

สัญญาเลขที่ R2557B086

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ความเหมาะสมของไม้ไผ่ที่ผ่านการรักษาเนื้อไม้ด้วยน้ำยา CCA
ต่อการนำมาใช้สร้างโรงเรือนทางการเกษตร

1 6938747

คณะผู้วิจัย

1. ดร. สายรุ้ง อวยพรภักขกร
2. ดร. อุทัย วิชัย

คณะวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์

๑ TS
834
ส ๖๖๑๕
๒๕๕๗

สนับสนุนโดยกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนเงินวิจัยจากมหาวิทยาลัยนเรศวร รวมทั้งขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่สนับสนุนทุนอุดหนุนในการทำวิจัยนี้ รวมไปถึงโครงการหลวงอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ช่วยอำนวยความสะดวกเตรียมไม้ไผ่สำหรับในการทดลอง รวมทั้งขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้องที่คอยให้การสนับสนุนการทำวิจัยในด้านต่างๆและกำลังใจที่มีต่อผู้วิจัย ทำให้สามารถฟันฝ่าอุปสรรคที่เกิดในระหว่างงานวิจัยได้

ดร. สายรุ้ง อวยพรกชกรและคณะ



บทคัดย่อ

ไม้ไผ่เป็นพืชที่ชุกชุมขนาดใหญ่ในประเทศไทย เป็นพืชที่ประโยชน์ในงานก่อสร้าง ประชาชนทั่วไปมักใช้ไม้ไผ่ในการสร้างเรือนพักจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น จากน้ำ ฝน และดิน ซึ่งทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้นจึงมีการยืดอายุการใช้งานด้วยสารละลายที่มีทองแดง โครเมียม และสารหนู เป็นองค์ประกอบหรือสารละลายซีซีเอ จึงทำให้ความจำเป็นในการศึกษาการชะทองแดง โครเมียม และสารหนูจากสารละลายดังกล่าวสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการจำลองการศึกษาโลหะทั้งสามชนิดนี้สู่ตัวกลางต่อไปนี้ คือ น้ำ กรดฮิวมิก โซเดียมคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ และทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน โดยทำการศึกษาเป็นเวลา 168 วันและพบว่า ทองแดงและโครเมียมปนเปื้อนสู่ตัวกลางทุกชนิดด้วยอัตรา 8-12 ไมโครลิตรต่อมิลลิตรต่อวันใน 7 วันแรก และการปนเปื้อนลดลงเป็น 1-2 ไมโครลิตรต่อมิลลิตรต่อวันใน 70 วันถัดมา แล้วลดลงเป็น 1 ไมโครลิตรต่อมิลลิตรต่อวันในช่วงการทดลองที่เหลือ ส่วนการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 11-59 ไมโครลิตรต่อมิลลิตรต่อวันใน 28 วันแรก และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 155-356 ไมโครลิตรต่อมิลลิตรต่อวันใน 70 วันถัดมา แล้วจึงลดลงเป็น 21-39 ไมโครลิตรต่อมิลลิตรต่อวันในช่วงเวลาที่เหลือ และมีการปนเปื้อนในกรดฮิวมิกและกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 226-746 ไมโครลิตรต่อมิลลิตรต่อวันใน 7 วันแรก และลดลงเป็น 72-90 ไมโครลิตรต่อมิลลิตรต่อวันใน 70 วันถัดมา และลดลงเป็น 21-36 ไมโครลิตรต่อมิลลิตรต่อวันในช่วงเวลาที่เหลือ



สารบัญ

บทที่	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	3
1.5 บทนำเกี่ยวกับไม้ไผ่	4
1.6 บทนำเกี่ยวกับน้ำยารักษาเนื้อไม้ (Copper Chromated Arsenate, CCA)	10
1.7 บทนำเกี่ยวกับโลหะทองแดง (Copper)	11
1.8 บทนำเกี่ยวกับโครเมียม (Chromium)	11
1.9 บทนำเกี่ยวกับสารหนู (Arsenic)	14
1.10 มลภาวะทางสิ่งแวดล้อม	16
1.10.1 ฝนกรด	16
1.10.2 ดินเปรี้ยว	16
1.10.3 ดินเค็ม	16
1.10.4 ดิน	17
1.10.5 สภาวะเบส (โซเดียมไฮดรอกไซด์)	18
1.11 หลักการทั่วไปของอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)	18
1.12 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	23

2 การทดลอง

2.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	24
2.2 การเตรียมสารละลาย สารละลายมาตรฐาน สำหรับการวิเคราะห์โลหะทองแดง ด้วยเครื่องเฟรมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์	24
2.2.1 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1% v/v	24
2.2.2 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1% v/v	25
2.2.3 สารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	25
2.2.4 สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	25
2.2.5 สารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	25
2.2.6 สารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อลิตร	25
2.2.7 สารละลายมาตรฐานทองแดงสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน	25
2.2.8 สารละลายมาตรฐานโครเมียมสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน	26
2.2.9 สารละลายพาราดีม 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	26
2.2.10 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร	26
2.2.11 โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 % w/w	26
2.2.12 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร	26
2.2.13 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร	27
2.2.14 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร	27
2.2.15 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	27
2.3 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ สำหรับการวิเคราะห์ โลหะทองแดง โครเมียม และสารหนู	27
2.4 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียม และสารหนูจากไม้ไฟที่มีการรักษาเนื้อไม้สู่ตัวกลางชนิดต่างๆ	28
2.4.1 การเตรียมไม้ไฟทดลอง	28
2.4.2 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในสภาวะต่างๆ	28

3 ผลการทดลอง

3.1 กราฟมาตรฐานและขีดจำกัดการตรวจวัดของโลหะทองแดง โครเมียม และสารหนูด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์	30
---	----

3.2 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในสภาวะต่างๆ	30
3.2.1 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในน้ำ	30
3.2.2 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในกรด อิวมิก	32
3.2.3 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในโซเดียม คลอไรด์	36
3.2.4 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในกรด ไฮโดรคลอริก	36
3.2.5 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูใน โซเดียมไฮดรอกไซด์	38

4 สรุปผลการทดลอง	41
บรรณานุกรม	42
การเผยแพร่ผลงาน	45



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 คุณสมบัติของไม้ไผ่ที่สภาวะแตกต่างกัน	2
2.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ทองแดง โคโรเมียม และสารหนูด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอสซอร์ฟชัน	27
2.2 โปรแกรมการให้ความร้อนแก่ Graphite furnace atomizer สำหรับการวิเคราะห์โลหะสารหนูสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแกรไฟต์เฟอร์เนตอะตอมมิคแอสซอร์ฟชันสเปคโตรมิเตอร์	28
3.1 กราฟมาตรฐานและขีดจำกัดการตรวจวัดของโลหะทองแดง โคโรเมียม และสารหนูด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอสซอร์ฟชันสเปคโตรมิเตอร์	30



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 สารประกอบเชิงซ้อนของ Cd(PC) แล้วสะสมไว้ภายใน cytoplasm ของพืช	9
1.2 ลักษณะของ Hollow Cathode Lamps (HCL)	19
1.3 ลักษณะของสเปกตรัมและ Resonance lines	20
1.4 กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (Flame atomization process)	21
1.5 อุณหภูมิในขั้นตอนการให้ความร้อนของ graphite furnace absorption spectrophotometer	22
2.1 การแช่ไม้ไฟทดลองในสารตัวกลางชนิดต่างๆ	29
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่ในตัวกลางในระยะเวลา 168 วัน	31
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่ในตัวกลางในระยะเวลา 168 วัน	31
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่ในตัวกลางในระยะเวลา 168 วัน	31
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดฮิวมิกในระยะเวลา 168 วัน	32
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดฮิวมิกในระยะเวลา 168 วัน	33
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดฮิวมิกในระยะเวลา 168 วัน	33
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมคลอไรด์ในระยะเวลา 168 วัน	34
3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมคลอไรด์ในระยะเวลา 168 วัน	35
3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมคลอไรด์ในระยะเวลา 168 วัน	35
3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดไฮโดรคลอริกในระยะเวลา 168 วัน	36
3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดไฮโดรคลอริกในระยะเวลา 168 วัน	37
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดไฮโดรคลอริก	37

- ริกในระยะเวลา 168 วัน
- 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระยะเวลา 168 วัน 38
- 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระยะเวลา 168 วัน 39
- 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระยะเวลา 168 วัน 39



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันโครงการหลวงมีการส่งเสริมให้มีการนำไม้ไผ่มาใช้ทำโรงเรือนทางการเกษตร เพื่อลดการใช้จ่ายค่าแมลง เนื่องจากมีราคาถูก หาได้ง่ายและปลอดภัย ทั้งนี้เป็นไปตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวที่ต้องการให้เกษตรกรลดการใช้สารฆ่าแมลงด้วยการปลูกพืชกางมุ้งหรือการปลูกในโรงเรือน นอกจากนี้ไม้ไผ่ยังมีสมบัติทางด้านความแข็งแรง ความเหนียว การยืดหด ความโค้งงอ และการสปริงคืนตัว ทำให้ไม้ไผ่เป็นไม้ที่นำมาใช้ในการสร้างโรงเรือนทางการเกษตรได้ แต่ปัญหาที่พบ คือ อายุการใช้งานของไม้ไผ่ไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เนื่องจากโรงเรือนทางการเกษตรมีปริมาณความชื้นสูง จะเกิดปัญหาการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ มอด แมลงชนิดต่างๆ ทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้นการยืดอายุการใช้งานไม้ไผ่ด้วยการอัดน้ำยา Chromated copper arsenate (CCA) เข้าไปในไม้ไผ่จึงเป็นแนวทางที่ใช้ในปัจจุบัน ทั้งนี้ปัญหาที่พบในการใช้ CCA คือ CCA จะแทรกซึมไปทั่วเนื้อไม้ด้วย physical mechanism ดังนั้นการนำไม้ไผ่มาใช้จะเกิดการชะ (leaching) ของโลหะเหล่านั้นสู่สิ่งแวดล้อมได้ การปลูกพืชในโรงเรือนจากไม้ไผ่ชนิดนี้ทำให้พืชผลทางการเกษตรเกิดการปนเปื้อนโลหะเหล่านั้น ทำให้พืชที่ปลูกไม่ผ่านมาตรฐาน Global GAP และส่งผลกระทบต่อส่งออกพืชผลเหล่านั้น ดังนั้นจึงควรทำการทดลองเพื่อศึกษาการปนเปื้อนของโลหะทั้ง 3 ชนิดจากไม้ไผ่ที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA ในตัวกลางต่างๆ เช่น น้ำ น้ำเกลือ และ humic acid เป็นต้น เพื่อศึกษาอัตราการปนเปื้อนของโลหะเหล่านั้นในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันก่อนที่เกษตรกรนำเทคนิคนี้มาใช้ในการทำโรงเรือนทางการเกษตร ซึ่งอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่พืชผลทางการเกษตร ทำให้ก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่พืชผลทางการเกษตรและอายุของไม้ไผ่ที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA ไม่ได้ยาวนานอย่างที่ตั้งใจไว้ ซึ่งในโครงการนี้จึงต้องการศึกษาปริมาณของโครเมียม ทองแดง และสารหนูที่มาจากไม้ไผ่ที่มีการอัดน้ำยา CCA ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยติดตามปริมาณโลหะทั้ง 3 ชนิดที่เหลืออยู่ในไม้ไผ่และปริมาณที่มีการปนเปื้อนสู่ตัวกลางต่างๆกัน หลังจากนั้นจะมีการศึกษาและปรับปรุง ไม้ไผ่ในโครงการต่อไปเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่อาจมาจากการปนเปื้อนของโลหะทั้ง 3 ชนิดสู่สิ่งแวดล้อมด้วยการใช้ไม้ไผ่ที่ได้จากการปลูกในบริเวณที่มีโลหะปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากข้อมูลในการปลูกพืชล้มลุกในสภาวะที่มีการปนเปื้อนของโลหะ พบว่าโลหะหนักในพืชที่เติบโตในสภาวะเช่นนี้จะเกิดสารประกอบระหว่าง phytochelatin กับโลหะหนักแล้วมีความเสถียรในพืชมากขึ้น ซึ่งคาดว่า การปลูกไม้ไผ่ในสภาวะที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะหนักกับ phytochelatin ได้เช่นกัน ทำให้ได้ประโยชน์ถึง 2 ทาง คือ สามารถกำจัดโลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมและได้ไม้ไผ่ที่มี bio-inorganic compounds ที่มี

คุณสมบัติทนทานต่อเชื้อราและแมลงชนิดต่างๆเนื่องจากโลหะที่เข้าไปในไม้ไม่มีการสร้างพันธะกับ เซลลูโลสในไม้ไม่แบบ chemical-bonded mechanism ทำให้ไม้ไม่มีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นและไม่เกิดการปนเปื้อนของโลหะสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันใช้เทคนิคนี้ในการกำจัดโลหะหนักหรือมลพิษทางสิ่งแวดล้อม แต่นิยมใช้พืชขนาดเล็กที่สามารถกำจัดได้ง่ายหลังการใช้งาน ทำให้ต้องมีขั้นตอนการกำจัดพืชที่ใช้กำจัดสารมลพิษในดินต่อไป ในที่นี้จะแสดงการเปรียบเทียบสมบัติบางประการของไม้ไม่ 2 ชนิดดังตาราง 1.1

ตาราง 1.1 คุณสมบัติของไม้ไม่ที่สภาวะแตกต่างกัน

คุณสมบัติ	ไม้ไม่ผ่านการอัดน้ำยา CCA	ไม้ไม่จากการปลูกในสิ่งแวดล้อมที่มีโลหะปนเปื้อน
การยึดเกาะของโลหะ	Physical mechanism	Chemical-bonded mechanism
การปนเปื้อนของโลหะสู่สิ่งแวดล้อม	ได้ (คณะผู้วิจัยกำลังดำเนินการศึกษา พบว่าโลหะหนักที่ใช้ในการรักษาเนื้อไม้มีแนวโน้มปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม)	ไม่มีข้อมูล (มีเพียงแต่การใช้พืชขนาดเล็กในการทำ detoxification สำหรับ contaminated area)
ความคงทนของไม้ไม่	กำลังศึกษา	ศึกษาในงานวิจัยนี้

โดยไม้ไม่ที่ได้จากการอัดน้ำยา CCA มีสมบัติแตกต่างจากไม้ไม่ที่ได้จากการปลูกในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก โดยไม้ไม่ที่ได้จากการปลูกในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนจะมีความแข็งแรงและทนทานกว่าไม้ไม่ที่เติบโตทางธรรมชาติ นอกจากนี้โลหะหนักจากสิ่งแวดล้อมที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจะถูกดูดซับในไม้ไม่ด้วย chemical-bonding ทำให้มีการชะออกมาจากเนื้อไม้ได้ยากกว่าไม้ไม่อีกชนิดหนึ่งที่ได้จากการอัดน้ำยา CCA โดยงานวิจัยนี้จะเน้นศึกษาเรื่องอัตราการชะโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ สารหนู ทองแดง และโครเมียม จากไม้ไม่ที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA เพื่อตรวจสอบว่าโลหะหนักจากน้ำยา CCA มีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงไม่ควรใช้น้ำยา CCA มาใช้ในการรักษาเนื้อไม้ไม่สำหรับนำมาใช้สร้าง โรงเรือนการเกษตร สำหรับโครงการระยะต่อไปจะเป็นการทดลองปลูกไม้ไม่ในสภาวะที่มีโลหะหนักสูง แล้วทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของไม้ไม่ที่ได้ ได้แก่ ทดสอบการปนเปื้อนโลหะหนักออกมาสู่ตัวกลางชนิดต่างๆที่เป็นตัวแทนสภาวะแวดล้อมในแบบต่างๆกันและศึกษาความคงทนของไม้ไม่จากการปลูกในสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักด้วย เพื่อใช้ในการพิจารณาว่าไม้ไม่

