บทที่ 4

ทฤษฎีในการคำนวณและข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

4.1 การฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสีในบรรยากาศ[20]

ถ้ามีสารกัมมันตรังสีแพร่ออกสู่อากาศ สารกัมมันตรังสีจะเคลื่อนตามลม และค่อย ๆ แผ่กว้างออกไป รังสีจะทำอันตรายต่อคนและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบริเวณทิศทางลมพัดผ่านไป

การฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสี ขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

ก. ความเร็วลม ถ้าความเร็วลมมีค่ามาก การฟุ้งกระจายดีมาก

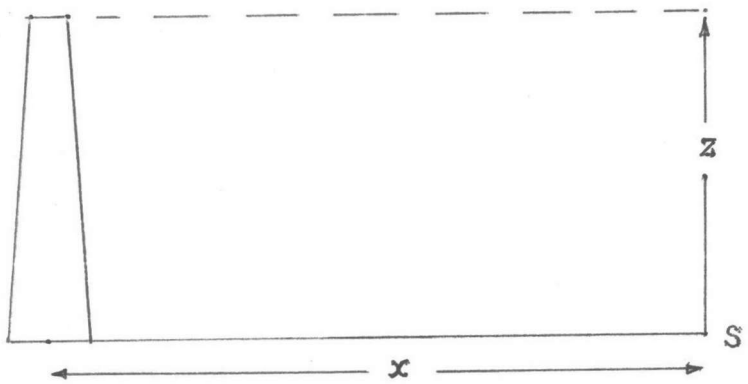
ข. แสงแดด ถ้ามีแดดจัดการฟุ้งกระจายจะดีมาก ดังนั้นการฟุ้งกระจายมักจะดีในตอนกลางวันกว่าตอนกลางคืน

ในกรณีสารกัมมันตรังสีออกมาจากที่สูง เช่น จากปล่องสูง z เมตร จากพื้นดิน ดังรูป 4 - 1

---

[20] Gifford, Frank A. 1959-60. Meteorology part II, and Part III. ORSORT. Oak Ridge School of Reactor Technology.

รูปที่ 4 - 1 กรณีสารกัมมันตรังสีออกมาจากที่สูง



ให้ Q เป็นปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ปล่อยออกมา คูรี่/วินาที

X_S เป็นปริมาณความเข้มของสารกัมมันตรังสีที่ s คูรี่/ล.บ.ม.

U เป็นความเร็วลม เมตร/วินาที

x เป็นระยะห่างจากปล่องในแนวตามลม เมตร

จากสูตร หาความเข้มของสารกัมมันตรังสีของปาสควิล (Pasquill) ได้ว่า

$$\frac{X_S}{Q} = \frac{1 \cdot \ell}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \; e^{-z^2/2\sigma_z^2}$$

ในกรณีสารรังสีแพร่ที่ระดับพื้นดิน (ไม่มีปล่อง) ถือว่า z = 0 จะได้ว่า

$$\frac{X_S}{Q} = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z U}$$

4.1.1 <u>กรณีสารกัมมันตรังสีแพร่ออกมารวดเดียว</u> ในกรณีเช่นนี้ อาจเกิดได้เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ฯ เกิดอุบัติเหตุ สามารถคำนวณหาความเข้มของสารกัมมันตรังสี ที่ระยะต่าง ๆ โดยคำนวณตามสูตร (4 - 1) ได้เช่นกัน

แต่ Q เป็นปริมาณรังสีที่ปล่อยออกมารวดเดียว มีหน่วยเป็นคูรี่

และ X เป็นความเข้มของสารกัมมันตรังสี คูณกับเวลาที่ระยะต่าง ๆ มีหน่วยเป็น คูรี่ - วินาที/ล.บ.ม.

X ในที่นี้หมายถึง ผลคูณของความเข้มเฉลี่ย และเวลาที่สารกัมมันตรังสีใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านจุดนั้น ๆ

4.1.2 <u>การกองพื้นของสารกัมมันตรังสี</u> ขณะสารกัมมันตรังสีปลิวไปในอากาศบางส่วนตกลงสู่พื้นดิน มีสูตรเกี่ยวกับการกองพื้นของแชมเบอร์เลน[21] (Chamberlain) ดังนี้

$$A = VX \qquad (4 - 2)$$

โดยที่	A	เป็นปริมาณสารกัมมันตรังสีที่กองพื้น	คูรี่/ต.ร.ม.
	V	เป็นความเร็วที่อนุภาคต่าง ๆ ตกสู่พื้น	เมตร/วินาที
	X	เป็นความเข้มของสารกัมมันตรังสีคูณกับเวลาที่เคลื่อนตามลม	คูรี่-วินาที/ล.บ.ม.

