



1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันนิวเคลียร์เทคโนโลยีได้วิวัฒนาการอย่างกว้างขวางและถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในแทบทุกสาขาวิชา เช่น ทางการแพทย์ ทั้งบำบัดรักษา และหาสาเหตุอุตสาหกรรม งานวิจัยค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ และอื่น ๆ ซึ่งนับได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดของกากกัมมันตรังสีทั้งสิ้น นอกจากนั้นแล้ว กากกัมมันตรังสีอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุอื่น ๆ อีก กล่าวคือ การทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์ การใช้การระเบิดนิวเคลียร์ในทางสันติ (Peaceful Nuclear Explosion) การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบวิจัยและแบบกำลัง รวมทั้งโรงไฟฟ้าปรมาณูด้วย

กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นมีทั้งสภาวะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งจำเป็นจะต้องจัดการกากกัมมันตรังสีออกเสียก่อนที่จะปลดปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อม เนื่องจากกัมมันตรังสีนี้ถ้าเข้าไปอยู่ในสิ่งแวดล้อมแล้ว จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับวงจรทางชีววิทยา (Biological cycle) กล่าวคือ ถ้าปล่อยลงสู่ทะเลจะไปสะสมในผลิตภัณฑ์ทะเลซึ่งสุดท้ายใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์ และถ้าปล่อยลงสู่พื้นดิน พืชจะดูดเอาไว้และกลับคืนสู่มนุษย์อีกเช่นกันทั้งในทางตรง คือมนุษย์บริโภคพืชชนิดนั้นโดยตรง หรือในทางอ้อม คือมนุษย์บริโภคสัตว์ที่กินพืชชนิดนั้น ๆ อีกท่อนหนึ่ง สารกัมมันตรังสีที่นับได้ว่ามีความอันตรายมากในทางชีววิทยา คือ สารจำพวกผลผลิตจากฟิชชัน (Fission product) เช่น สตรอนเตียม-90 ซีเซียม-137 ไอโอดีน-131 เป็นต้น

การจัดการกากกัมมันตรังสีกระทำโดยหลายวิธีแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัญหาเฉพาะของแต่ละท้องถิ่น เช่นการระเหยให้เหลือปริมาณน้อย ๆ และกรองสิ่งที่ตกค้างออกทำให้เจือจางด้วยน้ำ ตกตะกอนไอโซโทปรังสีด้วยสารเคมีกัมมันต์ เช่น ปูนขาว ทองแดง ซัลเฟต เป็นต้น และวิธีไอออนเอ็กซ์เชนจ์ โดยใช้เรซินซึ่งเป็นสิ่งสังเคราะห์จากอินทรีย์-สาร ทั้งแคทไอออน และแอนไอออน หรือทั้งสองชนิดรวมกัน หรือใช้สารประกอบในธรรมชาติ เช่น หิน ดิน เกล็ด (Clay) เป็นต้น

ขณะนี้ประเทศไทยมีสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) ในกระทรวง-
อุตสาหกรรม เป็นศูนย์กลางบริการงานซ้ดักกากัมมันตรังสีให้แก่ผู้ใช้สารกัมมันตรังสีโดยทั่ว
ไป หนึ่ง มีสถิติว่า แนวโน้มของผู้ใช้สารกัมมันตรังสีเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยมีความแรง
รังสีสูงขึ้น และสารกัมมันตรังสีต่าง ๆ ชนิดขึ้น และเป็นที่คาดหมายได้ว่าในอนาคตอัน-
ไกลนี้จะมีโรงไฟฟ้าปรมาณูแห่งแรกเกิดขึ้นในประเทศที่อ่าวไผ่ อำเภอศรีราชา จังหวัด
ชลบุรี นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่อาจจะนำระเบิดนิวเคลียร์มาเป็นเครื่องช่วยขุดคอคอดกระ-
ควย สิ่งต่าง ๆ ดังที่ได้อธิบายมานี้ จะทำให้ปัญหาการซ้ดักกากัมมันตรังสีเพิ่มมากขึ้น