ชนิดนี้ควรค่าแก่การนำมาใช้ในการสร้างโรงเรือนทางการเกษตร เพื่อทดแทนการใช้ไม้ไผ่ที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA ที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักสู่พืชผลทางการเกษตรได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาอัตราการปนเปื้อน (leaching) ของสารหนู (As) โครเมียม (Cr) และทองแดง (Cu) จากไม้ไผ่ที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA ในตัวกลางต่างๆ (ปีที่ 1)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. การเตรียมไม้ไผ่ด้วยการอัดน้ำยา CCA ด้วยความดันและไม้ไผ่ที่ไม่มีการอัดน้ำยา CCA (ไม้ไผ่ควบคุม1) (เตรียมโดยมูลนิธิโครงการหลวง)
2. การพัฒนาการเตรียมตัวอย่างไม้ไผ่สำหรับการวิเคราะห์สารหนู ด้วยเทคนิคแกรฟไฟท์เฟออร์เนทอะตอมมิกแอ็บซอร์ฟชันสเปกโทรสโคปี (GF-AAS) และการวิเคราะห์โครเมียมและทองแดงด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ฟชันสเปกโทรสโคปี (AAS) (ณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ม. นเรศวร)
3. การวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู โครเมียม และทองแดงที่เหลืออยู่ในไม้ไผ่หลังจากผ่านการทดสอบชะในตัวกลางต่างๆกัน และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะทั้ง 3 ชนิดที่ปนเปื้อนออกมาสู่ตัวกลางต่างๆด้วยเทคนิค AAS หรือ GF-AAS) โดยทำการเปรียบเทียบกับไม้ไผ่ควบคุม (ณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ม. นเรศวร)

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยจะเป็นการเปรียบเทียบสมบัติการปนเปื้อนของสารหนู โครเมียม และทองแดงจากไม้ไผ่สู่ตัวกลางต่างๆจากไม้ไผ่ที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA โดยเปรียบเทียบกับไม้ไผ่ควบคุมที่ไม่มีการอัดน้ำยา CCA โดยทำการทดลอง ดังนี้

1. ศึกษาการชะหรือการปนเปื้อนของโลหะทั้ง 3 ชนิดในตัวกลางต่างๆ ได้แก่ น้ำ น้ำเกลือ กรดฮิวมัส สารละลาย HCl และ NaOH เป็นต้น โดยเปรียบเทียบกับไม้ไผ่ควบคุม แล้ววิเคราะห์หาปริมาณสารหนู ด้วยเทคนิค GF-AAS และวิเคราะห์โครเมียม และทองแดงด้วยเทคนิค AAS
2. ศึกษาระยะเวลาในการชะโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดจากไม้ไผ่ที่มีการอัดน้ำยา CCA ในตัวกลางต่างๆกัน แล้ววิเคราะห์หาปริมาณสารหนู ด้วยเทคนิค GF-AAS และวิเคราะห์โครเมียม และทองแดงด้วยเทคนิค AAS

1.5 บทนำเกี่ยวกับไม้ไผ่

ไม้มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นไม้ที่มีการแตกกอขนาดใหญ่ และเป็นลำต้นสูงตรง ผอมเรียว ส่วนไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่นนั้น เป็นไม้ที่มีการแตกกอน้อย และมีลำต้นขนาดใหญ่¹

ไม้มีลำต้นใต้ดินเรียกว่าเหง้า (rhizome) ส่วนโคนของลำต้นเหนือดินจะใหญ่และค่อย ๆ เรียวไปยังส่วนปลายลำต้น หน่อใหม่จะเจริญออกมาจากตาข้างหรือตายอดของเหง้าที่อยู่ใต้ดิน ไม้แต่ละลำประกอบด้วยส่วนของปล้องลำต้นที่มีลักษณะเป็นท่อกวาง และส่วนข้อที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.5-20 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ขึ้นกับขนาดของหน่ออ่อนที่เจริญออกมาจากเหง้าใต้ดินอีกด้วย ปล้องที่อยู่บริเวณส่วนกลางของลำต้นมักมีความยาวมากกว่า ปล้องที่อยู่ตรงส่วนโคนหรือส่วนปลายของลำต้น และมีริ้วรอยของกาบใบที่หลุดร่วงไปจากบริเวณข้อของลำต้นด้วย ข้อของลำต้นไม้บางชนิดอาจมีลักษณะโป่งพอง และอาจพบรากพิเศษเจริญออกมาจากข้อของลำต้นที่อยู่ใกล้กับส่วนโคนของลำต้น

ใบของไม้ประกอบด้วยส่วนของแผ่นใบ(blade) กาบใบ(sheath proper) ลิ้นใบ(ligule) และเขี้ยวใบ(auricles) ซึ่งมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันตามชนิดของไม้ รวมทั้งสีสันของกาบใบที่หุ้มหน่ออ่อน รวมทั้งการมีหนาม ขนหรือความเป็นมันเงาของกาบใบก็แตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ด้วย

ไม้ออกดอกเป็นช่อซึ่งมีช่อดอกย่อยแบบ Spikelet ช่อดอกของไม้ถูกแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบ semelauctant ซึ่งมีการเรียงของช่อดอกย่อยออกมาจากทั้งสองด้านแกนกลางเป็นช่อดอกแบบช่อกระจະ (Raceme) หรือ (panicle) ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นช่อดอกแบบ iterauctant หรือ indeterminate ซึ่งมีช่อดอกแตกออกเป็นกระจุกเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ

ผลของไม้เป็นผลธัญพืช (caryopsis) เช่นเดียวกับพืชชนิดอื่น ๆ ซึ่งอยู่ในวงศ์หญ้า มีผนังผลเชื่อมติดกับส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดประกอบด้วย เอ็มบริโอ (embryo) เอนโดสเปิร์ม (endosperm) และใบเลี้ยง 1 ใบ เรียกว่า scutellum เมื่อเมล็ดงอกเป็นต้นกล้า จะมีรากปฐมภูมิซึ่งพัฒนามาจากรากแรกเกิด (radicle) ของเอ็มบริโอ ส่วนยอดอ่อน (plumule) จะเจริญเป็นลำต้นโผล่เหนือดิน โดยมีเนื้อเยื่อหุ้มยอดแรกเกิด (coleoptile) ห่อหุ้มปลายยอดของต้นกล้าออกมาด้วย

คุณสมบัติของไม้ไผ่ทางด้านกายภาพ สามารถจำแนกประเภทได้ดังต่อไปนี้

1. ความชื้นของไม้ไผ่ที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่มีค่าเฉลี่ย 50-99 % และไม้ไผ่ที่ยังอ่อนอยู่มีค่าเฉลี่ย 80-95 % ขณะที่ไม้ไผ่ซึ่งแห้งเต็มที่แล้วมีความชื้น 12-18 % ความชื้นของไม้ไผ่จะค่อย ๆ ลดลงจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายของลำต้น และจะลดลงเมื่อลำต้นมีอายุเพิ่มขึ้น และมีความชื้นสูงในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง

2. การหดตัวของเนื้อไม้ เกิดขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยว ไม้ไผ่ที่มีสีเขียวจะมีการสูญเสียน้ำ และมีการหดตัวของเซลล์ซึ่งมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไม้ไผ่ให้หดเล็กลงด้วย

คุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ สามารถจำแนกเป็นประเภทได้ดังต่อไปนี้

1. การโค้งงอ คุณสมบัติขึ้นกับชนิดของไม้ไผ่ และขนาดของลำไม้ หรือเนื้อไม้ที่ถูกผ่าแบ่งให้มีความหนาและบางแตกต่างกันไป

2. การยืดหยุ่น ขึ้นกับคุณสมบัติในการโค้งงอ และการทนต่อแรงกดบนเนื้อไม้

3. การทนทานต่อแรงกด แรงบีบ และแรงอัดต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อการรับน้ำหนักของวัสดุ คุณสมบัติทางเคมีของไม้ สามารถจำแนกเป็นประเภทได้ดังต่อไปนี้

1. องค์ประกอบหลักของเนื้อไม้ ได้แก่ เซลลูโลส(cellulose) เฮมิเซลลูโลส(hemicellulose) และลิกนิน(lignin) องค์ประกอบรองได้แก่สารจำพวก เรซิน(resins) แทนนิน(tannins) แวกซ์(waxes) และเกลืออนินทรีย์(inorganic salts)

2. อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเรียกรวมกันว่า โฮโลเซลลูโลส (holocellulose) เป็นองค์ประกอบ 61-71 % เพนโทแซน (pentosans) 16-21 % ลิกนิน(lignin) 20-30 % เถ้า 1-9 % ซิลิกา 0.5-4%

3. หน่ออ่อนของลำต้นที่นำมาบริโภคเป็นหน่อไม้ ในส่วนที่รับประทานได้หนัก 100 กรัม ประกอบด้วย น้ำ 89-93 กรัม โปรตีน 1.3-2.3 กรัม ไขมัน 0.3-0.4 กรัม คาร์โบไฮเดรต 4.2-6.1 กรัม เส้นใย 0.5-0.77 กรัม เถ้า 0.8-1.3 กรัม แคลเซียม 81-96 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 42-59 มิลลิกรัม เหล็ก 0.5-1.7 มิลลิกรัม วิตามินบี 10.07-0.14 มิลลิกรัม วิตามินซี 3.2-5.7 มิลลิกรัม กลูโคส 1.8-4.1 กรัม พลังงาน 118-197 จูล ไฮยาไนด์ 44-283 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การนำมาใช้ประโยชน์สามารถนำมาใช้ได้หลากหลายด้านตามความต้องการ ซึ่งไม้เป็นพืชที่มีการแพร่กระจายพันธุ์อยู่ทั่วไป ลำต้นแข็งแรงมีเนื้อไม้แข็ง เกลาให้เรียบได้ ยึดหยุ่น มีน้ำหนักเบา แข็งแต่ตัดให้โค้งงอได้ เนื้อไม้สามารถทำให้บางลงตัดทอนเป็นขนาดต่าง ๆ ได้ ทั้งความยาวและความหนา ให้เหมาะสมต่อลักษณะการใช้งานว่าเป็นงานที่ต้องรับน้ำหนักมาก หรืองานประดิษฐ์ตกแต่ง

ในปัจจุบันไม้เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีบทบาทสำคัญในตลาดโลกมาก โดยถูกนำมาใช้เป็นเยื่อกระดาษ ไม้ปาร์เก้ปูพื้น กระดานอัด และหน่อไม้กระป๋อง การนำไม้มาใช้ประโยชน์สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. ใช้ในงานก่อสร้าง

ไม้ที่มีลำต้นขนาดใหญ่เนื้อไม้หนา ปล้องสั้นมักถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างที่ต้องการความแข็งแรง คงทน และรับน้ำหนักมาก เช่น เสา ฝาผนัง หลังคา และพื้น มีการนำไม้มาใช้ก่อสร้างสะพาน และทำนั้งร้าน ใช้เป็นส่วนประกอบของบ้านแบบต่าง ๆ ของชนพื้นเมืองที่มีรูปแบบและรูปทรงแตกต่างกันไป ตามสภาพภูมิอากาศและวัฒนธรรม เช่น บ้านในจีน ไทย อินเดีย และแอฟริกา มีการปลูกสร้างบ้านจากไม้ที่มีรูปทรงแตกต่างกัน มีการใช้ไม้ทั้งลำในการก่อสร้างหรืออาจผ่าครึ่งหรือผ่าซีกให้เป็นขนาดต่าง ๆ กัน แล้วนำมาจักสานเป็นแผ่น

2. ใช้ผลิตกระดาษ

เป็นเวลาหลายศตวรรษมาแล้วที่ชาวจีนมีการประดิษฐ์กระดาษจากไม้ และชาวเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ก็ได้รับความรู้มาจากประเทศจีน ไม้ที่ใช้ทำกระดาษได้แก่ ไม้ป่า หรือไผ่หนาม (*Bambusa bambos* (L) Voss) ไผ่สีสุก(*Bambusa blumeana* J.A & J.H. Schultes) และไผ่ซาง (*Dendrocalamus strictus* (Roxb) Nees)

3. ใช้ทำเครื่องดนตรี

การนำไม้มาใช้ทำเครื่องดนตรีนั้น ถือเป็นศิลปวัฒนธรรมดั้งเดิมของชนชาติในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเครื่องดนตรีที่ใช้ไม้เป็นโครงสร้างหลัก หรือเป็นส่วนประกอบได้แก่ เครื่องตีหรือเครื่องเขย่า(idiophones) เช่น ลูกกระพรวน ลูกกระพรวน จากไม้ตองหรือไม้บง

(*Dendrocalamus asper*) อังกะลุง ขนาดต่าง ๆ จากไผ่ดำ (*Gigantochloa artroviolaceae*) และไผ่ชนิดอื่น ๆ ที่อยู่ในสกุลเดียวกัน คือ *G. atter* , *G. levis* , *G. pseudoarundinacea* และ *G. robusta* นอกจากนี้ไผ่ดำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นขนาดใหญ่ยังถูกนำมาใช้ประดิษฐ์เป็นกลองด้วย เครื่องเป่าลม (aerophones) ได้แก่ แตรที่ให้เสียงต่ำซึ่งประดิษฐ์จากไม้ไผ่มาเชื่อมต่อกัน แคนที่ทำขึ้นจากไผ่เฮียะหรือไผ่โป (*Schizostachyum*) ชุดุ่ยแบบต่างๆของเอเชียที่ประดิษฐ์จากไม้ไผ่ นอกจากนี้ยังมีเครื่องสาย (chordophones) ชนิดต่างๆที่ประดิษฐ์ขึ้นจากไม้ และมีไม้ไผ่เป็นส่วนประกอบ เช่น จะเข้ พิณ ซึง และซอ

4. งานศิลปหัตถกรรม

ในปัจจุบันงานศิลปหัตถกรรมถือเป็นงานอุตสาหกรรมในครัวเรือนที่เป็นที่นิยมชมชอบ และสามารถจำหน่ายได้มากขึ้น งานที่ประดิษฐ์จาก ไม้ไผ่ ได้แก่ เสื่อปูโต๊ะกันความร้อนจาก ขามบรรจุอาหาร กระเป่าถือ หมวก และเครื่องใช้ไม้สอยที่ใช้สำหรับทอผ้า

งานส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นจากไม้ไผ่ที่ถูกผ่าเป็นซีก หรือผ่าแล้วเหลาเกลาให้เป็นชิ้นบาง ๆ ก่อนนำมาประกอบเป็นโครงหรือจักสานเป็นลวดลายต่าง ๆ แต่งานบางอย่างอาจใช้ลำต้นและลำต้นใต้ดินทั้งหมดมาประดิษฐ์ตกแต่งแทน เช่น แจกัน ที่เขี่ยบุหรี่ กล้องบรรจุของขนาดต่าง ๆ ไม้ไผ่ที่ถูกนำมาใช้ในงานจักสานได้แก่ *Bambusa atra* , *Gigantochloa apus* , *G. scortechinii* , *Schizostachum latifolium* ซึ่งมีเส้นใยยาวและยืดหยุ่นได้ดี ส่วนการนำมาแกะสลัก ได้แก่ ไผ่งาช้าง *Bambusa vulgaris* ไผ่ตง *Dendrocalamus asper* และไผ่เกรียบ *Schizostachum brachycladum*

5. เครื่องเรือน

มีการนำไม้ไผ่มาทำเครื่องเรือนต่าง ๆ ภายในบ้านเรือน ได้แก่ ตู้ เตียง โต๊ะ เก้าอี้ ชั้นวางของ ต่าง ๆ ซึ่งนิยมใช้ไม้ไผ่ที่มีลำใหญ่ตรง แข็งแรง ได้แก่ ไม้ไผ่ในสกุล *Bambusa* สกุล *Dendrocalamus* และสกุล *Gigantochloa*

ไผ่เป็นพันธุ์ไม้ที่มีความทนทานสูง พบได้ทั่วไปในประเทศไทย เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วได้ทั้งในทุกสภาพอากาศ ไผ่เป็นไม้ที่มีคุณสมบัติประโยชน์มากมาย ทั้งทางด้านอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การใช้ในงานคอนกรีต การก่อสร้างที่อยู่อาศัย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทำเป็นเยื่อกระดาษ ยารักษาโรค เครื่องจักสาน อาหาร เป็นต้น^{2,3} ผนังของปล้องไผ่ประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวตามยาวเพียงอย่างเดียว ทำให้ไผ่มีความแข็งแรงมาก ไผ่ที่นิยมใช้ในการก่อสร้าง ได้แก่ ไผ่สีสุก ไผ่รวก ไผ่ป่า ไผ่หก เป็นต้น และเนื่องจากไผ่ผุง่ายและเสียหายง่าย ทำให้อายุการใช้งานสั้น เนื่องมาจากการทำลายของแมลงและเชื้อรา ทำให้มีวิธีการต่างๆในการถนอมเนื้อไม้ การอัดด้วยน้ำยา Chromated copper arsenate (CCA) เป็นวิธีที่รักษาเนื้อไม้ได้ดีที่สุด เนื่องจากน้ำยาสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ Lee et al. (2001) แสดงให้เห็นว่า น้ำยา CCA มีความสามารถในการแทรกซึมในเนื้อไม้ไผ่ได้น้อยกว่าไม้สน⁴ เนื่องมาจากผิวด้านนอกของไผ่มีลักษณะมันและแข็งแรง ทำให้การอัดน้ำยาต้องเจาะรูที่แต่ละปล้องไม้ไผ่ เพื่อให้ น้ำยาแทรกเข้าไปในเนื้อไม้ได้ดีขึ้น¹ นอกจากนี้ CCA ยังมีคุณสมบัติที่ทำให้ไม้ไผ่คงสภาพสีเขียวไว้ได้ด้วย^{5,6} ธาตุทั้ง 3

