บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 สมบัติของดิน

เมื่อนำดินนาที่ใช้ในการวิจัย ไปวิเคราะห์ด้วยเชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์ พบว่าลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนตะกอนทราย (silty clay) มีปริมาณทราย (sand) 24.52 เปอร์เซ็นต์ ตะกอนทราย (silt) 41.72 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคดินเหนียว (clay) 33.76 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 5.4 ไม่พบปริมาณสารตกค้างบิวตาคลอร์ในดินก่อนทำการวิจัย

4.2 โครงสร้างของแร่ดินเหนียว

เมื่อนำแร่ดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวดูดซับของแข็งในการทำวิจัย ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer พบว่าเคโอลิไนต์ประกอบด้วย kaolinite-1MD มีสูตรโครงสร้าง $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ และ Halloysite-10A° มีสูตรโครงสร้าง $Al_2Si_2O_5(OH)_4.2H_2O$ มอนต์มอริลโลไนต์ที่ใช้เป็น Montmorillonite-15A° มีสูตรโครงสร้าง $Ca.2(AlMg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.$ xH ซีโอไลต์ ประกอบด้วย Quartz มีสูตรโครงสร้าง SiO_2 และ Kaolinite-1MD มีสูตรโครงสร้าง $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ และพัมมิซประกอบด้วย Anorthile ซึ่งเป็นแร่ในกลุ่มเฟลด์สปาร์มีสูตรโครงสร้าง $(CaNa)(SiAl)_4O_8$

4.3 การปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของบิวตาคลอร์ในน้ำ

4.3.1 การศึกษาอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งแตกต่างกัน ในอัตราการใช้สาร 2 อัตรา คือ 180 และ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ โดยศึกษาที่ระยะเวลาต่าง ๆ รวม 13 ครั้งใน 3 ซ้ำ ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติทั้งการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance) และการใช้ DMRT ประเมินระดับความแตกต่างภายใต้อิทธิพลอิสระของชนิดของดินเหนียว (type) อิทธิพลอิสระของอัตราการใช้ (conc) และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย (type*conc) ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ก.2 สามารถประเมินได้ชัดเจนว่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ชนิดของดินเหนียว (type) อัตราการใช้สาร (conc) รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินเหนียวกับอัตราการใช้ (type*conc) มีอิทธิพลต่ออัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์อย่างมีนัยสำคัญ ดังพิจารณาได้จากค่านัยสำคัญซึ่งน้อยกว่า 0.05 ส่วนความแตกต่างภายในค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมาในน้ำ ภายใต้กลุ่มอิทธิพลอิสระของ

ชนิดของดินเหนียวที่เป็นตัวดูดซับของแข็ง และอัตราการใช้สาร จากรายละเอียดในภาคผนวกที่ก.3 และ ก.4 ชี้ได้ชัดเจนว่า

4.3.1.1 อิทธิพลอิสระของชนิดของดินเหนียว พบว่าเมื่อชนิดของดินเหนียวแตกต่างกัน มีอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกชนิดของดินเหนียว และพบว่าสารกำจัดวัชพืชที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็งปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ได้ดีกว่าสารกำจัดวัชพืชที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ เคโอลิไนต์ และซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับของแข็ง ตามลำดับ

4.3.1.2 อิทธิพลอิสระของอัตราการใช้สารเคมีออกฤทธิ์ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าเมื่อมีอัตราการใช้สารเพิ่มขึ้น มีการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ในน้ำเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกอัตราการใช้สารทั้ง 2 อัตรา การเพิ่มขึ้นของปริมาณความเข้มข้นสารเคมีออกฤทธิ์ในน้ำเมื่ออัตราการใช้เพิ่มขึ้น เป็นดังที่คาดไว้เพราะบิวตาคลอร์เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี

4.3.1.3 อิทธิพลร่วมของชนิดของดินเหนียวและอัตราการใช้สารเคมีออกฤทธิ์ต่ออัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ในน้ำ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญนั้น สามารถสังเกตได้จากความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากตัวดูดซับของแข็งที่เป็นดินเหนียวชนิดต่างๆ พบว่าเมื่ออัตราการใช้สารเพิ่มขึ้นภายในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็ง มีค่ามากกว่าสารกำจัดวัชพืชที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ เคโอลิไนต์ และซีโอไลต์ เป็นตัวดูดซับของแข็งอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ

4.3.2 ผลการทดลองจากชุดศึกษาอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ากับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อย ที่เตรียมขึ้นในอัตราการใช้สารที่แนะนำ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากการใส่สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้า และสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่เตรียมขึ้นลงไปบนดินแล้วปล่อยให้น้ำท่วมขัง โดยมีอัตราการใช้สาร 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ ศึกษาที่ระยะเวลาต่างๆรวม 13 ครั้ง ใน 3 ซ้ำ ปรากฏผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมาในน้ำ ค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมา ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 สามารถสรุปผลได้ว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 วัน สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้าปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ออกมา 97.87 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลด

