สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดคาร์โบฟูราน ในสารละลาย โดยใช้เศษผงเหล็ก

64

T107763

นายณัฐวุฒิ สุขมีทรัพย์
นายเสริมศักดิ์ เลาหศักดิ์ประสิทธิ์

วท.ม. ณ361ก
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107763
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553

b 12210766
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Carbofuran from Aqueous Solution using Scrap Iron Powder

Mr. Nathawut Sukmeesap

Mr. Sermsak Laohasakprasit

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Deparment of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การกำจัดคาร์โบฟูรานในสารละลาย โดยใช้เศษผงเหล็ก

นักศึกษา นายณัฐวุฒิ สุขมีทรัพย์

นายเสริมศักดิ์ เลาหศักดิ์ประสิทธิ์

ภาควิชา เคมี

สาขา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุวรรณี จรรยาพูน

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	.....
กรรมการ	ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	.....
กรรมการ	ดร. สุวรรณี จรรยาพูน	.....

.....

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การกำจัดคาร์โบฟูรานในสารละลาย โดยใช้เศษผงเหล็ก
นักศึกษา นาย ณัฐวุฒิ สุขมีทรัพย์
นาย เสริมศักดิ์ เลาหศักดิ์ประสิทธิ์
ภาควิชา เคมี
สาขา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2548
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน และจลน์พลศาสตร์เคมี และศึกษาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก โดยทำการทดลองแบบแบทช์ ผลจากการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน คือที่พีเอช 2 ระยะเวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง ปริมาณผงเศษเหล็ก 1 กรัม และความเข้มข้นของคาร์โบฟูราน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานได้ 92.67±0.20 % จากการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมี โดยแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบฟูรานที่ 5, 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ปฏิกิริยาในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานเป็นปฏิกิริยาอันดับ 2 ค่า k เท่ากับ 23.9270, 8.8614 และ 1.6106 ลิตรต่อโมล-ชั่วโมง ตามลำดับ และ จากการศึกษาหาผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาการกำจัดคาร์โบฟูราน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลัก ๆ ได้แก่ 1,3-diethybenzene, 1,4-diethylbenzene, 1,2-diethylbenzene และ decahydro-1,6-dimethyl naphthalene

คำสำคัญ: คาร์โบฟูราน, คาร์บาเมต, เหล็กวาเลนซ์ศูนย์, ออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.4 ผลของความเข้มข้นสารละลายคาร์โบฟูราน..... 32

4.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์เคมี..... 33

4.3 หาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน..... 35

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 39

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 39

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 39

เอกสารอ้างอิง..... 40

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก..... 42

ภาคผนวก ข..... 48

ภาคผนวก ค..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการนำเข้าสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ปี 2531-2541..... 3

ตารางที่ 2.2 แบ่งประเภทตามระดับความเป็นพิษของวัตถุมีพิษที่ใช้ในการเกษตร..... 6

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชโดยแบ่งตามระดับความเป็นพิษ..... 7

ตารางที่ 3.1 สภาวะของ GC/MS ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังจาก
การออกซิไดซ์สารละลายคาร์โบฟูราน ด้วยเศษผงเหล็ก..... 28

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมี..... 34

ตารางที่ 4.2 ผลิตภัณฑ์จากชุดควบคุมที่วิเคราะห์โดยเครื่อง GC/MS 36

ตารางที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์ของสารหลังการบำบัดด้วยผงเหล็กวิเคราะห์โดยเครื่อง GC/MS..... 38

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลกราฟมาตรฐานคาร์โบฟูราน..... 43

ตารางที่ ก-2 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์โบฟูรานที่พีเอชต่าง ๆ..... 44

ตารางที่ ก-3 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์โบฟูรานที่ระยะเวลาในกำจัดต่าง ๆ..... 45

ตารางที่ ก-4 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์โบฟูรานที่ปริมาณผงเหล็กต่าง ๆ..... 46

ตารางที่ ก-5 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์โบฟูรานที่ความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานต่าง ๆ..... 47

ตารางที่ ข-1 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร... 49

ตารางที่ ข-2 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร. 50

ตารางที่ ข-3 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร.. 51

ตารางที่ ค-1 ความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์หลังจากการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน..... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของกลุ่มคาร์บาเมท..... 8
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของคาร์โบฟูราน..... 9
รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง [A] กับ t ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์..... 18
รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln [A] กับ t ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง 19
รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/[A] กับ t ของปฏิกิริยาอันดับสอง 21
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็กที่พีเอชต่าง ๆ..... 29
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็กที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ..... 30
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์โบฟูรานที่ปริมาณผงเหล็กต่าง ๆ..... 31
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์โบฟูรานที่ความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานต่าง ๆ 32
รูปที่ 4.5 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก 33
รูปที่ 4.6 ปฏิกิริยาอันดับ 1 ของการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก 33
รูปที่ 4.7 ปฏิกิริยาอันดับ 2 ของการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก 34
รูปที่ 4.8 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์โบฟูราน..... 35
รูปที่ 4.9 โครมาโทแกรมของชุดควบคุม..... 36
รูปที่ 4.10 โครมาโทแกรมของสารตัวอย่าง..... 37
รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานคาร์โบฟูราน..... 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการด้านการเกษตร ความต้องการเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตในพื้นที่การเกษตรที่มีจำกัด ซึ่งส่งผลให้มีการใช้ปริมาณสารเคมีเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นสารเคมีในการกำจัดวัชพืช สารเคมีในการกำจัดแมลง รวมทั้งการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมาก ซึ่งการใช้สารเคมีโดยขาดความรู้และความระมัดระวัง ในเรื่องความเป็นพิษของสารเคมีเหล่านั้นอย่างเพียงพอ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การตกค้างของสารเคมีในผลผลิต ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ และเนื่องจากสารฆ่าแมลงเป็นสารเคมีที่เป็นพิษและตกค้างในสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เกิดปัญหาการสะสมตัวของสารเคมีในแหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ทำการเกษตรและพื้นที่ใกล้เคียง ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสภาพแวดล้อม และปัญหาสุขภาพของประชาชนที่ใช้น้ำ ในการอุปโภคบริโภค

คาร์โบฟูราน รู้จักทางการค้าว่า ฟูราดาน ยิปปูราน คาซาลิน คาเบนฟูดาน 3 จี เป็นสารฆ่าแมลงชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารฆ่าแมลงที่ใช้ได้ง่ายกว่าสารฆ่าแมลงชนิดน้ำ และสามารถกำจัดแมลงได้หลายชนิดเมื่อเทียบกับสารฆ่าแมลงชนิดอื่น ในปัจจุบันมีการนำเข้าจากต่างประเทศเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งในท้องตลาดมีการจำหน่ายคาร์โบฟูราน ในลักษณะชนิดเม็ด ทำให้เกษตรกรใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งส่งผลให้มีการใช้สารฆ่าแมลงชนิดนี้อย่างขาดความระมัดระวัง ซึ่งองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้จัดระดับความเป็นอันตรายของคาร์โบฟูรานอยู่ในกลุ่ม 1b ซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงชนิดมีพิษร้ายแรง (Hightly toxic) และมีค่า LD_{50} เพียง 5-13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Oregon State University, 1996) ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบประสาทของมนุษย์ และสามารถสะสมในปลาและสัตว์น้ำชนิดอื่นได้ นอกจากนี้อาจทำให้คนในบริเวณนั้นหรือบริเวณใกล้เคียง ได้รับสารพิษเข้าไปสะสมอยู่ในร่างกายจนอาจเกิดอันตรายถึงชีวิตได้ ดังนั้นการกำจัดคาร์โบฟูราน ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

การกำจัดสารฆ่าแมลงมีหลายวิธี ได้แก่ การดูดซับด้วยแอนทราไซด์ ถ่าน การออกซิไดส์ ด้วยโอโซน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม วิธีเหล่านี้มีราคาแพงและยุ่งยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคาร์โบฟูรานโดยใช้เศษผงเหล็ก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง หาซื้อได้ง่าย มีราคาถูก และนอกจากนี้ยังเป็นวิธีการกำจัดที่ง่ายไม่ซับซ้อน เสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดต่ำ จึงเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ และเนื่องจากเป็นวิธีการกำจัดที่ไม่ยุ่งยาก ทำให้เกษตรกรทั่วไปสามารถใช้วิธีนี้ในการกำจัดสารฆ่าแมลงที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน โดยใช้เศษผงเหล็ก
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน โดยใช้เศษผงเหล็ก
3. ศึกษาจลนพลศาสตร์ในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน โดยใช้เศษผงเหล็ก
4. ศึกษาหาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานโดยใช้เศษผงเหล็ก

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของ พีเอช โดยแปรค่าพีเอชที่ 2, 3, 4, 7, 9 ระยะเวลาสัมผัส ที่ 0.5, 1, 3, 5, 12, 24, 48 ชั่วโมง ปริมาณเศษผงเหล็กโดยแปรค่า 1, 5, 10 กรัม และความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบฟูรานโดยแปรค่า 5, 10, 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสารละลายคาร์โบฟูราน ด้วยเศษผงเหล็ก โดยการทดลองแบบแบทช์
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน ด้วยเศษผงเหล็ก โดยนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง มาใช้ในการหาประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานโดยการทดลองแบบแบทช์
3. ศึกษาจลนพลศาสตร์ในการกำจัดสารละลายคาร์โบราน ด้วยเศษผงเหล็ก ที่เวลา 0.5, 1, 3, 5, 12, 24, 48 ชั่วโมง โดยแปรค่าความเข้มข้น 5, 10, 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ศึกษาลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน ด้วยเศษผงเหล็กโดยนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC/MS)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน โดยใช้เศษผงเหล็ก
2. ทราบประสิทธิภาพของการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน โดยใช้เศษผงเหล็ก
3. เป็นการใช้ประโยชน์จากเศษผงเหล็กซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ ในการกำจัดสารฆ่าแมลง
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในการกำจัดสารฆ่าแมลงที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารกำจัดแมลงศัตรูพืช

สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูก เพื่อเพิ่มผลผลิต การเกษตรคือการกำจัด ป้องกัน หรือควบคุมศัตรูพืช เช่น แมลง วัชพืช โรคพืช เป็นต้น โดยไม่ให้ทำลายพืชผลทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นสามารถปลูกพืชได้ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในแหล่งที่มีชลประทาน แต่สภาพภูมิอากาศดังกล่าวก็เหมาะกับการเจริญเติบโตของศัตรูพืชเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงนิยมใช้สารเคมีในการป้องกัน (ศิริพร, 2548) และ กำจัดศัตรูพืชจะเห็นได้จากสถิติการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการนำเข้าสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ปี 2531-2541

ปี	ปริมาณสารสำคัญ (ตัน)	
	สารฆ่าแมลง	สารกำจัดวัชพืช
2531	7,050	5,596
2532	6,937	6,747
2533	7,176	8,272
2534	5,560	7,071
2535	6,098	8,450
2536	5,305	9,056
2537	5,252	9,554
2538	6,573	11,934
2539	6,608	14,041
2540	6,239	12,946
2541	7,745	8,697

ที่มา: กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การจำแนกประเภทของสารกำจัดแมลงศัตรูพืช

2.1.1.1 การจำแนกประเภทของสารกำจัดแมลงศัตรูพืชตามองค์ประกอบทางเคมี

สารเคมีที่ใช้กำจัดแมลงศัตรูพืช มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน การแบ่งชนิดของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชด้วยวิธีนี้ จะคลอบคลุมสารกำจัดแมลงได้ค่อนข้างมากและไม่ซ้ำซ้อน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ (พรหมพรและยุวดี, 2543)

1) สารฆ่าแมลงประเภทอนินทรียสาร (Inorganic insecticides)

เป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืชประเภทที่มีธาตุโลหะเป็นองค์ประกอบ และไม่มีคาร์บอนผสม สารเหล่านี้มีความคงทนมาก ไม่ระเหย และมักละลายน้ำได้ดี บางชนิดมีพิษสะสมต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น สารประกอบของปรอท สารหนู โซเดียมฟลูออไรด์ ไครโอไลด์ บอแรกซ์ และกำมะถัน เป็นต้น

สารฆ่าแมลงประเภทอนินทรียสาร เป็นสารประเภทกินแล้วตาย มีอันตรายน้อยต่อแมลง ต้องใช้ปริมาณมากสำหรับการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช อาจทำให้ใบพืชไหม้ (phytotoxic) ได้ สารในกลุ่มนี้ที่โดดเด่นมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ สารหนู และฟลูออรีน

2) สารฆ่าแมลงประเภทอินทรียสาร (Organic insecticides)

เป็นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มใหญ่ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1) สารอินทรีย์ที่ได้จากพืช

สารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชกลุ่มนี้มีหลายชนิด ปัจจุบันมีการค้นพบว่ามีพืชหลายชนิดสามารถใช้ในการฆ่าแมลงได้ แต่การที่จะนำมาใช้เป็นสารฆ่าแมลงได้ดีนั้น มีจำนวนน้อย เนื่องจากสารกำจัดแมลงศัตรูพืช จากพืชมีข้อบกพร่องหลายประการ เช่น สลายตัวไวหลังจากการสกัดออกมา มีวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องใช้พืชปริมาณมากทำให้มีราคาแพง พืชบางชนิดมีพิษต่อคนและสัตว์เลือดอุ่น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมีการนำสารฆ่าแมลงจากพืชมาใช้น้อยมาก สารฆ่าแมลงที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืช ได้แก่ ไพรีทรอยด์ นิโคตินอยด์ โรตินอยด์ และสารสกัดจากสะเดา เป็นต้น

2.2) สารอินทรีย์สังเคราะห์

ก. สารประกอบอินทรีย์ออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine compounds) ประกอบด้วย คาร์บอน คลอรีน ไนโตรเจน และบางชนิดจะมีออกซิเจนรวมอยู่ด้วย มักเรียกว่า Chlorinated insecticide สารกลุ่มนี้นำมาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรน้อยลง เนื่องจากสามารถคงทนอยู่ในสภาพแวดล้อมได้นาน สามารถจำแนกตามการเรียงตัวของคาร์บอนในโมเลกุลออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มไดฟีนิลอะลิฟาติก (diphenyl aliphatic) กลุ่มเบนซีนเฮกซะคลอไรด์ (benzine hexachloride; BHC) และกลุ่มสารประกอบไซโคลไดอีน (cyclodiene compounds)