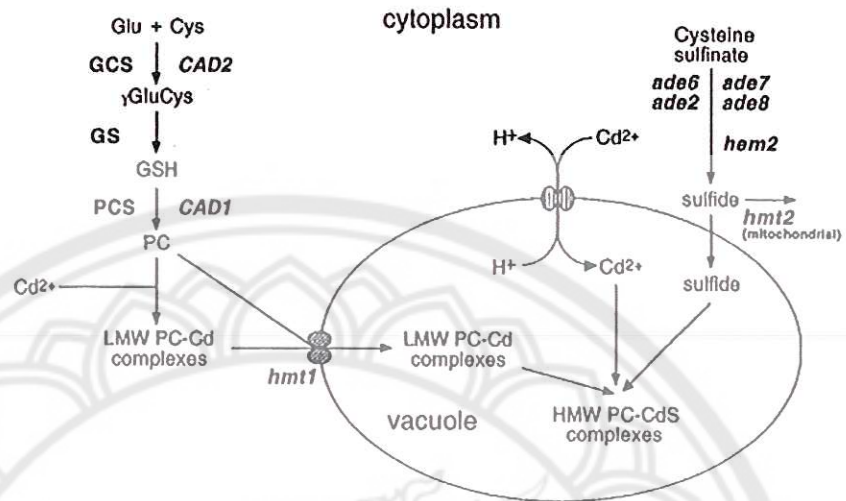
เกาะกับอยู่เนื้อไม้แบบไม่เสถียร เมื่อนำไปใช้งานจะทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น Lahiry (1998) ศึกษาการปนเปื้อนของ CCA สู้ตัวกลางโดยจุ่มไม้ไผ่ 3 ชนิดในบังคลาเทศที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA ในน้ำประปา พบว่า As, Cr และ Cu ปนเปื้อนในน้ำภายใน 7 วัน⁷ Shibata et al. (2007) พบว่าการปนเปื้อนของ Cr (0.008-0.470 mg/L) และ As (0.114-4.66 mg/L) ในดินรอบๆบริเวณที่ใช้ไม้สนที่ผ่านการอัดน้ำยา ในขณะที่ไม้ที่ไม่ได้อัดน้ำยาพบธาตุทั้งสองน้อยกว่า 0.002 mg/L⁸ นอกจากนี้ Hingston et. al (2001) ได้รวบรวมการศึกษาที่เกี่ยวกับการปนเปื้อนของ CCA สู้สิ่งแวดล้อม⁹ รวมทั้งแสดงอิทธิพลที่มีผลต่อการชะของ CCA (leaching rate) ออกจากไม้ขึ้นอยู่กับ pH ความเค็ม (salinity) วิธีการเคลือบน้ำยา (treating method) รวมถึงวิธีการศึกษาการชะ (leaching test) ในการสกัด CCA ออกมาจากเนื้อไม้ศึกษาโดย Townsend et al. (2004) และ Kakitani et al. (2004) ใช้ sulfuric acid, phosphoric acid, citric acid และ oxalic acid เป็นสารสกัด^{10,11} Janin et al. (2009) พบว่า 0.2N H₂SO₄ เป็นสารสกัดที่มีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิ 75 °C จากไม้หนัก 150 กรัม¹²

สำหรับการปลูกพืชในบริเวณที่มีการปนเปื้อนสามารถลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้ โดย S.K. Yadav (2010) แสดงว่า phytochelatins ในพืชจะจับกับ heavy metal ซึ่งทำให้ heavy metal สะสมในพืชได้ดีขึ้น ทำให้มลพิษทางสิ่งแวดล้อมลดลง¹³ Zabudowska et al. (2004) ศึกษาการใช้ phytochelatins (PC) จากพืชดูดซับสารหนูจากดินจากเหมืองที่มีการปนเปื้อน¹⁴ โดยสารหนูจะสะสมมากที่รากและหน่อของพืช และยังพบว่าชนิดของ PC ที่พบในพืชจะมีความแตกต่างกันสำหรับพืชที่ปลูกในดินหรือน้ำ Jedynek et al. (2010) ได้ทดลองปลูกพืชในสภาวะที่มีสารหนูหลายชนิด เช่น As(III), As(V), MMA(V), DMA(V) และพบว่าในสภาวะที่มี DMA(V) มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดแต่มีความเข้มข้นต่ำ สารหนูที่พบในพืชจะอยู่ในรูปสารหนูอนินทรีย์ (As(III) และ As(V)) เท่านั้น¹⁵ และได้ศึกษาการสะสมของชนิดของสารหนูใน Reed grass และ Lady Fern ซึ่งสกัดด้วย surfactant solution (SDS)¹⁶ จากบทความดังกล่าวจะเห็นได้ว่าพืชที่เติบโตในสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจะสะสมโลหะเหล่านั้น ทำให้ปริมาณโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมลดลง แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้พืชที่มีขนาดเล็ก เติบโตง่ายในการบำบัด ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดต่อไป แต่ถ้าใช้ไม้ไผ่ที่มีจุดมุ่งหมายแน่นอนว่าต้องการให้มีโลหะหนักสะสมอยู่ โดยเฉพาะสารหนูและโครเมียมสะสมอยู่ ดังนั้นการใช้ไม้ไผ่ในการบำบัดดินที่มีปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักจะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย

ไม้ไผ่เป็นไม้ที่มีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆคล้ายคลึงกับไม้สนและไม้ใบกว้าง เช่น ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นสารเมตริกซ์ที่อยู่ระหว่างโครงลิกนิน และมีแร่ธาตุและสารอนินทรีย์¹ ซึ่งมีการพบว่ามีสารหนู โครเมียม และทองแดงมีการสะสมในไม้ยืนต้น และเพื่อยืดอายุการใช้งานและการรักษาสีของไม้ไผ่ จึงทำให้มีการเคลือบน้ำยา Chromated copper

arsenate (CCA) เข้มข้น 2.5-5% โดยประมาณ^{2,3} ซึ่งน้ำยา CCA ประกอบด้วย CrO_3 ประมาณ 47.5%, CuO ประมาณ 18.5% และ As_2O_5 ประมาณ 34.0% โดยสะสมอยู่ในเนื้อไม้ในรูป CuCrO_4 , CrAsO_4 , Cu(OH)CrAsO_4 และ สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับลิแกนด์⁴ และเพื่อให้ น้ำยา CCA แทรกตัวไปในเนื้อไม้ได้มากขึ้น จึงต้องเจาะรูระหว่างปล้องไม้ไผ่ แล้วจึงอัดน้ำยาด้วยความดัน หลังจากนั้นก็ตากแห้งก่อนนำมาใช้¹ ซึ่งได้มีงานวิจัยพบว่าธาตุทั้ง 3 ธาตุจะถูกชะออกมาจากไม้ไผ่ได้ภายใน 7 วันและพบว่าโครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) และสารหนู (As) ถูกชะออกมาประมาณ 14.3-18.5%, 62.5-66.7% และ 14.3-18.5% ตามลำดับภายใน 15 วัน⁶ ในทำนองเดียวกันคณะวิจัยของ Shibata ก็พบว่าสารหนู (As) จะถูกชะออกมาจากไม้ที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA เท่ากับ 13% และ 1.4% ของโครเมียม (Cr) จะถูกชะออกมาจากไม้ในระยะเวลา 3 ปี⁷ นอกจากนี้ความสามารถในการชะของธาตุทั้ง 3 ธาตุจากไม้ยังขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อมด้วย⁸ ดังนั้นการนำไม้ไผ่ที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA มาใช้เป็นโรงเรือนทางการเกษตรอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนู (As) โครเมียม (Cr) และทองแดง (Cu) ในผลผลิตทางการเกษตรได้ เนื่องจากน้ำยา CCA แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อไม้เท่านั้น ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนู (As) โครเมียม (Cr) และทองแดง (Cu) ในตัวกลางต่างๆก่อนที่จะนำไม้ไผ่ดังกล่าวมาใช้ในโรงเรือนเกษตร นอกจากนี้สภาพสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันอาจมีผลต่อการชะสารหนู โครเมียมและทองแดงสู่สิ่งแวดล้อม เช่น ในสภาพที่มีเกลือสูง (ชายทะเล) ในดินที่มีซากพืชซากสัตว์มาก ในน้ำตามธรรมชาติ หรือในดินที่เป็นดินเค็มหรือดินเปรี้ยว เป็นต้น

ไม้ไผ่ที่ได้จากการปลูกในบริเวณที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก โดยเฉพาะสารหนู โครเมียม และทองแดง มีลักษณะที่แตกต่างจากไม้ไผ่ชนิดแรกที่ได้จากการอัดน้ำยา CCA เข้าไปด้วยความดัน เพราะว่าโลหะเหล่านี้จะมีการสร้างพันธะกับไม้ไผ่ ทำให้ถูกชะออกมาจากไม้ไผ่ได้ยากกว่าไม้ไผ่ชนิดแรก ตัวอย่างเช่น Yadav ได้รวบรวมบทความเกี่ยวกับการสะสมของโลหะหนัก ได้แก่ Cd, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb และ As ในพืช โดยโลหะหนักจะสร้างพันธะเชิงซ้อนกับ Phytochelatins (PC)⁹ ซึ่งเป็นสารที่ประกอบด้วย $\gamma\text{-Glu-Cys-Gly}$ โดยโลหะหนักสร้างพันธะกับ PC ตัวอย่างเช่น เมื่อพืชดูดซับ Cd ผ่านทางราก จะสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนของ Cd(PC) แล้วสะสมไว้ภายใน cytoplasm ของพืช ดังภาพ 1.1⁹



ภาพ 1.1 สารประกอบเชิงซ้อนของ Cd(PC) แล้วสะสมไว้ใน cytoplasm ของพืช

Raab et al. (2005) พบว่าสารหนูพบในส่วนต่างๆของพืชได้อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับ PC ได้หลายรูปแบบ เช่น $As^{III}-(PC)_2$, $MA^{III}-PC_2$, $As^{III}-PC_3$, $GS-As^{III}-PC_2$ เป็นต้น¹⁷ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงแค่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยา CCA ได้แก่ As, Cr และ Cu เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้ยา CCA ในการรักษาเนื้อไม้ โดยทองแดง (Cu) เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืช และมีบทบาทสำคัญต่อการดูดซับ CO_2 และการผลิต ATP นอกจากนี้ Cu ยังมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจด้วย ในขณะที่ Cr เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะ $Cr(VI)$ มีความเป็นพิษสูง เป็นสารก่อมะเร็ง โดย Cr จะมีผลต่อการเติบโตของพืช ทำให้ใบอ่อนของพืชเป็นสีเหลือง ยอดเหี่ยว และรากเสียหาย ส่วน As จะเข้าไปเกิดปฏิกิริยาแข่งขันกับฟอสเฟตในขบวนการผลิต ATP โดยมีคณะผู้วิจัยหลายคณะพบว่า การดูดซับ As โดยพืชจะทำให้ความเป็นพิษของ As ลดลง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงคาดว่า ไม้ไผ่ก็สามารถดูดซับ As, Cr และ Cu ได้เช่นกัน ซึ่งทำให้ได้ประโยชน์ถึง 2 ทาง คือ

1. สามารถลดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้
2. ไม้ไผ่ที่ได้มีความคงทนต่อเชื้อราและแมลงศัตรูพืชได้ โดยโลหะหนักที่อยู่ใน

เนื้อไม้มีความเสถียรเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างโรงเรือนเกษตร บ้านพักอาศัย เป็นต้น โดยไม่มีปัญหาการปนเปื้อนของโลหะเหล่านั้นต่อสิ่งแวดล้อม

โดยในที่นี้เป็นเพียงการจำลองการปลูกไม้เพื่อบำบัดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม การทดลองจึงทำการทดลองในระยะเวลาเพียง 1 ปีและทดสอบธาตุเพียง 3 ชนิดเท่านั้น ในขณะที่ไม้ไผ่ที่นำมาใช้ในการก่อสร้างมักมีอายุประมาณ 3 ปี ดังนั้นปริมาณโลหะหนักในเนื้อไม้ในงานวิจัยนี้จะมีค่าน้อยกว่าปรกติ แต่ก็ให้แนวความคิดว่าไม้ไผ่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดมลพิษทาง

สิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งควรทำการทดลองต่อไปในสภาพหน้ากับสถานที่ที่มีการปนเปื้อนจริง เช่น พื้นที่ในบริเวณอำเภอเมือง ห้างฉัตร และเกาะคาจังหวัดลำปาง¹⁸ อำเภอด่านช้าง และอุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นต้น¹⁹ เนื่องจาก PC สร้าง chemical bond กับโลหะได้หลายชนิด จึงนิยมใช้ในการ detoxification โลหะที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และเท่าที่คณะผู้วิจัยสำรวจข้อมูลก็ไม่พบข้อมูลการปนเปื้อนของ metal-PC กลับสู่สิ่งแวดล้อม

1.6 บทนำเกี่ยวกับน้ำยารักษาเนื้อไม้ (Copper Chromated Arsenate, CCA)²⁰

CCA (Copper Chromium Arsenic) เป็นน้ำยาที่นิยมใช้ในการป้องกันรักษาไม้ที่สดในทั่วโลก เนื่องจากคุณสมบัติที่ดี สามารถใช้งานกับเนื้อไม้หลายชนิด ซึ่งน้ำยาไม้ชนิด CCA ประกอบด้วย

1. โลหะทองแดง (Copper) ทำหน้าที่ป้องกันเชื้อราที่จะเกิดขึ้นกับไม้
2. โลหะโครเมียม (Chromium) ทำหน้าที่เก็บกักรักษาโลหะทองแดง
3. สารหนู (Arsenic) ทำหน้าที่ป้องกันภัยจากแมลงต่างๆ เช่น ปลวก มอด ฯลฯ

น้ำยา CCA เป็นน้ำยารักษาไม้ชนิดCCA เป็นน้ำยาที่มีความปลอดภัยสูงสำหรับคนและสัตว์ เมื่อใช้อย่างถูกวิธีแต่ก็เป็นอันตรายหากเกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีโลหะทองแดง โครเมียม สารหนูเป็นองค์ประกอบ ความปลอดภัยของไม้ที่ผ่านการอัดน้ำยายังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำยาที่อัดลงสู่ไม้ด้วย ถ้าน้ำยารักษาไม้ชนิด CCA มีความเข้มข้นมากขึ้น อันตรายจากโลหะที่เป็นองค์ประกอบก็จะมากขึ้นด้วย ซึ่งระดับความเข้มข้นของน้ำยารักษาไม้ชนิด CCA ที่ใช้กับงานไม้ประเภทต่างๆ เรียงจากความเข้มข้นน้อยไปหามาก ดังนี้

1. CCA H3 ใช้สำหรับงานไม้ที่ไม่ได้สัมผัสดินโดยตรง โดยมีคุณสมบัติต้องกันการผุพังต่างๆและการทำลายไม้จากแมลง เช่น ปลวก มอด โดยห้ามใช้กับชิ้นงานที่สัมผัสพื้นดินโดยตรง และสัมผัสน้ำตลอดเวลา
2. CCA H4 ใช้สำหรับงานไม้ที่สัมผัสพื้นดินโดยตรงโดยห้ามใช้สัมผัสน้ำตลอดเวลาหรือแช่น้ำเช่น การปักไม้ลงไปในดิน โดยมีคุณสมบัติต้องกันการผุพังต่างๆและการทำลายไม้จากแมลง เช่น ปลวก มอด
3. CCA H5 ใช้สำหรับงานไม้ที่ต้องแช่อยู่ในน้ำตลอดเวลาและยังใช้สำหรับงานที่สัมผัสดินโดยตรงได้ เพียง แต่มีข้อยกเว้นคือห้ามใช้สำหรับงานที่ต้องแช่ในน้ำทะเลโดยมีคุณสมบัติต้องกันการผุพังต่างๆและการทำลายไม้จากแมลง เช่น ปลวก มอด
4. CCA H6 ใช้สำหรับงานที่ต้องการไม้แช่ในน้ำทะเล เช่น ท่าเรือ โดยมีคุณสมบัติต้องกันการผุพังต่างๆและการทำลายไม้จากแมลง เช่น ปลวก มอด เพียง