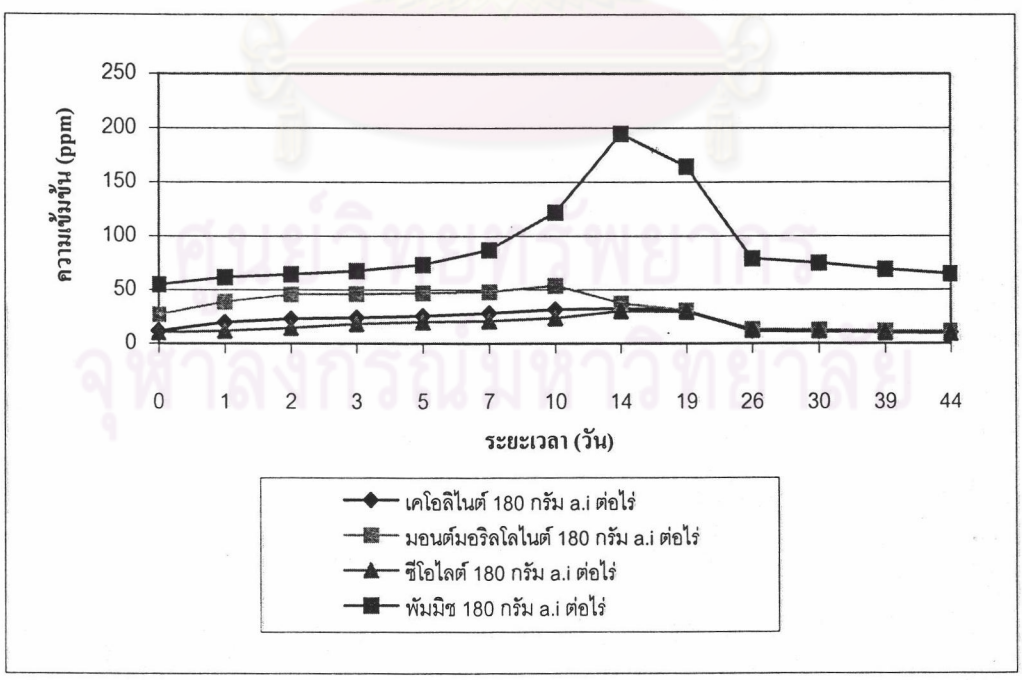
ปล่อยออกมาก็ลดลงตามลำดับ สำหรับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่เตรียมขึ้นจากตัวดูดซับของแข็งที่เป็นดินเหนียวต่างชนิดกัน ที่ระยะเวลา 2 วัน จะมีการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ออกมาจากตัวดูดซับของแข็งในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยพบว่ามีการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์จากตัวดูดซับของแข็งเคโอลิไนต์ 0.77 เปอร์เซ็นต์ มอนต์มอริลโลไนต์ 1.53 เปอร์เซ็นต์ ซีโอไลต์ 0.48 เปอร์เซ็นต์ และพัมมิช 2.13 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 44 วัน ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ามีปริมาณตกค้างในน้ำ 15.87 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์จากตัวดูดซับของแข็งเคโอลิไนต์ 8.97 เปอร์เซ็นต์ มอนต์มอริลโลไนต์ 14.09 เปอร์เซ็นต์ ซีโอไลต์ 7.36 เปอร์เซ็นต์ และพัมมิช 39.24 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์ กับที่ผสมดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ที่อัตราการใช้ 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่

เวลา (วัน)	บิวตาคลอร์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	เคโอลิไนต์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	มอนต์มอริลโลไนต์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	ซีโอไลต์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	พัมมิซ 180 กรัม a.i ต่อไร่
0	1708.76[a]	11.54[b]	27.07[c]	10.02[d]	54.85[e]
1	2344.04[a]	19.52[b]	38.84[c]	11.61[d]	61.52[e]
2	2936.10[a]	23.06[b]	45.76[c]	14.29[d]	64.45[e]
3	2867.34[a]	24.02[b]	45.96[c]	17.99[d]	67.44[e]
5	2064.33[a]	25.55[b]	46.90[c]	19.87[d]	73.24[e]
7	2005.51[a]	28.15[b]	48.15[c]	20.95[d]	87.05[e]
10	1964.30[a]	31.45[b]	53.84[c]	23.62[d]	122.04[e]
14	1933.08[a]	32.56[b]	37.46[c]	30.08[d]	194.70[e]
19	1470.09[a]	30.24[b]	30.53[c]	29.37[d]	164.46[e]
26	1152.87[a]	11.62[b]	13.26[c]	12.38[d]	79.06[e]
30	858.31[a]	10.97[b]	12.52[c]	11.56[d]	74.63[e]
39	486.47[a]	10.72[b]	11.52[c]	9.91[d]	68.97[e]
44	476.21[a]	9.74[b]	11.02[c]	9.04[d]	64.79[e]
รวม		269.14	422.83	220.69	1177.2

