ศึกษาถึงการใช้ดินและแร่ธาตุต่าง ๆ ชนิดเพื่อการขจัดกากของเหลวกัมมันตรังสี

นางสาวมัทนา ประทีปะเสน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
หน่วยวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2517

002356

i 17002199

STUDY OF THE UTILIZATION OF CLAYS AND MINERALS FOR RADIOACTIVE LIQUID WASTE TREATMENT

Miss Matana Pratipasen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Division of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1974

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

.....กรรมการ

.....กรรมการ

.....กรรมการ

อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย เรือเอก สุชาติ มงคลพันธุ์ ร.น.

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ช

กิตติกรรมประกาศ ..... ฌ

รายการตารางประกอบ ..... ญ

รายการภาพประกอบ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 แผนการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้ 3

1.6 การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว 4

1.6.1 กำเนิดและการได้รับสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ในสิ่งแวดล้อม 4

1.6.2 ความเป็นพิษของสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ต่อสิ่งที่มีชีวิต 6

1.6.3 การดูดซับสตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 ในดินและเคลย์ต่างชนิด 7

1.7 นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้เป็นภาษาเทคนิค 9

1.7.1 ดิน 9

1.7.2 เคลย์มาตรฐาน 9

1.7.3 เกาลิไนท์ 9

บทที่ หน้า

1.7.4 ม้อนท์โมริโลไนท์ 9
1.7.5 การแลกเปลี่ยนไอออน 9
1.7.6 การดูดซับ 9
1.7.7 ความจุของแกธไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนที่ได้ 10
2. อุปกรณ์และวิธีการ 11
2.1 สารตัวอย่างและการเตรียม 11
2.1.1 ดิน 11
2.1.2 เคลย์มาตรฐาน 11
2.1.2.1 เคลย์จากดินภายในประเทศ 11
2.1.2.2 เคลย์จากดินต่างประเทศ 11
2.1.3 ชนิดและรายละเอียดของไอโซโทปรังสีที่ใช้ 12
2.1.3.1 สตรอนเตียม-90 12
2.1.3.2 ซีเซียม-137 12
2.1.3.3 กากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. 12
2.2 วิธีดำเนินการทดลอง 14
2.2.1 การแยกเคลย์มาตรฐาน 14
2.2.2 การหาความจุของแกธไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนที่ได้ 15
2.2.3 การวัดปริมาณรังสี 16
2.2.4 การทดลองถึงอิทธิพลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับของดินและเคลย์มาตรฐานต่าง ๆ ชนิด 17
2.2.4.1 สตรอนเตียม-90 17
2.2.4.2 ซีเซียม-137 17
2.2.4.3 กากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. 18

บทที่ หน้า

2.2.5 การทดลองหาเวลาที่พอเหมาะ เพื่อให้ดินและเคลย์-มาตรฐานต่าง ๆ ชนิดสัมผัสกับสารทดลองรังสี และดูดซับสารกัมมันตรังสีได้สูงสุด 18

2.2.5.1 สตรอนเตียม-90 18

2.2.5.2 ซีเซียม-137 19

2.2.5.3 กากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. 19

2.2.6 การทดลองหาปริมาณของดินและเคลย์มาตรฐานต่าง ๆ ชนิดที่พอเหมาะ เพื่อใช้ในการดูดซับสารทดลองรังสี 20

2.2.6.1 สตรอนเตียม-90 20

2.2.6.2 ซีเซียม-137 20

2.2.6.3 กากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. 20

3. ผลการวิจัย 22

3.1 ผลของการทดลองถึงอิทธิพลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับของดินและเคลย์มาตรฐานต่าง ๆ ชนิด 22

3.1.1 สตรอนเตียม-90 22

3.1.2 ซีเซียม-137 22

3.1.3 กากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. 27

3.2 ผลของการทดลองหาเวลาที่พอเหมาะที่ดินและเคลย์มาตรฐานต่าง ๆ ชนิด สัมผัสกับสารทดลองรังสี 36

3.2.1 สตรอนเตียม-90 36

3.2.2 ซีเซียม-137 41

3.2.3 กากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. 41

3.3 ผลของการทดลองหาปริมาณของดินและเคลย์มาตรฐานต่าง ๆ ชนิดที่พอเหมาะ เพื่อใช้ในการดูดซับสารทดลองรังสี 50

บทที่ หน้า

3.3.1 สตรอนเตียม-90 50
3.3.2 ซีเซียม-137 50
3.3.3 กากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. 59
3.4 ผลของการหาความจุของแคชไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ 64
4. การอภิปรายผลการวิจัย 65
5. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ 71
บรรณานุกรม 74
ประวัติการศึกษา 79

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ศึกษาถึงการใช้ดินและแร่ธาตุต่าง ๆ ชนิดเพื่อการขจัดกากของเหลวกัมมันตรังสี

ชื่อ นางสาวมัทนา ประทีปะเสน หน่วยวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2516