1.7 บทนำเกี่ยวกับโลหะทองแดง (Copper)²¹

ทองแดงธาตุที่มีเลขอะตอม 29 และสัญลักษณ์คือ Cu ทองแดงอยู่ในตารางธาตุหมู่ 29 เป็นธาตุแรกของหมู่ IB จัดเป็นโลหะ และโลหะทรานสิชันมีน้ำหนักอะตอมเป็น 63.54 amu มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือด มีค่าเท่ากับ 1,085 °C ตามลำดับ มีความหนาแน่น ที่ 20°C เท่ากับ 8.96 ก./ซม.³ มีเลขออกซิเดชันสามัญเท่ากับ +1 และ +2 สมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี ทนต่อการผุกร่อน แข็งแรง ดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบางๆได้

มนุษย์ใช้ประโยชน์จากโลหะทองแดงมานับน้อยกว่า 10,000 ปี พบหลักฐานว่ามนุษย์สามารถหลอมสกัดโลหะทองแดงให้บริสุทธิ์ได้เมื่อประมาณ 5,000 ปี ก่อนคริสตกาล ทองแดงเป็นโลหะที่ใช้มากที่สุดในรูปของโลหะอิสระ เนื่องจากคุณสมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดีทนต่อการผุกร่อน แข็งแรง และสามารถดึงเป็นเส้นหรือตีเป็นแผ่นบางๆได้ นอกจากนี้ โลหะทองแดงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาอย่างยิ่งในพัฒนาอารยธรรมของมนุษย์ในสมัยโบราณ การนำไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน เช่น ใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้าต่างๆ อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมผลิตหม้อต้มน้ำ กาน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำ และขดลวดกาน้ำร้อน เป็นต้น

เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นไส้ อาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ กดระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน และดับทำหน้าที่ที่บกพร่องไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย ความเป็นพิษของทองแดงเกิดขึ้นเมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมาก ทำให้มีอาการอาเจียน การอักเสบในช่องท้อง และกล้ามเนื้อ ท้องเสีย และทำให้การทำงานของหัวใจผิดปกติ เป็นต้น ความเป็นพิษของทองแดงชนิดเรื้อรังจะมีผลต่อดับ เนื่องจากเป็นจุดแรกที่ทองแดงมีการตกตะกอนหลังจากเข้าสู่กระแสเลือด ดังนั้น ความเป็นพิษของทองแดงจึงมีผลอย่างมากต่อดับ และการทำลายของท่อปัสสาวะ ทำให้มีอาการโคม่า เซลล์ของดับตาย และตายในที่สุด

1.8 บทนำเกี่ยวกับโครเมียม (Chromium)²²

โครเมียมและสารประกอบโครเมียมเป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรม ต่าง ๆ เช่น การชุบโลหะ ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ผลิตเม็ดสี ชุบเครื่องประดับ การย้อมผ้า การฟอกหนังสัตว์ และอื่น ๆ โครเมียมและสารประกอบโครเมียมมีหลายกลุ่มโดยแบ่งตาม Valence ได้แก่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 6 ซึ่งกลุ่ม โครเมียมไตรวาเลน (Trivalent chromium) และโครเมียมเฮกซาวาเลน (Hexavalent chromium) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตหากมีปริมาณมากเกินไปจะก่อให้เกิดอันตรายต่อ

สุขภาพของคน สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในสิ่งแวดล้อม โครเมียมและสารประกอบโครเมียมสามารถแบ่งออกเป็น

1. Chromium metal และ alloy กลุ่มนี้จะรวมถึงเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) และ chromium containing-alloy โดยทั่วไปกลุ่มนี้จะมีความเป็นพิษต่อสุขภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น

2. Divalent chromium compound (Cr^{2+}) หรือ chromos compounds ได้แก่ chromos chloride (CrCl_2) และ chromos sulfate (CrSO_4) กลุ่มนี้จะมีความเป็นพิษน้อยต่อสุขภาพของคน

3. Trivalent chromium compound (Cr^{3+}) หรือ chromic compound เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายในขบวนการ glucose metabolism ส่วน compound อื่น ๆ ที่พบในกลุ่มนี้ ได้แก่ chromic oxide (Cr_2O_3), chromic sulfate ($\text{Cr}_2[\text{SO}_4]_3$), chromic chloride (CrCl_3), chromic potassium sulfate ($\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$) และ chromite ore (FeOCr_2O_3)

4. Hexavalent chromium compound (Cr^{6+}) ซึ่งแบ่งได้ เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มที่ละลายน้ำได้ (water-soluble hexavalent compounds) ได้แก่ chromic acid, anhydride of chromic acid, monochromate, dichromate of sodium, potassium, ammonium, cesium, rubidium และ lithium เป็นต้น และกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ (water-insoluble hexavalent compounds) ได้แก่ zinc chromate, calcium chromate, lead chromate, barium chromate, strontium chromate และ sintered chromium trioxide เป็นต้น

โครเมียมและสารประกอบ โครเมียมมีการดูดซึมและการแพร่กระจาย ดังนี้ โครเมียมไตรวาเลนท์เป็นสารที่ช่วยในกระบวนการเผาผลาญของน้ำตาลและไขมันในร่างกาย ช่วยรักษาสมดุลของน้ำตาลในร่างกายของผู้ป่วยเบาหวานผู้สูงอายุและเด็กที่ขาดสารอาหาร การขาดโครเมียมไตรวาเลนท์จะทำให้พิษของผู้ป่วยสารตะกั่วมีความรุนแรงสูงขึ้น โครเมียมและสารประกอบโครเมียมในร่างกายของแม่สามารถส่งต่อไปยังทารกในครรภ์ทางรก การสะสมโครเมียมในเนื้อเยื่อต่างๆจะมีปริมาณลดลงตามอายุที่สูงขึ้น ยกเว้นสะสมในปอดจะไม่ลดลงตามอายุ โครเมียมและสารประกอบโครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายหลายทาง ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของ Valence ความสามารถในการละลายน้ำขนาดของอนุภาค และอื่น ๆ

1. ทางหายใจ ร่างกายจะได้รับโครเมียมและสารประกอบโครเมียมจากการสูดดมทางระบบทางเดินหายใจ พบมากในคนงานที่ทำงานเกี่ยวกับสารโครเมียมและสารประกอบโครเมียม โครเมียมในรูปโครเมียมเฮกซวาเลนสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีกว่าโครเมียมไตรวาเลน

2. ทางการบริโภค ร่างกายจะได้รับโครเมียมและสารประกอบโครเมียมจากการบริโภคอาหารและน้ำดื่ม โครเมียมเฮกซวาเลนจะถูกดูดซึมจากระบบทางเดินอาหารได้ดีกว่าโครเมียม

ไตรวาเลนซ์ ถึง 3-5 เท่า ซึ่งเป็นผลจากการที่โครเมียมเฮกซาวาเลนสามารถซึมผ่าน cell membrane ได้ดี

3. ทางผิวหนัง ทั้งโครเมียมไตรวาเลน และโครเมียมเฮกซาวาเลนสามารถซึมผ่านผิวหนังได้น้อยมากยกเว้นกรณีผิวหนัง เป็นแผลจากการเผาไหม้ ทำให้สารประกอบโครเมียมบางชนิด เข้าสู่ร่างกายได้ เช่น potassium dichromate และ chromium chloride

โครเมียมและสารประกอบโครเมียมมีความเป็นพิษต่อสุขภาพ ดังนี้ เมื่อโครเมียมและสารประกอบโครเมียมเข้าสู่ร่างกายแล้วโครเมียมไตรวาเลนซ์จะรวมกับ transferrin ใน plasma และกระจายไปทั่วร่างกายมีเพียงส่วนน้อยที่เข้าไปในเม็ดเลือดแดง ส่วนโครเมียมเฮกซาวาเลนจะผ่านเข้าไปในเม็ดเลือดแดงอย่างรวดเร็วและจะรวมกับ b-chain ของhemoglobin และเปลี่ยนไปเป็น trivalent form ในเม็ดเลือด ทำให้การทำงานของเม็ดเลือดแดงผิดปกติโครเมียมเฮกซาวาเลนซึ่งมีความเป็นพิษสูงกว่าโครเมียมไตรวาเลนซ์มาก เนื่องจากโครเมียมเฮกซาวาเลนที่มีฤทธิ์เป็น oxidizing agent จึงกัดกร่อนเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้ โครเมียมเฮกซาวาเลนยังสามารถจับตัวกับโปรตีนและกรดนิวคลีอิก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ผิดปกติไป โครเมียมและสารประกอบโครเมียมจะถูกขับออกทางไตมีเพียงส่วนน้อยที่สะสมอยู่ในร่างกาย ผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพแข็งแรงและได้รับโครเมียมและสารประกอบโครเมียมจากอาหารปริมาณวันละ 30-100 ไมโครกรัม จะมีระดับความเข้มข้นของโครเมียมใน ปัสสาวะประมาณ 2-10 ไมโครกรัม/ลิตร และช่วงครึ่งชีวิต (half-life) ของโครเมียมเฮกซาวาเลนในปัสสาวะอยู่ระหว่าง 15-41 ชั่วโมง นอกจากนี้โครเมียมและสารประกอบโครเมียมยังถูกขับออกทางน้ำดี ประมาณร้อยละ 10 ของการขับออกทั้งหมด และมีปริมาณน้อยมากที่ขับออกทางนม เล็บและเหงื่อ

ความเป็นพิษของโครเมียมและสารประกอบโครเมียม สามารถแบ่งออกเป็น

1. ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน มักพบในกรณีได้รับ โดยการกินโครเมียมเฮกซาวาเลนซ์ เช่น chromic acid ทำให้เกิดการระคายเคือง ทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องเป็นอันตรายต่อกระเพาะอาหารและลำไส้ ไตวายเสียชีวิตได้ ปริมาณโครเมียมเฮกซาวาเลนซ์ที่ทำให้เสียชีวิตได้ในผู้ใหญ่ คือ 1-3 กรัม

2. ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง มักพบในคนงานที่ต้องทำงานสัมผัสกับโครเมียมและสารประกอบโครเมียมเป็นเวลานานๆ สามารถแบ่งออกเป็น

(2.1) เป็นพิษต่อผิวหนังและทางเดินหายใจ มักมีสาเหตุจากการสัมผัสโครเมียมเฮกซาวาเลนซ์เป็นระยะเวลาานาน ๆ ทำให้เกิดแผลเรื้อรังได้ โดยบริเวณที่สัมผัสมักได้แก่ มือ และ แขน ระบบทางเดินหายใจเกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุโพรงจมูก ตาแดง น้ำตาไหล น้ำมูกไหล คัดและแสบจมูก ในกรณีที่รุนแรง อาจเกิดแผลเรื้อรังในเยื่อจมูกจนเกิดผนังกันจมูกทะลุได้

(2.2) เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง (carcinogenicity) โดย หน่วยงาน The International Agency for Research on Cancer (IARC) และ US Toxicology Program จัดโครเมียมเฮกซาวาเลน เป็น human carcinogen เพราะมีความสามารถในการละลายน้ำที่ดี ในคนงานที่ทำงานสัมผัสกับโครเมียมเฮกซาวาเลนเป็น เวลามากกว่า30 ปี ขึ้นไป จะมีความเสี่ยงสูงในการเกิดโรคมะเร็งและพบว่าเป็นโรคมะเร็งปอดมากกว่าโรคมะเร็งชนิดอื่น

โครเมียมเฮกซาวาเลนซึ่งในสิ่งแวดล้อมมีความเป็นพิษตั้งแต่ปานกลางถึงสูงมาก โดยส่งผลกระทบต่อสัตว์ที่กินน้ำและอาหารที่มีโครเมียมและสารประกอบโครเมียมเข้าไปทำให้สัตว์ตายได้ ส่วนพืชที่ได้รับโครเมียมเฮกซาวาเลนจะเจริญเติบโตช้าลง โครเมียมเฮกซาวาเลนซึ่งมีความคงทนในธรรมชาติจึงเป็นไปได้ว่าจะสะสมในสัตว์น้ำได้

เนื่องจากโครเมียมมีความเป็นพิษทั้งต่อสัตว์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นกรมควบคุมมลพิษจึงกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล ปริมาณโครเมียมไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลิตร และโครเมียมเฮกซาวาเลนที่ซีไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลิตร⁶ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคเกณฑ์กำหนดสูงสุดของปริมาณโครเมียมเฮกซาวาเลน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร⁷ มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ปริมาณโครเมียมเฮกซาวาเลนไม่เกิน 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตร⁸ มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ปริมาณโครเมียมไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม⁹

1.9 บทนำเกี่ยวกับสารหนู (Arsenic)²³

สารหนู เป็นธาตุกึ่งโลหะ มีชื่อในภาษาอังกฤษว่า Arsenic เป็นธาตุอันดับที่ 33 ในตารางธาตุ สัญลักษณ์ As อยู่ในกลุ่มที่ 5 (ไนโตรเจน) ไม่ค่อยพบในธรรมชาติในลักษณะเป็นแร่บริสุทธิ์ ลักษณะเป็นของแข็ง มีสามอัญรูป คือ สารหนูสีเทา สารหนูสีดำและสารหนูสีเหลืองเป็นธาตุที่มีพิษอย่างร้ายแรง แต่มักพบในสถานะปนเปื้อนในซิลิเฟต เป็นสารกึ่งตัวนำ เป็นธาตุไอโซโทป (แฟรงซีได้ มีน้ำหนักอะตอม 65 และ 87) น้ำหนักอะตอมกลางที่ 74.9216 มีวาเลนซ์ 5, 3, 0 และ -3 เป็นของแข็ง ถ้าบริสุทธิ์จะมีสีเหลือง ดำ และเทา พบได้ทั่วไปในส่วนประกอบของดิน หิน ถ่านหิน ลาวา ภูเขาไฟ ทะเล แหล่งน้ำต่างๆและใต้พื้นดิน สารหนูพบได้ในสิ่งที่มีชีวิต พืช และสัตว์ ตลอดจนพบในธรรมชาติ ได้แก่ ในพื้นดิน ทะเล มหาสมุทรและแหล่งน้ำต่างๆสารหนูที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติมาจากการระเบิดของ ภูเขาไฟ การเผาถ่านหิน การถลุงแร่ การใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสารหนูนอกจากนี้สารหนอยังออกมาสู่บรรยากาศโลกจากอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีการใช้สารชนิดนี้ เช่น การอบไม้ การผลิตสี และการผลิตสารกำจัดศัตรูพืช สารหนูที่พบ มี 2 แบบ คือ สารหนูอินทรีย์ (Organic) และสารหนูอนินทรีย์ (Inorganic) สารหนูในรูปแบบที่เป็นพิษคือ สารหนูอนินทรีย์ จะมีพิษร้ายแรงกว่าสารหนูอินทรีย์ ส่วนใหญ่สารหนูอนินทรีย์จะพบในแหล่งโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารหนูและแหล่งที่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชตลอดจนในบริเวณถลุงแร่

หากสูดเอาฝุ่นละอองของสารหนูหรือก๊าซซึ่งมีส่วนประกอบของสารหนู มีการใช้สารหนูในทางอุตสาหกรรม เกษตรกรรมและการแพทย์ โดยเฉพาะใช้ในด้านเกษตรกรรมเป็นยาฆ่าแมลงและปราบศัตรูพืช โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สารหนูก็ได้แก่ โรงงานย้อมผ้า โรงงานทำสี ทำดอกไม้เพลิง โรงงานพิมพ์ดอกไม้ โรงงานผลิตแก้ว โรงงานผสมตะกั่วกับสารหนู เพื่อให้เนื้อตะกั่วแข็งขึ้น โรงงานทำผงซักฟอก ถ้าคนงานสูดหายใจเอาก๊าซซึ่งมีส่วนประกอบของสารหนูเข้าไปจะมีอาการดังนี้

