บทที่ ๒

ทฤษฎี

การคำนวณหาอัตราการระบายกากกัมมันตรังสีชนิดเหลวลงสู่ทะเลนั้นคำนึงถึงความปลอดภัยของมนุษย์เป็นหลักใหญ่ ดังนั้นจึงมีการวิเคราะห์หาข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ทำการตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูในด้านต่าง ๆ ทั้งสิ่งที่มีชีวิต และสภาพภูมิประเทศทางทะเลที่ทำการระบายกากกัมมันตรังสีชนิดเหลว เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการระบายกากกัมมันตรังสีชนิดเหลวลงสู่ทะเล การสร้างสมการเพื่อใช้ในการคำนวณจะพิจารณาตามลำดับขั้น โดยเริ่มจากปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มนุษย์รับเข้าสู่ภายในร่างกายได้โดยไม่เป็นอันตรายไปสู่ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในสัตว์ทะเล และในน้ำทะเล และจากปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้ในน้ำทะเลไปสู่อัตราการระบายสารกัมมันตรังสีลงทะเล

๒.๑ หนทางที่กากกัมมันตรังสีย้อนคืนสู่มนุษย์

กากกัมมันตรังสีที่ระบายลงสู่ทะเลจะย้อนกลับมาสู่มนุษย์ได้โดยผ่านสิ่งแวดล้อมทั้งที่เป็นสิ่งที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต มนุษย์จะรับรังสีเนื่องจากกากกัมมันตรังสีนี้ได้ ๒ ทางคือ

๒.๑.๑ <u>การรับรังสีจากภายนอก</u> เป็นผลจากการที่มนุษย์ได้รับรังสีจากกากกัมมันตรังสีที่ลอยตัวปะปนมาในน้ำทะเลแล้วถูกซัดเข้าหาดทรายตามชายฝั่ง หรือทำการประมง ทำให้กากกัมมันตรังสีติดเครื่องมือเครื่องใช้ในการทำการประมง หรือจากน้ำทะเลโดยตรง

๒.๑.๒ <u>การรับรังสีภายใน</u> เป็นการรับรังสีซึ่งเกิดจากการบริโภคอาหารที่เป็นสัตว์ทะเล หรือน้ำดื่มที่มีสารกัมมันตรังสีปะปนอยู่ ทำให้กากกัมมันตรังสีเหล่านี้เข้าไปอยู่ภายในร่างกาย และเกิดการแผ่รังสีขึ้นภายในทำให้เป็นอันตรายต่ออวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายได้

การรับรังสีดังกล่าวมาแล้วจะมีผลต่อบุคคลที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับที่ทำการตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากบุคคลเหล่านี้มีอาชีพการประมง และบริโภคอาหารทะเลเป็นหลักใหญ่

แต่การรับรังสีภายในมีผลต่อร่างกายมนุษย์ได้มากกว่าการรับรังสีภายนอก ในการศึกษานี้จะกล่าวแต่ทฤษฎีเฉพาะที่เกิดจากการรับรังสีภายในเท่านั้น

๒.๒ อัตราการรับสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย

อัตราการรับสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์จะเป็นไปได้มากเท่าใดนั้นจะขึ้นกับปัจจัย ๒ ข้อคือ

๒.๒.๑ ค่าปริมาณรังสีที่ยอมให้อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายได้รับมากที่สุดโดยไม่เป็นอันตราย ซึ่งคณะกรรมาธิการระหว่างชาติเรียกว่า ICRP (International Commission on Radiological Protection) ได้กำหนดอัตราการรับปริมาณรังสีของคนไว้ดังแสดงในตารางที่ ๒.๑

๒.๒.๒ ปริมาณสารกัมมันตรังสีชนิดต่าง ๆ ที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในอวัยวะต่าง ๆ สารกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากการบริโภคหรือดื่มน้ำจะเข้าไปสะสมที่อวัยวะหนึ่ง ๆ อวัยวะที่สารไอโซโทปกัมมันตรังสีเข้าไปสะสมโดยเฉพาะนั้นเรียกว่า "อวัยวะวิกฤต" (Critical Organ) สารกัมมันตรังสีที่อวัยวะนั้น ๆ จะต้องแผ่รังสีต่ออวัยวะนั้น ๆ ได้ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ ๒.๑ ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าปริมาณสารกัมมันตรังสีชนิดต่าง ๆ ที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในน้ำดื่มหนึ่งหน่วยปริมาตรหรือ MPC_w ที่บุคคลทั่ว ๆ ไปดื่มเข้าไปได้โดยไม่เป็นอันตราย ดังแสดงในตารางที่ ๒.๒