โดยทั่วไปถือว่า V มีค่าประมาณ 1 ซ.ม./วินาที

ในการคำนวณนี้ใช้ค่า V เท่ากับ 1 ซ.ม./วินาที

---

[21] Gifford, Frank A. 1959-60. Meteorology Part II, and Part III. <u>ORSORT. Oak Ridge School of Reactor Technology.</u>

4.2 วิธีการคิดโดสที่ต่อมไทรอยด์ได้รับ เนื่องจากหายใจเอาไอโอดีน - 131 เข้าไป[22]

คนธรรมดาขณะทำงานหายใจนาทีละ		20	ลิตร
ระหว่างการพักผ่อนหายใจ นาทีละ		10	ลิตร
คนเราทำงานวันละ 8 ชั่วโมง		1/3	วัน
ค่าเฉลี่ยปริมาตรที่หายใจต่อนาที	$\frac{(20 \times 1) + (2 \times 10)}{3}$		ลิตร
หรือเท่ากับ	220	ล.ป.ช.ม./วินาที	
ถ้าคนเราอยู่ในบริเวณสารกัมมันตรังสี	x	คูรี่-วินาที/ล.ป.ม.	
หรือ	x	ไมโครคูรี่-วินาที/ล.ป.ช.ม.	

คิดว่า ไอโอดีน - 131 ค้างที่ต่อมไทรอยด์ 15 %

ปริมาณที่ค้างที่ต่อมไทรอยด์ = $x \frac{15}{100} \times 220$ ไมโครคูรี่

∴ 1 ไมโครคูรี่ = 3.7×10^4 การสลายตัว/วินาที

การสลายตัว 1 ครั้ง ให้พลังงาน E_β ล้านอิเลคตรอนโวลท์

พลังงาน 1 อิเลคตรอนโวลท์ = 1.6×10^{-12} เอิร์ก

---

[22] USAEC. 1957. Theoretical Possibility and Consequences of Major Accident in Large Nuclear Power Plants. Wash - 740.

∴ พลังงานทั้งหมด

$$= \frac{15 \times 220 \times X \text{ ไมโครคูรี่} \times 3.7 \times 10^{4} \text{ การสลายตัว} \times E_{\beta} \text{ ล้านอิเลคตรอนโวลท์}}{100 \qquad \text{วินาที. ไมโครคูรี่} \qquad \text{การสลายตัว}}$$

$$\frac{\times 1.6 \times 10^{-6} \text{ เอิร์ก}}{\text{ล้านอิเลคตรอนโวลท์}}$$

$$= \frac{15 \times 220 \times 3.7 \times 1.6 \times 10^{4} \times 10^{-6}}{100} E_{\beta} X \quad \text{เอิร์ก/วินาที}$$

1 แรด มีค่าเท่ากับ	100	เอิร์ก/กรัมของเนื้อเยื่อ
ต่อมไทรอยด์โดยเฉลี่ยหนัก	20	กรัม

∴ จำนวนแรดที่ต่อมไทรอยด์ได้รับ

$$= \frac{15 \times 220 \times 3.7 \times 1.6 \times 10^{4} \times 10^{-6}}{100 \times 100 \times 20 (\text{กรัมของต่อมไทรอยด์})} E_{\beta} X \quad \text{แรด/วินาที}$$

$$= 9.77 \times 10^{-4} E_{\beta} X \quad \text{แรด/วินาที}$$

ความแรงของโดสที่สะสมอยู่

$$D_C = D_o e^{-\lambda t} dt$$

ในเมื่อ D_C = โดสสะสม D_o = โดสเมื่อเริ่มต้น t = เวลาที่สะสม

$$D_c = D_o \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt$$

$$= -\frac{D_o}{\lambda} e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty}$$

$$= \frac{D_o}{\lambda}$$

$$\therefore \lambda = \frac{0.7}{T_{1/2}}$$

$$\therefore D_c = D_o \mathcal{T} \quad [\mathcal{T}(\text{อายุเฉลี่ย}) = \frac{T_{1/2}}{0.7}(\text{ครึ่งอายุ})]$$

อายุเฉลี่ยที่อยู่ในต่อมไทรอยด์ = $\mathcal{T}$ วินาที

$\mathcal{T} = \frac{\text{ครึ่งอายุ}}{0.7} = \frac{8 \times 24 \times 60 \times 60}{0.7}$ วินาที