1. อาการทางทางเดินหายใจ ทำให้ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อ เมื่อสูดหายใจเข้าไปบ่อยๆนานๆ ทำให้เยื่อปอดอักเสบ ติดต่อกันได้โดยไม่มีอาการเจ็บปวดแต่อย่างใด น้ำมูกแห้ง คอแห้ง เสียงแหบ เกิดมะเร็งที่ปอด
2. อาการทางผิวหนัง ฝุ่นปลิวถูกผิวหนังจะไปรวมอยู่ที่รอยพับที่ขึ้นและของผิวหนัง เช่น รอบๆ จมูก รอบๆ ปาก บริเวณรักแร้และขาหนีบ ทำให้เกิดระคายเคือง อักเสบบวมแดงเป็นตุ่มแข็งใส พองหรือผิวหนังแข็งด้าน หรือเป็นหูดซึ่งเป็นสาเหตุของมะเร็งที่ผิวหนังได้
3. อาการทางตา จะเกิดอาการตาแดง ตาอักเสบ เพราะถูกรบกวนจนกระทั่งเส้นโลหิตฝอยแตก
4. อาการทางระบบประสาท เนื่องจากสารหนูเข้าไปสู่ระบบการไหลเวียนของโลหิต ซึ่งจะมีผลต่อน้ำย่อยที่ช่วยในระบบเผาผลาญของร่างกาย ทำให้การทำงานเสียไป ปลายประสาทอักเสบแขนขาชาและเป็นอัมพาตในที่สุด
5. อาการทางสมอง ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อสมอง กระสับกระส่าย ความจำเสื่อม
6. อาการอื่น ๆ เช่น เกิดอาการทางตับ สารประกอบอนินทรีย์นี้สามารถที่จะทำลายตับได้ ในรายที่กินสารประกอบของสารหนูเข้าไปเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการตับแข็ง ตับอักเสบ

เมื่อได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายมากจึงเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ ทางกรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้กำหนดได้มีการกำหนดมาตรฐานของสารหนูในรูปของไอระเหยควั่น หรือฝุ่นไม่ควรเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่ออากาศลูกบาศก์เมตร หรือในรูปของก๊าซอาร์ซีนไม่ควรเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่ออากาศลูกบาศก์เมตร หรือ 0.05 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ น้ำดื่มในภาชนะปิดสนิทไม่ควรเกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำบาดาลที่ใช้บริโภคไม่ควรเกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.10 มลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

1.10.1 ฝนกรด^{24, 25}

เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อทั้งระบบนิเวศและสุขภาพมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เมื่อฝนตกลงมา มีสภาพเป็นกรด ทำให้สามารถกัดกร่อนสิ่งก่อสร้าง รวมทั้งทำให้ต้นไม้และพืชต่างๆ ล้มตาย น้ำฝนกรดไหลลงสู่ดินและแหล่งน้ำ มีผลกระทบต่อพืชและสิ่งมีชีวิตต่อการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศทั้งบนบกและในน้ำ

สารมลพิษหลักที่ทำให้เกิดภาวะฝนกรด คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่มีส่วนประกอบของกำมะถัน (ซัลเฟอร์) สูง เช่น โรงงานหรือโรงไฟฟ้าที่มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต โดยไม่มีเครื่องดักกำมะถัน ในขณะที่ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถยนต์เมื่อทั้งสองชนิดนี้ลอยขึ้นไปในอากาศจะรวมตัวกับไอน้ำกลายเป็นกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริก เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเป็นสารประกอบซัลเฟตและไนเตรตสะสมในอากาศ จนรวมกับน้ำฝน ตกลงสู่พื้นดินกลายเป็น “ฝนกรด”

ผลกระทบของฝนกรดต่อสิ่งแวดล้อม

- 1) สัตว์น้ำถูกทำลาย ทำให้เกิดการขาดของโซ่อาหาร
- 2) คุณภาพดินต่ำ ไม่สามารถปลูกพืชได้
- 3) ต้นไม้มีความต้านทานโรคต่ำลง
- 4) กัดกร่อนโลหะหนัก จนทำให้เกิดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำ
- 5) ทำลายอาคารและสิ่งก่อสร้างอื่นๆ

ฝนกรดเป็นสารละลายที่สภาพเป็นกรดอ่อน แต่มีความรุนแรงเพียงพอที่จะทำลายอาคารบ้านเรือน ทะเลสาบ ป่าไม้และพืชพรรณ โดยมี pH ประมาณ 4.0 ในที่นี้จึงเลือกสารละลายกรด HCl เป็นตัวแทนฝนกรด เนื่องจากเป็นการทดลองในช่วงสั้นๆ

1.10.2 ดินเปรี้ยว²⁶

ดินที่มีค่า pH วัดได้ต่ำกว่า 4.0 ดังนั้น ดินเปรี้ยวจัด จึงเป็นดินเปรี้ยวหรือดินกรดชนิดหนึ่ง แต่มีความหมายแตกต่างจากดินกรดโดยทั่ว ๆ ไป หรือดินกรดธรรมดา สาเหตุเกิดจาก ในบริเวณที่มีการสะสมของตะกอนจากน้ำทะเลหรือน้ำกร่อยเป็นระยะเวลานาน ซึ่งบริเวณนั้น ๆ จะมีน้ำท่วมขังและเกิดการสะสมของแร่ไพไรต์ในชั้นตะกอนดินมากขึ้น ต่อมาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางธรณีศาสตร์ของโลก จึงเกิดการถอยร่นของฝั่งทะเลทำให้ดินบริเวณนั้น น้ำท่วมไม่ถึง แร่ไพไรต์จึงเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศและน้ำเกิดเป็นเหล็กซัลเฟตและกรดกำมะถันปะปนอยู่ในดิน

1.10.3 ดินเค็ม²⁷

ดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในสารละลายดินมากเกินไปจนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลิตผลของพืช เนื่องจากทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ และมีการสะสมไอออนที่เป็นพิษในพืชมากเกินไปนอกจากนี้ยังทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช และได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลโดยตรง องค์ประกอบของเกลือในดินเค็มเกิดจากการรวมตัวของธาตุที่มีประจุบวก

พวกโซเดียม แมกนีเซียม แคลเซียม รวมทั้งธาตุที่ประจุลบ เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต ไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนต ดินเค็มที่เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในรูปของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) คล้ายคลึงกับดินเค็มชายทะเล แต่ดินเค็มชายทะเล มีแมกนีเซียมอยู่ในรูปคลอไรด์และซัลเฟตมากกว่า ส่วนชนิดของเกลือในดินเค็ม

นอกจากนี้สภาวะดินเค็มอาจมาจากดินในบริเวณชายฝั่งทะเล ซึ่งมีเกลือและแร่ธาตุหลายชนิดละลายปนอยู่ มีอยู่ในน้ำทะเลมากถึงร้อยละหกสิบ สาเหตุนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำทะเลมีรสเค็ม น้ำทะเลบางแห่งเค็มมาก เช่น น้ำกลางทะเลหลวง เป็นเพราะน้ำถูกแสงแดดเผาทำให้ระเหยเป็นไอไปเสียมาก บางแห่งเค็มน้อย เช่น น้ำทะเลแถวปากแม่น้ำ ซึ่งมีน้ำจืดจากแม่น้ำไหลลงมาปะปนอยู่ตลอดเวลา น้ำทะเลที่มีความเค็มต่ำมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำทะเลที่มีความเค็มสูง ดังนั้นน้ำจืดและน้ำจืดก็จะลอยอยู่เหนือน้ำทะเล เราจึง เห็นทะเลแถวปากแม่น้ำมีสีไม่เขียวจัดเหมือนสีของน้ำในทะเลหลวง นอกจากเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์แล้ว ยังมีเกลือที่เป็นปุ๋ยของพืช เช่น ไนเตรท ฟอสเฟต และ ซิลิเกต ซึ่งมีอยู่มากในน้ำทะเล สารเคมีสามชนิดนี้เป็นสารจำเป็นสำหรับพืชทะเลเพื่อการเจริญเติบโต ส่วนแร่ธาตุอื่นๆ กว่าร้อยละยี่สิบอยู่อย่างละเล็กละน้อยเท่านั้น ทะเลเป็นที่รวมของเกลือและแร่ธาตุทุกชนิดที่มีอยู่บนผืนแผ่นดิน เกลือและแร่ธาตุต่างๆ เหล่านี้มีแทรกปนอยู่ในหินหรือภายในภูเขา เมื่อถูกลมพายุพัดกระหน่ำก็แตกแยกผุพัง ไหลเลือนมารวมกันอยู่ในทะเล ก๊าซทุกชนิดในบรรยากาศของโลกมีละลายอยู่ในน้ำทะเลด้วยทั้งสิ้น ก๊าซออกซิเจนมีละลายอยู่เป็นปริมาณสูง และมีมากตามบริเวณพื้นผิวทะเล ออกซิเจนที่มากขึ้นนี้ ได้มาจากไฟโตแพลงตอนหรือแพลงตอนที่เป็พืชซึ่งล่องลอยอยู่ที่ผิวทะเล นอกจากนั้นเมื่อเกิดพายุพัดทำให้น้ำทะเลปั่นป่วน ก็จะทำให้ให้ออกซิเจนจากบรรยากาศละลายปนลงในน้ำทะเลมากยิ่งขึ้นอีกด้วย ในขณะที่เดียวกันน้ำก็จะระเหยจากทะเลเข้าไปในบรรยากาศแทนที่ออกซิเจนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซอีกชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ในน้ำทะเลยังมีอินทรีย์สารละลายปนอยู่ด้วย อินทรีย์สารเกิดจากสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเล เมื่อพืชและสัตว์ทะเลตายลง ซากของมันจะละลายปนอยู่ในน้ำทะเลหรืออาจจมลงสู่เบื้องล่าง แต่น้อยนักที่ซากเหล่านี้จะจมลงถึงก้นทะเล เพราะระหว่างทางจะถูกสัตว์ทะเลกินเป็นอาหารไปเสียก่อน อย่างไรก็ตาม เมื่อนานนับพันนับหมื่นปีเข้าก็จะมีซากของสิ่งมีชีวิตตกตะกอนอยู่ที่ก้นทะเลไม่น้อย

ในที่นี้จึงเลือกโซเดียมคลอไรด์เป็นตัวแทนของสภาวะที่เป็นดินเค็มและมีเกลือมาก

1.10.4 ดิน²⁸

ดินมีผู้ให้ความนิยามไว้หลายอย่างด้วยกันเช่น กรมพัฒนาที่ดินให้คำนิยามว่าดินหมายถึงวัตถุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการสลายตัวของหินและแร่ รวมทั้งสารอินทรีย์ ที่เกิดจากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์เป็นผิวชั้นบนที่หุ้มห่อโลก ซึ่งดินจะมีลักษณะและคุณสมบัติต่างกันไปในที่ต่างๆ ตามสภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ วัตถุดิบกำเนิด สิ่งมีชีวิต และระยะเวลาการสร้างตัวของดิน

ประโยชน์ของดินที่มีต่อมนุษย์ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ จะต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญคือ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค และที่อยู่อาศัย ปัจจัยเหล่านี้ต่างก็ได้มาจากดินทั้งทางตรง และทางอ้อม พืช ดินและพืชมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องซึ่งกันและกันอย่างเหนียวแน่นใน

การเจริญเติบโตของพืชอาศัยปัจจัยหลายอย่างดินเป็นปัจจัยที่สำคัญมากอย่างหนึ่งซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช สมบัติทางเคมีของดิน หมายถึง การแลกเปลี่ยนไอออน แรงดึงดูดแคพิลลารี ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดิน ซึ่งองค์ประกอบของดินนั้นมีอนุภาคดินและเนื้อดินสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์อนุภาคดินและเนื้อดินเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่ควบคุมคุณสมบัติอื่นๆของดินโดยพิจารณาจากสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคอนินทรีย์แต่ละขนาด สารอนินทรีย์ เป็นส่วนที่เกิดจาก แร่ธาตุและหินต่างๆ ที่สลายตัวไม่ว่าจะเป็นการสลายตัวทางเคมี ทางกายภาพหรือชีวภาพ การแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน(CEC) แสดงถึงความสามารถของดินในการดูดยึดและแลกเปลี่ยนไอออนบวก อนุภาคดินเหนียว เป็นอนินทรีย์สารที่มีรูปร่างแบนบางและมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด จะมีพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักมากที่สุด และอนุภาคเหล่านี้มีประจุลบ ซึ่งสามารถดูดยึดประจุบวกไว้ที่ผิวของมันได้เช่นเดียวกับกับ อิวมัส ซึ่งเป็นอินทรีย์สารที่มีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวมากเช่นกัน ก็สามารถดูดยึดประจุบวกได้เช่นเดียวกับกับอนุภาคดินเหนียว ประจุบวกเหล่านี้ดูดยึดที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวและอิวมัส ด้วยแรงที่เหนียวแน่นพอสมควร และทนทานต่อการชะล้างของน้ำ แต่ในขณะเดียวกัน ก็สามารถถูกไล่ให้ออกหรือหลุดโดยไอออนอีกชนิดหนึ่งที่เป็นอิสระอยู่ใน Soil Solution ได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การแลกเปลี่ยนไอออนบวก และไอออนบวกที่ดูดซับอยู่ที่พื้นที่ผิวของอนุภาคดิน หรืออิวมัส นี้เรียกว่า ไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนที่ได้ และปริมาณไอออนบวกทั้งหมดที่ดูดซับสามารถวัดได้โดยคิดจำนวนเป็น milliequivalent (mE) ต่อน้ำหนัก 100 กรัมของดินอบแห้ง เรียกคุณสมบัตินี้ว่า ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (Cation Exchange Capacity) หรือเรียกย่อๆว่า CEC ซึ่งส่วนใหญ่ เนื้อดินละเอียด มักมีค่า CEC มากกว่า ดินเนื้อ

1.10.5 สภาวะเบส (โซเดียมไฮดรอกไซด์)²⁹

โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซดาไฟ เป็นของแข็งลักษณะผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ระเหย ไม่ติดไฟ น้ำหนักโมเลกุล 40.01 เป็นเบสแก่ จุดหลอมเหลว 318 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 2.1 กรัม/ลบ.ซม ละลายน้ำได้ดีและเกิดความร้อนสูง และมีควันหรือละอองสาร เมื่อถูกความชื้นจะเย็นได้ง่าย สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมักอยู่ในรูปของแข็งเป็นเม็ด (pellets) ทางอุตสาหกรรมอาจอยู่ในรูปของเหลวละลายน้ำชนิดเข้มข้น เป็นแผ่นหรือเป็นแท่ง ทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลือของสาร และทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้สบู่ นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศได้ง่ายเกิดโซเดียมคาร์บอเนต สารนี้ได้จากการผ่านกระแสไฟฟ้าในน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งโซเดียมไอออนจะไปที่ขั้วบวก (Cathode) ซึ่งมีแผ่นแอสเบสตอสป้องกันคลอรีน แล้วทำปฏิกิริยากับน้ำปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ในอุตสาหกรรมผ้า พลาสติก สีย้อม ฟอกย้อม แร่ โลหะ ทำแม่พิมพ์ เป็นสารเคมีสำคัญ สำหรับผลิตสบู่ กระจกดาช โยสังเคราะห์ และใช้ในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนให้บำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดเพื่อให้เป็นกลาง และการล้างพื้นผิวต่างๆให้สะอาดโดยเฉพาะการล้างไขมันออก

1.11 หลักการทั่วไปของอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)³⁰

อะตอมมิคแอบซอร์พชันเป็นขบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานแตกต่าง

กัน ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้นต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไปซึ่งอาจอยู่ในรูปพลังงานแตกต่างกันไป เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะเกิดกระบวนการแตกตัว (Dissociation) หรือเปลี่ยนสารละลายให้เป็นไอ (Vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอมเสรี หรือทำให้อะตอมอยู่ในสภาวะกระตุ้นหรือกลายเป็นไอออนก็ได้ โดย องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง AAS มี 5 ส่วนด้วยกัน คือ

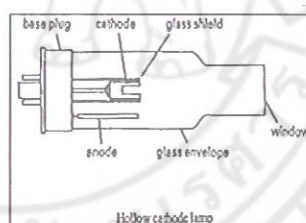
1. แหล่งกำเนิดแสง (Light source)
2. ส่วนที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรี (Atomizer)
3. โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) ซึ่งใช้แยกแสงให้มีความยาวคลื่นของแสงที่

ต้องการ

4. ดีเทคเตอร์ (Detector)
5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล (Data System and read-out units)