ข. สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัส (Organophosphorus compounds) สารกลุ่มนี้มีพิษเฉียบพลันกับสัตว์มีกระดูกสันหลัง สามารถยับยั้งโคลีนเอสเตอเรส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการทำงานของระบบประสาทในคนและสัตว์ สารตกค้างที่เหลืออยู่บนพืชจะมีฤทธิ์อยู่ได้ในระยะเวลาสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งนับเป็นผลดี และเหมาะที่จะฉีดพ่นในพืชผักที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ข้อเสียคือต้องทำการฉีดพ่นหลายครั้ง สารฟอสเฟตเป็นเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริก สามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่มคือ กลุ่มอะลิฟาติก ออกาโนฟอสเฟต (aliphatic oragnophosphate) กลุ่มฟีนิลออกาโนฟอสเฟต (phenyl organophosphate) และกลุ่มเฮทเทอโรไซคลิกออกาโนฟอสเฟต (heterocyclic organophosphate)

ค. สารกำจัดแมลงออกาโนซัลเฟอร์ (Organosulphur) สารกลุ่มนี้จะมีองค์ประกอบของกำมะถันและวงฟีนิล 2 วง เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดไร แต่มีพิษน้อยต่อแมลง ได้แก่ เตตราไดฟอน (tetradifon)

ง. สารกำจัดแมลงกลุ่มคาร์บาเมท (Carbamates) สารประกอบกลุ่มนี้เป็นสารประกอบเอสเทอร์ของกรดคาร์บามิค (carbamic acid) มีพิษคล้ายสารในกลุ่มออกาโนฟอสเฟตในด้านการยับยั้งเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส แต่มีฤทธิ์ตกค้างสั้นกว่า ใช้ป้องกันศัตรูพืชได้อย่างกว้างขวาง คือกำจัดได้ทั้งแมลง ไส้เดือน ไร และหอยทาก ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น คาร์บาริล เป็นต้น

จ. สารกลุ่มฟอร์มามิดีน (Formamidines) สารกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดไข่ตัวอ่อนของแมลง นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไรและหมัดได้เกือบทุกช่วงวงจรชีวิต สามารถใช้แทนกลุ่มออกาโนฟอสเฟต และคาร์บาเมท เมื่อแมลงต้านทานต่อสารสองกลุ่มนี้แล้ว ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ได้แก่ อะมิทราซ (amitraz)

ฉ. สารกลุ่มไพรีทรอยด์ (Pyrethroids) สารกลุ่มนี้สังเคราะห์ขึ้นโดยเลียนแบบสูตรโครงสร้างของไพรีทรินซึ่งสกัดจากดอกไพรีทรัม สารไพรีทรินและไพรีทรอยด์ มีพิษน้อยต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แต่มีพิษมากต่อผึ้งและปลา และสารพิษที่ตกค้างบนพืชผลทางการเกษตรไม่ก่อให้เกิดปัญหาใด ๆ ตัวอย่างสารกลุ่มนี้คือ เดลต้าเมทริน (deltamethrin)

ช. กลุ่มสารรม (Fumigants) เป็นสารเดี่ยว ๆ หรือสารผสม อยู่ในรูปของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซ เมื่ออยู่ในบรรยากาศจะระเหยให้ก๊าซหรือควันเพื่อฆ่าแมลง ไส้เดือน หรือสัตว์ฟันแทะ สารที่เป็นก๊าซมักมีโมเลกุลเล็กและมีคลอรีน โบรมีน หรือฟลูออรีน เป็นองค์ประกอบ และมีพิษมากน้อยแตกต่างกันไป ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ คือ เมททิลโบรไมด์ (methyl bromide)

ซ. สารจำพวกน้ำมัน (Petroleum oil) มักจะใช้กำจัดแมลงและไร โดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช

ฌ. สารกลุ่มปฏิชีวนะ (Antibiotics) เป็นสารเคมีที่ผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ มีฤทธิ์ในการกำจัดแบคทีเรียและรา ตัวอย่างเช่น อะบาเม็กทิน (abamectin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 จัดแบ่งสารเคมีตามระดับความเป็นพิษ

องค์การอนามัยโลก (WHO) จัดระดับความเป็นอันตราย โดยถือเอาปริมาณสารที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บในสัตว์ทดลองที่เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมาเป็นตัวชี้วัด เช่น หนูหรือกระต่าย โดยการได้รับสารพิษนั้น อาจเกิดขึ้นจากการให้สารนั้นโดยการรับประทานทางปาก (oral) โดยการสูดดม (inhalation) โดยการดูดซึมทางผิวหนัง (dermal) และพิษที่มีต่อมนุษย์โดยจัดแบ่งเป็นประเภทตามลำดับความเป็นพิษ ดังแสดงที่ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แบ่งประเภทตามระดับความเป็นพิษของวัตถุมีพิษที่ใช้ในการเกษตร

*ค่าแอลดี 50 สำหรับหนูทดลอง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว)				
ชนิดของความเป็นพิษ	พิษโดยทางปาก (Oral LD_{50}) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	พิษโดยการหายใจ 4 ชม. กับหนู (Inhalation 4Hr. LC_{50} rat , ppm)	พิษโดยทางผิวหนัง (Dermal LD_{50}) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	พิษที่มีต่อมนุษย์ (Lethal Dose for Man) กรัม
ชนิดมีพิษร้ายแรงยิ่ง (Ia,Extremely toxic)	น้อยกว่า 5	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 5	น้อยกว่า 60 มิลลิกรัม
ชนิดมีพิษร้ายแรง (Ib,Hightly toxic)	5-50	10-100	5-50	0.1-5 กรัม
ชนิดมีพิษปานกลาง (II, Moderately toxic)	50-500	100-1,000	50-350	5-50 กรัม
ชนิดมีพิษน้อย (III,Slightly toxic)	500-5,000	1,000-10,000	350-3,000	50-250 กรัม
ชนิดมีพิษน้อยมาก (Practically non toxic)	5,000-15,000	10,000-100,000	3,000-25,000	250-750 กรัม
ชนิดไม่มีพิษ (Harmless)	มากกว่า 15,000	มากกว่า 100,000	มากกว่า 25,000	มากกว่า 750

ที่มา: http://www.suanlukchan.com/discussion_taisuan.php?suan_chanruean_id=56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ *แอลดี 50 (LD_{50}– median lethal dose) หมายถึง ปริมาณหรือความเข้มข้นต่ำสุดของวัตถุมีพิษที่ทำให้ประชากรของสัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 ภายในระยะเวลาไม่เกิน 7 วัน เป็นดัชนีชี้อันตรายของวัตถุมีพิษนิยมใช้อย่างกว้างในปัจจุบันยิ่งค่า LD_{50} สูงยิ่งมีความปลอดภัยต่อมนุษย์หรือยิ่งมีค่าต่ำก็ยิ่งมีอันตรายร้ายแรงมาก แต่อย่างไรก็ดี สารเคมีแทบทุกชนิดอาจเป็นพิษได้หากบริโภคในปริมาณที่มาก แม้ว่าจะมีค่าแอลดี 50 สูง เช่น เกลือแกง (NaCl) มีค่า แอลดี 50 เท่ากับ 4,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่หากรับประทานเกินครั้งละ 24 กรัม สำหรับคนที่มีน้ำหนัก 60 กิโลกรัมก็ทำให้ตายได้ (เครือข่ายเกษตรทางเลือก, 2548)

หากจัดแบ่งสารกำจัดศัตรูพืชที่มีการนำเข้าในปี พ.ศ. 2543 ตามการจัดระดับความเป็นอันตรายโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) พบว่าสารกำจัดศัตรูพืชเหล่านั้นสามารถจัดแบ่งตามความเป็นพิษดังแสดงตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชโดยแบ่งตามระดับความเป็นพิษ

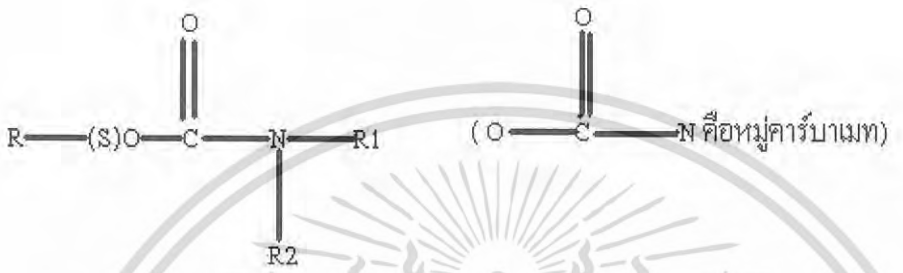
ชั้น	ปริมาณสารสำคัญที่นำเข้า (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ตัวอย่าง
1 เอ พิษร้ายแรงสูงมาก (Ia, extremely hazardous)	393	73.1	parathion methyl, EPN, flocoumafen
1 บี พิษร้ายแรงสูง (Ib, highly hazardous)	3,529	682.23	methomyl, methamidophos, carbofuran
พิษปานกลาง (II, moderately hazardous)	7,006	2,195.62	endosulfan, paraquat, 2,4-D
พิษน้อย (III, slightly hazardous)	3,149	809.97	alachlor, butachlor, propagite
Unlikely to acute hazard in normal use	14,758	2,878.59	mancozeb, carbendazim, azadirachtin
กลุ่มผสม*	703	250.58	metalaxyl+mancozeb, butachlor+propanil

หมายเหตุ * กลุ่มผสม หมายถึง สารกำจัดศัตรูพืชที่เป็นสารผสมระหว่าง สารที่มีพิษในระดับต่างกัน เช่น สารผสมระหว่าง metalaxyl ซึ่งมีพิษจัดอยู่ในกลุ่ม II และ mancozeb ซึ่งมีพิษจัดอยู่ในกลุ่ม II ตามการจัดลำดับความเป็นพิษโดยองค์การอนามัยโลก (เครือข่ายเกษตรทางเลือก, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สารฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาเมท (Carbamates)

สารกลุ่มนี้เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์กลุ่มใหญ่กลุ่มหนึ่ง และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถเป็นทั้งสารฆ่าหญ้า สารฆ่าแมลง และเชื้อราได้ สูตรเคมีโดยทั่วไป ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของกลุ่มคาร์บาเมท

ในกรณีที่เป็นสารฆ่าแมลงนั้นจะไม่มีอะตอมของกำมะถันเลยและกำมะถันจะไปแทนที่ออกซิเจนในกรณีที่เป็นยาฆ่าหญ้าและเชื้อรา ในสารฆ่าแมลงหมู่ R จะมีขนาดใหญ่กว่าหมู่ R1 และ R2 แต่ในยาฆ่าหญ้าและยาฆ่าเชื้อรา หมู่ R1 และ R2 ค่อนข้างจะมีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกัน หรือใหญ่กว่า หมู่ R จึงมีฤทธิ์ตรงกันข้าม สารฆ่าแมลงกลุ่มนี้เป็นสารสังเคราะห์ที่ค่อนข้างใหม่ มีฤทธิ์ในการกำจัด และสามารถกำจัดแมลงได้กว้างขวาง เนื่องจากมีพิษต่อคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมน้อยกว่าสารฆ่าแมลงชนิดอื่นๆ เพราะว่ามันสลายตัวได้รวดเร็วจึงทำให้มีพิษตกค้างในธรรมชาติน้อย สารฆ่าแมลงในกลุ่มคาร์บาเมทที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ เซวิน (Sevin) หรือคาร์บาริล (Carbaryl) ไบกอล (Baygon) ฟูราดาน (Furadan) และแลนเนท (Lannate) สารกลุ่มนี้ทุกชนิดจะมีหมู่คาร์บาเมทอยู่ด้วยเสมอ และหมู่ R มักจะเป็นอนุพันธ์ของเบนซีน แพพทาลีน หรือสารอะโรมาติกอื่น ๆ

สารคาร์บาเมทแต่ละชนิดมีความเป็นพิษแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหมู่ R ความเป็นพิษขึ้นอยู่กับสถานะของสาร การละลาย การดูดซึมเข้าไปสู่ร่างกาย สารที่ระเหยได้ง่ายย่อมมีพิษรุนแรงกว่า นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับกลไกการกำจัดพิษของร่างกายอีกด้วย สำหรับผู้ป่วยที่ได้รับสารพิษนี้จะมีอาการกระตุกและหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างมากจนเป็นตะคริว อาการอื่น ๆ ได้แก่ ปวดศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน สายตาพร่า ม่านตาหด เล็กลง เหงื่อออกมาก เจ็บหน้าอกและท้อง มีอาการเกร็ง น้ำลายฟูมปาก ถ้าหากได้รับในปริมาณมาก ๆ ก็อาจทำให้คนและสัตว์เสียชีวิตได้ (พรหมพร และยุวดี, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาเมทนั้น จะเหมือนกับกลุ่มออกาโนฟอสเฟต คือ จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส (Cholinesterase; ChE) ตรงบริเวณ Esteratic site ของโมเลกุลเอนไซม์ ทำให้มีการสะสมของอะเซทิลโคลีนที่รอยต่อประสานระหว่างเซลล์ประสาท กระบวนการดังกล่าว เรียกว่า Carbarylation และปฏิกิริยาจะแตกต่างไปจากคุณสมบัติของสารออร์กาโนฟอสเฟต ดังนี้

- สลายตัวได้ง่าย (low stability)

- สารคาร์บาเมทไม่ทำให้เอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสเสื่อมสภาพ ฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์จึงเป็นแบบย้อนกลับได้ (reversible effect) และอาการทางคลีนิคที่ปรากฏจะไม่ค่อยรุนแรงนัก

- สารคาร์บาเมทถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางได้น้อย ทำให้อาการทางสมองที่พบไม่ค่อยรุนแรง

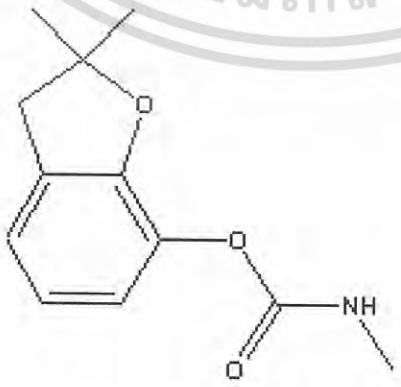
- ปริมาณของสารคาร์บาเมทที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมีพิสัยกว้างมาก ดังนั้นโอกาสของการเกิดอาการรุนแรงนั้น จึงมีน้อย

- การตรวจวัดระดับเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสทำได้ยากมาก ขึ้นอยู่กับชนิดและเวลาที่ใช้สารคาร์บาเมท เนื่องจากเอนไซม์จะกลับคืนสู่ภาวะปกติได้เร็วมาก

- การรักษา การแก้พิษเบื้องต้นของสารฆ่าแมลงชนิดคาร์บาเมทนั้น จะใช้หลักการเดียวกันกับสารฆ่าแมลงชนิดออร์กาโนฟอสเฟต คือ การทำให้เอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสมีฤทธิ์กลับคืนอย่างเดิมอีก โดยใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเข้าไปแย่งสารฆ่าแมลงดังกล่าว สารเคมีจะไปจับกับเอนไซม์ชั่วคราว และนำมาใช้เป็นการรักษาพิษได้ดี ยาแก้พิษที่ใช้กันมากที่สุดได้แก่ 2-pyridine aldoxime (PAM)

2.1.2.1 คาร์โบฟูราน (Carbofuran) (Oregon State University, 1996 และ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2537)

จัดเป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่มคาร์บาร์เมต มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของคาร์โบฟูราน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อทางเคมี	2,3-dihydro-2,2-dimethylbenzofuran-7-yl-methylcarbamate (IUPAC) 2,3-dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuranyl methylcarbamate (CA;1563-66-2)
ชื่อสามัญ	carbofuran (BSI,ISO,ANSI,ESA)
สูตรเอ็มไพริกัล	$C_{12}H_{15}NO_3$
น้ำหนักโมเลกุล	221.25 กรัม
ชื่อทางการค้า	Buraon (Sree Ramcide Chemical Pvt. Ltd.) Carbochem (Agrochemical Industries Co;Ltd.) Damira (Ladda Co;Ltd) Diafuran (Calliope S.A.) Dhaal (Searle India Ltd.) Furacarb (Aimco Pesticide) Furadan (Rallis India Ltd.) Vitafuran (Asiantic Agricultural Industries Pte; Ltd.) Yaltox (Bayer)
คุณสมบัติทางกายภาพ	ผลึกแข็งสีขาว (White crystalline solid) ไม่มีกลิ่น
จุดหลอมเหลว	153-154 องศาเซลเซียส
การละลาย	ที่ 25 องศาเซลเซียส ละลายในน้ำ 0.7 กรัมต่อกิโลกรัม, ใน Acetone 150 กรัมต่อกิโลกรัม, Acetonitrile 140 กรัมต่อกิโลกรัม, Cyclohexanone 90 กรัมต่อกิโลกรัม, Dimethylformamide 270 กรัมต่อกิโลกรัม, Dimethylsulfoxide 250 กรัมต่อกิโลกรัม, Benzene 40 กรัมต่อกิโลกรัม
การคงสภาพ	ในสารละลายที่เป็นกรดหรือกลาง แต่ไม่คงสภาพ ในสารละลายที่เป็นเบส
ครึ่งชีวิต	ในช่วง 30-120 วัน สภาวะเบส sandy soil (30 days), intermediate half-life in loam (40 days) และ long half-life in mud (80day) และ 690 สัปดาห์ สภาวะกรด
ชนิดของผลิตภัณฑ์	ชนิดเม็ด ชนิดผง และชนิดแขวนลอย
การออกฤทธิ์	เป็นสารกำจัดแมลงและไส้เดือนฝอย คาร์บาเมทชนิดดูดซึม ออกฤทธิ์ในทางสัมผัสและกินเป็นพิษต่อ Cholinesterase inhibitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นพิษ มีพิษเฉียบพลัน โดยมีค่า LD_{50} ต่อหนู ทางปาก เท่ากับ 3.5 - 8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและ ทางผิวหนัง เท่ากับ 3000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

แมลงที่กำจัดได้ เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว เพลี้ยอ่อน เพลี้ยไฟ หนอนม้วนใบข้าว หนอนกระทู้ควายพระอินทร์ ด้วงดีด หนอนกอลาย หนอนเจาะสมอ ด้วงดีด และไส้เดือนฝอย

พืชที่ใช้ ข้าว ฝ้าย ยาสูบ ถั่ว มันฝรั่ง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย ส้ม กาแฟ ฟักทอง แตง และผักต่างๆ

วิธีการใช้ โดยการหว่านหรือโรยในร่องปลูก

คำเตือน คาร์โบฟูรานเป็นวัตถุที่มีพิษอันตรายมาก ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันมิให้เป็นพิษต่อผู้ใช้และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ผู้ใช้ต้องปฏิบัติดังนี้

- ขณะโรยหรือหว่านวัตถุมีพิษต้องอยู่เหนือลมเสมอ
- อย่าให้ละอองวัตถุมีพิษเข้าปาก ตา จมูก หรือถูกผิวหนังและต้องสวมถุงมือทุกครั้งและหน้ากากขณะใช้วัตถุมีพิษ
- ต้องล้างมือและหน้าให้สะอาดด้วยน้ำและสบู่ก่อนกินอาหาร
- ต้องอาบน้ำ สระผม เปลี่ยนเสื้อผ้าใหม่ทุกครั้งที่เสร็จจากการวัตถุมีพิษ
- ภาชนะบรรจุเมื่อใช้หมดแล้วต้องทำลายแล้วฝังดิน ห้ามเผาไฟ
- ระวังอย่าให้วัตถุมีพิษนี้ปลิวลงในแม่น้ำ ลำธาร หนอง บึง หรือบ่อน้ำ เพราะเป็นพิษต่อปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ มาก

อาการเกิดพิษ วิงเวียนศีรษะ อ่อนเพลีย น้ำลายไหล เหงื่อออกมาก ปวดท้อง อาเจียน

การแก้พิษ

- ถ้าเกิดพิษที่ผิวหนังให้ล้างด้วยน้ำสบู่มาก ๆ
- ถ้าเข้าตาให้ล้างด้วยน้ำสะอาด
- ถ้ากลืนกินเข้าไปต้องทำให้อาเจียนโดยเร็วด้วยการล้วงคอหรือดื่มน้ำเกลือมาก ๆ
- กินยาอะโทรปีนซัลเฟต ขนาด 1 ต่อ1000 เกรน 2 เม็ด แล้วส่งแพทย์ โดยเร็วที่สุด

หมายเหตุ สำหรับ ยาสูบ ถั่วเหลือง มะเขือเทศ แตงโม ให้ใช้คาร์โบฟูรานเพียงครั้งเดียวเมื่อปลูกพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การกำจัดคาร์โบฟูราน

2.1.2.1 การลดปริมาณคาร์โบฟูรานด้วยวิธีการดูดซับ (จิราพรและถาวร, 2538) วิเคราะห์ความสามารถ ใน การดูดซับคาร์โบฟูรานด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ ได้แก่ ทราย ขี้เถ้าแกลบ แอนทราไซด์ และถ่าน โดยบรรจุลงในคอลัมน์แล้วผ่านน้ำที่ปนเปื้อนคาร์โบฟูรานลงไป ผลการทดลองสรุปได้ว่าขี้เถ้าแกลบสามารถลดปริมาณคาร์โบฟูรานได้มากที่สุด และแอนทราไซด์ลดปริมาณคาร์โบฟูรานได้น้อยที่สุด

2.1.3.2 การออกซิไดส์ด้วยโอโซน (พรหมพร และยุวดี, 2543) ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการกำจัดคาร์โบฟูรานที่ตกค้างในถั่วฝักยาว โดยวิธีการออกซิไดส์ด้วยโอโซน โดยทำการแช่ถั่วฝักยาวในน้ำที่ปราศจากไอออน แล้วน้ำทั้งหมดไปพ่นด้วยโอโซน และเปรียบเทียบกับการพ่นด้วยโอโซนพร้อมกับการให้รังสียูวี ผลที่ได้คือ ประสิทธิภาพในการลดปริมาณคาร์โบฟูราน ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ค่อนข้างยุ่งยากและมีข้อจำกัดมาก เช่น โอโซนนั้นไม่เสถียร สามารถสลายตัวได้ง่าย ทำให้ไม่สามารถผลิตไว้ใช้ได้ ต้องทำการผลิตใหม่ ๆ อยู่เสมอ

2.2 เหล็ก

2.2.1 ประเภทของเหล็ก

เหล็กมีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งสามารถแบ่งเป็นชนิดได้ดังนี้

1) เหล็กดิบ

เหล็กดิบ (pig iron) หมายถึง เหล็กที่ถูกขุดขึ้นมาการทำเหมืองแร่โดยตรงโดยที่ยังไม่มีกรรมวิธีแปรรูปใดๆมีลักษณะเป็นเหล็กที่ไม่บริสุทธิ์ จึงไม่อาจนำมาใช้งานได้ทันที เนื่องจากมีสิ่งเจือปนอยู่ โดยเฉพาะออกซิเจนซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในสินแร่เหล็กออกซิเจนเหล่านี้จะอยู่ในรูปของเหล็กออกไซด์ ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดออกซิเจนออกจากสินแร่เหล็กก่อนที่จะนำสินแร่เหล็กไปใช้ประโยชน์ โดยถลุงเหล็กภายในเตาที่มีอุณหภูมิสูง การถลุงแร่เหล็กเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการผลิตเหล็ก เหล็กที่ได้จากเตาสูงเรียกว่าเหล็กดิบ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่นำไปใช้ในการผลิตเหล็กหล่อ และเหล็กกล้าในขั้นตอนต่อไป (http://www.library.rink.ac.th)

2) เหล็กอ่อน (Wrought Iron)

หมายถึง เหล็กที่ได้จากเตาพุดเดิล (Puddle furnace) ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ผลิตเหล็กที่เก่าแก่มาก เป็นเหล็กที่นิยมของช่างตีเหล็ก โดยเฉพาะเหล็กชนิดนี้เป็นเหล็กที่มีความบริสุทธิ์มาก คือ เป็นเนื้อเหล็กถึงร้อยละ 99.99 เปอร์เซนต์ เมื่อเผาให้ร้อนเหล็กอ่อนจะไม่ละลาย แต่จะตีขึ้นรูปได้ง่ายมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถตีให้เหล็กประสานกันได้อีกด้วย (ณัฐสม, 2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เหล็กกล้า (Steel)

เหล็กกล้า หมายถึง เหล็กที่มีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนผสม โดยจะถือหลักที่ว่าในเหล็กมีคาร์บอนผสมอยู่ต่ำกว่า 1.7 หรือ 2 เปอร์เซ็นต์ จะเรียกว่าเหล็กกล้า (ถ้ามีคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 1.7 หรือ 2 เปอร์เซนต์จะจัดเป็นเหล็กหล่อ) นอกจากธาตุคาร์บอนแล้วยังมีธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วย แต่จะอยู่ในลักษณะเป็นธาตุเจือปน (impurities) เช่น ซิลิกอน แมงกานีส กำมะถัน และฟอสฟอรัส

พื้นผิวของเหล็กกล้าแบ่งได้เป็น 2 ส่วน (Burris *et al.*, 1995 และ Mantha *et al.*, 2001) คือ

ก. ส่วนที่เป็น Reactive sites สามารถใช้ในการกำจัดโดยปฏิกริยา Redox โดยจะเกิดการทำลายพันธะคู่ของโมเลกุลอื่น

ข. ส่วนที่เป็น Nonreactive sites ใช้ทำเป็นการกำจัดสารด้วยการดูดซับ โดยโมเลกุลของสารจะถูกดูดซับบนพื้นผิวของเหล็ก

เหล็กกล้าแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

3.1) เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel)

ซึ่งเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมหลัก ส่วนธาตุอื่น ๆ มีอยู่น้อยไม่ได้ทำการผสมลงไป แต่อาจจะติดมาจากกรรมวิธีถลุง หรือกรรมวิธีการไล่แก๊ส

3.2) เหล็กกล้าผสม (Alloy steel)

คือเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่ เช่น โครเมียม นิเกิล โมลิบดินัม วานาเดียม และโคบอลต์ สำหรับแมงกานีส และซิลิกอน ถ้ามีปริมาณสูงกว่าในเหล็กกล้าคาร์บอน จะจัดเป็นธาตุผสมเช่นเดียวกัน เช่น ผสมแมงกานีสหรือซิลิกอนเกินกว่า 1 เปอร์เซนต์ การผสมธาตุต่าง ๆ ลงไปในเหล็กกล้าคาร์บอนส่วนใหญ่มุ่งที่จะปรับปรุงคุณสมบัติและความสามารถในการชุบแข็ง (hardenability) คุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนทั้งที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง และในบางกรณีเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติตัวนำไฟฟ้าและคุณสมบัติเกี่ยวกับแม่เหล็ก

4) เหล็กหล่อ

เหล็กหล่อ (Cast ion) หมายถึง เหล็กที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และมีส่วนน้อยที่คาร์บอนมากกว่า 4.5 เปอร์เซ็นต์ การหลอมละลายเหล็กหล่อตามปกติจะกระทำในเตาคิวโปลาหรือเตาไฟฟ้าโดยการผสมเหล็กดิบ เศษเหล็กกล้า ถ่านโค้ก และสารเจือเหล็ก (ferro-alloy) เข้าไป ในการเย็นตัวเร็ว เหล็กหล่อจะแข็งตัวเป็นเหล็ก-คาร์บอนที่ไม่เสถียร (metastable Fe-C system) นั่นคือคาร์บอนจะอยู่ในรูปคาร์ไบด์ (โครงสร้างจะเรียกว่าซีเมนไตต์) รอยแตกหักในเนื้อเหล็กเป็นรอยเหมือนเปล่งรัศมีสีสว่างขาวเม็ดละเอียด แข็งเปราะ เจียรนัยผิวได้อย่างเดียว เหล็กนี้เรียกว่า "เหล็กหล่อขาว"

เหล็กหล่อ เป็นเหล็กที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโลหะวิธีการหนึ่ง คือ การหล่อโดยการให้ความร้อนแก่เหล็กจนถึงจุดหลอมเหลวเป็นน้ำเหล็ก แล้วนำไปเทลงในโพรงแบบหล่อที่ทำด้วยทรายละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า ทรายหล่อ เตรียมไว้เป็นรูปทรงของเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ แล้ว ทิ้งไว้ให้เย็น จึงค่อยแกะแบบทรายออก จะได้เหล็กที่แข็งตัวไปตกแต่งและใช้งานได้

วัสดุช่างประเภทเหล็กหล่อในปัจจุบันได้มีการค้นคิด ปรับปรุงและพัฒนาให้มีคุณสมบัติดีขึ้น พร้อมกับการแก้ไขจุดด้อยต่าง ๆ ให้ลดน้อยลง ทำให้มีวัสดุเหล็กหล่อที่สามารถตอบสนองการใช้งานได้อย่างกว้างขวาง (นิรนาม, 2547) เหล็กหล่อที่พบเห็นโดยทั่วไปสามารถจำแนกตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานได้ 4 กลุ่ม คือ (กนกวรรณ, 2547)

4.1) เหล็กหล่อเทา

เมื่อตีหักจะเห็นเนื้อเป็นสีเทา สมบัติการหล่อดี ความทนแรงดึงสูง ราคาถูก พบในชิ้นส่วนรถยนต์ เสื้อสูบ ฝาสูบ ปลอกเสื้อสูบ จานถ่วง กังหันน้ำ เฟือง ข้อต่อส่งกำลัง ลูกรอก

4.2) เหล็กหล่อเหนียว

ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องกลที่ทนแรงกระแทกสูงกว่าเหล็กหล่อเทา เช่น ลูกรอก เพลาข้อเหวี่ยง ลูกกลิ้งรีดเหล็ก

4.3) เหล็กหล่อขาว

เมื่อตีหักจะเห็นเนื้อเป็นสีขาวเหมือนเหล็กทั่วไป พบในชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต้องการความคงทนต่อการเสียดสี เช่น ส่วนประกอบใบพัดของเครื่องยิงทราย จานเจียรนัยเพชรพลอย

4.4) เหล็กหล่อผสม

ใช้ผลิตชิ้นส่วนของปั๊ม และข้อต่อต่าง ๆ

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties) (วรรณิภา, 2542)

เหล็กโดยทั่วไปมีสถานะออกซิเดชัน 0, +2 และ +3 มีเพียงเหล็กสถานะออกซิเดชันศูนย์ (Zero Valence Iron ; Fe^0) เท่านั้น ที่ปรากฏในรูปธาตุเหล็กบริสุทธิ์ เหล็กที่ใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่นั้นมิใช่เหล็กบริสุทธิ์แต่จะผสมธาตุอื่นลงไป เพื่อทำให้มีคุณสมบัติดีขึ้น หรือที่เรียกว่า เหล็กกล้า (Steel)

เหล็กสถานะออกซิเดชันศูนย์ เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี สามารถเกิดปฏิกิริยากับกรดเจือจางเมื่อไม่มีอากาศได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาคือ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+})

เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะได้เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าคงที่ในการละลาย (solubility constant) ดังปฏิกิริยา 2.1 และ 2.2

$$Fe(OH)_2(S) \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2\,OH^- \quad ; \log K_{sp} = -14.5 \qquad (2.1)$$

$$Fe(OH)_3(S) \rightleftharpoons Fe^{3+} + 3\,OH^- \quad ; \log K_{sp} = -38.0 \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นละลายน้ำได้น้อย จึงตกผลึกเป็นของแข็งสีขาวได้อย่างรวดเร็วและเคลือบอยู่บนผิวโลหะ อย่างไรก็ตาม เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์มีความคงตัวต่ำ จึงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนถูกเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์อย่างรวดเร็วดังปฏิกิริยา 2.3

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightleftharpoons 4\,Fe(OH)_3 \qquad (2.3)$$

เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์สามารถเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกออกไซด์ได้โดยการดึงน้ำออก ดังปฏิกิริยา 2.4 และ 2.5

$$2\,Fe(OH)_3 \rightleftharpoons Fe_2O_3 + 3\,H_2O \qquad (2.4)$$

$$Fe(OH)_3 \rightleftharpoons FeOOH + H_2O \qquad (2.5)$$

สนิมเหล็กโดยทั่วไปคือ Fe_2O_3 จากการวิจัยพบว่าเมื่อสนิมเหล็กเกาะจับอยู่บนขั้วบวก (anodic region) ไอออนอื่น ๆ ก็จะตกผลึกรวมอยู่ด้วย ดังนั้นเมื่อเคาะเอาสนิมเหล็กมาวิเคราะห์ดูมักปรากฏว่ามีสารประกอบประเภทความกระด้าง เศษดินทรายต่าง ๆ ปะปนอยู่ด้วยเสมอ (มั่นสิน และไพพรรณ, 2527)

2.2.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน–รีดักชัน

ปฏิกิริยาจำนวนมากมีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า ออกซิเดชัน–รีดักชัน หรือ ปฏิกิริยารีดอกซ์ เมื่อใดมีการเพิ่มเลขออกซิเดชันเรียกว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเมื่อใดมีการลดเลขออกซิเดชันเรียกว่าเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นควบคู่พร้อมกันไปเสมอ เพื่อที่จะทำให้เลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นเท่ากันพอดีกับเลขออกซิเดชันที่ลดลง

1) **ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)** หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน ตัวอย่างดังปฏิกิริยา 2.6 (อินทิรา, 2536)

$$Fe^0 \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e^- \quad \varepsilon^\circ = -0.44\ V \qquad (2.6)$$

ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) หมายถึง สารที่สามารถรับอิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา 2.6 ตัวออกซิไดซ์ คือ Fe^{2+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน ตัวอย่างดังปฏิกิริยา 2.7

$$Fe^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Fe^{0} \qquad (2.7)$$

ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) หมายถึง สารที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา 2.7 ตัวรีดิวซ์ คือ Fe^{0} (กฤษณา, 2531)

2.2.4 เซลกัดกร่อนไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Corrosion) (Powell และ คณะ, 1995)

โลหะสถานะออกซิเดชัน มีแนวโน้มที่จะกลับไปสู่สถานะทางอุณหพลศาสตร์ที่เสถียร (Thermodynamically Stable From) เช่น เหล็กสถานะออกซิเดชันศูนย์ (Fe^{0}) จะถูกออกซิไดซ์เป็นเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ในบรรยากาศของโลก ที่มีออกซิเจนเมื่อโลหะจุ่มอยู่ในสารละลายที่เป็นน้ำเกลือ กลไกการกัดกร่อนไฟฟ้าเคมีสามารถเกิดขึ้นได้ อิเลคตรอน (e^{-}) ถูกปลดปล่อยออกมาจากขั้วบวก (anodic region) ได้ไอออนบวกของโลหะ (metal cation) และ อิเลคตรอน (e^{-}) จะถูกรับไปโดยตัวออกซิไดซ์ ที่อีกบริเวณหนึ่งของผิวโลหะ คือบริเวณขั้วลบ (cathodic region) ปรากฏการณ์เช่นนี้ถือเป็นการหลีกเลี่ยงการสะสมของประจุไฟฟ้า

เซลกัดกร่อนไฟฟ้าเคมีประกอบด้วย 2 ส่วน คือ วงจรภายในคือสารละลายอิเลคโตรไลต์และวงจรภายนอก คือโลหะที่เป็นขั้วบวกและโลหะที่เป็นขั้วลบ วงจรภายนอกจะถ่ายเทอิเลคตรอนจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ และทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน (H^{+}) ได้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) หรือเมื่อมีออกซิเจน และไฮโดรเจนไอออนจะเกิดปฏิกิริยาได้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^{-}) ตัวอย่างของเซลกัดกร่อนไฟฟ้าเคมีเมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วบวกดังปฏิกิริยา 2.8 – 2.13

$$Fe^{0} \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e^{-} \quad \text{Oxidation} \qquad (2.8)$$

$$2H^{+} + 2e^{-} \rightleftharpoons H_2 \quad \text{Cathode} \qquad (2.9)$$

$$Fe^{0} + 2H^{+} \rightleftharpoons Fe^{2+} + H_2 \quad \text{Net reaction} \qquad (2.10)$$

และเมื่อมีออกซิเจน

$$Fe^{0} \rightleftharpoons Fe^{3+} + 3e^{-} \quad \text{Anode} \qquad (2.11)$$

$$6H^{+} + 1.5O_2 + 3e^{-} \rightleftharpoons 3OH^{-} + 1.5\,H_2 \quad \text{Cathode} \qquad (2.12)$$

$$Fe^{0} + 6H^{+} + 1.5O_2 \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 1.5H_2 \quad \text{Net reaction} \qquad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3 จลนพลศาสตร์เคมี

2.3.1 กฎของอัตราและลำดับของปฏิกิริยา

กฎอัตรา (rate law) คือ สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือสารที่เข้าทำปฏิกิริยา

ลำดับของปฏิกิริยา (order of reaction) คือผลรวมของกำลังหรือเอ็กซ์โปแนนเชียลของสารที่ปรากฏในกฎของอัตรา

กฎอัตราทั่วไปอาจเขียนได้ดังสมการ 2.14

$$\text{อัตรา} = k[A]^n[B]^m \qquad (2.14)$$

ซึ่ง [A] และ [B] เป็นความเข้มข้น (โมลต่อลิตร) ของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา

n และ m เป็นเลขยกกำลังตามที่สารเข้าทำปฏิกิริยาซึ่งมีค่า = 0, ½, 1, 2, 3.....

เมื่อ $n + m = 1$ เรียกว่าปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

$n + m = 2$ เรียกว่าปฏิกิริยาอันดับสอง

k ในกฎอัตรา คือค่าคงที่เฉพาะของอัตราที่อุณหภูมิที่กำหนดให้ ค่า k จะเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ

2.3.1.1 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์

อัตราของปฏิกิริยาจะคงที่เสมอ ไม่ว่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีค่ามากน้อยเพียงใด ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ และกฎอัตราแสดงดังสมการ 2.15-2.17

$$\text{อัตรา} = \frac{d[A]}{dt} = -k \qquad (2.15)$$

อินติเกรตสมการ (Integrate) 2.15 จะได้สมการ 2.16

$$[A]_0 - [A] = kt \qquad (2.16)$$

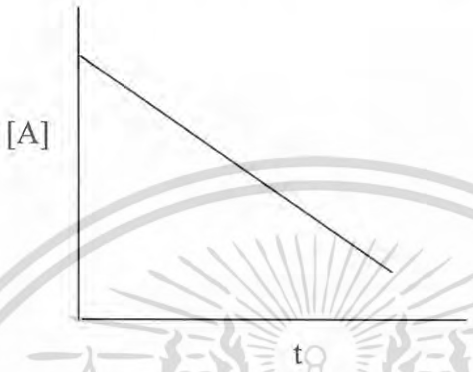
ถ้า $[A] = [A]_0/2$

$$t_{1/2} = ([A]_0 / 2)/k \qquad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107763

อัตราของปฏิกิริยาอันดับศูนย์โดยปกติขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ในปฏิกิริยาประเภทโฟโตเคมีคัล (photochemical reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีแสงเป็นตัวเร่ง อัตราจะขึ้นกับปริมาณหรือความเข้มของแสง หรือในปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ (enzyme) เป็นตัวเร่ง อัตราขึ้นกับปริมาณของเอนไซม์ที่ใช้ เป็นต้น

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้น ([A]) กับเวลา (t) แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง [A] กับ t ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์

2.3.1.2 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

ปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order reaction) เมื่อผลบวกของ n และ m ในกฎอัตราเท่ากับหนึ่ง ซึ่งในกรณีทั่วไป n = 1, m = 0 หรือ n = 0, m = 1 อาจเขียนกฎอัตราทั่วไปสำหรับปฏิกิริยาอันดับหนึ่งดังสมการ 2.18

$$\text{อัตรา} = -k\,[A] \qquad (2.18)$$

ซึ่ง [A] = ความเข้มข้นของสารตั้งต้น

ลำดับของปฏิกิริยาสามารถหาได้โดยทำการทดลองหลาย ๆ การทดลอง แต่ละการทดลองให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือสารที่เข้าทำปฏิกิริยาแตกต่างกันออกไป แล้วทำการวัดอัตรา ทำให้ทราบว่าปฏิกิริยานั้นมีลำดับเท่าใดตามสารตั้งต้นนั้น ลำดับของปฏิกิริยาอาจหาได้โดยใช้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงหนึ่งค่าแล้วติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นนี้กับเวลา ข้อมูลที่บันทึกไว้สามารถนำไปหาลำดับของปฏิกิริยาโดยวิธีการเขียนกราฟ แต่ต้องดัดแปลงสมการของกฎอัตราให้เป็นสมการที่สะดวกต่อการเขียนกราฟดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเขียนในรูปของการลดสารตั้งต้นกับเวลา ดังสมการ 2.19

$$\text{อัตรา} = \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -k\,[A] \qquad (2.19)$$

หรือเขียนในรูปของสมการดิฟเฟอเรนเชียล (differential equation) ดังสมการ 2.20 หรือ 2.21

$$\frac{d\,[A]}{dt} = -k[A] \qquad (2.20)$$

หรือ

$$\frac{d\,[A]}{[A]} = -kdt \qquad (2.21)$$

อินทิเกรต (Integrate) สมการ 2.21 จะได้สมการ 2.22 หรือ 2.23

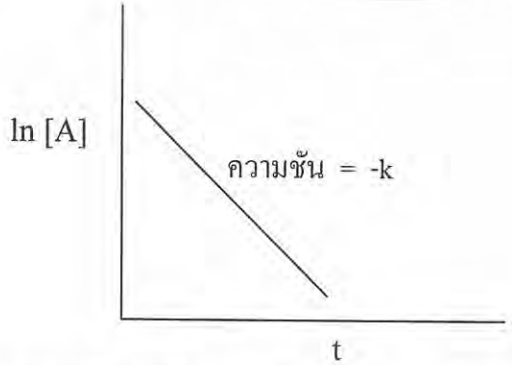
$$\ln [A] - \ln [A]_0 = -kt \qquad (2.22)$$

$[A]_0$ = ความเข้มข้นของ A เมื่อ t = 0

หรือ

$$2.303 \log \frac{[A]}{[A]_0} = -kt \qquad (2.23)$$

ถ้าเขียนกราฟของ ln [A] หรือ log [A] กับเวลาจะได้เส้นตรงที่มีความชัน = -k ค่า ln [A] ลดลงเมื่อเวลา t ผ่านไป และเมื่อปริมาณ [A] หมดไปครึ่งหนึ่ง เวลา t เรียกว่าครึ่งชีวิต ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln [A] กับ t ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครึ่งชีวิต (half life) หรือครึ่งเวลา (half time) คือ เวลาที่ต้องใช้เพื่อให้ความเข้มข้นหรือปริมาณของสารเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณสารเดิม ดังสมการ 2.24

$$[A] = \frac{[A]_0}{2} \qquad (2.24)$$

แทนค่า [A] จากสมการ 2.24 ในสมการ 2.23 จะได้สมการ 2.25 - 2.26

$$2.303 \log 2 = kt_{1/2} \qquad (2.25)$$

$$t_{1/2} = \frac{2.303\log 2}{k} = \frac{0.693}{k} \qquad (2.26)$$

จากสมการ 2.26 จะเห็นได้ว่า $t_{1/2}$ เป็นอิสระต่อความเข้มข้นของสารตั้งต้น ซึ่งหมายความว่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะลดลงครึ่งหนึ่งในช่วงเวลาครึ่งชีวิต ไม่ว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้นจะเป็นเท่าใดก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไปอีก $t_{1/2}$ ความเข้มข้นก็จะลดลงอีก ½ เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ อาจกล่าวได้ว่า ครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นหรือปริมาณของสารตั้งต้น

2.3.1.3 ปฏิกิริยาอันดับสอง

ปฏิกิริยาอันดับสอง (second order reaction) คือ ปฏิกิริยาที่ผลบวกของ m และ n ในกฎอัตราเท่ากับสอง ซึ่งอาจเป็นกรณีที่ $n = 1, m = 1$ หรือ $n = 2, m = 0$ หรือ $n = 0, m = 2$ ดังสมการ 2.27 หรือ 2.28

$$\text{อัตรา} = k[A][B] \qquad (2.27)$$

หรือ

$$\text{อัตรา} = k[A]^2 \qquad (2.28)$$

ซึ่ง [A] และ [B] เป็นความเข้มข้น (โมลต่อลิตร) ของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา

k เป็นค่าคงที่เฉพาะของอัตราของปฏิกิริยาอันดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.27 และ 2.28 จะเห็นว่าถ้าเพิ่มความเข้มข้นของ A และ B สมการ 2.27 หรือความเข้มข้นของ A สมการ 2.28 เป็น 2 เท่า อัตราของปฏิกิริยาจะเพิ่มเป็น 4 เท่า ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของปฏิกิริยาอันดับสอง ดังนั้นสมมติสารที่เข้าทำปฏิกิริยามีเพียงสารเดียวคือ สาร A หรือถ้ามีสองสารคือ A หรือ B แต่มี [A] = [B] วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของสาร A สมการ 2.27 หรือ 2.28 อาจเขียนในรูปของสมการดิฟเฟอเรนเชียล (differential equation) ดังสมการ 2.29

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2 \qquad (2.29)$$

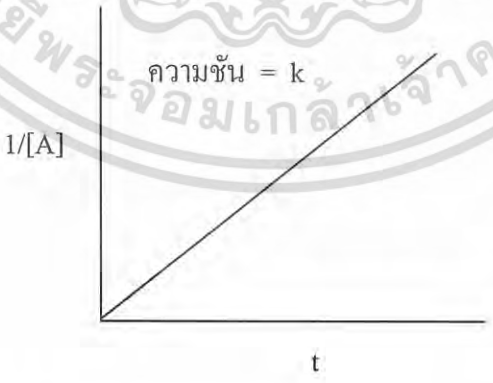
ย้ายข้าง [A] ในสมการ 2.29 จะได้สมการ 2.30

$$-\frac{d[A]}{[A]^2} = kdt \qquad (2.30)$$

อินติเกรต (Integrate) สมการ 2.30 จะได้สมการ 2.31

$$\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = kt \qquad (2.31)$$

ถ้าเราเขียนกราฟของ $\frac{1}{[A]}$ กับเวลา t จะได้เส้นตรงที่มีความชัน k (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/[A] กับ t ของปฏิกิริยาอันดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาอันสอง สามารถหาได้ทำนองเดียวกับกรณีของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ดังสมการ 2.32

$$\text{ที่ } t_{1/2}, \quad [A] = \frac{[A]_0}{2} \tag{2.32}$$

แทนค่าในสมการ 2.32 จะได้สมการ 2.33

$$\frac{1}{\frac{1}{2}[A]_0} - \frac{1}{[A]_0} = kt_{1/2} \tag{2.33}$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0} \tag{2.34}$$

จากสมการ 2.34 จะเห็นได้ว่า ครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาอันดับสอง แปรอย่างผกผันกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น ($[A]_0$) ซึ่งแตกต่างกับครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งซึ่งเป็นอิสระต่อความเข้มข้นของสารตั้งต้น และค่าคงที่เฉพาะของอัตรา (k) ปฏิกิริยาอันดับสองมีหน่วยเป็น ลิตรโมล$^{-1}$ เวลา$^{-1}$ (ชัยวัฒน์, 2530)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิราพร (2538) ศึกษาวิธีการลดปริมาณคาร์โบฟูรานในน้ำด้วยการดูดซับ โดยบรรจุตัวดูดซับคือ ทราย ขี้เถ้าแกลบ แอนทราไซด์ และถ่านลงในคอลัมน์ แล้วผ่านสารละลายคาร์โบฟูราน ลงไปที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ผลการทดลองสรุปได้ว่าขี้เถ้าแกลบจะสามารถลดปริมาณคาร์โบฟูราน ได้มากที่สุด แอนทราไซด์จะลดปริมาณคาร์โบฟูรานได้น้อยที่สุด ส่วนทรายและถ่านจะลดได้พอๆ กัน ในส่วนของความสูงของคอลัมน์ คอลัมน์ที่สูงกว่าจะมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าคอลัมน์เตี้ย และพบว่า ความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานที่ต่ำๆ จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรหมพร และยุวดี (2543) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานในถั่วฝักยาว โดยใช้วิธีออกซิไดส์ด้วยโอโซน และโอโซนร่วมกับรังสียูวี ที่สภาวะเดียวกัน โดยฉีดพ่น คาร์โบฟูรานลงไปในถั่วฝักยาว แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปแช่น้ำ ปราศจากไอออน พ่นด้วยโอโซนและโอโซนกับรังสียูวีลงไป เป็นเวลา 1 และ 10 นาที จากนั้นนำมาสกัดด้วยอะซิโตน นำสารที่สกัดได้มาทำการวัดปริมาณคาร์โบฟูรานที่เหลืออยู่โดย ใช้เทคนิค HPLC แล้วหาเปอร์เซ็นต์การบำบัด พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโดยใช้โอโซนใช้ร่วมกับยูวีมีประสิทธิภาพสูงกว่า คือที่ 1 และ 10 นาที จะมีประสิทธิภาพในการบำบัด 87.07 และ 83.89 % ตามลำดับ

Hideyuki และคณะ (2005) ศึกษาการย่อยสลายคาร์โบฟูรานด้วยแสง ในสารละลาย Fe(III) พบว่า ค่าพีเอชและความเข้มข้นของ Fe(III) มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลาย โดยคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะย่อยสลายได้สูงสุดที่ พีเอช 2.3 ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก 0.0008 โมลต่อลิตร ระยะเวลาสัมผัส 50 นาที และศึกษาจลนพลศาสตร์พบว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับ 2 สารละลายเหล็กจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น ให้เกิดไฮดรอกซิลแรดิคอล ซึ่งมีความสามารถออกซิไดส์ สารอินทรีย์ได้ดี และได้ผลิตภัณฑ์เป็น 2,2-dimethyl-2,3-dihydro-benzofuran-7-ol ($C_{10}H_{12}O_2$) และแอมโมเนีย (NH_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1.เครื่อง ก๊าซโครมาโทกราฟ (GC) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890N (Network GC System) และเครื่อง แมสสเปกโตรมิเตอร์ (MS) รุ่น 5973 Network บริษัท Agilent Technologies (Thailand) Ltd. ประเทศ สหรัฐอเมริกา (U.S.A.)

2. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Theromo electron corporation รุ่น Hexios α ประเทศ อังกฤษ (England)

3. เครื่องพีเอชมิเตอร์(pH meter) Denver instrument Co., Ltd รุ่น Model 215

4. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Single pan balance) Denver Instrument Company รุ่น TC-254

5. เครื่องเขย่า (Shaker) Gallenkamp Orbital Shaker ประเทศ สหราชอาณาจักร(UK)

6. กระดาษกรอง ขนาด 0.45 ไมครอน National Scientific Company

7. Bond Elut C18 Thai Unique Company ยี่ห้อ Varian

8. เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.1.2 สารเคมี

1. เศษผงเหล็กจากบริษัทผลิตภัณฑ์วิศวะไทย จำกัด จังหวัด ปทุมธานี

2. สารมาตรฐานคาร์โบฟูราน แบบผง เกรดวิเคราะห์ หจก. เอ ซี เอส ซีนอน

3. คาร์โบฟูราน ชนิดเม็ด (carbofuran) ยี่ห้อ ฟูราดาน 3% จี เกรด การค้า บริษัท บี เอ เอส เอฟ (ไทย) จำกัด

4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd

5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) เกรดวิเคราะห์ Lab Scan Co., Ltd

6. อะซิโตน (Acetone) เกรดวิเคราะห์ Lab Scan Co., Ltd

7. สารละลายเอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate) เกรดวิเคราะห์ Merck Co., Ltd

8. สารละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) เกรดวิเคราะห์ Merck Co., Ltd

9. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

10. แก๊สไนโตรเจน บริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ (Nitrogen gas) บริษัท ไทยอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สภาวะของ GC/MS ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการออกซิไดซ์สารละลายคาร์โบฟูราน ด้วยเศษผงเหล็ก

GC Information :	
Capillary Column	HP-5 (0.25 mm × 30 m × 0.25 μm)
Injection mode	split
Injection volume	10 μL
Split ratio	10:1
GC temperature program	80 °C คงที่ 5 min เพิ่ม 10 °C min^{-1} จนถึง 210 °C เพิ่ม 30 °C min^{-1} จนถึง 310 °C คงที่ 5 min
Pressure	6.69 psi
MS Information :	EI Mode
Acquistion Mode	Scan
Thermal Aux : 2	MSD Transfer Line Heater
Solvent Delay	3 min
Resulting EM Voltage	1,600
Scan Parameters:	
Low Mass (aum)	50
High Mass (aum)	500
Threshold	150
MS Zone:	
MS Quad	150°C Maxmum 200°C
MS Source	230°C Maxmum 250°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

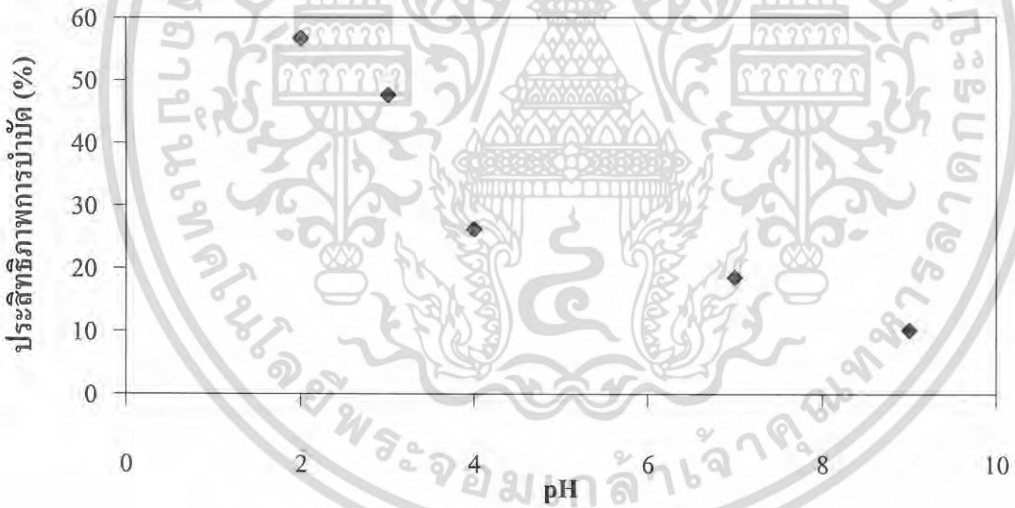
บทที่ 4
ผลการทดลอง

ผลการศึกษาการกำจัดคาร์โบฟูรานโดยใช้เศษผงเหล็กโดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ คือการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคาร์โบฟูรานในน้ำโดยวิธีการออกซิไดส์ด้วยผงเหล็กโดยการทดลองแบบแบทช์ การศึกษาจลนพลศาสตร์เคมี (kinetics) และการหาผลิตภัณฑ์ (products) ที่เกิดหลังจากการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก

4.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคาร์โบฟูราน

4.1.1 ผลของค่าพีเอชของสารละลายคาร์โบฟูราน

การศึกษาผลของค่าพีเอชของสารละลายคาร์โบฟูราน โดยใช้ปริมาณความเข้มข้นของคาร์โบฟูราน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่ากับเศษผงเหล็ก 5 กรัมที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตาราง ก-2 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็กที่พีเอชต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อค่าพีเอชของสารละลายคาร์โบฟูรานเพิ่มขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานลดลง ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพของการกำจัดเท่ากับ 56.27±0.035 % ในขณะที่หากเพิ่มพีเอชเป็น 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเป็น 9.11±0.023 % ทั้งนี้เนื่องจากในการกำจัดใช้กลไกการออกซิไดส์ และที่สภาวะความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ Fe^0 อยู่ในสภาวะที่ให้อิเลคตรอน ดังสมการ 4.1-4.3 (Powell และคณะ, 1995)

$$Fe^0 \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e^- \quad \text{Oxidation} \qquad (4.1)$$

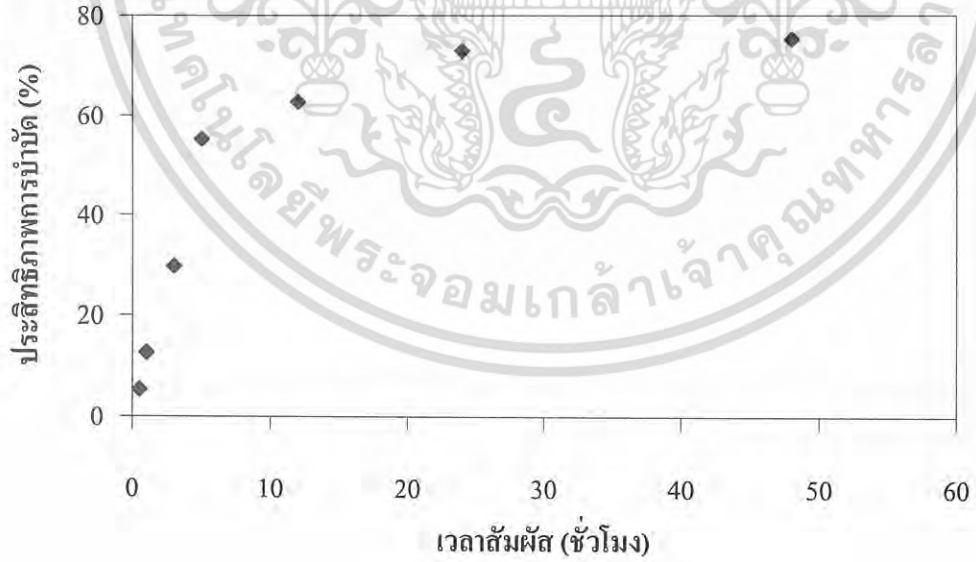
$$2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2 \quad \text{Cathode} \qquad (4.2)$$

$$Fe^0 + 2H^+ \rightleftharpoons Fe^{2+} + H_2 \quad \text{Net reaction} \qquad (4.3)$$

จากผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดคือที่พีเอชเท่ากับ 2

4.1.2 ผลของระยะเวลาสัมผัส

นำสารละลายคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาปรับพีเอชเป็นพีเอชที่เหมาะสมคือที่พีเอช 2 แล้วนำไปปั่นกวนที่ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลาต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 (รายละเอียดแสดงดังตาราง ก-3 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็กที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานจะเพิ่มขึ้นรวดเร็วในช่วงแรกและจะคงที่ที่เวลาตั้งแต่ 24 ชั่วโมงขึ้นไป โดยที่เวลา 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 72.66±0.042% สาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูราน มีแนวโน้มคงที่เนื่องจากที่เวลาเพิ่มมากขึ้นพื้นที่ผิวของเหล็กในการเกิดออกซิไดส์ลดลง เนื่องจากมีออกไซด์เคลือบอยู่บนผิวเหล็ก ดังสมการ 4.4-4.5 (มั่นสิน และไพพรรณ, 2527)

$$Fe^{2+} + 2\,OH^{-} \rightleftharpoons Fe(OH)_2\,(S) \qquad (4.4)$$

$$Fe^{3+} + 3\,OH^{-} \rightleftharpoons Fe(OH)_3\,(S) \qquad (4.5)$$

4.1.3 ผลของปริมาณผงเหล็กในการกำจัดคาร์โบฟูราน

นำสารละลายคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาปรับพีเอชเป็น 2 นำไปเขย่ากับผงเหล็กปริมาณต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 (รายละเอียดดังตาราง ก-4 ภาคผนวก ก)

รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานที่ปริมาณผงเหล็กต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเศษผงเหล็กจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานลดลง โดยเมื่อใช้เศษผงเหล็ก 1 กรัม ประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ที่ 89.06±0.034 % และถ้าเพิ่มปริมาณเศษผงเหล็กเป็น 10 กรัม ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเป็น 54.72 ± 0.017 % ดังนั้นปริมาณเศษผงเหล็กที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองคือ 1 กรัมต่อสารละลายคาร์โบฟูราน 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่เศษผงเหล็กมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานลดลง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากเหล็กจะถูกออกซิไดส์เป็น Fe^{2+}และ Fe^{3+} ได้ง่าย เมื่อปริมาณเศษผงเหล็กเพิ่มมากจะทำให้มีปริมาณ Fe^{2+}และ Fe^{3+} มากไปด้วย ซึ่ง Fe^{2+}และ Fe^{3+} มีช่วงการดูดกลืนแสงที่ 225 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับการดูดกลืนแสงของคาร์โบฟูราน ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงหลังการบำบัดยังคงสูงขึ้น

4.1.4 ผลของความเข้มข้นสารละลายคาร์โบฟูราน

นำสารละลายคาร์โบฟูรานความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาเขย่ากับเศษผงเหล็ก 1 กรัมที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4 (รายละเอียดดังตารางที่ ก-5 ภาคผนวก ก)

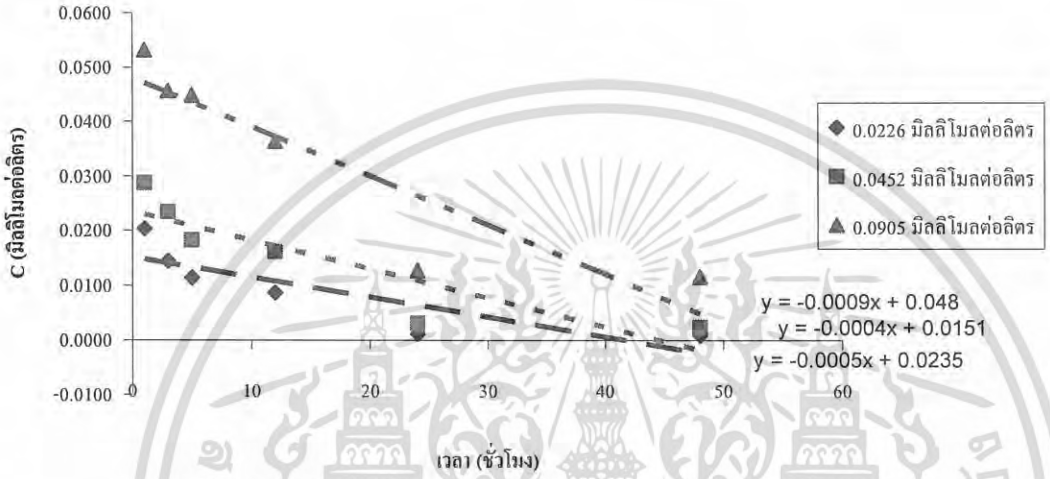
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานที่ความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.4 เมื่อความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง เนื่องจาก ผงเหล็กมีปริมาณคงที่ ในขณะที่คาร์โบฟูรานมีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนของสารที่กำจัดได้ลดลงเมื่อเทียบกับสารที่เหลืออยู่ ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองคือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัด 92.67 ± 0.201 %

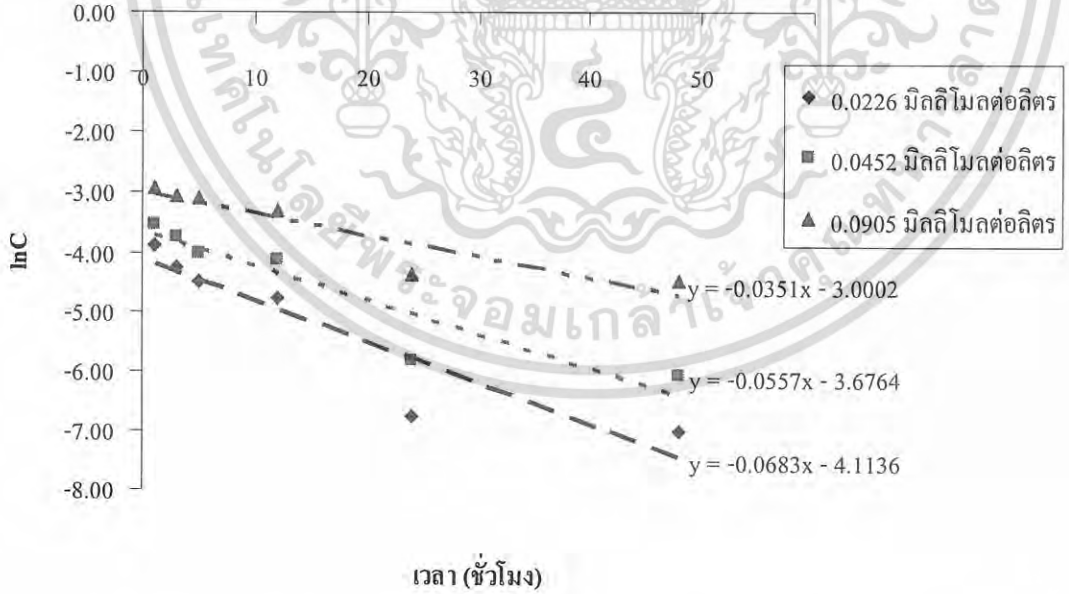
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์เคมี (Kinetics)

การศึกษาจลน์พลศาสตร์เคมีของปฏิกิริยาการกำจัดคาร์โบฟูราน โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานที่ 5, 10 และ 20 มิลลิลิตรต่อลิตร โดยทำการควบคุมปริมาณเศษผงเหล็กและค่าพีเอชให้คงที่ จะได้กราฟความเข้มข้นเทียบกับเวลาของปฏิกิริยาอันดับ 0, 1 และ 2 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5-4.7

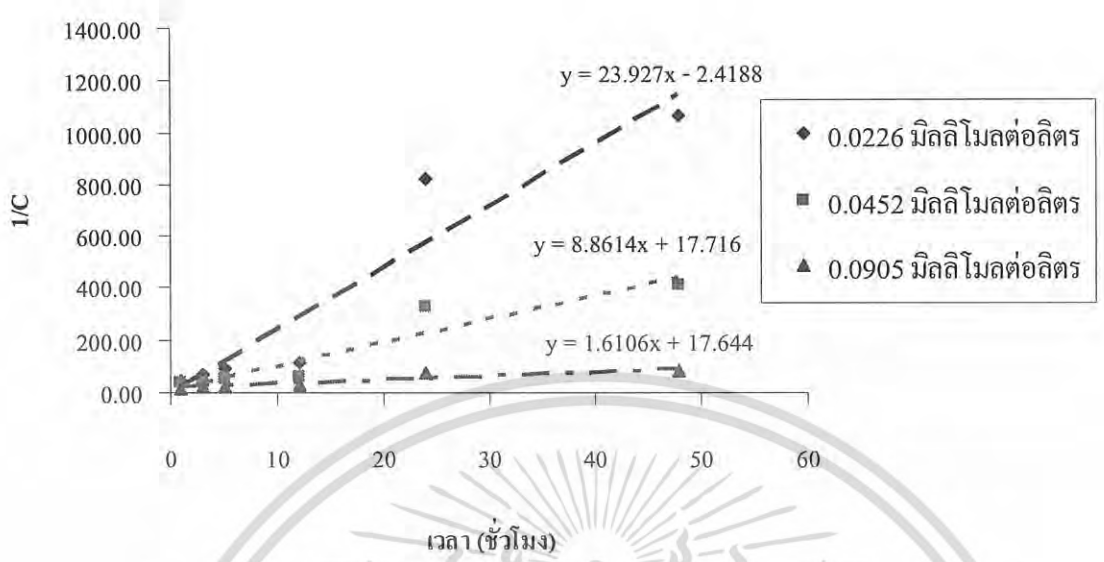


รูปที่ 4.5 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก



รูปที่ 4.6 ปฏิกิริยาอันดับ 1 ของการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ปฏิกิริยาอันดับ 2 ของการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก

จากสมการปฏิกิริยาอันดับ 0, 1 และ 2 สามารถหาค่าคงที่ต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 (รายละเอียดแสดงดังตาราง ข-1 ถึง ข-3 ในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมี

ความเข้มข้น (มิลลิโมลต่อลิตร)	ปฏิกิริยาอันดับ 0		ปฏิกิริยาอันดับ 1		ปฏิกิริยาอันดับ 2	
	k	R^2	k	R^2	k	R^2
0.0226	-0.0004	0.7332	-0.0683	0.8598	23.927	0.9012
0.0452	-0.0005	0.7875	-0.0557	0.8645	8.8614	0.9035
0.0905	-0.0009	0.8282	-0.0351	0.8511	1.6106	0.8631

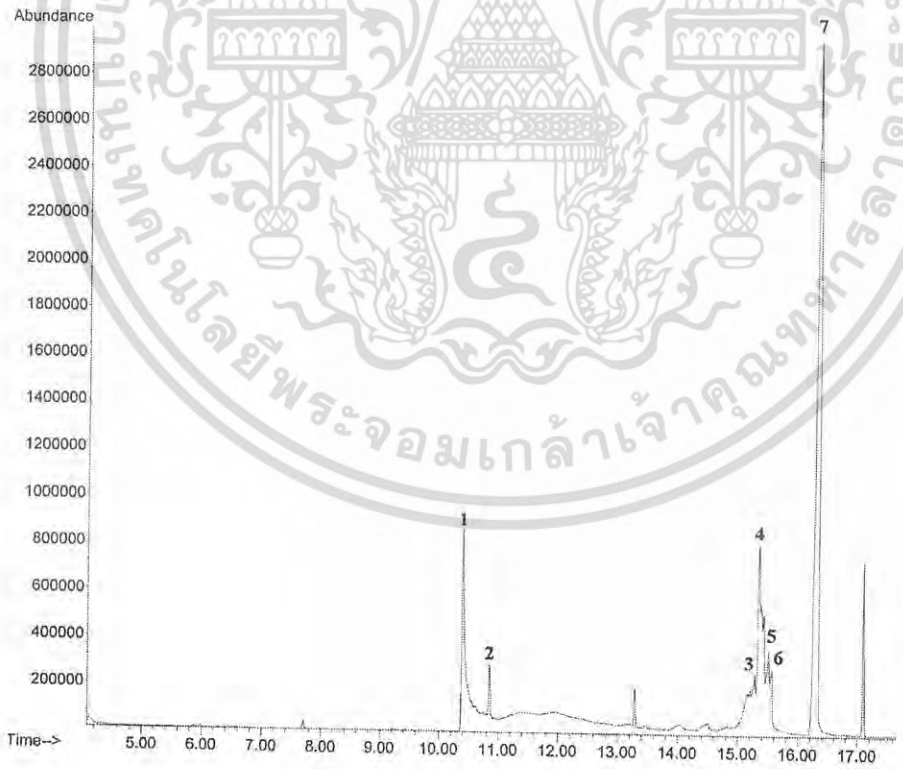
จากตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R^2) ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่งและสอง พบว่าการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็กที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นปฏิกิริยาอันดับที่สอง เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (R^2) เข้าใกล้ 1 มากกว่าปฏิกิริยาอันดับหนึ่งและศูนย์ นอกจากนี้ เมื่อนำค่าคงที่ของปฏิกิริยาไปคำนวณหาครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาพบว่า ครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของปฏิกิริยาอันดับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่าคงที่เฉพาะของปฏิกิริยา (k) เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จาก 0.0226, 0.0542 และ 0.0905 มิลลิโมลต่อลิตร พบว่าค่าคงที่เฉพาะของปฏิกิริยา (k) ลดลงเรื่อยๆ คือจาก 23.927, 8.8614 และ 1.6106 ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง เนื่องจากปริมาณของผงเหล็กคงที่ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานมากยิ่งขึ้นจึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานลดลง

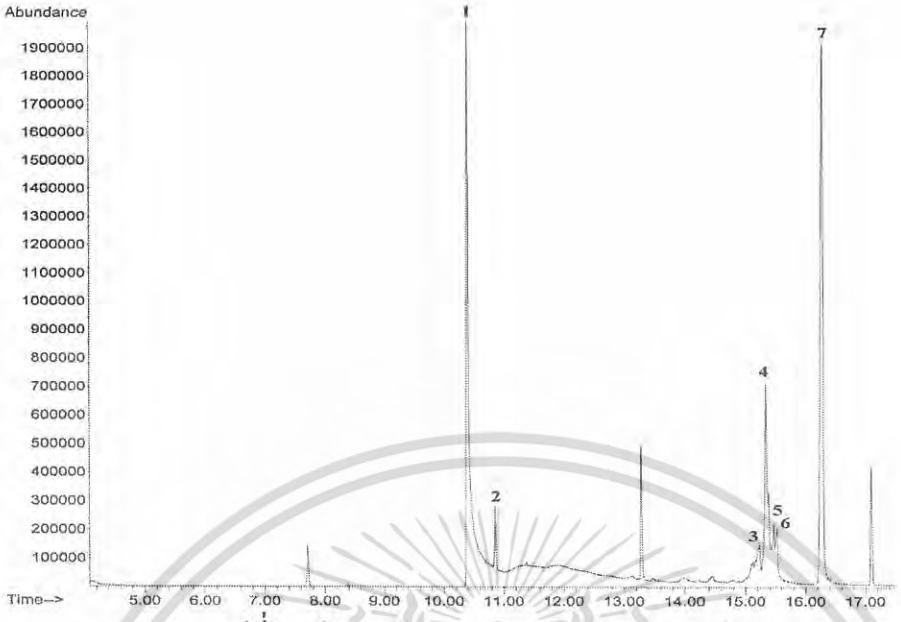
4.3 ผลิตภัณฑ์ (products) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน

สามารถหาผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟแมสสเปกโทรเมทรี (GC/MS) โดยนำสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 4.1 มาใช้ในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานแล้วนำสารละลายที่กำจัดได้มาทำการสกัดด้วยเทคนิค Solid phrase extraction ด้วยตัวทำละลาย Dichloromethane ผสมกับ Ethylacetate ในอัตราส่วน 1ต่อ1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานคาร์โบฟูราน, ชุดควบคุมและสารละลายคาร์โบฟูรานหลังจากทำการกำจัดด้วยผงเหล็กแสดงดังรูป 4.8-4.10 ตามลำดับ รายละเอียดของโครมาโทแกรมแสดงดัง ตารางที่ 4.2-4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์โบฟูราน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 โครมาโทแกรมของชุดควบคุม

จากโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานคาร์โบฟูราน (รูปที่ 4.8) และโครมาโทแกรมของชุดควบคุม (รูปที่ 4.9) ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยผงเหล็ก โดยนำสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดมาทำการทดลองคือ ปรับพีเอชเป็น 2 แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับสารตัวอย่างพบว่ามีสารผลิตภัณฑ์ที่ได้คล้ายกัน แต่มีพื้นที่ใต้กราฟไม่เท่ากัน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2

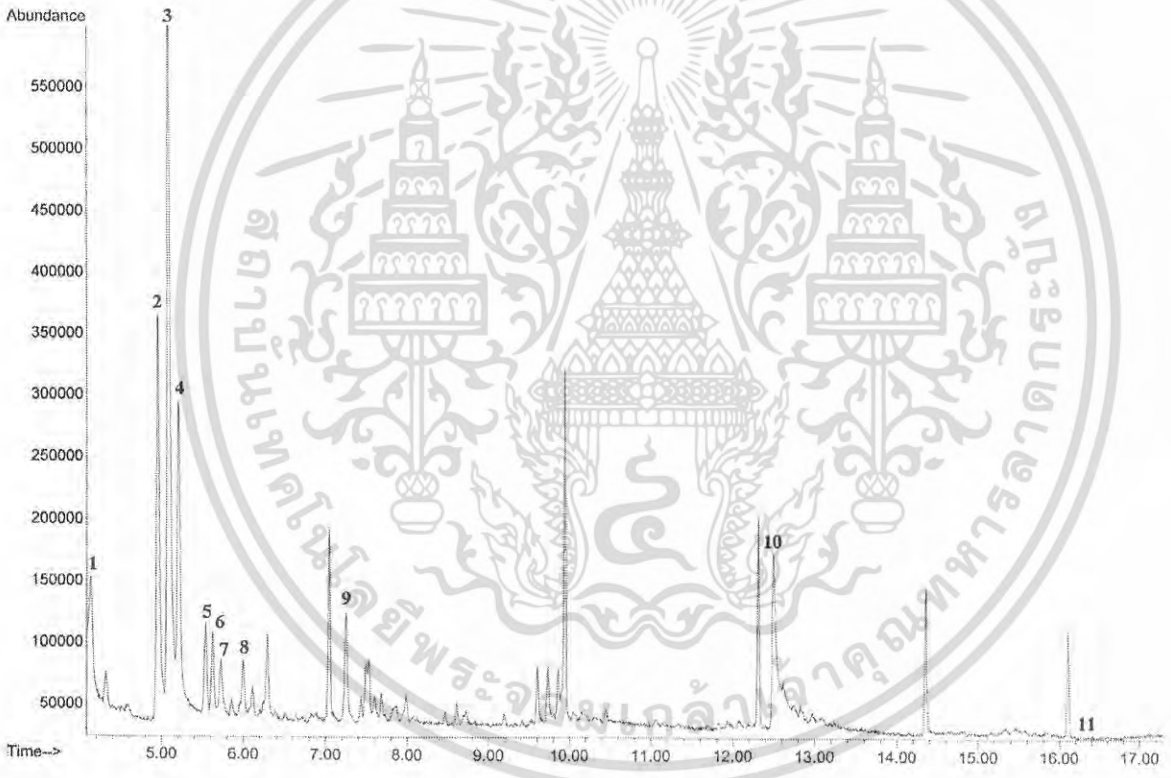
ตารางที่ 4.2 ผลิตภัณฑ์จากชุดควบคุมที่รายงานโดยเครื่อง GC/MS

ลำดับที่	Retention Time (นาที)	ชื่อสาร	พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐาน	พื้นที่ใต้กราฟของชุดควบคุม	%ความเหมือน
1	10.40	2,3-dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuranol	30,367,423	67,121,083	98.00
2	10.86	benzyloxyamine-N,N-ditms	3,742,803	3,457,884	38.00
3	15.12	อนุพันธ์ carbofuran	1,017,521	3,477,769	91.00
4	15.35	อนุพันธ์ 2,3-dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuranol	14,169,073	18,299,699	95.00
5	15.39	อนุพันธ์ carbofuran	8,111,053	5,478,351	91.00
6	15.48	อนุพันธ์ carbofuran	5,178,260	5,971,283	91.00
7	16.30	carbofuran	117,862,133	57,223,396	97.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของทั้ง 2 ชุด พบว่าในชุดควบคุมจะมีปริมาณคาร์โบฟูรานลดลงจากสารมาตรฐาน และจะมีปริมาณของ 2,3-dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuranol หรือ Carbofuran phenol เพิ่มขึ้น เนื่องจากคาร์โบฟูรานเป็นยาฆ่าแมลงที่สลายตัวได้ง่าย ดังนั้นเมื่อนำสารมาตรฐานไปทดลองในสภาวะเดียวกับสารตัวอย่าง จึงเกิดการสลายตัวไปบางส่วน ดังนั้น ในการทดลองการวัดประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานจะนำค่าที่ได้จากชุดควบคุมไปหักลบเพื่อลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการสลายตัวของคาร์โบฟูราน

หลังจากกำจัดคาร์โบฟูรานโดยใช้เศษผงเหล็กที่สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองจะได้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.10 โครมาโทแกรมของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยผงเหล็ก

ลำดับที่	Retention Time (นาที)	ชื่อสาร	พื้นที่ใต้กราฟ	%ความเหมือน
1	4.120	hexadecane	1,398,202	72.00
2	4.950	1,3-diethylbenzene	8,741,354	97.00
3	5.096	1,4-diethylbenzene	16,785,156	97.00
4	5.210	1,2-diethylbenzene	6,672,234	90.00
5	5.609	1-octanol	1,609,226	64.00
6	5.624	stearyl alcohol	1,409,299	53.00
7	5.723	2,3-dihydro-1-methyl indan	1,234,869	87.00
8	5.997	dodecane	1,203,930	83.00
9	7.252	decahydro-1,6-dimethyl naphthalene	2,386,256	90.00
10	12.501	2,4-bis(1,1-dimethylethyl phenol)	5,153,787	94.00
11	16.300	carbofuran	n.d.	-

จากตารางที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็กจะได้สารประเภท Alkane, Alcohol, Phenol, Ethylbenzene, Indan และ Naphthalene ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ Fe^0 เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงจึงสลายพันธะของคาร์โบฟูรานได้ Alkane, Alcohol, Phenol, Ethylbenzene, Indan นอกจาก Fe^0 จะมีคุณสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์แล้ว ยังมีคุณสมบัติเป็นตัวคะตะลิสต์ จึงอาจทำให้วงเบนซีน (Benzene rings) ของคาร์โบฟูรานที่แตกตัวออก เกิดการเชื่อมพันธะกลายเป็น Naphthalene ได้ ดังนั้น ปฏิกิริยาการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็กจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มความเป็นพิษน้อยลง (ดังแสดงในภาคผนวก ค) ถึงแม้ว่าคาร์โบฟูรานจะสลายตัวได้ง่ายในสิ่งแวดล้อม แต่จะสลายตัวเป็น 2,2-dimethyl-2,3-dihydro-benzofuran-3,7-diol, 7-hydroxy-2,2-demethyl-benzofuran-3-one, 2,2-dimethyl-2,3-dihydro-benzofuran-7-ol และ 3-hydroxy-2-methoxy-benzaldehyde (Hideyuki และคณะ, 2004) ซึ่งยังคงเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และยังคงมีค่าความเป็นพิษสูง แต่การกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็กจะได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นพิษลดลง ในระยะเวลาอันรวดเร็ว และเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำ จึงเป็นวิธีการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานที่น่าจะได้รับความสนใจในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็กสามารถสรุปได้ดังนี้

- สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคาร์โบฟูรานได้แก่ ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ระยะเวลาสัมผัสของเหล็กเท่ากับ 24 ชั่วโมง ปริมาณผงเหล็กเท่ากับ 20 กรัมต่อคาร์โบฟูราน 10 มิลลิกรัม ความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดคาร์โบฟูรานได้ 92.67±0.20 เปอร์เซ็นต์

- จากการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีพบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน การทดลองเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง โดยได้ค่า k เท่ากับ 23.927, 8.8614 และ 1.6106 ลิตรต่อมิลลิโมล-ชั่วโมง เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานเป็น 5, 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

- จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ (products) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วย GC/MS พบว่าผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นได้แก่ 1,3-diethybenzene, 1,4-dimethylbenzene, 1,2-dimethylbenzene และ decahydro-1,6-dimethyl naphthalene

ดังนั้นการกำจัดคาร์โบฟูรานโดยการออกซิไดส์ด้วยเศษผงเหล็กเป็นวิธีกำจัดคาร์โบฟูรานที่มีประสิทธิภาพสูงและเสียค่าใช้จ่ายต่ำ เนื่องจากเศษผงเหล็กเป็นวัสดุเหลือใช้และมีราคาถูก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการกำจัดคาร์โบฟูรานที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากการเกษตรจริง ๆ เพื่อศึกษาปัจจัยรบกวนอื่น ๆ ซึ่งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก

5.2.2 ควรศึกษาถึงแนวทางในการกำจัดไอออนเหล็ก และตะกอนเหล็กที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา เพื่อไม่ให้เหล็กแพร่ออกสู่สิ่งแวดล้อมมากเกินไป

5.2.3 ควรนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดคาร์โบฟูรานที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน หรือแหล่งน้ำธรรมชาติต่าง ๆ

5.2.4 ควรทำการยืนยันผลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูราน โดยการเทียบ retention time ของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับ retention time ของสารมาตรฐานชนิดนั้น ๆ โดยวิเคราะห์ที่สภาวะเดียวกันของเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5.2.5 ควรทดสอบหาค่าความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกำจัดคาร์โบฟูรานด้วยเศษผงเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

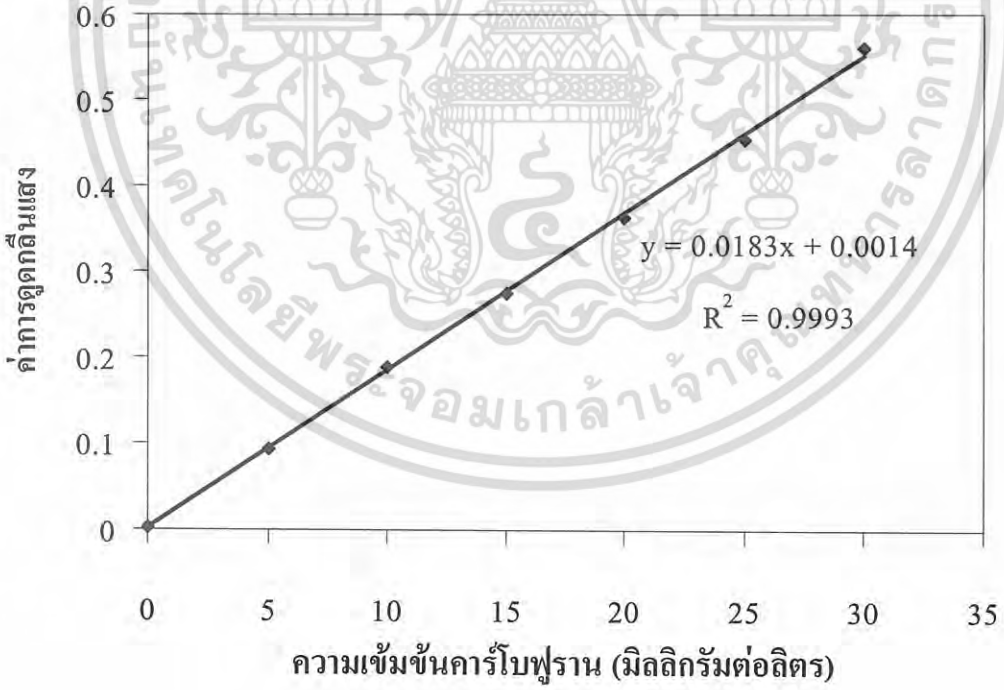
ภาคผนวก ก
กราฟมาตรฐานและศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นคาร์โบฟูรานกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 279 นาโนเมตร แสดงดังตารางที่ ก-1 และรูป ก-1

ตาราง ก-1 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของคาร์โบฟูราน

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (279nm)
0	0.0026
5	0.0929
10	0.1889
15	0.2751
20	0.3625
25	0.4538
30	0.5602



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานคาร์โบฟูราน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 การศึกษาผลของค่าพีเอชของสารละลายคาร์โบฟูราน โดยใช้สารละลายคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่ากับเหล็ก 5 กรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของสารละลายคาร์โบฟูราน ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 279 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ก-2

ตารางที่ ก-2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานที่พีเอชต่าง ๆ

pH	ความเข้มข้นของชุดควบคุม (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของรีเอเจนต์แบลงค์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	
2	7.011	7.071	7.049	7.044	0.030	4.672	4.618	4.607	4.632	0.035	1.639	1.481	1.536	1.552	0.080	56.27±0.035
3	7.104	7.169	7.153	7.142	0.034	5.115	5.119	5.158	5.131	0.024	1.246	1.421	1.328	1.332	0.087	46.80±0.024
4	7.077	6.956	6.984	7.005	0.063	6.617	6.509	6.590	6.572	0.057	1.426	1.257	1.361	1.348	0.085	25.43±0.057
7	7.235	7.219	7.186	7.213	0.025	7.404	7.437	7.448	7.430	0.023	1.503	1.481	*	1.492	0.015	17.68±0.023
9	7.022	7.093	7.082	7.066	0.038	7.836	7.802	7.792	7.810	0.023	1.262	1.486	1.415	1.388	0.114	9.11±0.023

หมายเหตุ * เป็นค่าที่ถูกตัดทิ้งจากการคำนวน Q-test

ก-3 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส โดยใช้สารละลายคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชของสารละลายให้เป็น 2 เขย่ากับเหล็ก 5 กรัม 50 มิลลิลิตรของสารละลายคาร์โบฟูราน ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลาต่าง ๆ จากนั้นกรองผ่านตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 279 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ก-3

ตารางที่ ก-3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานที่ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ

เวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของชุดควบคุม (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของรีเอเจนต์แบลงค์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	
0.5	7.251	7.279	7.339	7.290	0.045	8.317	8.315	8.383	8.338	0.038	1.339	1.388	1.372	1.366	0.025	4.36±0.038
1	7.257	7.383	7.328	7.322	0.063	7.918	7.863	7.907	7.896	0.029	1.404	1.437	1.454	1.432	0.025	11.72±0.029
3	7.306	7.224	7.257	7.262	0.041	6.956	7.019	6.913	6.962	0.053	1.825	1.798	1.787	1.803	0.020	28.96±0.053
5	7.240	7.268	7.311	7.273	0.036	6.738	6.783	6.803	6.775	0.034	3.530	3.459	3.470	3.486	0.038	54.79±0.034
12	7.060	7.066	7.137	7.087	0.043	7.279	7.464	7.421	7.388	0.097	4.738	4.721	4.705	4.721	0.016	62.38±0.097
24	7.361	7.306	7.317	7.328	0.029	6.694	6.639	6.612	6.648	0.042	4.612	4.639	4.683	4.645	0.036	72.66±0.042
48	7.148	6.956	6.995	7.033	0.101	6.508	6.457	6.421	6.462	0.044	4.699	4.678	4.754	4.710	0.039	75.09±0.044

ก-4 การศึกษาผลของปริมาณผงเหล็ก โดยใช้สารละลายคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชของสารละลายให้เป็น 2 เขย่ากับเหล็กปริมาณต่าง ๆ กัน ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 279 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ก-4

ตารางที่ ก-4 ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์โบฟูรานที่ปริมาณผงเหล็กต่างๆ

ผงเหล็ก (กรัม)	ความเข้มข้นของชุดควบคุม (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของรีเอเจนต์แบลงค์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	
1	7.093	7.049	7.005	7.049	0.044	3.180	3.198	3.246	3.208	0.034	2.410	2.525	2.377	2.437	0.077	89.06±0.034
5	6.989	6.929	6.852	6.923	0.068	6.393	6.436	6.459	6.430	0.033	4.546	4.525	4.470	4.514	0.039	72.33±0.033
10	6.945	6.880	6.896	6.907	0.034	8.585	8.565	8.552	8.567	0.017	5.448	5.432	*	5.440	0.012	54.72±0.017

หมายเหตุ * เป็นค่าที่ถูกตัดทิ้งจากการคำนวน Q-test

ก-5 การศึกษาผลของความเข้มข้นคาร์โบฟูรานโดยใช้สารละลายคาร์โบฟูรานความเข้มข้นต่างๆ ปรับพีเอชของสารละลายให้เป็น 2 เขย่ากับเหล็ก 1 กรัมต่อ 50 มิลลิลิตร ของสารละลายคาร์โบฟูราน ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 279 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ก-5

ตารางที่ ก-5 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายคาร์โบฟูรานที่ความเข้มข้นของคาร์โบฟูรานต่าง ๆ

ความเข้มข้นคาร์โบฟูราน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของชุดควบคุม (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของรีเอเจนต์แบลงค์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	
5	4.634	4.705	4.743	4.694	0.055	2.710	3.098	2.995	2.934	0.201	2.448	2.716	2.607	2.590	0.135	92.67±0.201
10	6.869	6.978	6.940	6.929	0.055	3.301	3.388	3.361	3.350	0.045	2.448	2.716	2.607	2.590	0.135	89.04±0.045
20	12.617	12.672	12.694	12.661	0.039	5.503	5.464	5.475	5.481	0.020	2.448	2.716	2.607	2.590	0.135	77.17±0.020

ภาคผนวก ข

ศึกษาจลนพลศาสตร์เคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมี โดยใช้สารละลายคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 5, 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับพีเอชของสารละลายให้เป็น 2 เขย่ากับเหล็ก 1 กรัม ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็น 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 279 นาโนเมตร ได้ผลดังตารางที่ ข-1 ถึง ข-3

ตารางที่ ข-1 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของชุดควบคุม (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของรีเอเจนต์แบลงค์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	
1	4.689	4.617	4.760	4.689	0.071	5.295	4.962	5.087	5.115	0.168	0.514	0.519	0.590	0.541	0.043	2.45±0.168
3	4.568	4.350	4.787	4.568	0.219	4.055	4.475	4.322	4.284	0.213	1.005	0.929	1.131	1.022	0.102	28.59±0.213
5	4.579	4.399	4.727	4.568	0.164	3.831	4.503	4.208	4.180	0.337	1.678	1.525	1.568	1.590	0.079	43.30±0.337
12	4.656	4.781	4.694	4.710	0.064	4.087	4.137	4.022	4.082	0.058	2.098	2.044	2.087	2.077	0.029	57.42±0.058
24	4.634	4.705	4.743	4.694	0.055	2.710	3.098	2.995	2.934	0.201	2.448	2.716	2.607	2.590	0.135	92.67±0.201
48	4.541	3.940	4.519	4.333	0.341	4.033	3.645	3.716	3.798	0.207	3.557	3.514	3.470	3.514	0.044	93.44±0.207

ตารางที่ ข-2 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของชุดควบคุม (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของรีเอเจนต์แบลงค์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	
1	6.803	6.896	6.940	6.880	0.070	6.984	6.989	6.929	6.967	0.033	0.514	0.519	0.590	0.541	0.043	6.59±0.033
3	6.678	6.530	6.596	6.601	0.074	6.273	6.240	6.339	6.284	0.050	1.005	0.929	1.131	1.022	0.102	20.28±0.050
5	6.503	6.486	6.585	6.525	0.053	5.623	5.765	5.727	5.705	0.074	1.678	1.525	1.568	1.590	0.079	36.93±0.074
12	6.809	6.710	6.760	6.760	0.049	5.721	5.639	5.787	5.716	0.074	2.098	2.044	2.087	2.077	0.029	46.16±0.074
24	6.869	6.978	6.940	6.929	0.055	3.301	3.388	3.361	3.350	0.045	2.448	2.716	2.607	2.590	0.135	89.04±0.045
48	6.634	6.869	6.678	6.727	0.125	4.208	4.093	4.077	4.126	0.071	3.557	3.514	3.470	3.514	0.044	90.90±0.071

ตารางที่ ข-3 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของคาร์โบฟูรานความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของชุดควบคุม (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ความเข้มข้นของรีเอเจนต์แบลงค์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	
1	12.470	12.443	12.317	12.410	0.082	12.432	12.366	12.317	12.372	0.058	0.514	0.519	0.590	0.541	0.043	4.67±0.058
3	12.372	12.443	12.432	12.415	0.038	11.169	11.213	11.175	11.186	0.024	1.005	0.929	1.131	1.022	0.102	18.13±0.024
5	12.459	12.623	12.525	12.536	0.083	11.508	11.645	11.585	11.579	0.068	1.678	1.525	1.568	1.590	0.079	20.31±0.068
12	12.333	12.295	12.421	12.350	0.064	10.109	10.273	10.175	10.186	0.083	2.098	2.044	2.087	2.077	0.029	34.34±0.083
24	12.617	12.672	12.694	12.661	0.039	5.503	5.464	5.475	5.481	0.020	2.448	2.716	2.607	2.590	0.135	77.17±0.020
48	12.514	12.448	12.432	12.464	0.043	6.169	6.098	6.158	6.142	0.038	3.557	3.514	3.470	3.514	0.044	78.91±0.038

ภาคผนวก ค

ค่าความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-1 ความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์หลังจากการกำจัดคาร์โบฟูราน

ผลิตภัณฑ์	ความเป็นพิษ
Phenol	มีระดับความเป็นพิษปานกลาง คือมีค่า LD_{50} ทางปากที่ 317 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวหนูทางปาก ถึงแม้ว่า Phenol จะมีความเป็นพิษปานกลาง แต่ยังมีค่า LD_{50} น้อยกว่า Carbofuran ซึ่งมีค่า LD_{50} เท่ากับ 8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
Ethylbenzene	ถึงแม้ว่า Benzene จะมีความเป็นพิษสูง แต่เมื่อมีหมู่ Ethyl มาเกาะ ทำให้ระดับความเป็นพิษของ Benzene ลดน้อยลง โดยมีค่า LD_{50} เท่ากับ 3,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมทางปาก ซึ่งถือว่าเป็นสารที่มีระดับความเป็นพิษน้อย (ดังแสดงในตาราง 2.2)
Decane	มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตน้อย เนื่องจากมีค่า LD_{50} เท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งถือได้ว่ามีความเป็นพิษน้อย
Naphthalene	มีระดับความเป็นพิษสูง แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เป็น Naphthalene ที่ถูกไฮโดรเจนเข้าไปแทนที่ในพันธะคู่ทั้งหมดจึงทำให้สารตัวนี้แสดงความเป็น Naphthalene ได้น้อยลง และยังมีหมู่ Methyl มาเกาะอีกด้วย ระดับความเป็นพิษจึงลดลง
Indan	มีระดับความเป็นพิษน้อยกว่า Carbofuran เนื่องจาก Indan มีค่า LD_{50} 2,000 มิลลิกรัมต่อกิลโลกรัม ซึ่งถือว่ามีระดับความเป็นพิษน้อย
Alcohol	แอลกอฮอล์ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ที่มา : http://newsearchch.chemexper.com ; http://www.physchem.ox.ac.uk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ แสงเกียรติยุทธ. 2547. **เหล็กหล่อ**. [Online].
Available : http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/june/radio6-1.htm

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2537. **การขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: บาลีธุรกิจและโฆษณา

กฤษณา ชุติมา. 2531. **หลักเคมีทั่วไป เล่ม 1.** พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพ:ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยลัยเกษตรศาสตร์.

กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2541. **ข้อมูลการนำเข้าวัตถุมีพิษ.** กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เครือข่ายเกษตรกรรมทางเลือก.2548. **ภาพรวมสถานการณ์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในประเทศไทย.** [Online] Available : http://www.consumerthai.org/data/chemicals/chemicals_01

จิราพร ศรีพลากิจ และถาวร ท้วมเจริญ. 2538. "การวิเคราะห์คาร์โบฟูรานด้วยเอชพีแอลซี". **ข่าวสารวัตถุมีพิษ.** 22(2): เมษายน-มิถุนายน

ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2530. **หลักเคมี 2.** ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ณัฐสม สงวนวงศ์. 2532. **การศึกษาหาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของโลหะเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงวิศวกรรมการทาง.** กองวิเคราะห์และวิจัย. กรมทางหลวง.

พรหมพร สกุลธนะ และยุวดี วงศ์เบี้ยสัจจ์. 2543. **การลดปริมาณคาร์โบฟูรานในถั่วฝักยาวด้วย O_3/UV.** ภาควิชาเคมี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2527. **การปรุงแต่งคุณภาพน้ำสำหรับระบบหม้อน้ำ ระบบหล่อเย็น ระบบประปาในอาคาร.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณวิภา ผลาหาญ. 2547. **การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมโดยใช้เศษผงเหล็ก.** บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศิริพร วันฟั่น. **เกษตรกรรมปลอดพิษ ชีวิตปลอดภัย.** [Online]
Available : http://www.tei.or.th/PliBai/th_plibai59_sarakadi.html

อินทรา หาญพงษ์พันธ์. 2536. **เคมีทั่วไป.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Burris, D.R., Campbell, T.J. and Manoranjan, V.S. 1995. Sorption of Trichloroethylene and Tetrachloroethylene in a Batch Reactive Metallic Iron Water System. **Environmental Science and Technology.** 29(11), 2580-2855.

Hideyuki, K., Keisuke, M., Satoshi, K., Tohru, S., Kiyohisa, O., and Yoshihiro Y., 2004. Degradation of Carbofuran in Aqueous Solution by Fe(III) Aquacomplexes as Effective Photocatalysts. **Journal of Photochemistry and Photobiology.** 170(3), 239-245

http://newsearchch.chemexper.com/cheminfo/servlet/org.dbcreator.MainServlet?action=PowerSearch&query=msds._msdsID%3D14404&sort=&target=msds&from=0&realQuery=rn.value%3D%3D%22496-11-7%22&searchTemplate=rn.value%3D%3D%3F&searchValue=496-11-7&history=off&options=brandqtyoffer&format=ccd

http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/DE/decane.html

http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/ET/ethylbenzene.html

http://wvlc.uwaterloo.ca/biology447/Assignments/Assignment1Submissions/On-Campus/carbofuran/Carbofuran.html

http://www.library.rink.ac.th/WEB%20MATERIAL/noname6.htm

2547. **แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3.**

http://www.physchem.ox.ac.uk/MSDS/PH/phenol.html

http://www.suanlukchan.com/discussion_taisuan.php?suan_chanruean_id=56.

2548.**ความรู้เกี่ยวกับสารฆ่าแมลง.**

Mantha, R., Taylor, K.E., Nihar, E.B. and Bewtra J.K. 2001. A Continuous System for Fe^0 Reduction of Nitrobenzene in Synthetic Wastewater. **Environmental Science and Technology.** 35(15), 3231-3236.

Oregon State University. 1996. **Presticide Information Profiles.** [Online] Available : http://extoxnet.orst.edu/pips/carbofuran.htm

Powell, R.M., Puls, R.W., Hightower, S.K. and Sabatini, D.A. 1995. Couple Iron Corrosion and Chromate Reduction:Mechanism for Subsurface Remediation. **Environmental Science and Technology.** 29(8), 1931-1922

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้