$= 9.88 \times 10^5$ วินาที

โดสที่ต่อมไทรอยด์ได้รับ = $9.77 \times 10^{-4} E_\beta X$ แรด

พลังงานเฉลี่ยของไอโอดีน - 131 (E_β) = 0.19 ล้านอิเลคตรอนโวลท์

$= 9.77 \times 10^{-4} \times 0.19 \times 9.88 \times 10^5 X$ แรด

∴ จำนวนแรดที่ต่อมไทรอยด์ได้รับ = 183.4 X แรด (4 - 3)

4.3 โดสที่คนได้รับ เมื่อมีกลุ่มแกสเคลื่อนที่ผ่านไป[23]

แกสเหล่านี้เป็นแกสเฉื่อย ไม่สะสมในร่างกายในการหายใจ การคำนวณโดสแบบนี้ ถือว่าเป็นการรับรังสีจากสารกัมมันตรังสีภายนอกร่างกาย

ถ้าสารกัมมันตรังสี x ไมโครคูรี่-วินาที/ล.บ.ซ.ม.

พลังงานที่อากาศได้รับ

$$= \frac{1}{2} \times \frac{\text{ไมโครคูรี่-วินาที} \times 3.7 \times 10^4 \text{ การสลายตัว} \times E_\gamma \text{ ล้านอิเลคตรอนโวลท์}}{\text{ล.บ.ซ.ม.} \qquad \text{วินาที-ไมโครคูรี่} \qquad \text{การสลายตัว}}$$

$$\times \frac{1.6 \times 10^{-6} \text{ เอิร์ก}}{\text{ล้านอิเลคตรอนโวลท์}}$$

$$= \frac{1}{2} \times 3.7 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-6} E_\gamma \text{ เอิร์ก/ล.บ.ซ.ม.}$$

ความหนาแน่นของอากาศ = 0.0012 กรัม/ล.บ.ซ.ม.

$\therefore$ โดสที่อากาศได้รับ $= \frac{1}{2} \frac{3.7 \times 1.6 \times 10^4 \times 10^{-6}}{100 \times 0.0012} E_\gamma$ แรด

$= 0.246 \; E_\gamma$ แรด

พลังงานของรังสีแกมมา (E_γ) = 0.7 ล้านอิเลคตรอนโวลท์

$= 0.172 \; X$ (4 - 4)

แต่เป็นที่ทราบว่า โดสที่อากาศได้รับมีค่าเท่า ๆ กับโดสที่คนได้รับ ดังนั้น จึงคิดโดสที่คนได้รับจากโดสที่อากาศได้รับ

---

[23] USAEC. 1957. Theoretical Possibility and Consequences of Major Accident in Large Nuclear Power Plants. Wash - 740.

4.4 โดสที่กระดูกได้รับ เมื่อหายใจเอาสตรอนเซียม - 89 เข้าไป

คนธรรมดาหายใจ 220 ล.บ.ซ.ม./วินาที

ถ้าคนเราอยู่ในบริเวณความเข้มคูณเวลา x ไมโครคูรี่-วินาที/ล.บ.ซ.ม.

คิดว่าสตรอนเซียม - 89 ค้างที่กระดูก 22 %

ส่วนที่ค้างที่กระดูก $\frac{22}{100}$ x 220 x ไมโครคูรี่

พลังงานทั้งหมดที่กระดูกได้รับ

$$= \frac{22 \times 220 \times X \times 3.7 \times 10^{4} \times E_{\beta} \times 1.6 \times 10^{-6}}{100} \text{ เอิร์ก/วินาที}$$

น.น. กระดูกทั้งหมด $= 7 \times 10^{3}$ กรัม

$\therefore$ โดสที่กระดูกได้รับ

$$= \frac{22 \times 220 \times X \times 3.7 \times 10^{4} \times E_{\beta} \times 1.6 \times 10^{-6}}{100 \times 100 \times 7 \times 10^{3}} \text{ แรด/วินาที}$$

$$= 4.1 \times 10^{-6} E_{\beta} X \text{ แรด/วินาที}$$

1 วัน $= 8.64 \times 10^{4}$ วินาที

พลังงานเฉลี่ยของสตรอนเซียม- 89 (E_{β}) = 0.5 ล้านอิเลคตรอนโวลท์

$$= 4.1 \times 10^{-6} \times 0.5 \times 8.64 \times 10^{4} X \text{ แรด/วัน}$$

$$= 17.7 \times 10^{-2} X \text{ แรด/วัน}$$

ช่วงเวลาที่สตรอนเซียม - 89 อยู่ในกระดูก = $\frac{\text{ครึ่งอายุ}}{0.7} = \frac{53}{0.7}$ วัน