โดยการพิจารณาว่ามนุษย์มาตรฐานมีน้ำหนัก ๗๐ กิโลกรัม ได้รับน้ำภายใน ๑ วัน ดังนี้คือ

น้ำจากทางอาหารที่บริโภคเข้าไปโดยตรง	1000	ml/day
น้ำจากน้ำดื่ม	1200	ml/day
หรือรวมทั้งหมด	2200	ml/day

จาก MPC_w ซึ่งเป็นค่าปริมาณสารกัมมันตรังสีที่กำหนด (μCi/ml)

ถ้าให้ P เป็นอัตราการรับสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายได้มากที่สุดโดยไม่เป็นอันตราย (μCi/day)

$$P = MPC_w \times 2200 \quad (\mu Ci/day) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

ตารางที่ ๒.๑

อัตราการรับรังสีของอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสำหรับบุคคลทั่ว ๆ ไป(๑)

อวัยวะส่วนต่าง ๆ	อัตราการรับรังสี ต่อปี	อัตราการรับรังสี ต่อสัปดาห์
ระบบสืบพันธุ์, อวัยวะสร้างเม็ดเลือดแดง และ "ทั่วร่างกาย"	0.5 เรม	0.01 เรม
ผิวหนัง หรือต่อมไทรอยด์ และกระดูก	3 เรม	0.06 เรม
มือ, แขน, เท้า และข้อเท้า	7.5 เรม	0.15 เรม
อวัยวะแต่ละส่วนภายในร่างกาย	1.5 เรม	0.03 เรม

ตารางที่ ๒.๒

ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในน้ำดื่ม

ตามอวัยวะวิกฤตสำหรับบุคคลโดยทั่ว ๆ ไป(๑)

ไอโซโทปและชนิดรังสี	อวัยวะวิกฤต	MP C_w ($\mu Ci/cm^3$)
$_{30}Zn^{65}$ (β^+, r)	ทั่วร่างกาย	10^{-4}
$_{27}Co^{60}$ (β^-, r)	ระบบย่อยอาหาร (ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย)	5×10^{-5}
$_{25}Mn^{54}$ (β^-, r)	ระบบย่อยอาหาร (ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย)	10^{-4}
$_{15}P^{32}$ (β^-)	กระดูก	2×10^{-5}
$_{24}Cr^{51}$ (r)	ระบบย่อยอาหาร (ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย)	2×10^{-3}
$_{26}Fe^{55}$ (β^-, r)	ม้าม	8×10^{-4}
$_{38}Sr^{90}$ (β^-)	กระดูก	10^{-7}
$_{40}Zr^{95}$ (β^-, r)	ระบบย่อยอาหาร (ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย)	6×10^{-5}
$_{44}Ru^{106}$ (β^-, r)	ระบบย่อยอาหาร (ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย)	10^{-5}
$_{53}I^{131}$ (β^-, r)	ต่อมไทรอยด์	2×10^{-6}

ตารางที่ ๒.๒ (ต่อ)

ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุด

ในน้ำดื่มตามส่วนอวัยวะวิกฤตสำหรับบุคคล

โดยทั่ว ๆ ไป (๑)

ไอโซโทปและชนิดของรังสี	อวัยวะวิกฤต	MP C_w ($\mu Ci/cm^3$)
$_{55}Cs^{137}$ (β^-, r)	ทั่วร่างกาย	2×10^{-5}
$_{56}Ba^{140}$ (β^-, r)	ระบบย่อยอาหาร (ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย)	3×10^{-5}
$_{58}Ce^{144}$ (α , β^-, r)	ระบบย่อยอาหาร (ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย)	10^{-5}
$_{94}Pu^{239}$ (α , r)	กระดูก	5×10^{-6}

๒.๓ <u>ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในสัตว์ทะเลต่อหน่วยน้ำหนัก</u>