1. แหล่งกำเนิดแสง

เครื่อง AAS โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้จะเป็น Hollow Cathode Lamps (HCL) และ Electrodeless Discharge Lamps (EDL) ซึ่งใช้เฉพาะธาตุเท่านั้น ในงานวิจัยนี้จะใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็น Hollow Cathode Lamps (HCL) ซึ่งมีลักษณะดังภาพ 1.1

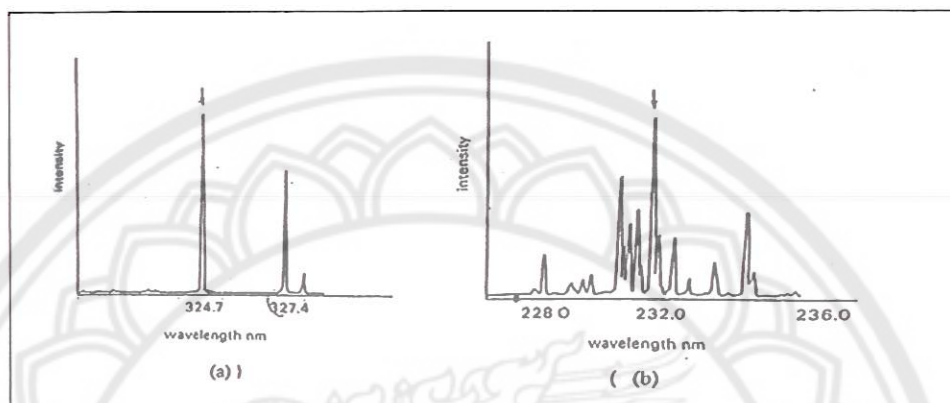


ภาพ 1.2 ลักษณะของ Hollow Cathode Lamps (HCL)

จากภาพ 1.1 ลักษณะของ HCL จะประกอบด้วยขั้วแคโทด ซึ่งเป็นโลหะทำเป็นรูปทรงกระบอกกลวงหรือรูปถ้วย แล้วฉาบด้วยโลหะหรือผงโลหะที่ต้องการให้ถูกกระตุ้น เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่มี Resonance lines ส่วนขั้วโลหะแอโนดทำด้วยนิกเกิลโลหะหรือทังสแตนหรือเซนเซอร์โครเมียมแท่งเล็ก ๆ ภายในหลอดแก้วบรรจุด้วยแก๊สนีออนหรืออาร์กอนที่ความดันประมาณ 4-10 torr ส่วนหน้าต่าง (window) ต้องทำด้วยควอร์ตหรือซิลิกา แต่ถ้าสเปกตรัมที่ได้อยู่ในช่วงยูวีก็อาจใช้แก้วไพเรทหรือควอร์ต แต่ที่สำคัญ window จะต้องสะอาดอยู่เสมอ

การเกิดสเปกตรัมของ HCL เกิดเมื่อใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าในช่วง 300-600 โวลต์ จะทำให้แก๊สเฉื่อยที่บรรจุอยู่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้ไอออนบวกแล้วไอออนบวกจะวิ่งเข้าไปชนธาตุที่ฉาบอยู่ที่แคโทดทำให้อะตอมของธาตุนั้น ๆ ถูกกระตุ้นและเปล่งแสงออกมาเป็น

สเปกตรัมเฉพาะซึ่งในสเปกตรัมนั้นจะมี Resonance lines อยู่ด้วย เช่น การเกิดสเปกตรัมเฉพาะของทองแดงจะมี Resonance lines ที่ความยาวคลื่น 324.7 nm และของนิกเกิลที่ความยาวคลื่น 232 nm ดังภาพ 1.2



ภาพ 1.3 ลักษณะของสเปกตรัมและ Resonance lines

(a) สเปกตรัมของทองแดง

(b) สเปกตรัมของนิกเกิล

2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี (The Atomization process หรือ Atomizer)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง AAS นั้นจะประสบความสำเร็จอย่างมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของอะตอมเสรี (free atom) ของธาตุที่ทำให้เกิดขึ้น แล้วเลือกความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมสำหรับวัดการดูดกลืนแสงผ่านเข้ามา ดังนั้นความสำคัญจึงอยู่ที่ทำอย่างไรจึงจะทำให้ธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์แตกตัวเป็นอะตอมเสรีได้มาก ๆ ที่สถานะพื้น วิธีการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มี 2 วิธี ดังนี้

กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรีด้วยเปลวไฟ (Flame Atomization)

ในกรณีที่ใช้ในกระบวนการ Atomization ด้วยเปลวไฟนั้นสารตัวอย่างจะต้องเป็นสารละลายที่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีการแขวนลอยอยู่ ตัวทำละลายจะเป็นน้ำหรืออินทรีย์ก็ได้โดยแบ่งขั้นตอนย่อยออกเป็น 5 ขั้นตอน (ดังภาพ 1.3) ดังนี้

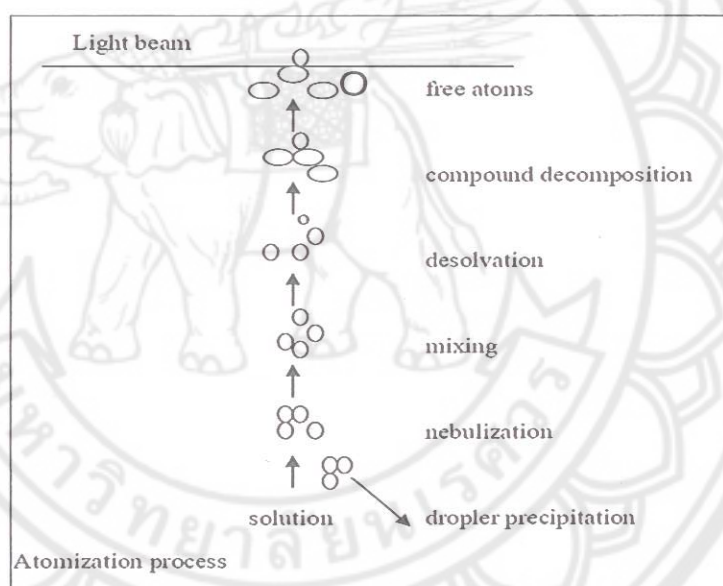
1. Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็ก ๆ (Mist) ด้วยเครื่องที่เรียกว่า Nebulizer

2. Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารรวมกันเป็นหยด ทำให้สารละลายมีขนาดใหญ่ไม่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกไปทางน้ำทิ้ง

3. Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel) และออกซิแดนซ์ (Oxidant) ใน spray chamber ของ Nebulizer

4. Desolvation เป็นกระบวนการที่ทำให้ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็กนั้นถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ของสารประกอบ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นบริเวณช่วงล่างของเปลวไฟ

5. Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นกับเปลวไฟ โดยที่ใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้สารเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมเสรี

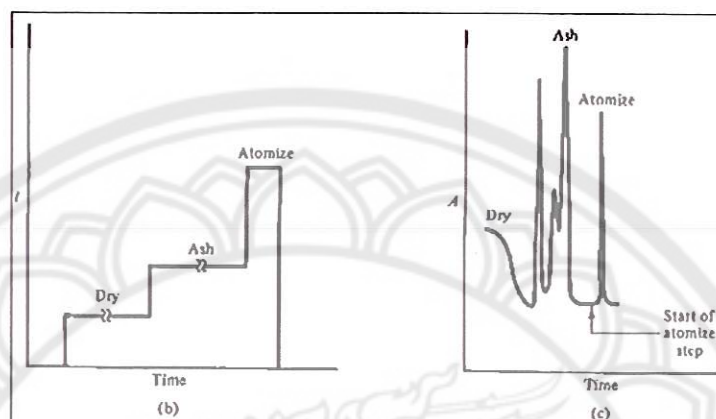


ภาพ 1.4 กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ
(Flame atomization process)

กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรีด้วยความร้อนจากไฟฟ้า (Graphite furnace atomization)

ใน AAS แบบแกรไฟต์ (GFAAS) แท่งแกรไฟต์ที่ให้ความร้อนเข้าไปจะทำหน้าที่เป็นหน่วยสร้างอะตอมที่วางตัวอยู่ในแนวการเคลื่อนที่ของรังสี โดยสารตัวอย่างจะถูกปิเปตเข้าไปในแท่งแกรไฟต์ ซึ่งจะทำให้สารแห้งโดยการให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า หลังจากขั้นตอนการให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงมาก แล้วตัวอย่างก็จะถูกทำให้แตกตัวเป็นอะตอม ซึ่งขั้นตอนในการทำให้ตัวอย่าง

แตกตัวเป็นอะตอมใน graphite furnace absorption spectrophotometer จะประกอบไปด้วย ขั้นตอนการให้ความร้อน 3 ขั้นตอนหลัก ดังภาพ 1.4



ภาพ 1.5 อุณหภูมิในขั้นตอนการให้ความร้อนของ graphite furnace absorption spectrophotometer

ขั้นตอนที่ 1 Dry step: ความร้อนของท่อแกรไฟต์ (Graphite tube) ที่ถูกให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าจะถ่ายเทให้แก่ตัวอย่างทำให้ตัวทำละลายระเหยหมด (solvent evaporation) อุณหภูมิในขั้นนี้ประมาณ 100°C

ขั้นตอนที่ 2 Ashing step: สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ระเหยได้จะรับความร้อนที่สูงขึ้นและสลายตัวอุณหภูมิในขั้นนี้ประมาณ 1200°C

ขั้นตอนที่ 3 Atomization step: เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากพอสารตัวอย่างจะแตกออกเป็นอะตอมในสภาพไออุณหภูมิในขั้นนี้ประมาณ 2400°C

3. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)

โมโนโครเมเตอร์มีหน้าที่หลักคือ ทำการแยกแสงให้ได้ช่วงความยาวคลื่นตามที่ต้องการไม่ต้องใช้โมโนโครเมเตอร์ที่มีกำลังการแยกสูงมากนักเพียงแค่ $0.002\text{-}2$ นาโนเมตรก็เพียงพอ

4. ดีเทคเตอร์ (Detector)

ดีเทคเตอร์ที่ใช้กันโดยมากคือ photomultiplier tube (PMT) ซึ่งประกอบด้วยไดโอดทำให้เกิดอิเล็กตรอนจำนวนมาก

1.12 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้คาดว่าจะการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดจากไม้ไผ่ที่มีการอัดน้ำยา CCA ว่ามีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมหรือไม่ สามารถสรุปได้ว่า เราสามารถใช้ไม้ยา CCA มาใช้ในการรักษาเนื้อไม้สำหรับการนำไปใช้สร้างโรงเรือนการเกษตรหรือไม่ การใช้ไม้ไผ่เพื่อการบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนจากโลหะหนัก โดยเฉพาะสารหนูและโครเมียม สามารถนำแนวความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหาดินที่มีการปนเปื้อนได้จริง รวมทั้งสามารถนำไม้ไผ่ที่ได้จากการบำบัดดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เนื่องโลหะหนักที่ถูกดูดซับด้วยไม้ไผ่จะมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น เนื่องจากไม้ไผ่ชนิดนี้ทนทานต่อแมลงและเชื้อรา และไม่ทำให้สิ่งแวดล้อมที่นำไม้ไปใช้เกิดมลพิษ รวมทั้งจะมีการตีพิมพ์ผลงานวิจัยได้ในวารสารระดับชาติ หรือแสดงผลงานในงานประชุมวิชาการ เพื่อเผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่วงการวิชาการ นอกจากนี้มูลนิธิโครงการหลวงสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปขยายผล แล้วนำไปใช้บำบัดมลพิษในชุมชนที่มีปัญหามลพิษได้ทั่วประเทศ



บทที่ 2 การทดลอง

2.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้เป็นสารเคมีเกรด Analytical grade

สารเคมี	บริษัท
1. สารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1000 mg/L	Merck, Germany
2. สารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 1000 mg/L	Merck, Germany
3. สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1000 mg/L	Merck, Germany
4. Hydrochloric acid 37%	RCL labscan, Thailand
5. Sodium hydroxide 97%	Merck, Germany
6. Sodium chloride 99	RCL labscan, Thailand
7. HNO ₃ (69%)	Merck, Germany
8. Hydrogen peroxide (30%)	Merck, Germany
9. Humic acid, Technical grade	Sigma-Aldrich, USA

เครื่องมือ

1. เครื่องอะตอมมิกแอสซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น AAnalyst 200PerkinElmer, USA	
2. เครื่องอะตอมมิกแอสซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น 220Z	Varian, Australia
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น ED224S	Sartorius, Germany
4. เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน	Elga, UK
5. เครื่องเหวี่ยงตะกอน รุ่น Z 206 A	Hermle, Germany

2.2 การเตรียมสารละลาย สารละลายมาตรฐาน สำหรับการวิเคราะห์โลหะทองแดง ด้วยเครื่อง เฟรมอะตอมมิกแอสซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์

2.2.1 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1% v/v

ปิเปตสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (65%w/w) ปริมาตร 5 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์
ที่มีน้ำปราศจากไอออน จำนวน 455 มิลลิลิตร แล้วเก็บในขวดพลาสติกที่

15938747

2.2.2 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1% v/v

ปิเปตสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (65%w/w) ปริมาตร 100 ไมโครลิตรใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำปราศจากไอออน จำนวน 100 มิลลิลิตร แล้วเก็บในขวดพลาสติก

2.2.3 สารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริก เข้มข้น 1% v/v เก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

2.2.4 สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริก เข้มข้น 1% v/v เก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2.5 สารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริก เข้มข้น 1% v/v เก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2.6 สารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 ไมโครลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริก 0.1%v/v แล้วเก็บในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2.7 สารละลายมาตรฐานทองแดงสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดง สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานเข้มข้น 0.1, 1.0, 5.0, 10.0, 15.0 และ 20.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยที่ความเข้มข้น 0.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตสารละลายเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ส่วนความเข้มข้น 1.0, 5.0, 10.0, 15.0 และ 20.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตจากสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10, 50, 100, 150 และ 200 ไมโครลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตร

เป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1% v/v เก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2.8 สารละลายมาตรฐานโครเมียมสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 0.1, 1.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, และ 30.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 0.1 และ 1.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 และ 1000 ไมโครลิตร ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้น 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, และ 30.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 ไมโครลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1% v/v เป็น 10 มิลลิลิตร

2.2.9 สารละลายพาราดีม 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตสารละลายพาราดีมเข้มข้น 10 ± 0.2 กรัมต่อลิตร จำนวน 500 ไมโครลิตร และปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตรด้วยกรดไนตริก 0.1%v/v เก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2.10 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร

ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% w/w ด้วยกระบอกตวงปริมาตร 41 มิลลิลิตร เทลงในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 500 มิลลิลิตรอย่างช้า ๆ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตรเก็บไว้ในขวดแก้ว

2.2.11 โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 % w/w

ชั่งโซเดียมคลอไรด์มา 35 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรเก็บไว้ในขวดพลาสติกโพลีโพรพิลีนเก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2.12 โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.1237 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรไว้ในขวดพลาสติกโพลีโพรพิลีน

2.2.13 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4124 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน และปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ไว้ในหลอดเซ็นตริฟิวก์ ขนาด 15 มิลลิลิตร

2.2.14 กรดฮิวมิกเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งฮิวมิก 0.5 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน 500 มิลลิลิตร และหยด 1 M NaOH (เพียงเล็กน้อย) เพื่อละลายฮิวมิก แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออนใส่ในขวดพลาสติกโพลีโพรพิลีนเก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2.15 กรดฮิวมิกเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ดวงสารละลายกรดฮิวมิกเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออนใส่ในขวดพลาสติกโพลีโพรพิลีนเก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.3 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ สำหรับการวิเคราะห์โลหะทองแดง โครเมียม และสารหนู (ดังตาราง 2.1)

ตาราง 2.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ทองแดง โครเมียม และสารหนูด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์พชัน

	Copper	Chromium	Arsenic
Types	Flame	Flame	Electrothermal
Wavelength	324.75 nm	357.87 nm	193.7 nm
Lamp current	7.0 mA	7.0 mA	10.0 mA
Slit width	0.2 nm	0.5 nm	0.2 nm
Background correction	BC On	BC On	BC On
Fuel type	Air/Acetylene	Air/Acetylene	Argon
Air flow	3.50 L/min	3.50 L/min	-
Acetylene flow	1.50 L/min	1.50 L/min	-
Type of the Flame	Oxidizing flame	Reducing flame	-