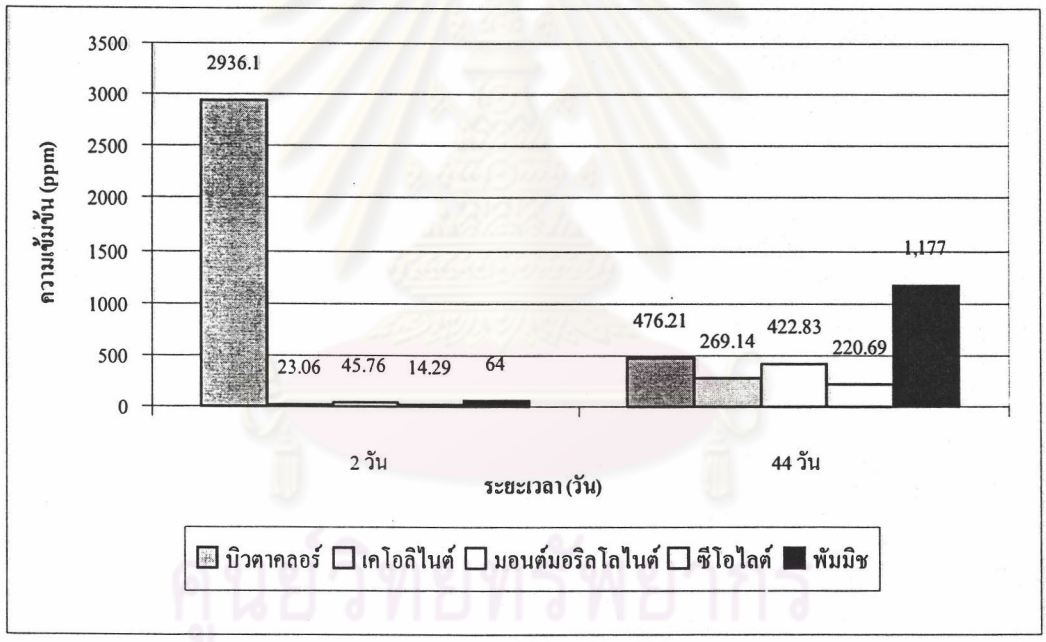
หมายเหตุ : ตัวเลขในแถวเดียวกันมีตัวอักษรยกต่างกัน แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์ที่มีตัวดูดซับของแข็งต่างชนิดกันในอัตรา 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ากับชนิดต่าง ๆ ในอัตรา 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ ที่ระยะเวลา 2 และ 44 วัน

ชนิด	ความเข้มข้น(ppm)	
	2 วัน	44 วัน
บิวตาคลอร์	2936.1	476.21
เคโอลิไนต์	23.06	269.14
มอนต์มอริลโลไนต์	45.76	422.83
ซีโอไลต์	14.29	220.69
พัมมิช	64.45	1177.20



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ากับที่ผสมดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ในอัตรา 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ ที่ระยะเวลา 2 และ 44 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำผลการศึกษามาวิเคราะห์หาความแปรปรวนของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ากับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่เตรียมขึ้นจากตัวดูดซับของแข็งต่างชนิดกันในอัตราการใช้สาร 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ โดยใช้ ANOVA และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมา โดยใช้ DMRT ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ากับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่เตรียมขึ้นจากตัวดูดซับของแข็งต่างชนิดกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็ง มีอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์มากที่สุด รองลงมา คือ มอนต์มอริลโลไนต์ เคโอลิไนต์ และซีโอไลต์ ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ก.5 ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gerstl *et al.*(1998) ที่รายงานว่า แร่ดินเหนียวต่างชนิดกันมีความสามารถในการดูดซับสารกำจัดวัชพืชได้ไม่เท่ากัน ทำให้มีอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ได้ไม่เท่ากัน

4.3.3 ผลการทดลองจากชุดศึกษาอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้าในอัตราการใช้สาร 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ กับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งต่างชนิดกัน ในอัตราการใช้สาร 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ ซึ่งเป็นสองเท่าของอัตราการใช้สารที่แนะนำ เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์จากตารางในภาคผนวกที่ ก.1 มาวิเคราะห์หาความแปรปรวน โดยใช้ ANOVA และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมา โดยใช้ DMRT ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ก.6 พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ใช้ในทางการค้าในอัตราการใช้สาร 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ กับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งต่างชนิดกัน ในอัตราการใช้สาร 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละชนิดของดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวดูดซับของแข็ง เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งต่างชนิดกัน ที่ใช้ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ ที่ระยะเวลา 44 วัน มาเปรียบเทียบกับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้า แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.3-4.6 และกราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ากับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นดินเหนียวต่างกัน 4 ชนิด แสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.3 - 4.6 พบว่าอัตราการ

ปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์จากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่เตรียมขึ้น ในอัตราการใช้ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ ที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นเคโอลิไนต์ มอนต์มอริลโลไนต์ และซีโอไลต์ ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์จากจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นเคโอลิไนต์ มอนต์มอริลโลไนต์ และซีโอไลต์ ในอัตราการใช้ 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ ยกเว้นสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็งเท่านั้น ที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมาเป็นสองเท่าของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยมาจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็ง ในอัตราการใช้ 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่

