



ผลของฝนกรดต่อการเคลื่อนตัวของ Cs-134 และ Co-60 ในชั้นดิน

สิรวลภ์ เรืองช่วย⁽¹⁾ นฤมล วิเชอร์ ฮาร์วีย์⁽¹⁾ และ ไพรัช ศรีโยธา⁽²⁾

⁽¹⁾ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ

⁽²⁾ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ถนนวิภาวดีรังสิต เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของน้ำใต้ดิน และฝนกรดต่อการเคลื่อนตัวของสารรังสี (Cs-134 และ Co-60) ที่ปนเปื้อนบริเวณหน้าดิน เป็นการทดลองแบบ Homogeneous column experiment โดยบรรจุดินเหนียวในคอลัมน์ (ขนาด ϕ 12.5 ซม. \times 50 ซม.) ให้น้ำดิน 5 ซม. ได้รับการปนเปื้อนด้วยสารรังสีทั้งสอง และที่ฐานคอลัมน์จำลองระดับน้ำใต้ดินสูง 3 ซม. รดด้วยฝนกรด pH3 4.5 และ 6 เป็นเวลา 120 วัน ศึกษาปริมาณรังสีทั้งหมด และปริมาณรังสีที่สกัดได้ ที่ระดับความลึกต่าง ๆ พบว่าปริมาณน้ำฝนที่ให้แก่ดิน ช่วยส่งเสริมการเคลื่อนตัวของสารรังสีโดยอิทธิพลของน้ำใต้ดิน โดยที่ Co-60 เคลื่อนตัวได้ดีกว่า Cs-134 และพบว่าความเป็นกรดของน้ำฝนไม่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของสารรังสีทั้งสอง ในดินที่ทำการศึกษา

Effect of Rain Acidity Upon Mobility of Cs-134 and Co-60 in Soil

S. Ruangchuay⁽¹⁾ N.W. Harvey⁽¹⁾ and P. Sriyotha⁽²⁾

⁽¹⁾ King Mongkut's University of technology Thonburi, Prachautit Road, Toongklu, Bangkok 10140

⁽²⁾ Office of Atomic Energy for Peace (OAEP), Vipawadee Road, Bangkok 10140

ABSTRACT

This research was aimed to study the effects of groundwater and acid rain upon the mobility of radionuclides (Cs-134 and Co-60) in contaminated top soil. Clay soil was homogeneously packed in columns with dimension ϕ 12.5 cm. \times 50 cm.. At the top 5 cm. of the columns, soil contaminated with radionuclides was added with the same consistency. Column were kept standing for 4 months in an artificial water table kept at 3 cm. from the bottom. During this period artificial acid rain with pH3, 4.5 and 6 was applied weekly at the top. Soil samples were taken every 30 days for examination of total and extractable radioactivity. It was shown that with the aide of the rain radionuclide movement down the profile was greater, with Co-60 > Cs-134. However acidity of the rain shown no effect on their movement.

1. บทนำ

ปัจจุบัน ความต้องการใช้สารรังสีของประเทศไทยเพิ่มขึ้น เนื่องจากเทคนิคด้านนิวเคลียร์มีการพัฒนามากขึ้น ซึ่งกิจกรรมที่ต้องใช้สารรังสี อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารรังสีสู่สิ่งแวดล้อม และแหล่งใหญ่ที่รองรับสารรังสีเหล่านั้น คือ ดิน หลังจากการปนเปื้อน สารรังสีอาจส่งผ่านเข้าห่วงโซ่อาหาร และถ่ายทอดสู่มนุษย์ในที่สุด

ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในการถ่ายทอดของสารรังสีที่ปนเปื้อนในดิน มาสู่มนุษย์มีหลายประการ อาทิ สมบัติของสารรังสี สมบัติของดิน [1], [2] และปัจจัยภายนอกอื่น ๆ เช่น ปริมาณและความชื้นของน้ำฝน ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมของแร่ธาตุในดิน เช่น การละลาย การชะล้าง การเคลื่อนตัว [3], [4], [5], [6], [7], [8] จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของสารรังสีในดินด้วย โดยอาจส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัว การชะล้าง การสะสม ของสารรังสี ทั้งที่เป็นปริมาณรังสีทั้งหมด และส่วนที่สกัดได้ (Total and Extracable radioactivity) ปริมาณสารรังสีที่สกัด ได้ สะท้อนให้เห็นปริมาณรังสีที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ กล่าวคือ เมื่อสารรังสีปนเปื้อนอยู่ในดิน จะอยู่ในหลายลักษณะ แต่ละลักษณะมีความยากง่ายที่พืชจะนำไปใช้ได้ต่างกัน แบ่งลักษณะตามความยากง่ายในการนำไปใช้โดยพืชได้ คือ 1.Free ions และ Colloids 2.Exchange surface (Readily exchangeable ions และ Clay-humus micells) และ 3.Insoluble chemical sinks (Fixed forms Insoluble organic Hydrous oxides และ Clay minerals) ซึ่งทั้ง 3 ลักษณะสามารถเปลี่ยนไปมาได้ ส่วนที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ คือ ส่วนที่ 1 และ 2 ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ยากนัก [9]

ประเทศไทยจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยนี้สูง เนื่องจากตั้งอยู่ในบริเวณที่มีฝนตกชุก ประกอบกับปัญหามลพิษทางอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความเป็นกรดของน้ำฝนในประเทศไทยมีค่าสูงขึ้น แต่การศึกษาผลของความเป็นกรดของน้ำฝนต่อการเคลื่อนตัวของสารรังสีในดิน สำหรับประเทศไทยมีน้อยมาก การดำเนินงานส่วนใหญ่อยู่ในประเทศเขตอบอุ่นที่มีลักษณะของดิน และสภาพภูมิอากาศต่างจากประเทศไทย ซึ่งไม่สามารถนำข้อมูลจากการศึกษานั้นมาใช้ได้โดยตรง ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวด้วยข้อมูลของประเทศไทย เพื่อประโยชน์ในการวางแผนการจัดการของเสียทางรังสีอย่างเหมาะสม รวมทั้งเป็นข้อมูลเบื้องต้น ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของสารรังสีในชั้นดินสภาพธรรมชาติ และในการเลือกพื้นที่สำหรับกำจัดของเสียที่ปนเปื้อนสารรังสีของประเทศไทย

2. วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 เก็บตัวอย่างดิน จากบริเวณสถานที่ตั้งศูนย์นิวเคลียร์แห่งใหม่ อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก ในรัศมีประมาณ 1 กม. โดยเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite sample

2.2 วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของดินตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 1

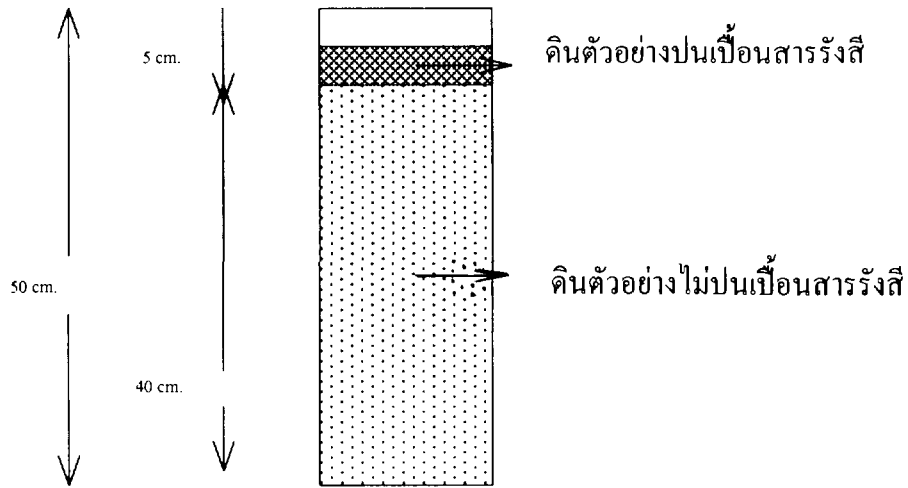
ตารางที่ 1 แสดงสมบัติเบื้องต้นของดินตัวอย่าง

ดัชนีที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์[10]
Bulk density	1.178	g/cm ³	
Soil texture	Clay Soil		Hydrometer method
Sand	5	% DW Soil	
Silt	32		
Clay	63		
Soil pH	5.13		pH meter 1:1 (Soil:Water)
Organic matter	2.13	% DW Soil	Walkley and Black method
CEC	29.67	meq/100g. soil	NH ₄ OAc method
Total Exchange Base	24.05		
Na ⁺	0.89 (3.70 %)		Flame photometer
K ⁺	0.57 (2.37 %)	meq/100g. soil	Flame photometer
Mg ²⁺	7.99 (33.22%)		AAS
Ca ²⁺	14.60 (60.71%)		AAS
AEC	0.05	meq/100g. soil	NH ₄ Cl method
Total Iron	2.05	mg/100 g. soil	Phenanthroline method

2.3 เตรียมคอลัมน์ โดยใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 ซม. ความยาว 50 ซม. ผ่าเป็น 2 ซีก ตลอดความยาว จากนั้นเชื่อมทั้งสองซีกเข้าด้วยกันด้วยกาวซิลิโคน และมัดด้วยเข็มขัดรัดท่อ ใช้ตาข่ายไนลอนชนิดถี่ปิดท้ายคอลัมน์