จำนวนแรดที่กระดูกได้รับ $= 17.7 \times 10^{-2} \times \frac{53}{0.7} \times$ แรด

$= 13.4 \times$ แรด (4 - 5)

4.5 <u>โดสเรทที่กระดูกได้รับ เมื่อหายใจเอาสตรอนเซียม - 90 เข้าไป</u>[24]

โดสเรทที่กระดูกได้รับ หาได้จากความสัมพันธ์ว่า

โดสเรท 1 แรด/ปี เกิดจากความเข้มคูณเวลาของสตรอนเซียม - 90

$= 0.0024 \frac{\text{คูรี-วินาที}}{\text{ล.บ.ม.}}$ (4 - 6)

4.6 <u>โดสที่ทั่วร่างกายได้รับ เมื่อรับรังสีจากซีเซียม - 137</u>

โดสที่ทั่วร่างกายได้รับ หาได้จากความสัมพันธ์ว่า

โดส 1 แรด เกิดจากความเข้มคูณเวลาของซีเซียม - 137

$= 0.065 \frac{\text{คูรี-วินาที}}{\text{ล.บ.ม.}}$ (4 - 7)

4.7 <u>โดสเรทที่ระดับเหนือพื้นดิน 1 เมตร</u> โดยถือว่ากากพิชชั่นปล่อยรังสีแกมมาสม่ำเสมอตลอดพื้นดิน

---

[24] IAEA. 1966, Safety Series No. 18, <u>Environmental Morni-toring in Emergency Situations.</u>

ตารางที่ 4 - 1 โดสเรทที่ระดับเหนือพื้นดิน 1 เมตร

นิวไคลด์ปล่อยรังสีแกมมา	โดสเรทสำหรับ 1 คูรี่/ต.ร.ม. (แรด/ช.ม.)
ไอโอดีน - 131	5.02
ซีเซียม - 137	6.84

4.8 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

4.8.1 ข้อมูลความหนาแน่นของประชากรรอบจุดที่ตั้ง

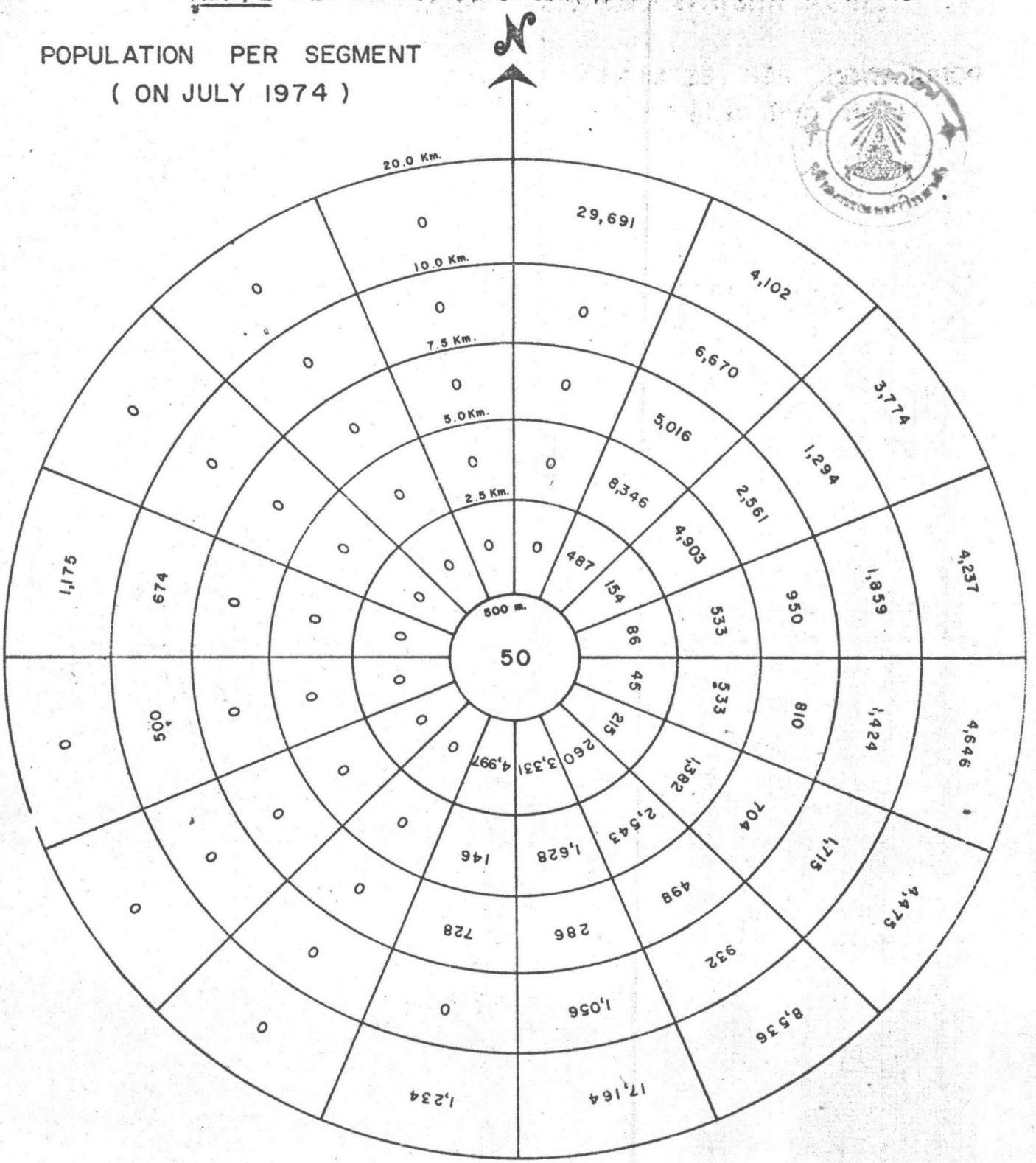
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ทำการสำรวจประชากรรอบจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูตั้งแต่ปี 2515 ข้อมูลนี้เป็นข้อมูลการสำรวจเมื่อเดือน - กรกฎาคม พ.ศ. 2517 โดยแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ต่างกัน 22 $\frac{1}{2}$ องศา ตั้งแต่ระยะ 500 เมตร 2.5 กิโลเมตร 5 กิโลเมตร 7.5 กิโลเมตร 10 กิโลเมตร และ 20 กิโลเมตร