เมื่อนำผลการศึกษามาวิเคราะห์หาความแปรปรวนของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมา โดยใช้ ANOVA ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ก.7-ก.10 และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมา โดยใช้ Paired Samples Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ก.11-ก.14 เมื่อเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นเคโอลิไนต์ มอนต์มอริลโลไนต์ และซีโอไลต์ ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นพัมมิช พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมาระหว่างสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ากับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นดินเหนียวต่างชนิดกัน ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่า มีค่าแตกต่างกัน โดยที่อัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์จากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็ง จะมีรูปแบบการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์คล้ายคลึงกับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ามากที่สุด

4.4 การปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของบิวตาคลอร์ในดิน

ได้ทำการศึกษาการตกค้างของบิวตาคลอร์ในดินนาข้าว โดยใช้สารนี้ 2 อัตรา คือ 180 และ 360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ เป็นระยะเวลา 44 วัน ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นที่พบในดินของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นดินเหนียวต่างชนิดกัน พบว่าสาร

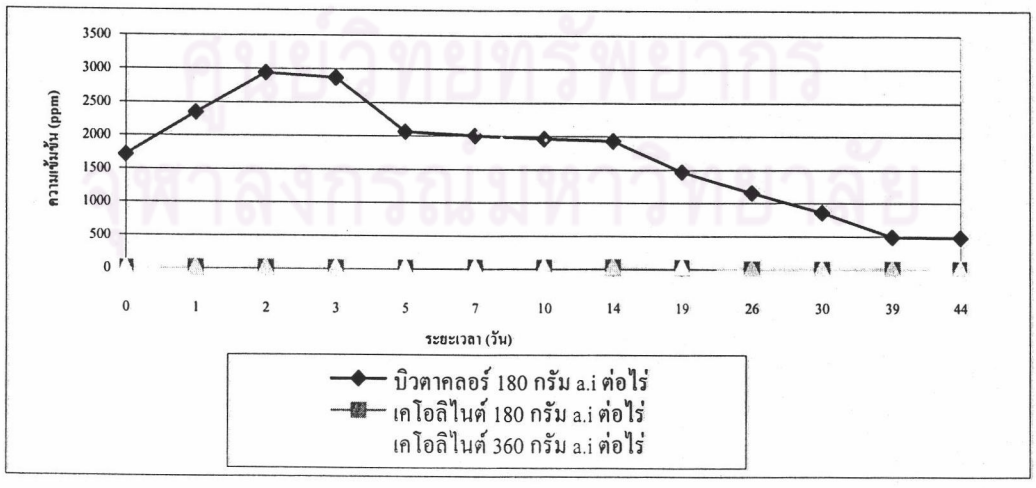
กำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็ง ในอัตรา 360 และ 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ มีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ตกค้างในดิน 14.7 และ 8.18 ppm สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นเคโอลิไนต์ ในอัตรา 360 และ 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ มีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ตกค้างในดิน 4.59 และ 1.48 ppm สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มอนต์มอริลโลไนต์เป็นตัวดูดซับของแข็ง ในอัตรา 360 และ 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ มีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ตกค้างในดิน 4.25 และ 3.03 ppm และพบว่าสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับของแข็งไม่พบสารเคมีออกฤทธิ์ตกค้างในดิน เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นแร่ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ในอัตรา 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ พบว่าสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็งมีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ตกค้างในดินมากที่สุด รองลงมา คือ สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นเคโอลิไนต์ มอนต์มอริลโลไนต์ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ตกค้างในดิน 0.49, 0.15, 0.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gerstl (1998) ที่รายงานว่าเมื่อหว่านสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยลงบนดินเป็นระยะเวลา 60 วัน พบความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชในดินประมาณ 0.5 ถึง 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่ต้องการในการควบคุมวัชพืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและชนิดของวัชพืชที่ต้องการควบคุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์กับที่ผสมเคโอลิไนต์ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่

เวลา (วัน)	บิวตาคลอร์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	เคโอลิไนต์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	เคโอลิไนต์ 360 กรัม a.i ต่อไร่
0	1708.76 [a]	11.54 [b]	15.97 [c]
1	2344.04 [a]	19.52 [b]	24.08 [c]
2	2936.10 [a]	23.06 [b]	24.75 [c]
3	2867.34 [a]	24.02 [b]	25.38 [c]
5	2064.33 [a]	25.55 [b]	25.92 [c]
7	2005.51 [a]	28.15 [b]	27.68 [c]
10	1964.30 [a]	31.45 [b]	30.05 [c]
14	1933.08 [a]	32.56 [b]	41.90 [c]
19	1470.09 [a]	30.24 [b]	38.89 [c]
26	1152.87 [a]	11.62 [b]	16.47 [c]
30	858.31 [a]	10.97 [b]	13.98 [c]
39	486.47 [a]	10.72 [b]	12.50 [c]
44	476.21 [a]	9.74 [b]	12.17 [c]
รวม		269.14	309.74

หมายเหตุ : ตัวเลขในแถวเดียวกันมีตัวอักษรยกต่างกัน แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