ในปัจจุบันกรรมวิธีซ้ดักกากัมมันตรังสีที่ใช้อยู่ในสำนักงาน พปส. คือ วิธีทำให้เจือ-
จาง และ/หรือ การตกตะกอนไม่มีปัญหามากนักต่อการซ้ดักกากัมมันตรังสีในระดับต่ำ
แต่กรรมวิธีนี้ไม่ค่อยจะเหมาะสมต่อการซ้ดักสารจำพวกผลผลิตจากพืชชั้น และเพื่อเตรียม
พร้อมเพื่อรับสถานการณ์ดังกล่าวแล้วข้างต้น จึงจำเป็นต้องศึกษากรรมวิธีซ้ดักให้เหมาะสม
โดยให้ประหยัด และในขณะเดียวกันก็มีประสิทธิภาพและสะดวกยิ่งขึ้นด้วย

เป็นที่ทราบกันดีว่า เคลย์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคชไอออน และมี
ประสิทธิภาพในการกักจับสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกผลผลิตจากพืชชั้น เอกสารวิจัย
เรื่องการใช้ประโยชน์ของเคลย์เป็นตัวกักจับสารกัมมันตรังสีต่าง ๆ ชนิดมีมากมาย หนึ่ง
เป็นที่ยอมรับกันว่า ประเทศไทยมีดินชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณภาพดี ดังนั้น จึงสมควรที่จะศึกษา
วิจัยถึงกรรมวิธีซ้ดักกากของเหลวกัมมันตรังสี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สตรอนเตียม-90 และ
ซีเซียม-137 โดยใช้เคลย์ และดินชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ภายในประเทศเป็นสารทดลอง

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาวิจัยนี้คือ เพื่อปรับปรุงกรรมวิธีซ้ดักกากของเหลว
กัมมันตรังสี ซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบันให้เหมาะสมยิ่งขึ้นต่อปริมาณรังสี และชนิดของไอโซโทปรังสี
โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลผลิตของพืชชั้นที่จะมีเพิ่มมากขึ้นในกากกัมมันตรังสีในอนาคต โดยให้
ประหยัดและสะดวกในการปฏิบัติ

ในการศึกษานี้จะใช้ดินภายในประเทศ ซึ่งมีคุณภาพดี และเชื่อว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง เป็นสารดูดซับไอโซโทปรังสีในกากของเหลวกัมมันตรังสีดังกล่าว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะจำกัดขอบเขตโดยศึกษาเฉพาะกากกัมมันตรังสีชนิดที่เป็นของเหลวที่มีระดับความแรงรังสีค่อนข้างต่ำ คือมีความแรงรังสีเฉลี่ยประมาณ 10^{-3} - 10^{-5} ไมโครคูรีต่อซี.ซี. และจะศึกษาต่อกากของเหลวกัมมันตรังสีที่มีสตรอนเทียม-90 และซีเซียม-137 เป็นส่วนประกอบ และกากของเหลวกัมมันตรังสีที่สำนักงาน พปส. ต้องดำเนินการจัดเป็นประจำ

ดินที่ใช้ในการศึกษาเป็นดินชนิดที่มีเคลย์ของมอนทโมริลโลไนท์ (Montmorillonite) และกาโอลินท์ (Kaolinite) เป็นองค์ประกอบสำคัญเท่านั้น

1.4 แผนการวิจัย

การศึกษาจะดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1.4.1 อิทธิพลของความเป็นกรด่างต่อประสิทธิภาพการดูดซับของดินและเคลย์มาตรฐานต่าง ๆ ชนิด

1.4.2 เวลาที่พอเหมาะเพื่อให้ดินและเคลย์มาตรฐานต่าง ๆ ชนิดสัมพันธ์กับสารทดลองรังสีและดูดซับสารกัมมันตรังสีได้สูงสุด

1.4.3 ปริมาณของดินและเคลย์มาตรฐานต่าง ๆ ชนิดที่พอเหมาะเพื่อใช้ในการดูดซับสารทดลองรังสี