ถ้าคิดว่าอัตราการรับสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายได้มากที่สุดโดยไม่เป็นอันตรายที่กำหนดไว้นั้น ได้มาจากการบริโภคอาหารทะเลที่มีสารกัมมันตรังสี นั่นคือสารกัมมันตรังสีที่ร่างกายเรารับไว้ต่อหนึ่งวันนั้นได้มาจากสัตว์ทะเลทั้งหมดที่บุคคลนั้นบริโภคเป็นอาหารต่อหนึ่งวัน

เนื่องจากการรับรังสีภายในมีผลต่อบุคคลที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงปริมาณของสัตว์ทะเลที่บุคคลดังกล่าวบริโภคเข้าไปเป็นอาหารหลักต่อหนึ่งวันมากกว่าบุคคลประเภทอื่น ๆ ซึ่งบริโภคเข้าไปน้อยกว่า ซึ่งปริมาณของสัตว์ทะเลที่บริโภคเข้าไปของบุคคลดังกล่าวนั้นได้จากการสัมภาษณ์บุคคลในบริเวณใกล้เคียงกับที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณู

ให้ Q เป็นปริมาณของสัตว์ทะเลที่นำมาบริโภคต่อหนึ่งวัน (gm/day)

R เป็นปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในสัตว์ทะเลต่อหน่วยน้ำหนัก (μCi/gm)

ดังนั้นปริมาณสารกัมมันตรังสีทั้งหมดในสัตว์ทะเลที่นำมาบริโภคต่อหนึ่งวัน

$$= RQ \qquad \mu Ci/day$$

$$P = RQ \qquad \mu Ci/day$$

หรือ
$$R = \frac{MPC_w \times 2000}{Q} \qquad \mu Ci/gm \quad \ldots\ldots\ldots (2.2)$$

ในการสำรวจบริเวณที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูที่อ่าวไผ่ สำนักงาน พ.ป.ส. ได้ทำการสัมภาษณ์บุคคลที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูเกี่ยวกับปริมาณสัตว์ทะเลที่นำมาบริโภคเป็นอาหารในเขตตำบลต่าง ๆ ในอำเภอศรีราชา โดยสุ่มตัวอย่างบุคคลประมาณ ๑๕๖๐ คน

ในการสำรวจได้แบ่งเขตตำบลต่าง ๆ โดยให้บริเวณที่ตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมที่มีรัศมีห่างออกไปไกลที่สุดโดยประมาณ ๒๕ กิโลเมตร และในแต่ละเขตตำบล หมู่บ้านภายในรัศมีดังกล่าวก็จะสุ่มบุคคลจากครอบครัวหนึ่ง ๆ ในแต่ละหมู่บ้านประมาณ ๒ หรือ ๓ ครอบครัว มาทำการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการบริโภคอาหารในแต่ละวันประกอบด้วยอะไรบ้าง และบริโภคในปริมาณเท่าใด ผลจากการสัมภาษณ์ไม่สามารถจะแยกรายละเอียดประเภทอาหารได้ว่า บริโภคอาหารแต่ละประเภทเข้าไปในปริมาณเท่าใด แต่เนื่องจากบุคคลในบริเวณดังกล่าวบริโภคอาหารทะเลเป็นอาหาร

หลักประจำวัน ในการศึกษาข้อมูลจึงทราบปริมาณของอาหารทะเลที่บริโภคเข้าไปต่อหนึ่งวันได้ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกปลาและพวกหอยบ้าง ผลของการสำรวจจะได้ว่า

ครอบครัวหนึ่ง ๆ ที่สุ่มตัวอย่าง พบว่ามีสมาชิกภายในครอบครัวมากที่สุดโดยประมาณ ๑๕ คน และมีสมาชิกภายในครอบครัวน้อยที่สุดโดยประมาณ ๓ คน ซึ่งครอบครัวที่บริโภคอาหารทะเลมีปริมาณมากที่สุดโดยประมาณ ๓๐๐๐ กรัมต่อวัน และบริโภคอาหารทะเลที่มีปริมาณน้อยที่สุดโดยประมาณ ๒๕๐ กรัมต่อวัน เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ว่า แต่ละบุคคลซึ่งบริโภคอาหารทะเลมีปริมาณต่ำสุดโดยเฉลี่ย ๓๕ กรัมต่อวัน และแต่ละบุคคลบริโภคอาหารทะเลมีปริมาณสูงสุดโดยเฉลี่ย ๓๓๓ กรัมต่อวัน เมื่อนำมาเฉลี่ยทั้งหมดแล้วจะได้ว่า