บทคัดย่อ

ศึกษาถึงประสิทธิภาพของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ และเกาลิไนท์ ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้เป็นสารดูดซับสารกัมมันตรังสีของสตรอนเตียม-90 ซีเซียม-137 และกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. โดยที่สารกัมมันตรังสีที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดมีความแรงรังสีในระดับต่ำ คือมีปริมาณรังสีระหว่าง 10^{-3} ถึง 10^{-5} ไมโครคูรี่ต่อซี.ซี. ดินชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ และเกาลิไนท์ นำมาจากจังหวัดลพบุรี และสระบุรี ตามลำดับ และผ่านกรรมวิธีวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของเคลย์ด้วยเทคนิคของเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่นและการแยกเคลย์ออกจากดินนั้น ๆ ก่อนนำมาใช้ศึกษาวิจัย การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของดินและเคลย์ต่างชนิดต่อสารกัมมันตรังสีต่าง ๆ กระทำตามแฟคเตอร์ดังต่อไปนี้คือ : อิทธิพลของ pH ผลของเวลาที่ใช้ในการสัมผัส ปริมาณของดินและเคลย์ที่พอเหมาะ ผลการศึกษาวิจัยปรากฏว่า ประสิทธิภาพการดูดซับของเคลย์ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ และเกาลิไนท์ ดินชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ และเกาลิไนท์ ต่อสารกัมมันตรังสีของสตรอนเตียม-90 ซีเซียม-137 และกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. มีดังนี้คือ

ชนิดของดินหรือเคลย์ที่ใช้	pH			เวลาที่สัมผัส คิดเป็นนาที			ปริมาณที่ใช้ คิดเป็นกรัม			ประสิทธิภาพการดูดซับ คิดเป็นร้อยละ		
	สตรอนเตียม-90	ซีเซียม-137	กากของเหลว*	สตรอนเตียม-90	ซีเซียม-137	กากของเหลว*	สตรอนเตียม-90	ซีเซียม-137	กากของเหลว*	สตรอนเตียม-90	ซีเซียม-137	กากของเหลว*
มอนท์โมริโลไนท์												
เคลย์จากดินต่างประเทศ	5-10	3-10	3-10	15	15	15	0.1	0.5	0.1	97	99	99
เคลย์จากดินภายในประเทศ	7-10	3-10	3-10	15	15	15	2.5	2.0	4.0	97	98	91
ดินภายในประเทศ	5-10	3-10	3-10	15	15	15	4.0	2.0	4.0	97	97	99
เกาลิไนท์												
เคลย์จากดินต่างประเทศ	5-10	3-10	3-10	15	15	15	0.1	1.0	1.5	98	93	99
เคลย์จากดินภายในประเทศ	6-10	3-10	3-10	15	15	15	2.0	1.5	4.0	97	97	93
ดินภายในประเทศ	5-10	3-10	3-10	15	15	15	10.0	2.0	4.0	100	97	97

* หมายถึงกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส.

Thesis Title Study of the Utilization of Clays and Minerals for Radioactive Liquid Waste Treatment.

Name Miss Matana Pratipasen Division Nuclear Technology

Academic Year 1973

ABSTRACT

The sorption capability of strontium-90, cesium-137 and radioactive liquid waste of Office of Atomic Energy for Peace(OAEP) onto two types of standard clay of montmorillonite and kaolinite as well as their minerals was studied. The test radioactive isotopes are in low level of radiation, that is the activity in the range of 10^{-3} to 10^{-5} microcurie per ml. Minerals were collected at province of Lopburi and Saraburi respectively and were assayed for the type of clay by x-ray diffraction technique prior to submit for the investigation. The standard clay was separated by using sedimentation and siphoning method. The sorption capability of strontium-90, cesium-137 and radioactive liquid waste of OAEP onto clays and their minerals was tested under these following conditions: effect of pH, effect of equilibrium time and effect of concentration. The result could be tabulated.

type of soil or clay	pH			Equilibrium time in minute			Amount in gram			% sorption		
	Sr-90	Cs-137	liquid waste	Sr-90	Cs-137	liquid waste	Sr-90	Cs-137	liquid waste	Sr-90	Cs-137	liquid waste
Montmo-rillonite												
standard clay	5-10	3-10	3-10	15	15	15	0.1	0.5	0.1	97	99	99
Native standard clay	7-10	3-10	3-10	15	15	15	2.5	2.0	4.0	97	98	91
Soil	5-10	3-10	3-10	15	15	15	4.0	2.0	4.0	97	97	99
Kaolinite												
standard clay	5-10	3-10	3-10	15	15	15	0.1	1.0	1.5	98	93	99
Native standard clay	6-10	3-10	3-10	15	15	15	2.0	1.5	4.0	97	97	93
Soil	5-10	3-10	3-10	15	15	15	10.0	2.0	4.0	100	97	97