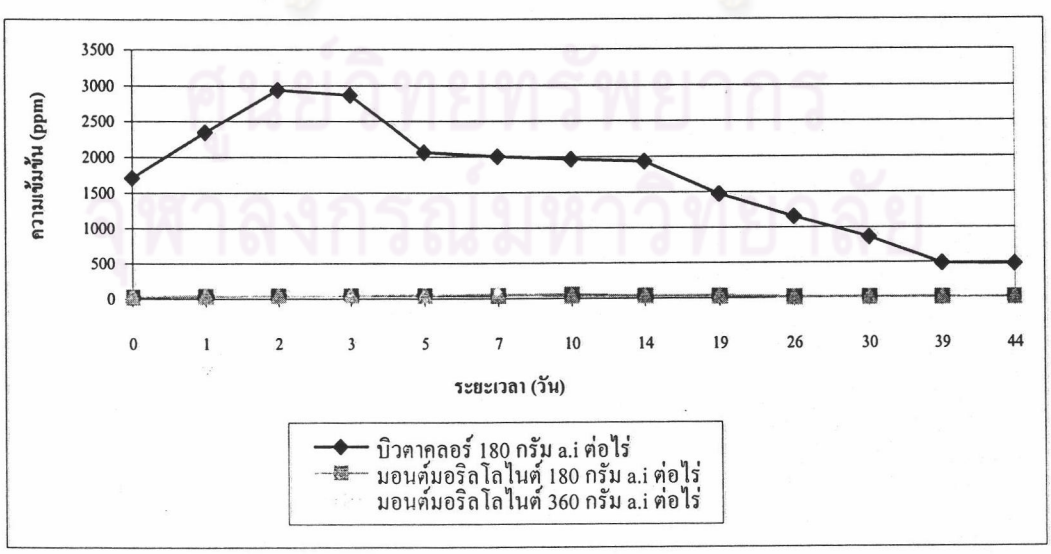


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์กับที่ผสมเคโอลิไนต์

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์กับที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่

เวลา (วัน)	บิวตาคลอร์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	มอนต์มอริลโลไนต์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	มอนต์มอริลโลไนต์ 360 กรัม a.i ต่อไร่
0	1708.76[a]	27.07[b]	45.28
1	2344.04[a]	38.84[b]	46.70[c]
2	2936.10[a]	45.76[b]	47.34[c]
3	2867.34[a]	45.96[b]	48.58[c]
5	2064.33[a]	46.90[b]	54.56[c]
7	2005.51[a]	48.15[b]	61.94[c]
10	1964.30[a]	53.84[b]	35.78[c]
14	1933.08[a]	37.46[b]	38.21[c]
19	1470.09[a]	30.53[b]	37.72[c]
26	1152.87[a]	13.26[b]	15.90[c]
30	858.31[a]	12.52[b]	11.63[c]
39	486.47[a]	11.52[b]	10.65[c]
44	476.21[a]	11.02[b]	10.47[c]
รวม		422.83	464.76

หมายเหตุ : ตัวเลขในแถวเดียวกันมีตัวอักษรยกต่างกัน แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

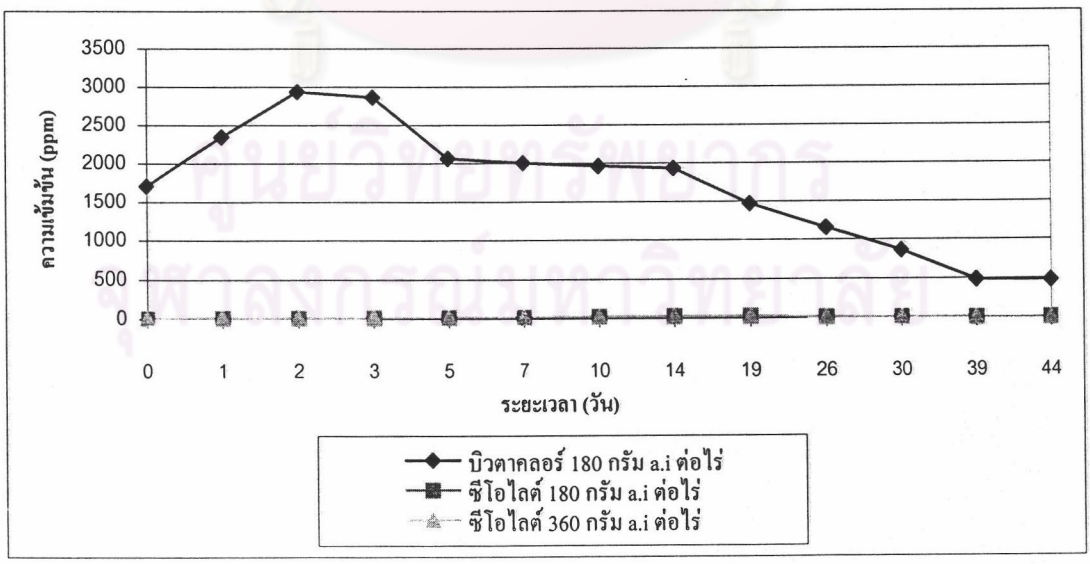


รูปที่4.4 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์กับที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์

ตารางที่ 4.5 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์กับที่ผสมซีโอไลต์ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่