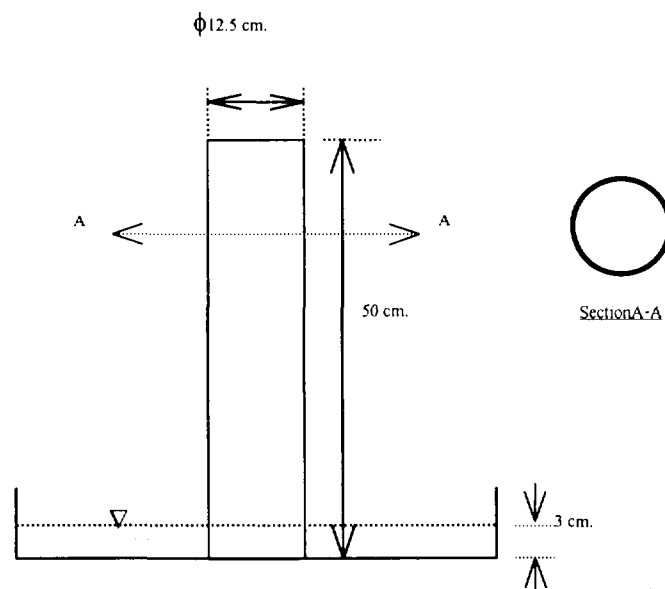
2.4 เตรียมสารรังสี โดยนำ CsCl และ CoCl₂ จำนวน 0.0065 และ 0.018 กรัม ตามลำดับ ไปอบรังสีนิวตรอนเป็นเวลา 30 ชั่วโมง ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ จากนั้นนำสารละลายสารรังสีผสมในดินตัวอย่าง โดยใช้เครื่องผสมอาหาร

2.5 บรรจุกินตัวอย่างใส่คอลัมน์ โดยใส่ดินตัวอย่างที่ไม่ปนเปื้อนสารรังสี สูง 40 ซม. จากท้ายคอลัมน์ และใส่ดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนสารรังสีบริเวณด้านบน สูง 5 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการบรรจุดินในคอลัมน์

2.6 แบ่งคอลัมน์ดินเป็น 4 ชุด ชุดละ 4 คอลัมน์ โดยชุดที่ 1 ไม่มีการให้น้ำฝน ส่วนชุดที่ 2 3 และ 4 จะให้น้ำฝนที่มีค่า pH 3 4.5 และ 6 ตามลำดับ ในอัตรา 1 ครั้งต่อสัปดาห์ครั้งละ 80 มล./คอลัมน์ วางคอลัมน์ในถาดที่มีน้ำสูง 3 ซม. จากก้นถาด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงลักษณะการวางคอลัมน์ ที่บรรจุดินตัวอย่างบนถาดใส่น้ำสูง 3 ซม.

2.7 ทดลองหา Extractant และสภาวะที่เหมาะสม ในการสกัดสารรังสีออกจากดิน เพื่อใช้วิเคราะห์ค่า Extracable radioactivity จากการทดลอง พบว่าสารเคมีที่เหมาะสมที่สุด คือ NH_4Cl ที่มีความเข้มข้น 1 M และใช้เวลาในการเขย่า 30 นาที

2.9 เก็บดินตัวอย่างในคอลัมน์ทุก 30 วัน ทั้งหมด 4 ครั้ง วิเคราะห์ Total และ Extracable Radioactivity ของดิน โดยแบ่งดินตัวอย่างในคอลัมน์เป็น 6 ช่วง ตามความลึก คือ 0-5 ซม. 5-10 ซม. 10-15 ซม. 15-25 ซม. 25-35 ซม. และ 35-45 ซม.

3. ผลการศึกษาวิจัย

3.1 Total radioactivity (รังสีทั้งหมด)

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า Total radioactivity ของ Cs-134 ส่วนผลการวิเคราะห์ค่า Total radioactivity ของ Co-60 แสดงในตารางที่ 3 ค่า Total radioactivity ในแต่ละช่วงความลึกของดิน คือ % ของ Total radioactivity ที่อยู่ในช่วงความลึกนั้นต่อปริมาณรวมของ Total radioactivity ทุกช่วงความลึกที่อยู่ในคอลัมน์นั้น จากการวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งแรก (วันที่ 30 ของการทดลอง) พบว่า ในสถานะที่ดินไม่ได้รับน้ำฝน ทั้ง Total Cs-134 และ Total Co-60 เกิดการเคลื่อนตัวจากดินชั้น 0-5 ซม. ไปสู่ดินช่วงล่างได้ถึงชั้น 10-15 ซม. เช่นเดียวกับสถานะ ที่ดินได้รับน้ำฝนทุกค่า pH Total Cs-134 และ Total Co-60 สามารถเคลื่อนตัวไปยังดินช่วงล่างได้ถึงชั้น 10-15 ซม. เช่นกัน และจากการวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งที่ 2 (วันที่ 60 ของการทดลอง) พบผลการวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกับผลจากการวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งแรก

จากการวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งที่ 3 (วันที่ 90 ของการทดลอง) พบว่า ในสถานะที่ดินไม่ได้รับน้ำฝน ทั้ง Total Cs-134 และ Total Co-60 เกิดการเคลื่อนตัวจากดินชั้น 0-5 ซม. ไปสู่ดินช่วงล่างได้ความลึกเท่าเดิม คือ 10-15 ซม. แต่ในสถานะที่ดินได้รับน้ำฝนทุกค่า pH Total Cs-134 และ Total Co-60 เกิดการเคลื่อนตัวไปถึงดินชั้น 15-25 ซม. และจากการวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งสุดท้าย (วันที่ 120 ของการทดลอง) พบว่า ในสถานะที่ดินไม่ได้รับน้ำฝน Total Cs-134 และ Total Co-60 ไม่เกิดการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นอีก ยังคงอยู่ที่ความลึกชั้น 10-15 ซม. ส่วนดินที่ได้รับน้ำฝนทุกค่า pH จะเกิดการเคลื่อนตัวของ Total Cs-134 และ Total Co-60 จากดินชั้น 0-5 ซม. ไปถึงดินชั้น 25-35 ซม.

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าความเป็นกรดของน้ำฝน ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ (ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 %) ต่อปริมาณ Total radioactivity ในแต่ละชั้นดิน ของสารรังสีทั้งสอง แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่า เมื่อความเป็นกรดของน้ำฝนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้การชะ Total radioactivity ของสารรังสีทั้งสอง เปลี่ยนแปลงในทิศทางใด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ Total radioactivity ของ Cs-134 และ Co-60 พบว่า ในสถานะที่ดินไม่ได้รับน้ำฝน ปริมาณ Total Cs-134 และ Total Co-60 ที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ (ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 %) แต่สถานะที่ดินได้รับน้ำฝนทุกค่า pH จะพบ Total Co-60 น้อยกว่า

Total Cs-134 ในทุกช่วงความลึกของดิน และทุกครั้งที่ ทำการวิเคราะห์ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3 4 5 และ 6 ซึ่งแสดงปริมาณ Total radioactivity ของสารรังสีทั้งสอง ในดินช่วง 0-5 ซม. แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่า เมื่อความเป็นกรดของน้ำฝนเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลต่างระหว่าง Total Co-60 และ Total Cs-134 เปลี่ยนแปลงในทิศทางใด

3.2 Extracable radioactivity (รังสีที่สามารถสกัดได้)

ค่า Extracable radioactivity ในแต่ละช่วงความลึกของดิน คือ เปอร์เซ็นต์ของ Extracable radioactivity ต่อ Total radioactivity ในช่วงความลึกนั้น การศึกษาครั้งนี้วิเคราะห์ Extracable radioactivity พบในดิน 2 ช่วงความลึกเท่านั้น คือ ชั้น 0-5 ซม. และ 5-10 ซม. แสดงผลการวิเคราะห์ ค่า Extracable Cs-134 และ Extracable Co-60 ในกราฟรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ ดินตัวอย่างครั้งแรก (วันที่ 30 ของการทดลอง) พบว่าในสถานะที่ดินไม่ได้รับน้ำฝน จะพบ Extracable radioactivity ของสารรังสีทั้งสองที่ดินชั้น 0-5 ซม. เท่านั้น ไม่พบในดินชั้นอื่น แต่ในสถานะที่ดินได้รับน้ำฝนพบ Extracable radioactivity ของสารรังสีทั้งสอง ในดินทั้ง 2 ชั้น โดยที่ Extracable radioactivity ของดินชั้น 0-5 ซม. น้อยกว่าชั้น 5-10 ซม. ทุกค่า pH ของน้ำฝน และจากการวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งที่ 2 (วันที่ 60 ของการทดลอง) พบผลการวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกัน ผลจากการวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งแรก

จากการวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งที่ 3 (วันที่ 90 ของการทดลอง)และครั้งสุดท้าย (วันที่ 120 ของการทดลอง) พบว่าในสถานะที่ดินไม่ได้รับน้ำฝนจะพบ Extracable Cs-134 ในดินทั้ง 2 ชั้น โดยพบว่า Extracable Cs-134 ของดินชั้น 0-5 ซม. มากกว่าชั้น 5-10 ซม. อย่างมีนัยสำคัญ (ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 %) แต่การวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งที่ 3 ไม่พบ Extracable Co-60 ในดินชั้น 5-10 ซม. ทุกสถานะที่ศึกษา แต่การวิเคราะห์ดินตัวอย่างครั้งที่ 4 พบว่า Extracable Co-60 ของดินชั้น 0-5 ซม. มากกว่าชั้น 5-10 ซม. อย่างมีนัยสำคัญ (ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 %) ส่วนในสถานะที่ดินได้รับน้ำฝนทุกค่า pH พบว่า Extracable radioactivity ของสารรังสีทั้งสอง ในดินชั้น 0-5 ซม. น้อยกว่าชั้น 5-10 ซม.

