Coefficient (m)

$v_g =$ Gravitational Velocity (m/s)

$H =$ Effective Stack Height (m)

$x =$ Downwind Distance (m)

4.5.3 Radioactive Decay

$$\frac{Q^t}{Q} = e^{-\lambda_r t} \dots\dots\dots(14)$$

λ_r = Effective Decay Constant in Plume

t = เวลาที่พลุมใช้ในการเคลื่อนที่

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายพิระศักดิ์ แสงอรุณ
วัน เดือน ปีเกิด 7 มกราคม พ.ศ. 2508

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต(ศึกษาศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2529

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

อาจารย์ 1 โรงเรียนสทิงพระวิทยา จังหวัดสงขลา