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้

เพื่อนำมาปรับปรุงใช้ในโรงงานจัดกากกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. แทนกรรมวิธีเดิม ซึ่งไม่สู้จะเหมาะสมต่อการจัดพวกผลผลิตของพิษขั้น และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง และเพื่อเตรียมพร้อมต่อการจัดสารกัมมันตรังสี ซึ่งมีแนวโน้มว่าสูงขึ้นทั้งปริมาณรังสี และชนิดของสารกัมมันตรังสี นอกจากนั้นข้อมูลที่ได้อาจนำไปใช้ในการวิเคราะห์ หรือประเมินผลอันจะเกิดจากการนำแร่เบคกิวเคลียร์มาใช้ในทางสันติ และอาจนำไปใช้เป็นประโยชน์

ต่อการขจัดกากกัมมันตรังสีของโรงไฟฟ้าปรมาณูไคซึกิควย

ประโยชน์อีกประการหนึ่ง ซึ่งอาจจะมองไม่เห็นในขณะนี้ กล่าวคือ ถ้าเกิดอุบัติเหตุเหตุทางนิวเคลียร์ หรือสงครามทางนิวเคลียร์ขึ้น ข้อมูลนี้จะนำไปใช้กำจัดกัมมันตรังสีอันเกิดจากฝุ่นกัมมันตรังสี (Fall out) ออกจากน้ำดื่ม เพื่อใช้ประทังชีวิตในการอยู่รอดได้อย่างดีควย

1.6 การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้กระทำมาแล้ว

1.6.1 กำเนิดและการได้รับสตรอนเทียม-90 และซีเซียม-137 ในสิ่งแวดล้อม (The occurrence and uptake of strontium-90 and cesium-137 in environment)

สตรอนเทียม-90 และซีเซียม-137 ซึ่งเป็นผลผลิตหนึ่งของฟิชชัน เกิดจากการแตกตัวของยูเรเนียม-235 ออกเป็น 2 ส่วน ภายหลังจากถูกชนด้วยอนุภาคนิวตรอน ดังนั้น สตรอนเทียม-90 และซีเซียม-137 จึงเกิดขึ้นได้ทุกขณะ เมื่อนำยูเรเนียม-235 มาใช้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ เช่น ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูทั้งแบบวิจัยและกำลัง โรงไฟฟ้าปรมาณู การทดลองอาวุธนิวเคลียร์ เป็นต้น

Nishita et. al (1956) รายงานว่า การทดลองระเบิดปรมาณู และการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบกำลัง ทำให้เกิดผลผลิตของฟิชชันและเกิดเปราะเปื้อนอยู่ในดิน Chipman (1960) รายงานว่า นอกจากการทดลองอาวุธทางนิวเคลียร์แล้ว การผลิตและการใช้สารกัมมันตรังสีของมนุษย์ในทางสันติ เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของการทำให้เกิดการเปราะเปื้อนของสารกัมมันตรังสีต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน สารกัมมันตรังสีเหล่านี้ ส่วนใหญ่มาจากการผลิตเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบวิจัย และแบบกำลัง การใช้สารรังสีในโรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม และห้องทดลองทางวิทยาศาสตร์

สตรอนเทียม-90 และซีเซียม-137 เข้าไปสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ในปี 1958 Gulyakin และ Yudinseva พบว่า ฟิชชันจะสะสมผลผลิตของฟิชชันได้

เป็นจำนวนที่เข้มข้นกว่าที่มีในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสตรอนเตียม และซีเซียม
Pendleton และ Hanson (1958) รายงานว่า พืชที่อยู่ในน้ำสามารถสะสมซีเซียม-137
ไว้ได้อย่างน้อย 500 เท่า มากกว่าพืชที่อยู่บนดิน นอกจากนั้นสัตว์น้ำอาจจะสะสม
ซีเซียม-137 ไว้ได้ในปริมาณที่มากกว่าความเข้มข้นที่มีอยู่ในดิน ถึง 100 เท่า และใน
ปีเดียวกันนี้ Auerbach และ Crossley พบว่า ในส่วนของใบและดอกของพืชสะสม
ไอโซโทปรังสีของสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 สูงกว่าส่วนอื่น