ปริมาณสัตว์ทะเลที่นำมาบริโภคต่อบุคคลโดยเฉลี่ย = 160 gm/day

เนื่องจากปริมาณสัตว์ทะเลดังกล่าวไม่สามารถแยกปริมาณพวกปลาและพวกหอยได้ ดังนั้นจึงถือว่าบุคคลดังกล่าวบริโภคอาหารปลา และหอยในจำนวนปริมาณที่เท่า ๆ กันคือ

ปริมาณของปลา 160 gm/day

ปริมาณหอย 160 gm/day

นั่นคือ $Q = 160$ gm/day

แทนค่าลงในสมการ (2.2) จะได้ว่า

$$R = MPC_w \times \frac{2200}{160}$$

เพราะฉะนั้น

$$R = 13.75\ MPC_w\ \mu Ci/gm \quad \text{.....(2.3)}$$

๒.๔ <u>อัตราส่วนความเข้มข้น</u> (Concentration Factor)

อัตราส่วนความเข้มข้น คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณของธาตุใด ๆ ที่อยู่ในพืชหรือสัตว์ทะเลต่อหน่วยน้ำหนักกับปริมาณของธาตุนั้น ๆ ที่มีอยู่ในน้ำทะเลต่อหน่วยน้ำหนัก เมื่อธาตุนั้นมีอยู่ในพืชหรือสัตว์ทะเลและน้ำทะเลอย่างสมดุลย์ ซึ่งค่าอัตราส่วนความเข้มข้นที่หาได้จากสัตว์แต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นกับชนิดของธาตุ ภูมิประเทศ และชนิดของสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ ๒.๓ ซึ่งแสดงถึงช่วงกว้างของค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ของสัตว์ทะเลในภูมิประเทศแห่งต่าง ๆ

และในตารางที่ ๒.๔ แสดงค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในสัตว์ทะเลพวกปลา และหอยในต่างประเทศ

ถ้ากากกัมมันตรังสีที่ระบายลงสู่ทะเลเป็นไอโซโทปของธาตุเสถียรต่าง ๆ ในทะเล ไอโซโทปนั้น ๆ ก็จะเข้าไปอยู่ในพืชหรือสัตว์นั้น ๆ ตามส่วนต่าง ๆ ที่ธาตุเสถียรเหล่านั้นอาศัยอยู่ และอัตราส่วนความเข้มข้นก็คืออัตราส่วนปริมาณของไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุเสถียรนั้น ๆ ในสัตว์ต่อหน่วยน้ำหนักกับปริมาณของไอโซโทปสารกัมมันตรังสีของธาตุเดียวกันในน้ำทะเลต่อหน่วยน้ำหนัก

ในการสำรวจทะเลบริเวณอ่าวไผ่ อ.ศรีราชา สำนักงาน พ.ป.ส. ได้นำปลาชนิดต่าง ๆ ประมาณ ๒๕ ชนิด สัตว์พวกหอยประมาณ ๓ ชนิด และน้ำทะเลมาวิเคราะห์หาธาตุเสถียรต่าง ๆ ประมาณ ๓ ธาตุคือ Zn, Co และ Mn ได้นำเอาปริมาณของธาตุเสถียรที่วิเคราะห์ได้นั้น นำมาหาค่าอัตราส่วนความเข้มข้น ซึ่งอาจสรุปผลที่สำคัญได้ ดังนี้

ปลากุแล ปลาสลิด และปลาแป้น มีค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของ

Zn สูงที่สุด = 1.3×10^3

ปลาเห็ดโคน มีค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของ Co สูงที่สุด = 32

ปลาสันจุด มีค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของ Mn สูงที่สุด = 222

หอยนางรม มีค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของ Zn สูงที่สุด = 15×10^3

หอยนางรม มีค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของ Co สูงที่สุด = 11

ปลาหมึกหอมมีค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของ Mn สูงที่สุด = 105

ในที่นี้จะใช้อัตราส่วนความเข้มข้นต่าง ๆ ดังกล่าวมานี้ เป็นค่าอัตราส่วนความเข้มข้นที่เป็นค่าคงที่สำหรับสัตว์พวกปลาและพวกหอยในบริเวณทะเลที่ศรีราชา ดังแสดงในตารางที่ ๒.๕