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าน้ำฝนที่มีค่า pH ต่างกัน ทำให้ Extracable radioactivity ของสารรังสีทั้งสองมีค่าต่างกัน แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่า เมื่อความเป็นกรดของน้ำฝนเพิ่มขึ้น จะทำให้การชะ Extracable radioactivity ของสารรังสีทั้งสอง เปลี่ยนแปลงในทิศทางใด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ Extracable radioactivity ของ Cs-134 และ Co-60 พบว่า ในสถานะที่ดินไม่ได้รับน้ำฝน ปริมาณ Extracable Cs-134 และ Extracable Co-60 ที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 %) แต่สถานะที่ดินได้รับน้ำฝนทุกค่า pH จะพบ

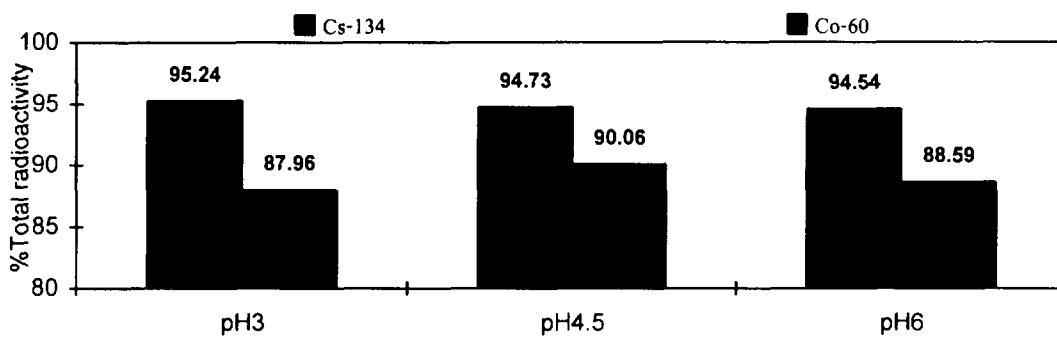
Extracable Co-60 น้อยกว่า Extracable Cs-134 ทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์ แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าเมื่อความเป็นกรดของน้ำฝนเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลต่างระหว่างค่า Extracable Co-60 และ Extracable Cs-134 เปลี่ยนแปลงในทิศทางใด

ตารางที่ 2 แสดง %รังสีทั้งหมด(Total radioactivity)ของ Cs-134 (Mean \pm SE)

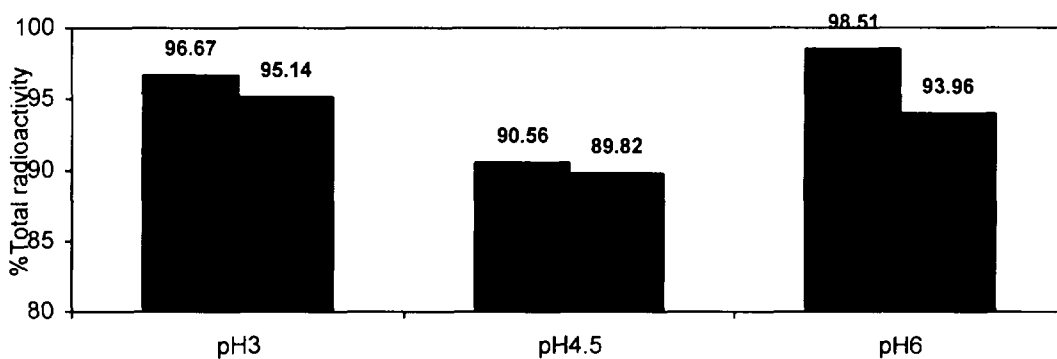
Condition	Depth(cm.)	Time (days)			
		30	60	90	120
No rain	0-5	97.94 \pm 0.00722	93.15 \pm 0.00621	96.86 \pm 0.00353	98.43 \pm 0.00408
	5-10	2.04 \pm 0.00032	6.58 \pm 0.00098	3.01 \pm 0.00042	1.49 \pm 0.00042
	10-15	0.02 \pm 0.00000	0.27 \pm 0.00006	0.13 \pm 0.00012	0.09 \pm 0.00008
	15-25				
	25-35				
	35-45				
Rain pH 3	0-5	95.24 \pm 0.00494	96.67 \pm 0.00550	97.48 \pm 0.00646	92.29 \pm 0.00451
	5-10	4.52 \pm 0.00029	3.20 \pm 0.00028	1.96 \pm 0.00027	6.71 \pm 0.00041
	10-15	0.24 \pm 0.00003	0.13 \pm 0.00008	0.34 \pm 0.00015	0.62 \pm 0.00010
	15-25			0.21 \pm 0.00008	0.33 \pm 0.00006
	25-35				0.050 \pm 0.00003
	35-45				
Rain pH4.5	0-5	94.73 \pm 0.00115	90.56 \pm 0.00624	92.16 \pm 0.01266	93.96 \pm 0.00946
	5-10	3.65 \pm 0.00010	8.88 \pm 0.00092	7.61 \pm 0.00304	5.43 \pm 0.00046
	10-15	1.62 \pm 0.00023	0.56 \pm 0.00013	0.17 \pm 0.00013	0.45 \pm 0.00013
	15-25			0.06 \pm 0.00002	0.12 \pm 0.00005
	25-35				0.04 \pm 0.00002
	35-45				
Rain pH 6	0-5	94.54 \pm 0.00326	98.51 \pm 0.01615	95.98 \pm 0.00764	91.34 \pm 0.00255
	5-10	5.09 \pm 0.00081	1.47 \pm 0.00062	2.95 \pm 0.00104	7.94 \pm 0.00111
	10-15	0.37 \pm 0.00021	0.01 \pm 0.00001	0.93 \pm 0.00020	0.64 \pm 0.00005
	15-25			0.15 \pm 0.00003	0.07 \pm 0.00001
	25-35				0.02 \pm 0.00002
	35-45				