จากการสำรวจพบว่า ทางชีกตะวันออกของจุดที่ตั้งมีประชากรอาศัยอยู่มากกว่าทางทิศตะวันตกซึ่งเป็นทะเล ตามรูปที่ 4 - 2

4.8.2 ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลที่ใช้ประกอบทางด้านอุตุนิยมวิทยา เป็นข้อมูลบอกลักษณะอากาศของจังหวัดชลบุรี จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งทำการวัดลักษณะอากาศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 ถึงปี พ.ศ. 2513 เป็นเวลา 20 ปีเต็ม จังหวัดชลบุรีอยู่ทางทิศเหนือเฉียงตะวันออกเฉียงเหนือ (NNE) ของอ่าวไผ่ อันเป็นจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณู และมีระยะห่างจากตัวเมืองประมาณ 27 ก.ม.

รูปที่ 4-2 การสำรวจความหนาแน่นประชากรรอบสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้า ในปี 1974



Total population in circle of			500	m.	Radius 50
,,	,,	,,	2.5	Km.	,, 9,625
,,	,,	,,	5.0	,,	,, 29,639
,,	,,	,,	7.5	,,	,, 41,192
,,	,,	,,	10.0	,,	,, 57,316
,,	,,	,,	20.0	,,	,, 136,350

สภาพอากาศทั่ว ๆ ไปของจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณู มีลมทะเลพัดประจำตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ฤดู คือ ลมมรสุมตะวันตก-เฉียงใต้ เป็นฤดูที่มีอากาศอบอุ่นที่สุด และมีฝนตก (เมษายน - กันยายน) และอากาศค่อนข้างเย็น เนื่องจากลมมรสุมตะวันออก-เฉียงเหนือ (พฤศจิกายน - มีนาคม) จากข้อมูลที่สรุปโดยละเอียด พบว่า ความเร็วลมช้าที่สุดในเดือนตุลาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.2 น็อต หรือ 2.68 เมตรต่อวินาที

4.8.3 ตารางค่าสัมประสิทธิ์การแพร่[25] เมื่อมีลักษณะอากาศแบบฟุ้งกระจายได้ช้า (F) ที่ระยะต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 4 - 2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

ระยะทาง (เมตร)	อากาศฟุ้งกระจายได้ช้า	
	σ_y (เมตร)	σ_z (เมตร)
500	19	7.6
2,500	82	25
5,000	150	35
7,500	220	42
10,000	290	47
20,000	520	60

[25] Gifford, Frank A. 1959-60. Meteorology Part II, and Part III. ORSORT. Oak Ridge School of Reactor Technology.