ตารางที่ ๒.๓

ช่วงกว้างของค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ

ของสัตว์ทะเลในภูมิประเทศแห่งต่าง ๆ[๒]

ธาตุ	ช่วงกว้างของค่าอัตราส่วนความเข้มข้น
P	10,000 ถึง 100,000
Mn	25 ถึง 10,000
Fe	1,000 ถึง 10,000
Co	200 ถึง 10,000
Zn	1,000 ถึง 20,000
Sr	1 ถึง 20
Cs	1 ถึง 10
I	3 ถึง 20,000

ตารางที่ ๒.๔

ค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในสัตว์ทะเล

พวกปลาและพวกหอยในต่างประเทศ(๓)

ธาตุ	ค่าอัตราส่วนความเข้มข้น ในพวกปลา	ค่าอัตราส่วนความเข้มข้น ในพวกหอย
P	10^4	10^4
Cr	10^2	10^3
Mn	3×10^3	10^4
Fe	10^3	2×10^4
Co	10^2	3×10^2
Zn	5×10^3	5×10^4
Sr	1	1
Zr	30	10
Ru	3	10^2
I	20	10^2
Cs	30	10^2
Ba	3	10
Ce	30	3
Pu(4)	13	-

ตารางที่ ๒.๕

ค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของธาตุบางธาตุในสัตว์พวกปลา

และพวกหอยในทะเลที่ศรีราชา

ธาตุ	ค่าอัตราส่วนความเข้มข้น ในพวกปลา	ค่าอัตราส่วนความเข้มข้น ในพวกหอย
Zn	1.3×10^3	15×10^3
Co	32	11
Mn	222	105

๒.๕ <u>ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในน้ำทะเล</u>

จากเรื่องอัตราส่วนความเข้มข้น ถ้าเราทราบปริมาณสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในสัตว์ทะเลต่อหน่วยน้ำหนัก เราสามารถหาปริมาณสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในน้ำทะเลต่อหน่วยน้ำหนักได้

ให้ C เป็นค่าอัตราส่วนความเข้มข้น

S เป็นปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในน้ำทะเลต่อหน่วยน้ำหนัก ($\mu Ci/gm$)

เพราะฉะนั้น

$$C = \frac{R}{S}$$

หรือ

$$S = \frac{R}{C} \quad \mu Ci/gm$$

$$S = \frac{13.75\ MPC_w}{C} \quad \mu Ci/gm \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.4)$$

๒.๖ ขบวนการทำให้เจือจางของทะเล

ปริมาณของกากกัมมันตรังสีที่ยอมให้ระบายลงสู่ทะเลนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในทะเลแล้ว ยังขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ ที่เป็นตัวการทำให้ความเข้มของสารกัมมันตรังสีที่ทำการระบายออกไปนั้นเจือจางลง ได้แก่

๑. การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

๒. การเจือจางลงเนื่องจากการพาไปของกระแสน้ำ และทำให้เกิดการฟุ้งออกไปในทิศทางต่าง ๆ กันรอบ ๆ บริเวณจุดที่ทำการระบายกากกัมมันตรังสีด้วยทิศทางการไหลของกระแสน้ำที่ไหลวนไปวนมาในบริเวณนั้น ทำให้กากกัมมันตรังสีห่างไกลออกไปจากจุดเดิม และเจือจางลงไปเรื่อย ๆ

ลักษณะภูมิประเทศของทะเลในบริเวณที่ทำการระบายกากกัมมันตรังสีจะเป็นส่วนที่สำคัญต่อการระบายกากกัมมันตรังสีด้วย ถ้าในที่แต่ละแห่งมีลักษณะไม่เหมือนกัน ก็จะมีผลทำให้ระดับปริมาณกากกัมมันตรังสีที่ยอมให้ระบายลงทะเลนั้น ๆ แตกต่างกันไปด้วย ดังนั้น เราจึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะภูมิประเทศของทะเลบริเวณที่เราจะทำการระบายกากกัมมันตรังสี ได้แก่ ความเร็วของกระแสน้ำ ความลึกของทะเล เวลาครบรอบของน้ำขึ้นน้ำลง เป็นต้น