ตารางที่ 3 แสดง %รังสีทั้งหมด (Total radioactivity) ของ Co-60 (Mean±SE)

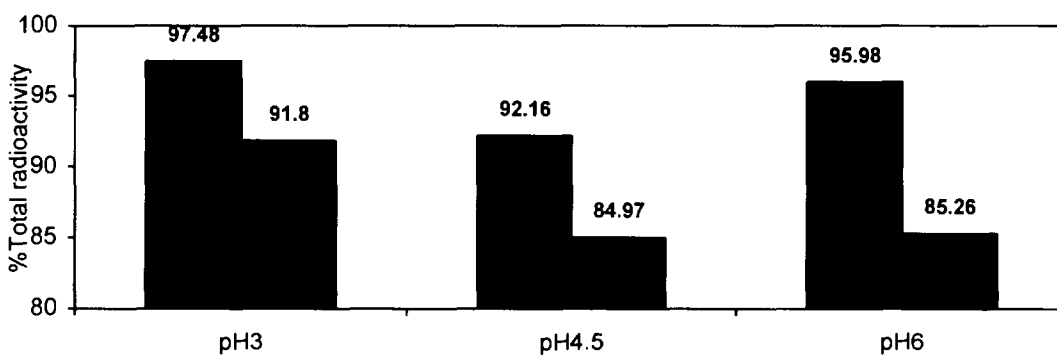
Condition	Depth(cm.)	Time (days)			
		30	60	90	120
No rain	0-5	97.56±0.00466	92.62±0.00100	96.66±0.00114	98.59±0.00408
	5-10	2.34±0.00006	6.90±0.00010	3.28±0.00007	1.24±0.00010
	10-15	0.10±0.00001	0.47±0.00002	0.07±0.00001	0.17±0.00001
	15-25				
	25-35				
	35-45				
Rain pH 3	0-5	87.96±0.00368	95.14±0.00087	91.80±0.00199	87.11±0.00148
	5-10	8.30±0.00031	4.41±0.00022	4.80±0.00024	10.47±0.00010
	10-15	3.74±0.00187	0.45±0.00002	1.75±0.00011	1.18±0.00002
	15-25			1.65±0.00001	0.52±0.00004
	25-35				0.71±0.00003
	35-45				
Rain pH4.5	0-5	90.09±0.00034	89.82±0.00051	84.97±0.00156	90.37±0.00100
	5-10	7.21±0.00021	9.44±0.00033	13.31±0.00024	7.81±0.00024
	10-15	2.70±0.00016	0.74±0.00007	1.21±0.00003	1.04±0.00008
	15-25			0.50±0.00002	0.45±0.00008
	25-35				0.33±0.00002
	35-45				
Rain pH 6	0-5	88.59±0.00024	93.96±0.00120	85.26±0.00040	85.08±0.00117
	5-10	10.17±0.00039	5.60±0.00097	10.53±0.00008	12.60±0.00066
	10-15	1.24±0.00001	0.44±0.00005	2.78±0.00011	1.71±0.00007
	15-25			1.43±0.00004	0.24±0.00002
	25-35				0.37±0.00003
	35-45				



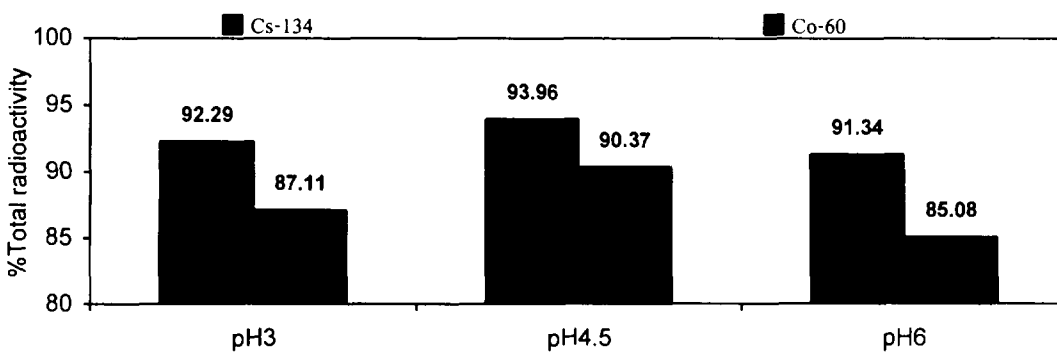
รูปที่ 3 แสดง % Total radioactivity ของ Cs-134 และ Co-60 ที่ความลึก 0-5 ซม. ที่เวลา 30 วัน