Fredrikson และ Eriksson (1958) รายงานว่า พืชต่างชนิดกันดูด
สตรอนเตียมได้ในปริมาณที่ต่างกัน ในข้าวโอต ถั่ว และมันฝรั่ง สตรอนเตียม-90 จะ
พบอยู่ที่ลำต้นเป็นส่วนมาก ในปี 1960 Lowman พบว่า พืชสามารถสะสมสตรอนเตียม-90
และซีเซียม-137 จากดินได้มากกว่าสารรังสีอื่น และปลาน้ำจืดจะรับสตรอนเตียมได้เร็วกว่า
ปลาทะเล Chipman (1960) สรุปว่า สิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดสามารถสะสมกากกัมมันตรังสี
ในสิ่งแวดล้อมเข้าไว้ในตัวเองได้อย่างมาก Korringa (1960) พบว่า กากกัมมันตรังสี
ระดับรังสีต่ำ ที่ปล่อยลงไปตามชายฝั่งทะเล จะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารทะเลได้
2 ทางคือ ดินที่อยู่บริเวณนอกของแพลงก์ตัน และเม็คตะกรน (silt) ในกรณีหลัง ถ้า
ปลากินเป็นอาหารและธาตุซึ่งประกอบอยู่ในกากกัมมันตรังสีนั้นไม่มีความสำคัญทางชีววิทยา
ต่อสัตว์ทะเลแล้ว สัตว์ทะเลดังกล่าวจะปล่อยธาตุนั้นออกสู่ภายนอก อีกทางหนึ่ง โดย
การที่ธาตุนั้นอยู่ในภาวะที่ละลาย จับอยู่กับสิ่งมีชีวิตที่มีเปลือก เช่น หอยแครง สังกะสี
สะสมอยู่ในหอยในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) ซึ่งถ้าเป็นสารรังสีก็จะอยู่
ในระเค็มที่นำวิตก สุกท้าย ปลา ปู กุ้ง หอย เหล่านี้จะเคลื่อนย้ายที่ไป ทำให้บริเวณ
ที่ไปถึงเปราะอ่อนรังสีด้วย ในปี 1962 Nishita ได้ทำการทดลอง โดยพยายาม
ลดการจับปริมาณ ซีเซียม-137 จากพืชลง โดยเพิ่มโปตัสเซียมในดินให้สูงขึ้น ผลการ
ทดลองปรากฏว่า การรับซีเซียม-137 ของพืชจะลดลงเล็กน้อย ต่อมา Wiklander
(1964) พบว่า ถ้าเติมคางลงไปในดินที่มีสภาพเป็นกรด จะทำให้พืชดูดซับไอโซโทปรังสีของ
สตรอนเตียมน้อยลง ทำให้ลดอันตรายลงได้

1.6.2 ความเป็นพิษของสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ต่อสิ่งมีชีวิต

(Toxicity of strontium-90 and cesium-137 to living organism)

ทั้งสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ต่างก็เป็นสารรังสีที่มีชีวิตครึ่งยาว คึ่งนั้น เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้ว จะทำให้เกิดอันตรายจากรังสีได้มาก โดยมีผลทั้งทางร่างกาย (Somatic effect) เช่น ทำให้โมเลกุลของโปรตีนในร่างกายแตกตัว และทางกรรมพันธุ์ (Genetic effect) เช่น มีผลต่อการแบ่งตัวของเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้โครโมโซมถูกทำลาย จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกรรมพันธุ์ ซึ่งเป็นอันตรายเช่นเดียวกับอันตรายจากรังสีทั่ว ๆ ไป