๒.๖.๑ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายกากกัมมันตรังสีกับปริมาณความเข้มข้นกากกัมมันตรังสีในทะเล (ไม่คำนึงถึงการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี)

ให้ P เป็นปริมาณกากกัมมันตรังสีที่ฟุ้งแล้วในทะเลต่อหน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็น $\mu Ci/m^3$

$\dot{M}$ เป็นอัตราการระบายกากกัมมันตรังสีลงสู่ทะเลต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น $\mu Ci/sec$

T เป็นคาบเวลาของน้ำขึ้นน้ำลง มีหน่วยเป็น sec

W เป็นค่าคงตัวของการฟุ้งเชิงมหภาค (macroscopic diffusion) มีหน่วยเป็น m/sec

K เป็นค่าคงตัวของการฟุ้งเชิงจุลภาค (microscopic diffusion) มีหน่วยเป็น m^2/sec

การฟุ้งเชิงมหภาคแตกต่างกับการฟุ้งเชิงจุลภาค เนื่องจากว่า การฟุ้งเชิงมหภาคเป็นลักษณะการฟุ้งของสารในน้ำซึ่งถูกทำให้เกิดโดยการไหลวนของกระแสน้ำ และไม่ได้พิจารณาเปรียบเทียบขอบเขตของการไหลวนของกระแสน้ำกับขอบเขตของกลุ่มสารที่ระบายลงไปในน้ำ ซึ่งค่าคงที่หาได้จะได้มาจากการทดลอง ซึ่งเราสามารถจะวัดหาได้ และสังเกตเห็นได้ ส่วนการฟุ้งเชิงจุลภาคเป็นลักษณะการฟุ้งในระดับโมเลกุลของสารในน้ำ ซึ่งพิจารณาเปรียบเทียบให้ขอบเขตของการไหลวนของกระแสน้ำมีขนาดเล็กมากกว่าขอบเขตของกลุ่มสารที่ระบายลงไปในน้ำ ซึ่งค่าคงตัวที่หาได้นี้จะได้มาจากการอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์

ให้ a เป็นความลึกเฉลี่ยของทะเลในเขตบริเวณที่จะทำการระบายกากกัมมันตรังสี มีหน่วยเป็น m

v เป็นความเร็วของกระแสน้ำในเขตบริเวณที่จะทำการระบายกากกัมมันตรังสี โดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น m/sec

จะได้ว่า

$$K = \beta a v^{(2)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.5)$$

เมื่อ

β = ค่าสัมประสิทธิ์ของการฟุ้ง

= 0.003

006625

สมมติถ้าเราระบายกากกัมมันตรังสีลงไปในทะเลในเวลา T ด้วยอัตรา M

สารกัมมันตรังสีที่ระบายลงสู่ทะเลจะมีจำนวนทั้งหมด $\dot{M}T$ μCi

เมื่อกากกัมมันตรังสีถูกระบายลงสู่ทะเลแล้ว สภาพการฟุ้งของทะเลจะเป็นตัวการทำให้กากกัมมันตรังสีเจือจางลงถ้าเราระบายออกไปในช่วงของคาบเวลาน้ำขึ้นน้ำลง หลังจากคิดว่าน้ำขึ้นน้ำลงผ่านไป n คาบเวลาจะได้สมการแสดงปริมาณความเข้มข้นกากกัมมันตรังสีบริเวณที่ระบาย ดังสมการต่อไปนี้

$$p = \frac{\dot{M}TW^2}{8\pi Ka}\left[\frac{1}{\frac{W^2nT}{2K} + \left(\frac{W^2nT}{2K}\right)^2}\right] \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.6)$$

p เป็นความเข้มข้นที่เกิดจากการระบายในช่วงเวลา T เมื่อเวลา nT หลังจากการระบาย ถ้าเป็นการระบายต่อเนื่องตลอดเวลา จะหาความเข้มข้นบริเวณที่ระบายได้ดังนี้คือ

i 18816128

ให้ p_{bg} เป็นความเข้มข้นเนื่องจากการระบายต่อเนื่อง

$$p_{bg} = \sum_{n=1}^{\infty} p$$

หรือ $$p_{bg} = \frac{\dot{M}T}{4\pi KTa} \ln\left[1 + 2\left(\frac{2K}{W^2T}\right)\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.7)$$