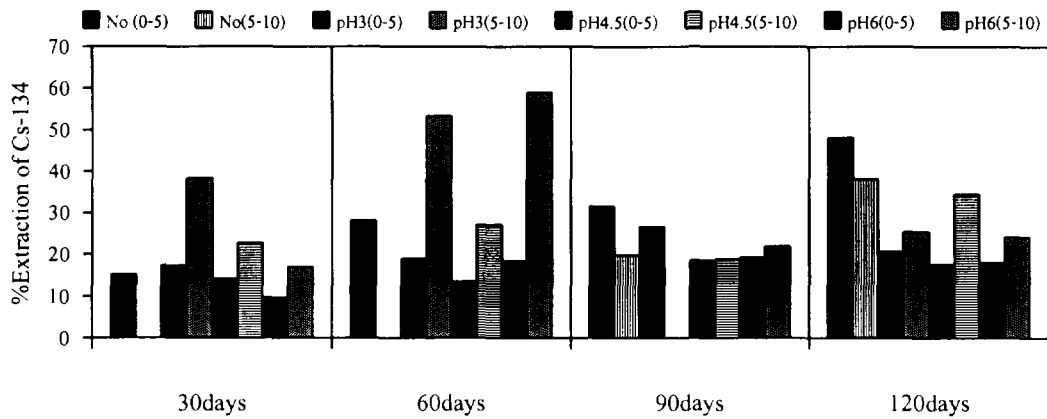
รูปที่ 4 แสดง % Total radioactivity ของ Cs-134 และ Co-60 ที่ความลึก 0-5 ซม. ที่เวลา 60 วัน



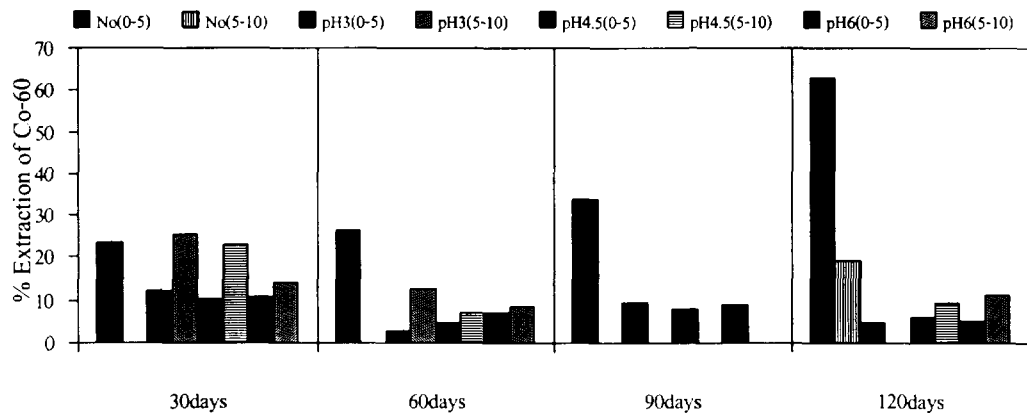
รูปที่ 5 แสดง % Total radioactivity ของ Cs-134 และ Co-60 ที่ความลึก 0-5 ซม. ที่เวลา 90 วัน



รูปที่ 6 แสดง % Total radioactivity ของ Cs-134 และ Co-60 ที่ความลึก 0-5 ซม. ที่เวลา 120 วัน



รูปที่ 7 แสดง %Extraction of Cs-134



รูปที่ 8 แสดง %Extraction of Co-60

4. บทวิจารณ์และสรุปผล

1. น้ำใต้คอตมันน์ ช่วยทำให้สารรังสีที่อยู่บริเวณด้านบนของคอตมันน์ เคลื่อนตัวสู่บริเวณด้านท้ายคอตมันน์ได้ กระบวนการหลักในการเคลื่อนที่ของสารรังสีในสภาวะนี้ คือ กระบวนการแพร่

2. น้ำฝน ช่วยทำให้สารรังสีที่อยู่บริเวณด้านบนของคอตมันน์ เคลื่อนตัวสู่บริเวณด้านท้ายคอตมันน์ได้เพิ่มขึ้น กระบวนการหลักในการเคลื่อนที่ของสารรังสีในสภาวะนี้ คือ กระบวนการไหลของมวล