เวลา (วัน)	บิวตาคลอร์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	ซีโอไลต์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	ซีโอไลต์ 360 กรัม a.i ต่อไร่
0	1708.76[a]	10.02[b]	10.09[c]
1	2344.04[a]	11.61[b]	17.75[c]
2	2936.10[a]	14.29[b]	18.76[c]
3	2867.34[a]	17.99[b]	20.57[c]
5	2064.33[a]	19.87[b]	21.68[c]
7	2005.51[a]	20.95[b]	24.13[c]
10	1964.30[a]	23.62[b]	24.40[c]
14	1933.08[a]	30.08[b]	28.19[c]
19	1470.09[a]	29.37[b]	27.75[c]
26	1152.87[a]	12.38[b]	11.13[c]
30	858.31[a]	11.56[b]	10.88[c]
39	486.47[a]	9.91[b]	10.55[c]
44	476.21[a]	9.04[b]	9.49[c]
รวม		220.69	235.37

หมายเหตุ : ตัวเลขในแถวเดียวกันมีตัวอักษรยกต่างกัน แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

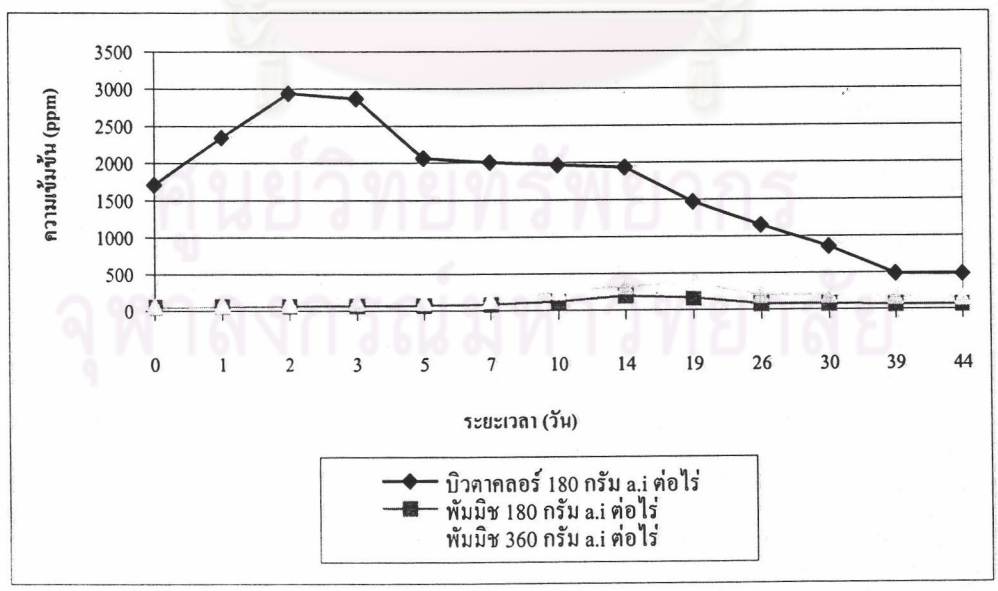


รูปที่4.5 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์กับที่ผสมซีโอไลต์

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์กับที่ผสมพัมมิชในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่

เวลา (วัน)	บิวตาคลอร์ 180 กรัม a.i ต่อไร่	พัมมิช 180 กรัม a.i ต่อไร่	พัมมิช 360 กรัม a.i ต่อไร่
0	1708.76[a]	54.85[b]	67.42[c]
1	2344.04[a]	61.52[b]	80.25[c]
2	2936.10[a]	64.45[b]	92.72[c]
3	2867.34[a]	67.44[b]	115.47[c]
5	2064.33[a]	73.24[b]	121.35[c]
7	2005.51[a]	87.05[b]	138.49[c]
10	1964.30[a]	122.04[b]	254.56[c]
14	1933.08[a]	194.70[b]	330.15[c]
19	1470.09[a]	164.46[b]	369.36[c]
26	1152.87[a]	79.06[b]	202.53[c]
30	858.31[a]	74.63[b]	190.85[c]
39	486.47[a]	68.97[b]	175.13[c]
44	476.21[a]	64.79[b]	159.33[c]
รวม		1177.20	2297.61

หมายเหตุ : ตัวเลขในแถวเดียวกันมีตัวอักษรยกต่างกัน แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