จากสมการ (2.4) ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในน้ำทะเลต่อหน่วยน้ำหนัก มีหน่วยเป็น $\mu Ci/gm$

โดยถือว่าความหนาแน่นของน้ำทะเลมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1 gm/cc

ดังนั้น ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในน้ำทะเลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็น $\mu Ci/cc$ จะมีค่าเท่ากับ ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในน้ำทะเลต่อหน่วยน้ำหนัก $\mu Ci/gm$

จะได้ว่า S มีหน่วยเป็น $\mu Ci/cc$

จาก p_{bg} มีหน่วยเป็น $\mu Ci/m^3$

เพราะฉะนั้น

$$p_{bg} = S \times 10^6 \qquad \mu Ci/m^3$$

นั่นคือ

$$S \times 10^6 = \frac{\dot{M}T}{4\pi KTa} \ln\left[1 + 2\left(\frac{2K}{W^2T}\right)\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.8)$$

ในการคำนวณหาผลในหัวข้อนี้ ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ทำการสำรวจลักษณะภูมิประเทศทางทะเลในบริเวณที่จะทำการระบายกากออกไปจะได้ข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

๒.๖.๒ <u>ข้อมูลเกี่ยวกับความลึกของทะเล</u> ในเขตบริเวณที่จะทำการตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูตั้งแต่ชายฝั่งบริเวณที่ตั้งถึงเกาะสีชัง มีระยะห่างโดยประมาณ ๑๐ กิโลเมตร และกว้างออกไปทางเลียบชายฝั่งโดยประมาณ ๑๐ กิโลเมตร จะได้ความลึกของทะเลเป็นระนาบเอียงมีความลึกตั้งแต่ ๑ เมตรลงไปถึง ๓๐ เมตร จากข้อมูลทั้งหมดนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยประมาณ จะได้ว่า

ความลึกเฉลี่ย = 14.5 เมตร

๒.๖.๓ <u>ข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วของกระแสน้ำทะเล</u> ที่หาได้แต่ละจุดในทะเลบริเวณที่ทำการตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณู เป็นค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการวัดที่ระดับต่าง ๆ ของทะเล คือ

๑. ระยะลึกกึ่งกลางทะเล (mid depth) ณ จุดนั้น

๒. ระยะลึกจากผิวน้ำลงไป ๑ เมตร

๓. ระยะที่สูงเหนือระดับผิวน้ำขึ้นไป ๑ เมตร

ความเร็วของกระแสน้ำที่จุดเดียวกัน ในเวลาต่าง ๆ กันจะแปรค่าไปตามเวลา นอกจากนั้นสำรวจที่จุดต่าง ๆ กันในบริเวณเดียวกัน ค่าของความเร็วของกระแสน้ำก็ไม่เท่ากัน จากข้อมูลจะได้ว่าค่าความเร็วของกระแสน้ำอยู่ในช่วง 0.05 m/sec ถึง 0.35 m/sec เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ว่า

ค่าความเร็วของกระแสน้ำโดยเฉลี่ยโดยประมาณ = 0.15 m/sec

๒.๖.๔ <u>ข้อมูลเกี่ยวกับคาบเวลาของน้ำขึ้นน้ำลง</u> (Tidal Period) จากการสำรวจจะได้คาบเวลาโดยประมาณ ๑๒ ช.ม. หรือ ๔.๓๒ x $๑๐^{๔}$ วินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่อ้างในหนังสือ คือ ๔ x $๑๐^{๔}$ วินาที[๒] ดังนั้นในการคำนวณจึงเอาค่าที่เป็นตัวเลขลงตัวมาใช้ คือ ๔ x $๑๐^{๔}$ วินาที

๒.๖.๕ <u>ค่าคงตัว W</u> เนื่องจากในการสำรวจทะเลที่ศรีราชายังไม่ได้ทำการหาค่านี้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำค่าจากหนังสืออ้างอิง มาใช้ในการคำนวณ โดยความจริงแล้ว ค่าคงตัว W นี้ที่จุดต่าง ๆ ก็จะแปรค่าต่างกันไป แต่ถ้าเราให้ค่า W นี้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง นายโจเซฟและนายเซ็นเนอร์[๒] (Joseph and Sendner) ได้มีหลักฐานแสดงถึงค่า W นี้ คือ