กลไกการเคลื่อนที่ของสารรังสีในดิน ถูกควบคุมโดยกระบวนการหนึ่งหรือมากกว่า ใน 4 กระบวนการนี้ คือ 1.การไหลของมวล (Mass flow) 2.การแพร่ (Diffusion) 3.การผสมเชิงกล

(Mechanical mixing) 4. การเคลื่อนที่โดยสิ่งมีชีวิต (Biological transfer) แต่ในงานวิจัยนี้ไม่เกิดกระบวนการผสมเชิงกล และการเคลื่อนที่โดยสิ่งมีชีวิต มีเพียง 2 กระบวนการที่เกิดขึ้นได้ คือ การไหลของมวล และการแพร่ โดยที่ทุกคอลัมน์ในการศึกษาครั้งนี้ จะเกิดการเคลื่อนตัวของสารรังสีด้วยกระบวนการแพร่ เนื่องจากการแพร่เป็นกลไกการเคลื่อนที่แบบพื้นฐานของธาตุที่มีจำนวนน้อยในดิน (รวมถึงสารรังสีที่ไม่ได้เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งปนเปื้อนในดินด้วยความเข้มข้นน้อย) โดยที่น้ำใต้คอลัมน์ มีส่วนช่วยส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนที่ ด้วยกระบวนการดังกล่าวเพิ่มขึ้น ดังนั้นในสถานะที่ดินไม่ได้รับน้ำฝน การเคลื่อนตัวของสารรังสี ย่อมเกิดจากกระบวนการแพร่เพียงอย่างเดียว แต่ในสถานะที่ดินได้รับน้ำฝน จะเกิดกระบวนการไหลของมวล (การเคลื่อนย้ายของไอออน โดยไหลไปกับสารละลายดิน) ร่วมกับกระบวนการแพร่ โดยที่การไหลของมวลเป็นกระบวนการหลักในการเคลื่อนตัวของสารรังสีในดินที่สถานะดังกล่าว

3. ความเป็นกรดของน้ำฝนที่ศึกษา ไม่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของสารรังสีทั้งสองส่วน (Total radioactivity และ Extractable radioactivity) และทั้งสองชนิด (Cs-134 และ Co-60) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ดินที่ทำการศึกษานี้ มีค่า CEC สูง ซึ่งส่งผลให้ Buffer capacity ของดินสูงด้วย ประกอบกับค่า pH ของน้ำฝนที่ศึกษามีความเป็นกรดไม่สูงนัก จึงไม่ส่งผลกระทบต่อในดินที่ศึกษา

4. Co-60 เคลื่อนตัวไปสู่ดินด้านล่างได้ดีกว่า Cs-134 เนื่องจาก Cs-134 ถูกตรึงไว้กับ clay mineral ซึ่งดินที่ใช้ในการศึกษานี้ มี % clay สูงมาก (63 %) จึงทำให้ Cs-134 ถูกน้ำฝนชะไปสู่ดินด้านล่างได้ยากกว่า Co-60

5. กิติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ คุณฟูเกียรติ สีนาคม และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน กองขจัดกากกัมมันตรังสี คุณพรศรี พลพงษ์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน กองการวัด สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่สละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ รวมทั้งอนุเคราะห์สถานที่ และเครื่องมือวัดทางรังสี ที่จำเป็นต่องานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

1. Alloway, B. J., 1990, Heavy Metals in Soils, New York, Halsted Press John Wiley & Sons, Inc., pp. 7-27.
2. Bunzl, K., 1990, "The Migration of Radionuclides in Soil," Proceeding of the Second International Summer School : Low-level measurements of man-made radionuclides in the environment, 25 June - 6 July 1990, Spain, pp. 329-353.

3. Howills, G., 1995, Acid Rain and Acid Waters, 2nd edition, New York, Marcel Dekker, Inc., pp. 1-237.
4. Kennedy, I.R., 1992, Acid Soil and Acid Rain, UK., Galliard Printers Ltd., pp. 1-159.
5. ชัชชา รัมมะศักดิ์, 2538, ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อการเคลื่อนตัวของโลหะและธาตุอาหารในดิน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 127 หน้า
6. Gary, M. P., Sims, J. T. and Vance, G. F., 1994, Soils and Environmental Quality, London, Lewis Publishers, pp. 249-257
7. Greg, O. H., 1989, Soil, Vegetation, Ecosystems, Hong Kong, Oliver & Boyd. Pp. 157-162.
8. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535, ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 7 , โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 730 หน้า.
9. สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539, ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 327 หน้า.
10. คณะทำงานปรับปรุงมาตรฐานการวิเคราะห์ ดิน พีช น้ำ และ ปุ๋ยเคมี, 2536, วิธีวิเคราะห์ดิน, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรมวิชาการเกษตร, หน้า 1-32