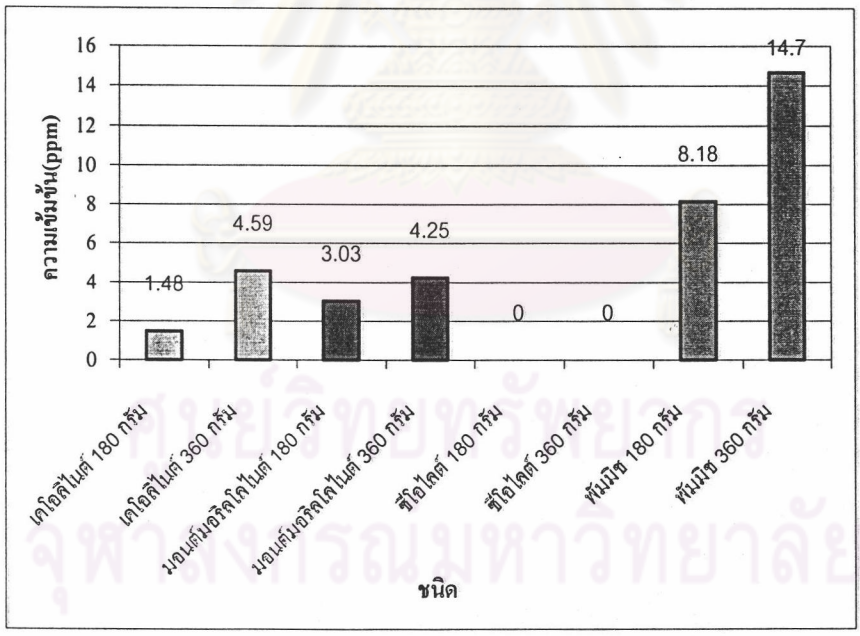


รูปที่4.6 กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์กับที่ผสมพัมมิช

ตารางที่ 4.7ปริมาณความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่ตกค้างในดินที่ระยะเวลา 44 วัน

ชนิด	ความเข้มข้น(ppm)
เคโอลิไนต์ 180 กรัม	1.48
เคโอลิไนต์ 360 กรัม	4.59
มอนต์มอริลโลไนต์ 180 กรัม	3.03
มอนต์มอริลโลไนต์ 360 กรัม	4.25
ซีโอไลต์ 180 กรัม	ND
ซีโอไลต์ 360 กรัม	ND
พัมมิช 180 กรัม	8.18
พัมมิช 360 กรัม	14.7

หมายเหตุ : ND = non-detected



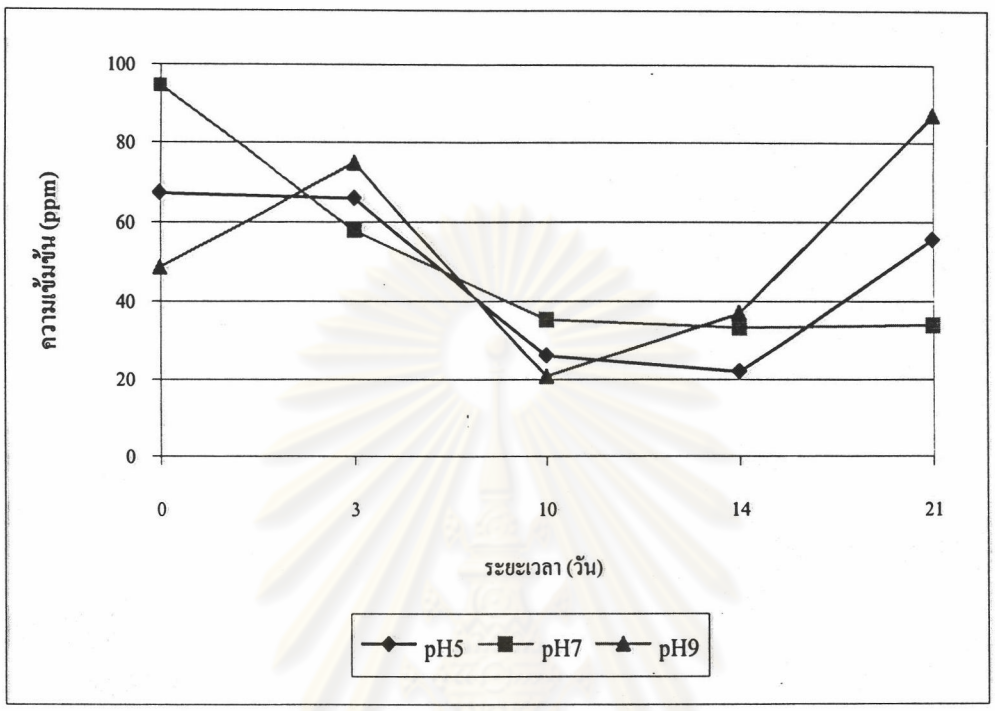
รูปที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่ตกค้างในดินที่ระยะเวลา 44 วัน

4.5 การศึกษาระดับพีเอชที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์

ผลการศึกษาจากการนำเอาสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็งมาทำการทดลองที่ระดับพีเอช 5, 7 และ 9 โดยศึกษาที่ระยะเวลาต่างๆรวม 5 ครั้ง เพื่อพิจารณาระดับพีเอชที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์มากที่สุด จากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 10 วัน ที่ระดับพีเอช 7 มีอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ค่อนข้างคงที่ในขณะที่ระดับพีเอช 5 และ 9 มีการปลดปล่อยปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์ออกมาในอัตราที่สูงขึ้น

เมื่อนำผลการศึกษามาวิเคราะห์หาความแปรปรวนของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมาในแต่ละระดับพีเอช โดยใช้ ANOVA ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ก.16 และวิเคราะห์หาความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมา โดยใช้ Paired Samples Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ก.17 จากการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็งที่ระดับพีเอช 5, 7 และ 9 พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมา ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าที่ระดับพีเอช 5 และ 9 มีแนวโน้มว่าจะมีการปลดปล่อยปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์ออกมาในอัตราที่สูงขึ้น ในขณะที่ระดับพีเอช 7 มีแนวโน้มที่จะมีการปลดปล่อยปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์ออกมาในอัตราที่คงที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