ถ้าในน้ำทะเลลึก จะมีค่า W = 10^{-2} m/sec

ในน้ำทะเลตื้นชายฝั่ง จะมีค่า W น้อยกว่ากรณีแรก เช่น 10^{-3} m/sec และ 10^{-4} m/sec

เนื่องจากการสำรวจบริเวณทะเลที่อ่าวไผ่ อ.ศรีราชา พบว่าทะเลบริเวณที่ทำการปล่อยนี้เป็นลักษณะเขตทะเลชายฝั่งน้ำตื้น มีความลึกไม่มาก กระแสน้ำไหลช้า ทำให้การฟุ้งกระจายของสารช้าตามด้วย เพื่อให้ผลของการคำนวณแสดงถึงความปลอดภัยได้มากที่สุด จึงนำค่าคงตัว W = 10^{-4} m/sec มาใช้ในการคำนวณ

๒.๗ วิธีการคำนวณและตัวอย่างการคำนวณ

๒.๗.๑ คำนวณหาอัตราการรับปริมาณสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายของคน จากสมการที่ (2.1)

จาก $P = MPC_w \times 2200$ $\mu Ci/day$

สำหรับ Zn^{65} จากตารางที่ ๓.๒

$MPC_w = 10^{-4}$ $\mu Ci/cc.$

เพราะฉะนั้น $P = 10^{-4} \times 2200$

$= 0.22$ $\mu Ci/day$

๒.๗.๒ คำนวณปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้ในสัตว์ทะเลมากที่สุด จากสมการที่ (2.3)

จาก $R = 13.75 \times MPC_w$ $\mu Ci/gm$

เพราะฉะนั้น $R = 13.75 \times 10^{-4}$

$= 1.4 \times 10^{-3}$ $\mu Ci/gm$

๒.๗.๓ คำนวณหาปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในน้ำทะเล จากสมการที่ (2.4)

จาก $S = \frac{13.75 \times MPC_w}{C}$ $\mu Ci/gm$

สำหรับ Zn^{65} จากตารางที่ ๒.๔

C(ในปลา) $= 5 \times 10^3$

เพราะฉะนั้น $S = \frac{1.4 \times 10^{-3}}{5 \times 10^3}$

$= 0.28 \times 10^{-6}$ $\mu Ci/gm$

๒.๗.๔ คำนวณสภาพการฟุ้งของทะเลในบริเวณที่ทำการตั้งโรงไฟฟ้าปรมาณู จากสมการ (2.5)

จาก $K = 0.003 \times av$

โดยการสำรวจได้ $a = 14.5$ m

$v = 0.15$ m/sec

เพราะฉะนั้น $K = 0.003 \times 14.5 \times 0.15$

$= 0.0065$ m^2/sec

๒.๗.๕ คำนวณอัตราการระบายกากกัมมันตรังสีต่อหน่วยเวลา จากสมการ (2.8)

จาก $Sx10^6 = \frac{\dot{M}T}{4\pi KTa} \ln \left[1 + 2 \left(\frac{2K}{W^2 T} \right) \right]$ $\mu Ci/m^3$

ได้ค่าคงที่ต่าง ๆ คือ $T = 4x10^4$ sec

$W = 10^{-4}$ m/sec

$K = 0.0065$ m^2/sec

$a = 14.5$ m

สำหรับ Zn^{65} $S = 0.28x10^{-6}$ $\mu Ci/gm$

เพราะฉะนั้น $0.28x10^{-6}x10^6 = \frac{\dot{M}x4x10^4}{4\pi x0.0065x4x10^4x14.5} \ln \left[1+2 \left(\frac{2x0.0065}{(10^{-4})^2 x4x10^4} \right) \right]$

$0.28 = \dot{M}x3.5$

$\dot{M} = \frac{0.28}{3.5}$

$= 0.08$ $\mu Ci/sec$

ถ้าอัตราการระบายกากกัมมันตรังสี คิดในหน่วยเวลาที่ยาวเป็นปี เราจะได้ค่าของ $\dot{M}$ ในหน่วยใหม่จาก $\mu Ci/sec$ เป็น Ci/yr.

จาก 1 yr $= 3.1536x10^7$ sec

และ 1 Ci $= 10^6$ μCi

เพราะฉะนั้น

$\dot{M} = 0.08x10^{-6}x3.1536x10^7$ Ci/yr

$= 2.5$ Ci/yr