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณต่อ พลอากาศจัตวา ดร.สวัสดิ์ ศรีสุข เลขาธิการสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้อนุญาตให้ใช้สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือ เครื่องใช้ ในการศึกษาวิจัยเรื่องนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณต่อ เรือเอกสุชาติ มงคลพันธุ์ ร.น. หัวหน้ากองขจัดกากกัมมันตรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ควบคุมและให้คำแนะนำการวิจัยเรื่องนี้อย่างใกล้ชิดโดยตลอด อนึ่ง ขอขอบคุณข้าราชการในกองขจัดกากกัมมันตรังสี ซึ่งได้ให้ความสะดวกและช่วยเหลือผู้เขียนในขณะกระทำการวิจัยทุกท่าน

ขอขอบพระคุณต่อ ดร.กรรณิการ์ อยู่ทอง แห่งกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ผู้ให้ความอนุเคราะห์ต่อการวิเคราะห์ และจัดหาตัวอย่างดินที่ใช้ในการวิจัย

สุดท้าย ขอขอบพระคุณต่อรองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร จีรวงส์ อดีตคณบดีคณะเภสัชศาสตร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ จำนงค์ วิสุทธ์สุนทร หัวหน้าแผนกวิชาสรีรวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้สนับสนุนและให้โอกาสแก่ผู้เขียนได้มีโอกาสศึกษาแขนงวิชานี้

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

1. ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการแยกเคลย์ 15
2. ผลการทดลองอิทธิพลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสตรอน-เตียม-90 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 23
3. ผลการทดลองอิทธิพลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสตรอน-เตียม-90 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 25
4. ผลการทดลองอิทธิพลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีเซียม-137 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 28
5. ผลการทดลองอิทธิพลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีเซียม-137 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 30
6. ผลการทดลองอิทธิพลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโล-ไนท์ 32
7. ผลการทดลองอิทธิพลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 34
8. ผลการทดลองหาเวลาที่พอเหมาะที่ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโล-ไนท์ สัมผัสกับสตรอนเตียม-90 และดูดซับได้สูงสุด 37

ตารางที่ หน้า

9. ผลการทดลองหาเวลาที่พอเหมาะที่ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ สัมผัสกับสตรอนเตียม-90 และดูดซับได้สูงสุด 39

10. ผลการทดลองหาเวลาที่พอเหมาะที่ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ สัมผัสกับซีเซียม-137 และดูดซับได้สูงสุด 42

11. ผลการทดลองหาเวลาที่พอเหมาะที่ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ สัมผัสกับซีเซียม-137 และดูดซับได้สูงสุด 44

12. ผลการทดลองหาเวลาที่พอเหมาะที่ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ สัมผัสกับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. และดูดซับได้สูงสุด 46

13. ผลการทดลองหาเวลาที่พอเหมาะที่ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ สัมผัสกับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. และดูดซับได้สูงสุด 48

14. ผลการทดลองหาปริมาณของ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ ที่พอเหมาะเพื่อใช้ในการดูดซับสตรอนเตียม-90 51

15. ผลการทดลองหาปริมาณของ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ ที่พอเหมาะเพื่อใช้ในการดูดซับสตรอนเตียม-90 53

ตารางที่		หน้า
16.	ผลการทดลองหาปริมาณของ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ ที่พอเหมาะเพื่อใช้ในการดูดซับซีเซียม-137	55
17.	ผลการทดลองหาปริมาณของ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ ที่พอเหมาะเพื่อใช้ในการดูดซับซีเซียม-137	57
18.	ผลการทดลองหาปริมาณของ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ ที่พอเหมาะเพื่อใช้ในการดูดซับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส.	60
19.	ผลการทดลองหาปริมาณของ เคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ ที่พอเหมาะเพื่อใช้ในการดูดซับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส.	62
20.	ผลการทดลองเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการดูดซับสตรอนเตียม-90 ของเคลย์จากดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ เมื่อกวนกับไม่กวน	70

รายการภาพประกอบ

รูปที่ หน้า

1. สเปคตรัมของกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. 13
2. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสตรอนเตียม-90 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 24
3. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสตรอนเตียม-90 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 26
4. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีเซียม-137 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 29
5. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีเซียม-137 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 31
6. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับกากของเหลว-กัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โม-ริโลไนท์ 33
7. ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับกากของเหลว กัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 35
8. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับสตรอน-เตียม-90 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายใน-ประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 38

รูปที่ หน้า

9. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับสตรอน-เตียม-90 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 40

10. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีเซียม-137 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 43

11. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีเซียม-137 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินกายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 45

12. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัส ต่อประสิทธิภาพการดูดซับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 47

13. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัส ต่อประสิทธิภาพการดูดซับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 49

14. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสตรอน-เตียม-90 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 52

15. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ต่อประสิทธิภาพการดูดซับสตรอน-เตียม-90 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 54

16. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีเซียม-137 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 56

รูปที่ หน้า

17. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีเซียม-137 ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 58

18. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่อประสิทธิภาพการดูดซับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดม้อนท์โมริโลไนท์ 61

19. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่อประสิทธิภาพการดูดซับกากของเหลวกัมมันตรังสีในสำนักงาน พปส. ของเคลย์จากดินต่างประเทศ เคลย์จากดินภายในประเทศ และดินภายในประเทศ ชนิดเกาลิไนท์ 63