โดยมีโปรแกรมการควบคุมอุณหภูมิสำหรับการวิเคราะห์สารหนู ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 โปรแกรมการให้ความร้อนแก่ Graphite furnace atomizer สำหรับการวิเคราะห์โลหะ สารหนูสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องแกรไฟต์เฟอร์เนตอะตอมมิคแอพซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์

ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (sec)	อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง (L/min)	การอ่านค่า
1	85	5.0	0.3	No
2	98	40.0	0.3	No
3	120	10.0	0.3	No
4	1400	5.0	0.3	No
5	1400	1.0	0.3	No
6	1400	2.0	0.0	No
7	2600	0.6	0.0	Yes
8	2600	2.0	0.0	Yes
9	2600	2.0	3.0	No

2.4 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โคโรเนียม และสารหนูจากไม้ไผ่ที่มีการรักษาเนื้อไม้สู่ตัวกลางชนิดต่างๆ

2.4.1 การเตรียมไม้ไผ่ทดลอง

โดยแบ่งไม้ไผ่ทดลองจากโครงการหลวงดอยอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีความยาวประมาณ 50 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 เซนติเมตร เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. ไม้ไผ่ Control คือ ไม้ไผ่จากธรรมชาติไม่มีการเคลือบสารใดๆ
2. ไม้ไผ่ CCA คือ ไม้ไผ่ที่ถูกอัดด้วยน้ำยารักษาเนื้อไม้ชนิด CCA ซึ่งทำการเคลือบ

น้ำยา Chromated copper arsenate (CCA) เข้มข้น 2.5-5% โดยประมาณ^{2,3} และเพื่อให้ น้ำยา CCA แทรกตัวไปในเนื้อไม้ได้มากขึ้น จึงต้องเจาะรูระหว่างปล้องไม้ไผ่ แล้วจึงอัดน้ำยาด้วยความดัน 180 lb/in² เป็นเวลา 90 นาที หลังจากนั้นก็อบแห้ง

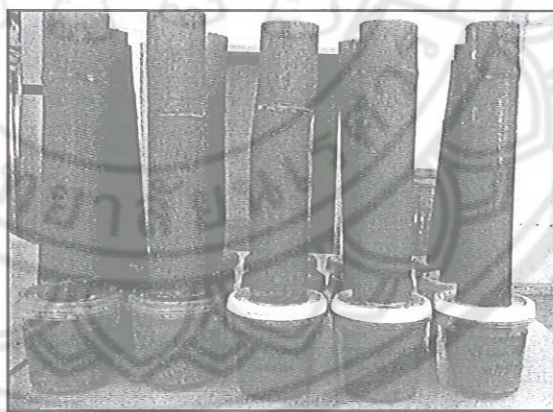
ก่อนการทดลองนำไม้ไผ่ทั้งสองกลุ่มมาทำการล้างด้วยน้ำกลั่น เพื่อชะล้างน้ำยา CCA และสิ่งสกปรกที่ผิวด้านนอก แล้วทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C จนแห้ง

2.4.2 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โคโรเนียมและสารหนูในสภาวะต่างๆ

โดยแบ่งสภาวะในการทดลองเป็น (1) สภาวะทั่วไป (น้ำ) (2) ดิน (กรดฮิวมิค) (3) สภาวะที่มีเกลือสูง (โซเดียมคลอไรด์) (4) สภาวะที่เป็นกรด (กรดไฮโดรคลอริก) และ (5) สภาวะที่เป็นเบส (โซเดียมไฮดรอกไซด์)

นำไม้ไผ่ทดลองที่เตรียมจากข้อ 2.4.1 ใส่ในภาชนะพลาสติกที่เจาะฝาที่มีขนาดพอดีกับลำไม้ไผ่ เติมน้ำละลายตัวกลางทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ น้ำ กรดฮิวมิก โซเดียมคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 400 มิลลิลิตรลงไป แล้วให้ทำสัญลักษณ์แสดงระดับปริมาตรตัวกลางที่เติม โดยทำการแช่ไม้ไผ่ทั้งสองชนิดในตัวกลางแต่ละชนิด จำนวน 3 ชุด ทำซ้ำแบบเดียวในไม้ไผ่ control ดังแสดงในภาพ 2.1 แล้วทำการเก็บสารตัวกลางที่ผ่านการแช่ไม้ไผ่จำนวน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน โดยเก็บสารตัวอย่างจำนวน 50 มิลลิลิตรใส่ในหลอดพลาสติก แล้วเก็บไว้ที่ 4 °C ก่อนนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ Cu, Cr และ As หลังจากนั้นเติมน้ำในตัวกลางที่เก็บออกไปให้มีปริมาตรเท่าเดิม

สำหรับสารตัวกลางที่เก็บในหลอดพลาสติกให้นำมาปรับ pH ให้เป็นกลาง แล้วทำการเหวี่ยงด้วยความเร็ว 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำสารละลายส่วนใสไปตรวจวัดหาปริมาณ Cu และ Cr ด้วยเครื่องเฟรมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ และหาปริมาณสารหนูด้วยเครื่องแกรไฟต์เฟอร์เนตอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ โดยทำการเจือจางด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1% w/v เมื่อจำเป็น หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วัน)และอัตราการปนเปื้อนของโลหะทั้งสามชนิดจากไม้ไผ่สู่ตัวกลางต่างๆ



ภาพ 2.1 การแช่ไม้ไผ่ทดลองในสารตัวกลางชนิดต่างๆ

บทที่ 3 ผลการทดลอง

3.1 กราฟมาตรฐานและขีดจำกัดการตรวจวัดของโลหะทองแดง โครเมียม และสารหนูด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอสซอร์ฟชันสเปกโทรมิเตอร์

เมื่อนำสารมาตรฐานโลหะทองแดง โครเมียม และสารหนูมาสร้างกราฟมาตรฐานและคำนวณหาขีดจำกัดการตรวจวัดได้ผลการทดลอง ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 กราฟมาตรฐานและขีดจำกัดการตรวจวัดของโลหะทองแดง โครเมียม และสารหนูด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอสซอร์ฟชันสเปกโทรมิเตอร์

	ธาตุ	หน่วย ความ เข้มข้น	ช่วงความ เป็น เส้นตรง	สมการเส้นตรง	ขีดจำกัดการ ตรวจวัด
1	Cu	µg/mL	0.1 - 7.0	$y = 0.1465x, R^2 = 0.9932$	0.004
2	Cr	µg/mL	0.1 - 13.0	$y = 0.035x, R^2 = 0.9904$	0.03
3	As	ng/mL	10 - 100	$y = 0.0017x, R^2 = 0.9926$	7.2

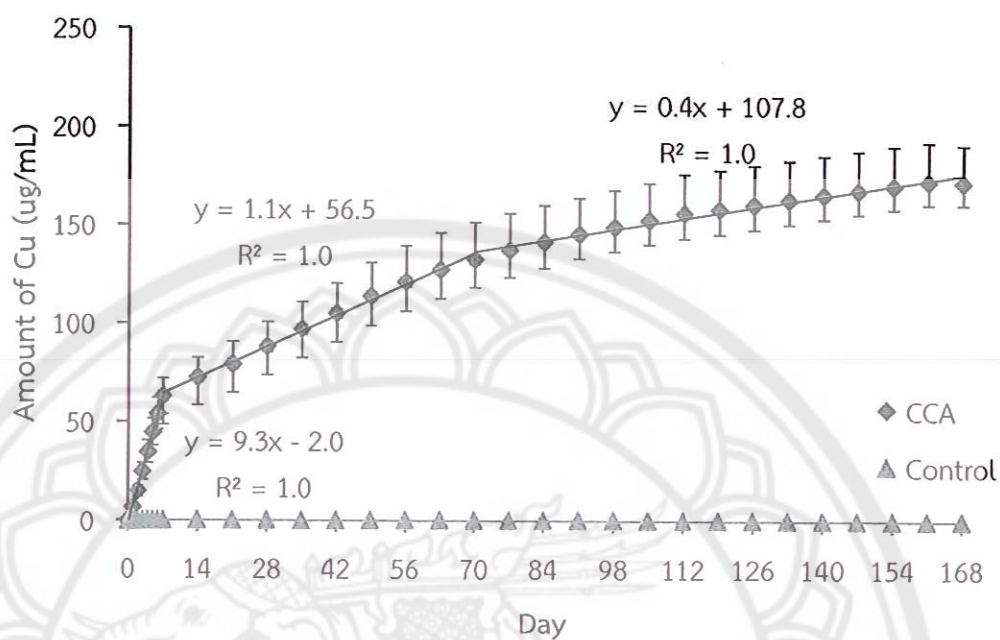
จากตาราง 3.1 พบว่าเทคนิคอะตอมมิกแอสซอร์ฟชันสามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณ Cu และ Cr ได้ในระดับ µg/mL ในขณะที่วิเคราะห์หาปริมาณสารหนูด้วยแกรฟิท์เฟอร์เนทได้ในระดับ ng/mL

3.2 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในสภาวะต่างๆ

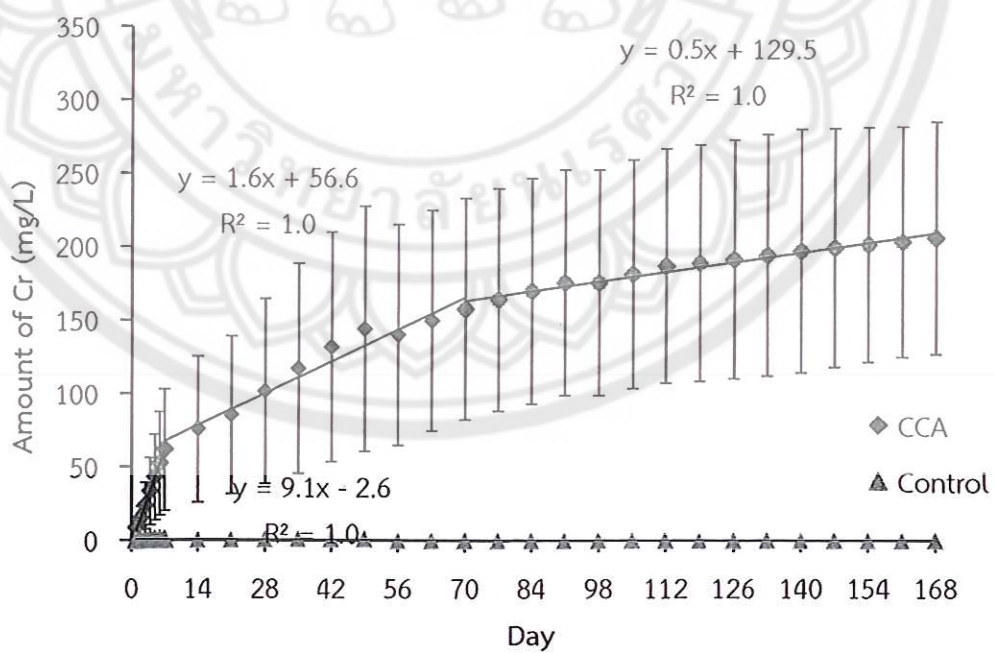
3.2.1 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในน้ำ

เมื่อนำน้ำที่ผ่านการแช่ไม้ไผ่ที่ผ่านและไม่ผ่านการอัดน้ำยา CCA เป็นเวลา 168 วัน มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะทองแดง โครเมียม และสารหนูได้ผลการทดลอง ดังภาพ 3.1-3.3

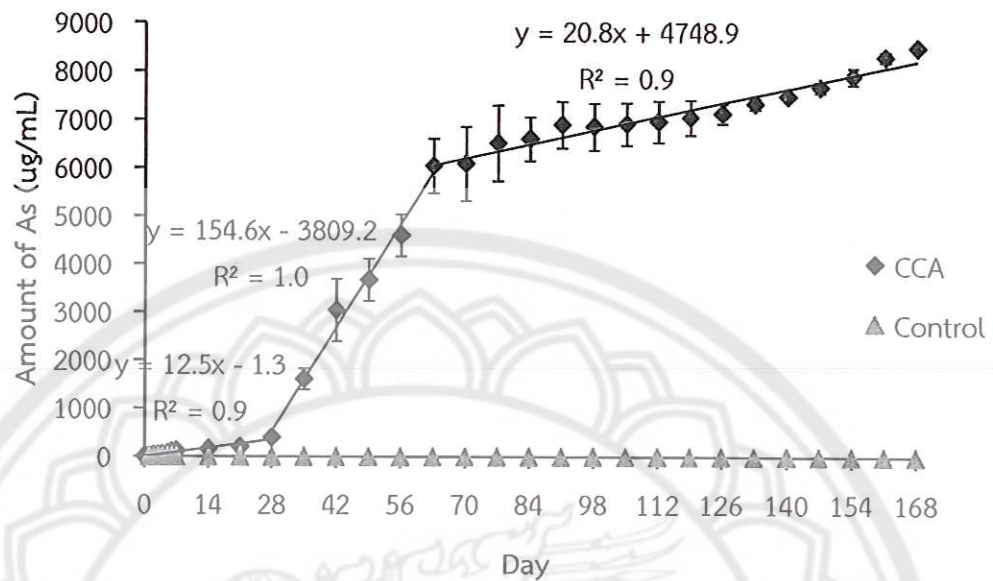
จากภาพ 3.1- 3.3 พบว่า โลหะทั้งสามชนิดมีการปนเปื้อนสู่น้ำในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยทองแดงและโครเมียมมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน คือ มีการชะของโลหะทั้งสองชนิดสู่ตัวกลางน้ำอย่างรวดเร็วใน 7 วันแรกด้วยอัตรา 9 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวัน และลดลงเป็น 1.2-1.7 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวันใน 70 วันถัดมา และลดลงเป็น 0.4-0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวันหลังจาก 70 วัน ส่วนสารหนูมีการปนเปื้อนแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนเช่นเดียวกัน แต่จะปนเปื้อนในช่วง 28 วันแรกด้วยอัตรา 12.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวัน และเพิ่มขึ้นเป็น 154.6 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวันใน 68 วันต่อมาและหลังจากนั้นลดลงเป็น 20.8 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวัน เนื่องจากโลหะทองแดงและโครเมียมที่ทำหน้าที่ตรึงสารหนูในน้ำยา CCA ถูกชะออกมา จึงทำให้สารหนูมีการปนเปื้อนมากขึ้นหลังจาก 28 วัน



ภาพ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่น้ำตัวกลางในระยะเวลา 168 วัน



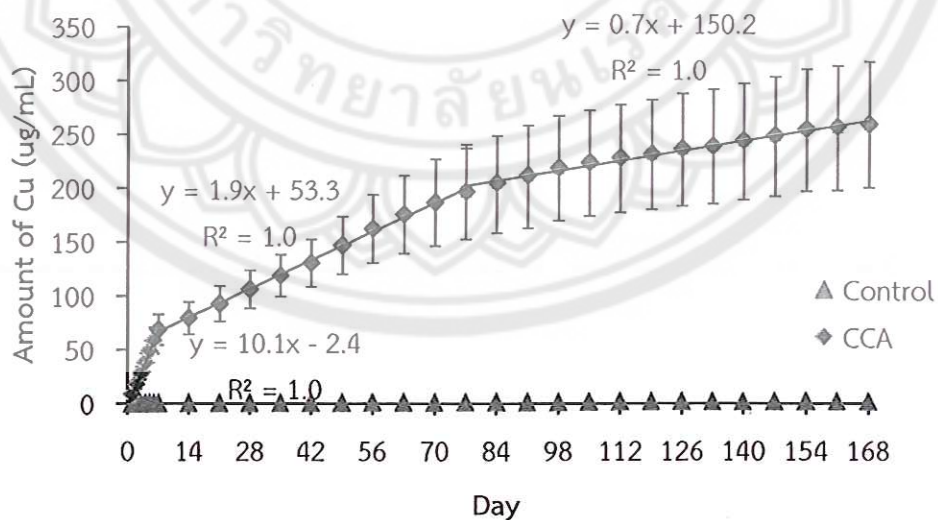
ภาพ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่น้ำตัวกลางในระยะเวลา 168 วัน