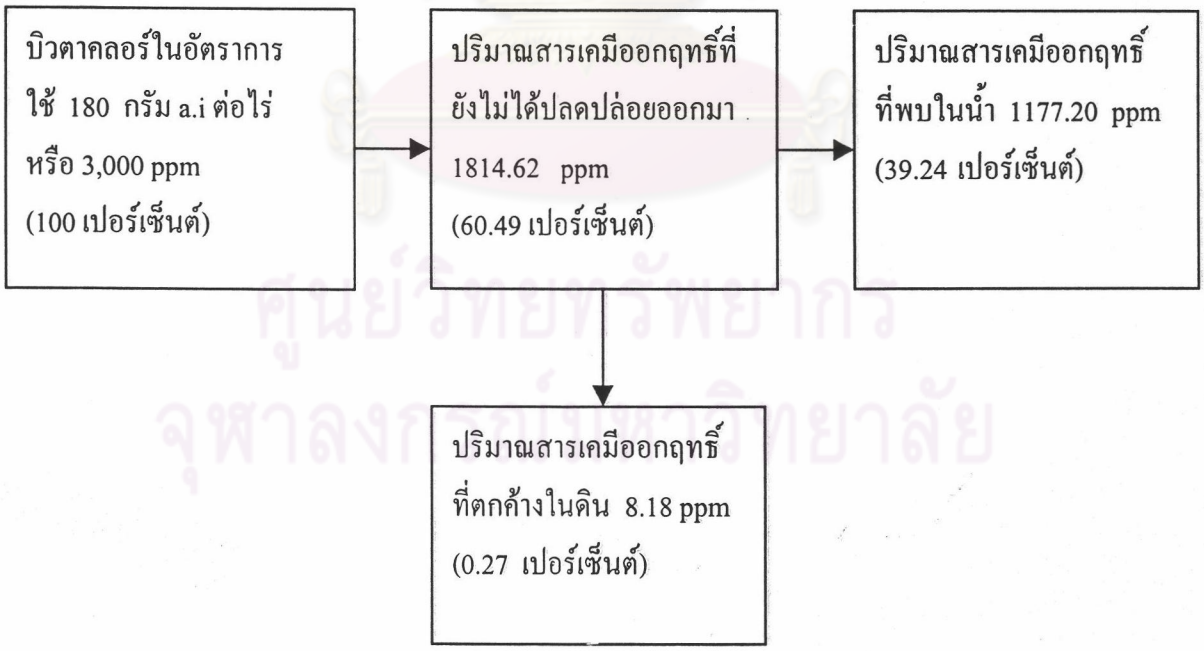
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่ระดับพีเอชต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 สมดุลมวล (mass balance)

สมดุลมวล คือ ปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์บิวตาคลอร์ทั้งหมดที่เตรียมขึ้นในรูปของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย และปลดปล่อยออกจากสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยลงไปในน้ำและตกค้างในดิน โดยผลต่างของปริมาณทั้งสอง คือ ค่าปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์ที่ยังอยู่ในสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย หรือปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์ที่ยังไม่ปลดปล่อยออกมาจากตัวดูดซับของแข็ง โดยค่าดังกล่าวปรับเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์ที่ยังไม่ปลดปล่อยออกมา และแบ่งพิจารณาเป็นสองส่วน คือ น้ำ และดิน

ตัวอย่างการทำสมดุลมวลของสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็ง พบว่าที่ระยะเวลา 44 วัน สารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็งในอัตรา 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่หรือเท่ากับ 3,000 ppm ซึ่งคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ใส่เข้าไปในระบบ มีปริมาณความเข้มข้นที่พบในน้ำเท่ากับ 1177.20 ppm ในดินเท่ากับ 8.18 ppm ดังนั้นจึงมีสารเคมีออกฤทธิ์ที่ยังไม่ได้ปลดปล่อยออกมาเท่ากับ 1814.62 ppm ปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์ที่พบในน้ำคิดเป็น 39.24 เปอร์เซ็นต์ และในดินคิดเป็น 0.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งรวมกันแล้วคิดเป็น 39.51 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์เริ่มต้น จึงเหลือสารเคมีออกฤทธิ์ที่ยังไม่ได้ปลดปล่อยออกมาเท่ากับ 60.49 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็ง ที่ระยะเวลา 44 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในทางการค้าและสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งต่างชนิดกันมาทำสมดุลมวล ดังตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงประสิทธิภาพของการทำงานร่วมกันระหว่างโพลีเมอร์และแร่ดินเหนียว ในการป้องกันไม่ให้สารเคมีออกฤทธิ์ถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วจากจุลินทรีย์ในดิน

ตารางที่ 4.8 สมดุลมวลของสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในทางการค้าและสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย ที่ระยะเวลา 44 วัน

treatment	Initial butachlor Content (μg)	butachlor remaining in CRF (%)	butachlor in soil (%)	butachlor degraded (%)
commerc formln	3000		ND	100
kaolinite	3000	91	0.1	9.0
montmorrillonite	3000	85.8	0.1	14.1
zeolite	3000	92.6	ND	7.4
pumice	3000	60.5	0.3	39.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย