

การเตรียมสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยโดยเคลือบด้วย  
โพลีเมอร์ที่สลายได้ตามธรรมชาติ



นางสาวขวัญฤดี พระสุจันทร์ทิพย์

ศูนย์วิทยพัทยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-170216-7

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**PREPARATION OF CONTROLLED RELEASE HERBICIDE COATED  
WITH BIODEGRADABLE POLYMER**

**Miss Kwanrudee Prasuchantip**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science**

**Inter-department of Environmental Science**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 2001**

**ISBN 974-170216-7**

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การเตรียมสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยโดยเคลือบด้วย  
โพลีเมอร์ที่สลายได้ตามธรรมชาติ  
โดย                              นางสาว ขวัญฤดี พระสุจันทร์ทิพย์  
สาขาวิชา                      วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม

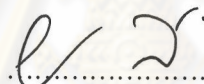
---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



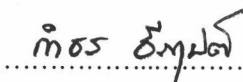
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนาผลไพบูลย์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)



.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)



..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัชร ชีรคุปต์)

ขวัญฤดี พระสุจันทร์ทิพย์ : การเตรียมสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยโดยเคลือบด้วยโพลีเมอร์ที่สลายได้ตามธรรมชาติ (PREPARATION OF CONTROLLED RELEASE HERBICIDE COATED WITH BIODEGRADABLE POLYMER) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม, 76 หน้า. ISBN 974-170216-7

วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อเตรียมสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยโดยเคลือบด้วยโพลีเมอร์ที่สลายได้ตามธรรมชาติ ด้วยวิธีที่ง่าย ใช้วัสดุธรรมชาติที่หาได้ทั่วไป และเป็นผลิตภัณฑ์ที่สลายตัวแล้วไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เปรียบเทียบกับสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในทางการค้า โดยศึกษาจากปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยออกมาในน้ำและตกค้างในดิน ที่อัตราการใช้สาร 2 อัตรา คือ 180 และ 360 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ ด้วยการวิเคราะห์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ผลการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์จากสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับของแข็งที่เป็นแร่ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์บิวตาคลอร์ที่ตรวจพบในน้ำและตกค้างในดิน ที่ระยะเวลา 44 วัน ระหว่างสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีตัวดูดซับของแข็งต่างกัน 4 ชนิด คือ เคโอลิไนต์ มอนต์มอริลโลไนต์ ซีโอไลต์ และพัมมิช กับสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้า ในอัตราการใช้ 180 กรัมสารเคมีออกฤทธิ์ต่อไร่ พบว่าหลังการหว่านสาร 2-3 วัน สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้า ได้ปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ออกมาหมด และไม่พบการตกค้างในดิน สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็งมีอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ในน้ำ 39 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ มอนต์มอริลโลไนต์ 14 เปอร์เซ็นต์ เคโอลิไนต์ 9 เปอร์เซ็นต์ และซีโอไลต์ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบตกค้างในดิน 8.2, 3.0 และ 1.5 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับของแข็งไม่พบการตกค้างในดิน เมื่อเปรียบเทียบระดับพีเอช พบว่าที่พีเอช 7 สารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็งมีการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ในปริมาณคงที่ ดังนั้นพีเอช 7 เป็นค่าที่น่าเหมาะสมต่อการใช้สารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม .....ลายมือชื่อนิสิต .....  
 สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม .....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
 ปีการศึกษา 2544 .....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 4172235223 : MAJOR INTER-DEPARTMENT ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : CONTROLLED RELEASE, BUTACHLOR, BIODEGRADABLE POLYMER

KWANRUDEE PRASUCHANTIP : PREPARATION OF CONTROLLED RELEASE  
HERBICIDE COATED WITH BIODEGRADABLE POLYMER. THESIS ADVISOR :  
ASSOC. PROF. AMORN PETSOM, Ph. D. 76 pp. ISBN 974-170216-7

The purpose of this study was to prepare clay-polymer-based controlled release formulation(CRF) for agrochemicals. The preparations are based on readily available natural materials, require a simple preparation procedure, and produce nontoxic degradable products. The release of the active ingredient into water and soil from controlled release herbicide prepared from biodegradable polymer with the addition of clay minerals was compared to the commercial formulation. The herbicides were applied at two different rates: 180 and 360 g a.i/rai. Gas chromatography was employed to determine the amount of active ingredient in aqueous solution and soil.

The release of the active ingredient from a prepared controlled release herbicide was depended on type of clay minerals using as a solid particulate filler. The determination of butachlor concentrations in water and soil 44 days after application of clay-polymer CRFs and the commercial formulation at rate 180 g a.i/rai showed that the commercial formulation gave total release in 2-3 days and nondetected in soil. Butachlor was released from clay-polymer CRFs in the order pumice gave 39 %, montmorillonite gave 14 %, kaolinite gave 9% and zeolite gave 7% release, respectively and were detected in soil 8.2, 3.0 and 1.5 ppm, respectively. Zeolite-containing formulations were nondetected in soil. The release of butachlor from pumice-containing formulations was found to have steady rates at pH 7. The result showed that pH 7 can be used for controlled release of herbicide.

Inter-department Environmental Science Student's signature Kwanrudee P.  
Field of study Environmental Science Advisor's signature Amorn Petsom  
Academic year 2001 Coadvisor's signature -

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจและแก้ไขรายละเอียดต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรกุลปัด รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจทาน แก้ไข และให้คำแนะนำเพิ่มเติม เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย และทุนทบวงมหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยสำหรับการทำวิทยานิพนธ์

และสุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมารดา เป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสข้าพเจ้าในด้านการศึกษา ขอขอบคุณพี่สาวและน้องสาว ในการสนับสนุนเสบียงอาหารและความช่วยเหลือด้านคอมพิวเตอร์และขอขอบคุณน้องปุ๋ย วงศ์พงา ที่ช่วยดูแลกิจการวิจัยให้ตลอดจนน้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษาครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....  | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ .....   | ฉ    |
| สารบัญ .....  | ช    |
| สารบัญตาราง.....  | ฅ    |
| สารบัญรูปภาพ .....  | ฉ    |
| บทที่   |      |
| 1. บทนำ .....   | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....                                      | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....   | 2    |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย .....  | 2    |
| 1.4 สมมติฐานการวิจัย .....  | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....   | 3    |
| 2. การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                                | 4    |
| 2.1 คุณสมบัติของบิวตากลอร์.....   | 4    |
| 2.2 การสลายตัวของสารกำจัดวัชพืชบิวตากลอร์ในนาข้าว .....                       | 6    |
| 2.3 ความคงสภาพของสารกำจัดวัชพืชในดิน .....                                    | 7    |
| 2.4 การปลูกข้าวและการใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าว .....                          | 8    |
| 2.5 สารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย .....                                  | 11   |
| 2.6 ตัวดูดซับของแข็งที่ใช้ในการเตรียมสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย ..... | 13   |
| 2.7 โพลีไวนิลอะซิเตด .....  | 17   |
| 2.8 จีฟังก์พาราฟิน .....  | 18   |
| 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....   | 18   |
| 3. วิธีดำเนินการวิจัย .....   | 23   |
| 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย .....                                | 23   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 3.2 สารเคมีสำหรับการวิจัย .....                                       | 24   |
| 3.3 การเตรียมรีเอเจนต์ .....  | 24   |
| 3.4 แผนและวิธีดำเนินการวิจัย .....                                    | 24   |
| 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล .....                                       | 29   |
| 4.1 สมบัติของดิน .....  | 29   |
| 4.2 โครงสร้างของดินเหนียว.....  | 29   |
| 4.3 การปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของบิวตาคลอร์ในน้ำ .....                | 29   |
| 4.4 การปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของบิวตาคลอร์ในดิน .....                | 29   |
| 4.5 การศึกษาระดับพีเอชที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ ..... | 35   |
| 4.6 สมดุลมวล .....  | 42   |
| 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....                                  | 46   |
| 5.1 การปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของบิวตาคลอร์ในน้ำ.....                 | 46   |
| 5.2 การตกค้างของสารเคมีออกฤทธิ์บิวตาคลอร์ในดิน.....                   | 47   |
| 5.3 ระดับพีเอชที่เหมาะสม.....   | 47   |
| 5.4 สมดุลมวล.....   | 48   |
| รายการอ้างอิง .....   | 50   |
| ภาคผนวก   |      |
| ภาคผนวก ก .....   | 54   |
| ภาคผนวก ข .....   | 73   |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....                                      | 76   |



## สารบัญตาราง

| ตาราง  | หน้า |
|--|------|
| 3.1 แสดงสถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย Gas Chromatography (GC) .....  | 27   |
| 4.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์ทั่วไป<br>กับที่ผสมดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ที่อัตราการใช้ 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่...  | 32   |
| 4.2 ความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืช<br>บิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ากับที่ผสมดินเหนียวชนิดต่าง ๆ<br>ในอัตรา 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ที่ระยะเวลา 2 และ 44 วัน..... | 33   |
| 4.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์ทั่วไป<br>กับที่ผสมเคโอลิไนต์ ในอัตรา 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....  | 37   |
| 4.4 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์ทั่วไป<br>กับที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ ในอัตรา 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....  | 38   |
| 4.5 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์ทั่วไป<br>กับที่ผสมซีโอไลต์ ในอัตรา 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....  | 39   |
| 4.6 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์ทั่วไป<br>กับที่ผสมพีมมิช ในอัตรา 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....  | 40   |
| 4.7 ปริมาณความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่ตกค้าง<br>ในดิน ที่ระยะเวลา 44 วัน .....  | 41   |
| 4.8 สมดุลมวลของสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในทางการค้าและสารกำจัดวัชพืชแบบ<br>ควบคุมการปลดปล่อย ที่ระยะเวลา 44 วัน.....  | 45   |
| ก.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากบิวตาคลอร์ทั่วไป<br>กับที่ผสมดินเหนียวชนิดต่าง ๆ .....  | 55   |
| ก.2 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างชนิดของ<br>ดินเหนียวกับความเข้มข้น.....  | 59   |
| ก.3 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างดินเหนียว<br>4 ชนิด ที่อัตรา 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....  | 60   |
| ก.4 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างดินเหนียว<br>4 ชนิด ที่อัตรา 360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....  | 61   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตาราง  | หน้า |
|--|------|
| ก.5 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>ทั่วไปกับที่ผสมดินเหนียว 4 ชนิด ในอัตรา 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่..... | 62   |
| ก.6 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>ทั่วไปกับที่ผสมดินเหนียว4ชนิดในอัตรา180กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....      | 63   |
| ก.7 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>ที่ผสมเคโอลิไนต์ ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....        | 64   |
| ก.8 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>ที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่...    | 64   |
| ก.9 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>ที่ผสมซีโอไลต์ ในอัตรา180 และ 360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....           | 65   |
| ก.10 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>ที่ผสมพัมมิชในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....            | 65   |
| ก.11 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>กับที่ผสมเคโอลิไนต์ ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อ ไร่ .....  | 66   |
| ก.12 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>กับมอนต์มอริลโลไนต์ในอัตรา180 และ360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....       | 67   |
| ก.13 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>กับซีโอไลต์ ในอัตรา180 และ360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....              | 68   |
| ก.14 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์<br>กับพัมมิช ในอัตรา 180 และ 360 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....              | 69   |
| ก.15 ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อย<br>ที่ตกค้างในดิน ที่ระยะเวลา 44 วัน .....                                | 70   |
| ก.16 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืช<br>บิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็ง ที่พีเอช 5, 7 และ 9.....    | 71   |
| ก.17 ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืช<br>บิวตาคลอร์ที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็ง ที่พีเอช 5, 7 และ 9.....    | 72   |

## สารบัญรูปลภาพ

| รูปที่ |  | หน้า |
|--------|--|------|
| 2.1    | สูตรโครงสร้างของสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์.....  | 5    |
| 2.2    | แสดงปริมาณการปลดปล่อยสารด้วยกลไกต่าง ๆ กัน.....  | 13   |
| 2.3    | โครงสร้างของผลึกของเคโอลิไนต์.....   | 15   |
| 2.4    | โครงสร้างของผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์.....   | 16   |
| 4.1    | กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์ที่มีตัวดูดซับของแข็งเป็นดินเหนียวต่างชนิดกัน ในอัตรา 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่.....                               | 32   |
| 4.2    | กราฟแสดงความเข้มข้นของสารเคมีออกฤทธิ์ที่ปลดปล่อยจากสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์ที่ใช้ในทางการค้ากับที่ผสมดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ในอัตรา 180 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ที่ระยะเวลา 2 และ 44 วัน..... | 33   |
| 4.3    | กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์กับที่ผสมเคโอลิไนต์.....   | 37   |
| 4.4    | กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์กับที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์.....   | 38   |
| 4.5    | กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์กับที่ผสมซีโอไลต์.....   | 39   |
| 4.6    | กราฟแสดงอัตราการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ระหว่างบิวตาคลอร์กับที่ผสมพัมมิช.....   | 40   |
| 4.7    | ปริมาณความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่ตกค้างในดิน ที่ระยะเวลา 44 วัน.....   | 41   |
| 4.8    | กราฟแสดงการปลดปล่อยสารเคมีออกฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืชแบบควบคุมการปลดปล่อยที่ระดับพีเอชต่าง ๆ .....   | 43   |
| 4.9    | แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารเคมีออกฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืชบิวตาคลอร์แบบควบคุมการปลดปล่อยที่มีพัมมิชเป็นตัวดูดซับของแข็งที่ระยะเวลา 44 วัน   | 44   |
| ข.1    | โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานบิวตาคลอร์.....   | 74   |
| ข.2    | กราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้พีคและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานบิวตาคลอร์.....   | 75   |