ในกรณีของซีเซียม-137 นั้น Cryer และ Baverstock (1972) พบว่า เมื่อเข้าไปสู่ร่างกาย จะไปสะสมที่กล้ามเนื้อเป็นส่วนใหญ่ และชีวิตครึ่งทางชีววิทยา (Biological half life) ของซีเซียม-137 นั้น ขึ้นอยู่กับ เพศ อายุ และน้ำหนัก ฉะนั้น เมื่อมีซีเซียม-137 อยู่ในร่างกาย ก็เท่ากับมีแหล่งกำเนิดของรังสีแกมมาอยู่ในร่างกาย ร่างกายก็จะได้รับรังสีอยู่ตลอดเวลา ก็ย่อมจะมีอันตรายได้ เช่นเดียวกับสตรอนเตียม-90 ซึ่ง Rasmuson และ Gahne (1958) ได้รายงานเช่นเดียวกับ Browning (1959) ว่า เมื่อเข้าไปสู่ร่างกายแล้ว จะไปจับอยู่ที่กระดูกทำให้เป็นโรคมะเร็งในเม็ดเลือด (Leukemia) เนื้องอกในกระดูก (Bone tumour) นอกจากนี้ยังมีผลทางกรรมพันธุ์ อาจทำให้เซลล์สืบพันธุ์ตาย หรือทำให้โครงสร้างของโครโมโซมเปลี่ยนแปลง ทำให้เป็นหมันขึ้น

เนื่องจากทั้งซีเซียม-137 และสตรอนเตียม-90 นี้มีอันตรายมาก ฉะนั้น จึงมีผู้กำหนดความแรงรังสีที่สูงที่สุด ที่คนจะได้รับอยู่เสมอ คือในน้ำดื่มให้มีความแรงรังสีของสตรอนเตียมได้ไม่เกิน 8×10^{-7} ไมโครคูรีต่อซี.ซี. และซีเซียม-137 ไม่เกิน 2×10^{-3} ไมโครคูรีต่อซี.ซี.¹

1. Radiological Health Handbook, U.S. Department of Health, Education and Welfare Public Health Service (1957) pp. 188-189.

1.6.3 การดูดซับสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ในดินและเคลย์ต่างชนิด (The sorption of strontium-90 and cesium-137 onto difference types of soil and clay)

ในขณะที่มีการใช้สารรังสีเพิ่มมากขึ้นในหลายสาขาวิชานั้น ปัญหาในการควบคุมกากกัมมันตรังสีที่เกิดจากการใช้สารรังสีเหล่านี้เพื่อป้องกันไม่ให้เปราะอะเปื้อนสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มขึ้นด้วย วิธีหนึ่งที่อาจใช้แก้ปัญหานี้ คือใช้ดินและเคลย์เป็นสารดูดซับสารรังสีนั้น ๆ ไว้ เทคนิคดังกล่าวนี้มีผู้สำรวจและศึกษาถึงประสิทธิภาพของการกำจัดการเปราะอะเปื้อนโดยเคลย์และดินต่าง ๆ ชนิดไว้มาก เช่น ในปี 1957 Rhodes ทำการทดลองพบว่า ปฏิกิริยาของซีเซียม-137 กับดินซึ่งประกอบด้วยเคลย์มาตรฐานชนิดมอนท์โมริโลไนท์และเกาลีไนท์นั้นเป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออน โดยดินมีความชอบ (high affinity) ซีเซียม-137 สูง แต่ภายในเคลย์นั้นมีแคชไอออนอื่น ๆ ปะปนอยู่ควยการดูดซับซีเซียม-137 จะลดจนอยดลง และการรับซีเซียม-137 ของดินนั้นไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความเป็นกรดค้าง ซึ่งมีค่าระหว่าง pH 4-10 ยกเว้นในน้ำกลันที่ pH ต่ำ ๆ คือ ต่ำกว่า 3.7 การรับจะลดลง การทดลองนี้ตรงกับผลการทดลองของ Spitsyn ในปี 1958 แต่ Lee ซึ่งทดลองโดยใช้ดินในประเทศเกาหลีที่มีเคลย์มาตรฐานชนิดเกาลีไนท์ ในปี 1969 พบว่า ดินชนิดนี้สามารถกำจัดซีเซียม-137 ออกจากสารละลายได้สูงมาก ไม่ว่าความเป็นกรดค้างในกากสารละลายจะมีค่าเท่าใด นอกจากนี้ Rhodes ยังได้ทำการทดลองกับสตรอนเตียม-90 พบว่า การดูดซับจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นค้างมากกว่าในสารละลายที่เป็นกรด กล่าวคือ ดินรับสตรอนเตียม-90 ได้สูงสุดที่ pH 10 และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อ pH ต่ำลง และผลการทดลองนี้ตรงกับผลการทดลองของ Spitsyn (1958) และ Mitry et. al. (1966) ซึ่งทำการสำรวจเคลย์ที่ Ismailia Canal จากท้องดินในไคโร และเคลย์ที่ใช้ศึกษานี้เป็นชนิดมอนท์โมริโลไนท์ นอกจากซีเซียม-137 และสตรอนเตียม-90 แล้ว Spitsyn ยังได้ศึกษาถึงการดูดซับผลผลิตของพืชชนิดอื่น ๆ ตลอดจนสารดูดซับในธรรมชาติบางอย่าง เช่น ดินและแร่ธาตุที่ประกอบเป็นดินจากสารละลาย พบว่า การดูดซับสารรังสีเกือบทุกชนิดจะเป็นไปอย่างสมบูรณ์จากสารละลายที่เป็นค้างมากกว่าจากสารละลายที่เป็นกรด และยังทำการทดลองคุณสมบัติการดูดซับของดินด้วย -

ส่วนผสมของผลผลิตของพืชชั้นในสารละลายที่เป็นกรดและด่าง ปรากฏว่าได้ผลเช่นเดียวกับ การใช้สารรังสีเดี่ยว ๆ

Ioanid et. al (1958) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของการกำจัดกา-
เปราะเปื้อนสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ของเคลย์ชนิดเบนโทไนท์บางตัว ซึ่งนำ
มาจากที่ต่าง ๆ ของประเทศโรมาเนีย ซึ่งทุกตัวประกอบด้วยเคลย์มาตรฐานชนิดมอนท์โม-
ริโลไนท์ และกาเลไนท์ในปริมาณต่าง ๆ กัน การทดลองพบว่า ที่ pH8 ความสามารถของ
การกำจัดกาเปราะเปื้อนของซีเซียม-137 จะมีความมากกว่าสตรอนเตียม-90 สำหรับ-
เคลย์ทุกชนิด การดูดซับของเคลย์ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดภายใน 15 นาทีแรกของเวลาที่-
สัมผัส แต่ Mitry et. al. (1966) พบว่า เคลย์ชนิดมอนท์โมริโลไนท์สามารถจับสตรอน-
เตียมได้โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดภายในเวลา 1-1½ นาทีเท่านั้น Pearce ทำการทดลอง
ในปี 1960 ที่เมืองแชนเฟอร์ค รัฐวอชิงตัน สหรัฐอเมริกา โดยปล่อยของเหลวกัมมันตรังสี
ลงสู่พื้นดิน และพบว่า การดูดซับสารกัมมันตรังสีในดินจะมีความมากขึ้น ถ้าดินอยู่ในสภาพเป็น
กลาง นอกจากนี้ยังรายงานว่ สตรอนเตียมถูกดินดูดซับในรูปของแคชไอออนที่มีประจุบวก
2 และตัวประกอบต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับคือ ความเข้มข้นของสตรอนเตียม ความ
เป็นกรดด่าง เวลาในการสัมผัส ธรรมชาติและความเข้มข้นของไอออนเชิงประกอบ
(Complementary ion) และความเข้มข้นของเกลือทั้งหมด Tamura et. al.
(1960) สรุปว่า ความจุในการดูดซับซีเซียมของแร่ธาตุหลายอย่างในกากกัมมันตรังสีจะ
เปลี่ยนแปลงไปตามโครงสร้างของแร่ธาตุ ความจุของแคชไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยน
ที่ได้ และแคชไอออนที่อิ่มตัวอยู่ในสารละลายนั้น Spitsyn et. al. (1960) พบว่า
แร่ธาตุดูดซับ (Mineral sorbent) ที่ดีที่สุดของเรดิโอสตรอนเตียม คือมอนท์โมริโลไนท์
รองลงมาคือ กาเลไนท์ ซึ่งตรงกับรายงานของ Spitsyn ในปี 1958

Tamura et. al. ทำการทดลองต่อมาในปี 1961 รายงานว่าใน-
ปฏิกิริยาซึ่งเกี่ยวกับการกำจัดสตรอนเตียมนั้น ความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน แคช
ไอออนที่มีอยู่อย่างอิ่มตัว และลักษณะผิวหน้าของสารดูดซับนั้น มีอิทธิพลมากต่อความ-
สามารถของการดูดซับ ความเป็นกรดด่างก็มีบทบาทสำคัญเช่นกัน ในการดูดซับสตรอนเตียม

ต่อเคลย์ต่าง ๆ ในปี 1964 Sawhney ศึกษาถึงการดูดซับซีซีเอ็มในแร่ธาตุ 6 ชนิด พบว่า การดูดซับซีซีเอ็มของมอนท์โมริลโลไนท์ และกาโอลิไนท์นั้นส่วนใหญ่เป็น electrostatic และจะเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างแร่ธาตุต่าง ๆ

1.7 นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้เป็นภาษาเทคนิค

1.7.1 ดิน (Soil): เป็นสารธรรมชาติ ซึ่งประกอบขึ้นด้วยส่วนผสมของแร่ธาตุ สารอินทรีย์ น้ำ และอากาศ รวมตัวกันเป็นก้อนอยู่อย่างหลวม ๆ สัดส่วนของส่วนผสมต่าง ๆ นั้นเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสถานที่

1.7.2 เคลย์มาตรฐาน (Standard clay) : เป็นสารธรรมชาติ ลักษณะเป็นเม็ดละเอียดอยู่ในดิน มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน ซึ่งไม่สามารถคงรูปเดิม (plasticity) ได้ เมื่อนำมาผสมกับน้ำจำนวนจำกัด ผลการวิเคราะห์ทางเคมี แสดงว่า ส่วนประกอบที่สำคัญคือ ซิลิกา อะลูมินา และน้ำ และจะพบธาตุเหล็ก ธาตุในหมู่อัลคาไลด์ และธาตุในหมู่อัลคาไลด์เอิร์ทในปริมาณพอเหมาะอยู่เสมอ

1.7.3 เกาโอลิไนท์ (Kaolinite) : เป็นเคลย์มาตรฐานชนิดหนึ่ง จากการแบ่งเคลย์ออกตามรูปร่าง เกาโอลิไนท์จัดอยู่ในพวกที่เป็นผลึก และเป็นแบบที่โครงสร้างประกอบด้วยชั้น 2 ชั้น เป็นชั้นของซิลิกากับอะลูมินา อย่างละ 1 ชั้นมาเกาะกัน และมีความกว้างยาวของผลึกเท่ากัน

1.7.4 มอนท์โมริลโลไนท์ (Montmorillonite) : เป็นเคลย์มาตรฐานชนิดหนึ่ง จากการแบ่งเคลย์ออกตามรูปร่าง มอนท์โมริลโลไนท์จัดอยู่ในพวกที่เป็นผลึก และเป็นแบบที่โครงสร้างประกอบด้วยชั้น 3 ชั้น เป็นชั้นของ ซิลิกา 2 ชั้น อะลูมินา 1 ชั้น

1.7.5 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) : เป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนที่ของไอออนของของแข็งกับไอออนของสารละลายที่มีประจุไฟฟ้าเครื่องหมายเหมือนกัน เมื่อสารละลายสัมผัสกับของแข็งนั้น

1.7.6 การดูดซับ (Sorption) : คือกรรมวิธีที่สารชนิดหนึ่ง สามารถดูดซับอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งอยู่ในสภาพเป็นสารละลาย และมีขนาดเล็กกว่าเข้าไปภายในสารนั้น รวมทั้งการดูดให้เกิดขึ้น แต่เฉพาะบริเวณผิวที่สารทั้งสองสัมผัสกันด้วย และการแลกเปลี่ยนไอออน

1.7.7 ความจุของแคตไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนที่ได้ (Cation exchange capacity) : เป็นผลรวมของไอออนบวกทั้งหมดของสารชนิดหนึ่งที่สามารถแลกเปลี่ยนที่กับไอออนอื่นได้ เช่น คิน เคลย์ เป็นต้น แสดงค่าเป็นจำนวนมิลลิอิกวาเดนต์ต่อคินหรือเคลย์ 100 กรัม ที่ทำให้แห้งในตู้อบ