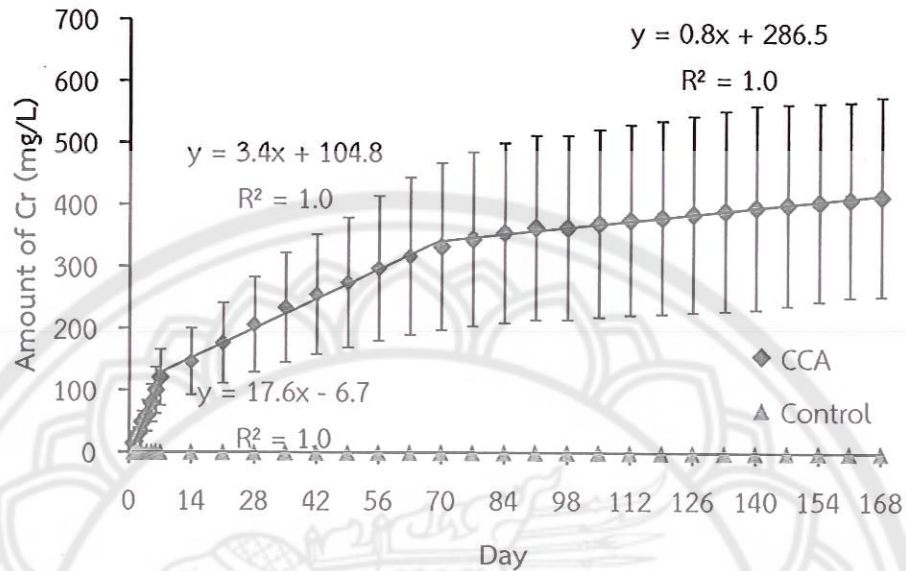
ภาพ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่น้ำตัวกลางในระยะเวลา 168 วัน

3.2.2 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในกรดฮิวมิก

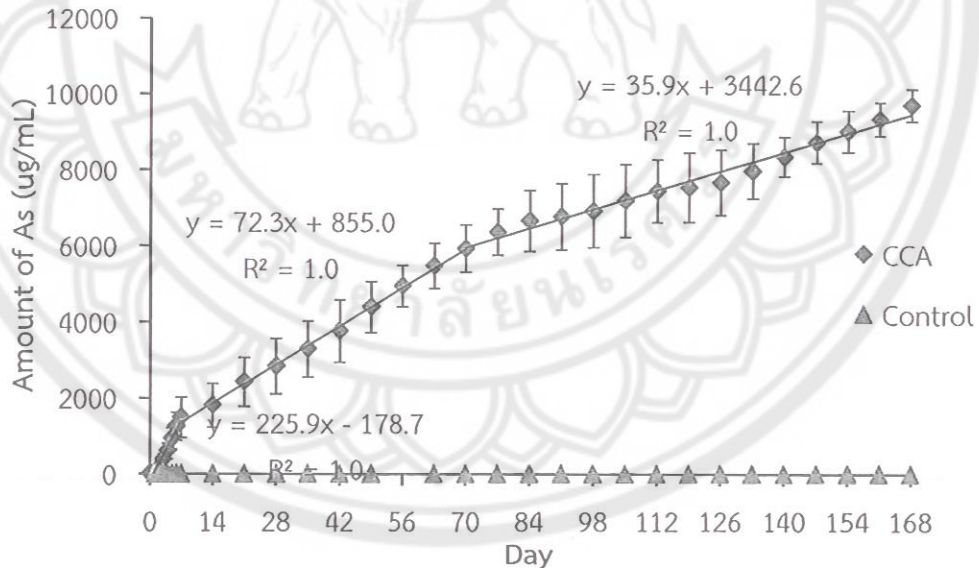
เมื่อนำกรดฮิวมิกที่ผ่านการแช่ไม้ไผ่ที่ผ่านและไม่ผ่านการอัดน้ำยา CCA เป็นเวลา 168 วัน มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะทองแดง โครเมียม และสารหนูได้ผลการทดลอง ดังภาพ 3.4-3.6



ภาพ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดฮิวมิกในระยะเวลา 168 วัน



ภาพ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดฮิวมิกในระยะเวลา 168 วัน



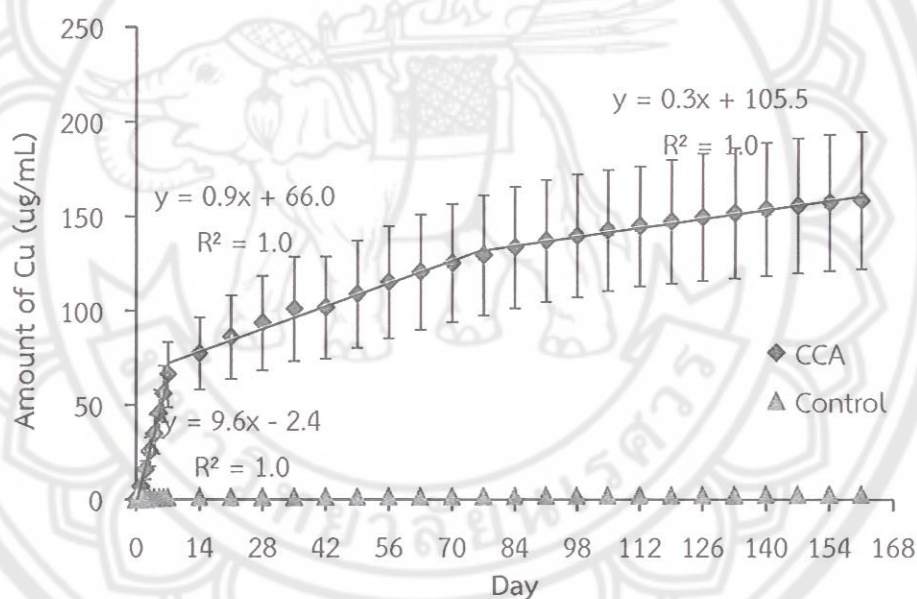
ภาพ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดฮิวมิกในระยะเวลา 168 วัน

จากภาพ 3.4- 3.6 พบว่าการปนเปื้อนของโลหะทั้งสามชนิดมีสู่กรดฮิวมิกในลักษณะที่เหมือนกัน โดยในช่วง 70 วันแรกทองแดงมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าโครเมียม คือ อัตราการชะของทองแดง โครเมียมสู่ตัวกลางกรดฮิวมิกใน 7 วันแรก เท่ากับ 10.1 และ 17.6 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรต่อวัน และลดลงเป็น 1.9 และ 3.4 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรต่อวันตามลำดับ

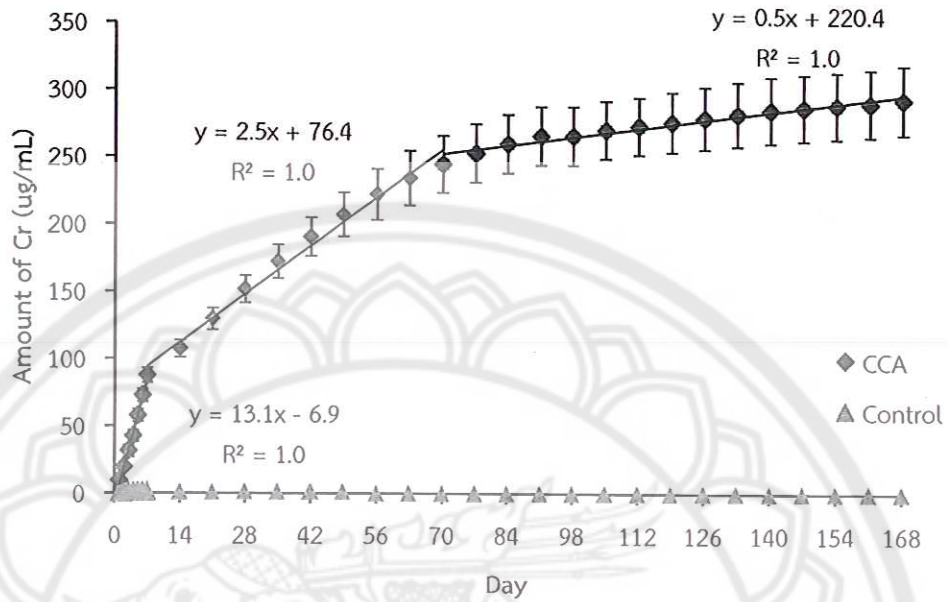
และจากการทดลองพบว่า หลังการแช่ไม้ไผ่เป็นเวลามากกว่า 70 วัน อัตราการปนเปื้อนของทั้งสองธาตุไม้แตกต่างกัน ส่วนสารหนูมีการปนเปื้อนสู่กรดฮิวมิกสูงกว่าโลหะชนิดอื่น โดยใน 7 วันแรกมีอัตราการปนเปื้อนเท่ากับ 225.9 ต่อมิลลิลิตรต่อวัน แล้วลดลงเป็น 72.3 ต่อมิลลิลิตรต่อวันใน 70 วันถัดมา และหลังจากนั้นลดลงเป็น 35.9 ต่อมิลลิลิตรต่อวัน จะเห็นได้ว่าการปนเปื้อนของโลหะทั้งสามชนิดสู่กรดฮิวมิก ซึ่งเป็นตัวแทนขององค์ประกอบของดินมีค่ามากกว่าในน้ำ เนื่องจากกรดฮิวมิกมีความสามารถในการจับกับโลหะทั้งสามชนิดได้ดีกว่าน้ำ

3.2.3 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในไซเดียมคลอไรด์

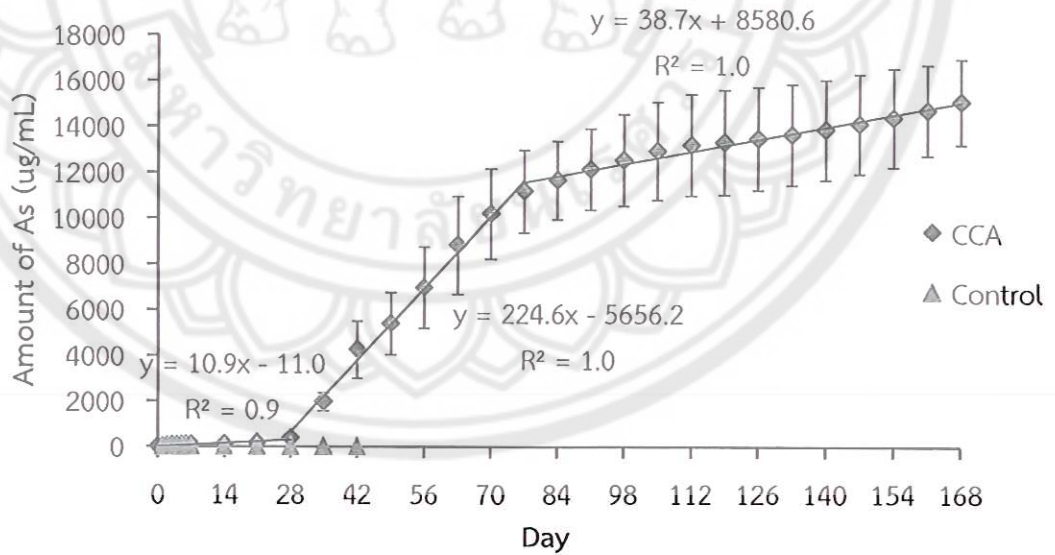
เมื่อนำไซเดียมคลอไรด์ที่ผ่านการแช่ไม้ไผ่ที่ผ่านและไม่ผ่านการอัดน้ำยา CCA เป็นเวลา 168 วัน มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะทองแดง โครเมียม และสารหนูได้ผลการทดลอง ดังภาพ 3.7-3.9



ภาพ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางไซเดียมคลอไรด์ในระยะเวลา 168 วัน



ภาพ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมคลอไรด์ในระยะเวลา 168 วัน

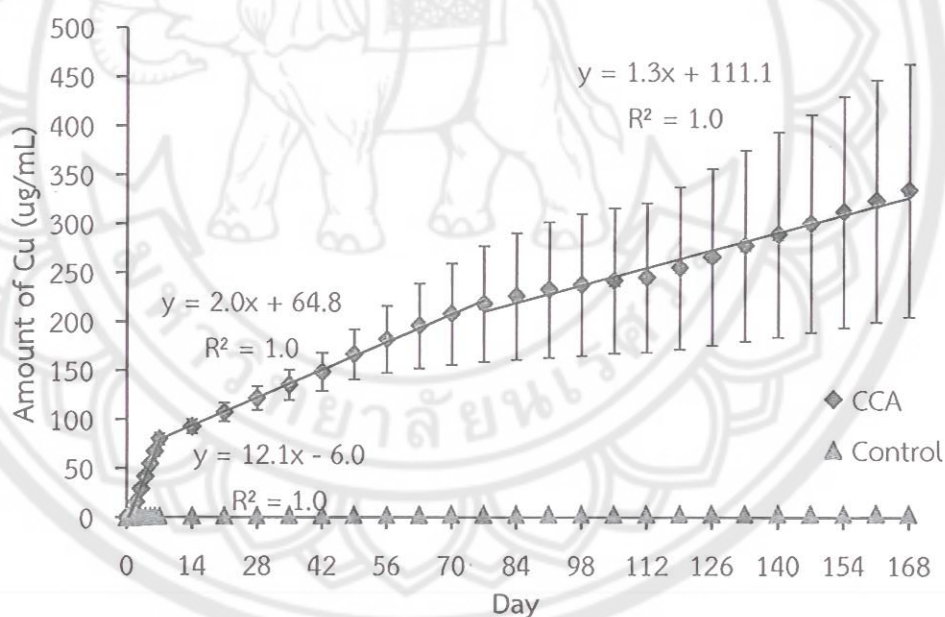


ภาพ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมคลอไรด์ในระยะเวลา 168 วัน

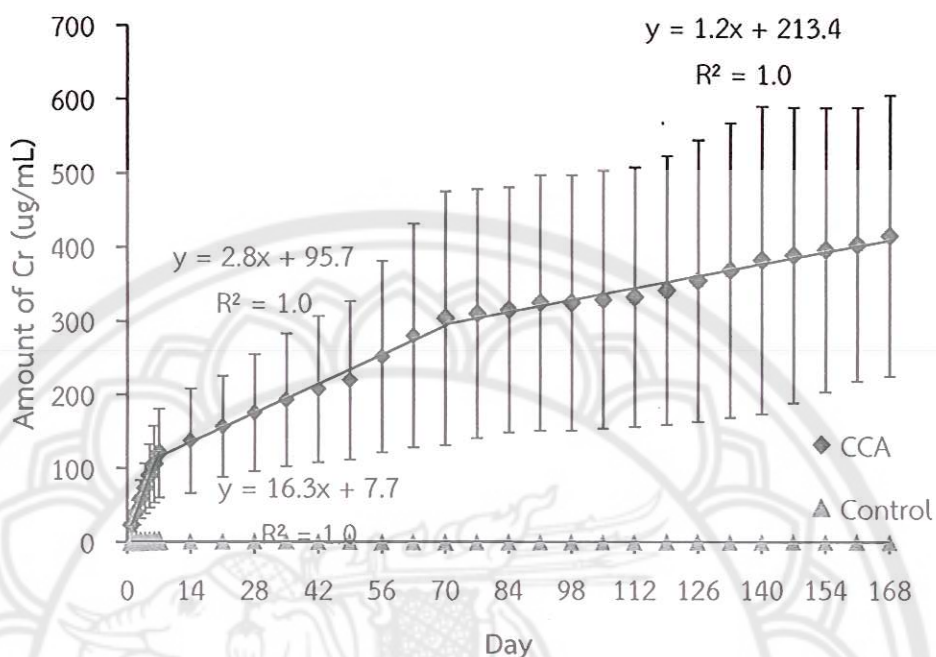
การปนเปื้อนของทองแดงและโครเมียมชนิดมีสูตรตัวกลางโซเดียมคลอไรด์มีลักษณะคล้ายกับตัวกลางกรดฮิวมิก คือมีอัตราการปนเปื้อนประมาณ 9.6-13.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรต่อวัน ใน 7 วันแรก และลดลงเป็น 0.9 และ 2.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรต่อวันตามลำดับใน 70 วันถัดมา และการแช่ไม้ไผ่เป็นเวลามากกว่า 70 วันพบว่าอัตราการปนเปื้อนของทั้งสองธาตุไม่แตกต่างกัน ในขณะที่สารหนูมีการปนเปื้อนเพิ่มขึ้นเป็น 10.9 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรต่อวันใน 28 วันแรกและเพิ่มขึ้นเป็น 224.6 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรต่อวันใน 84 วันถัดมา แล้วหลังจากนั้นลดลงเป็น 38.7 ไมโครกรัมต่อมิลลิตรต่อวันเหมือนกับการปนเปื้อนสู่น้ำ

3.2.4 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในกรดไฮโดรคลอริก

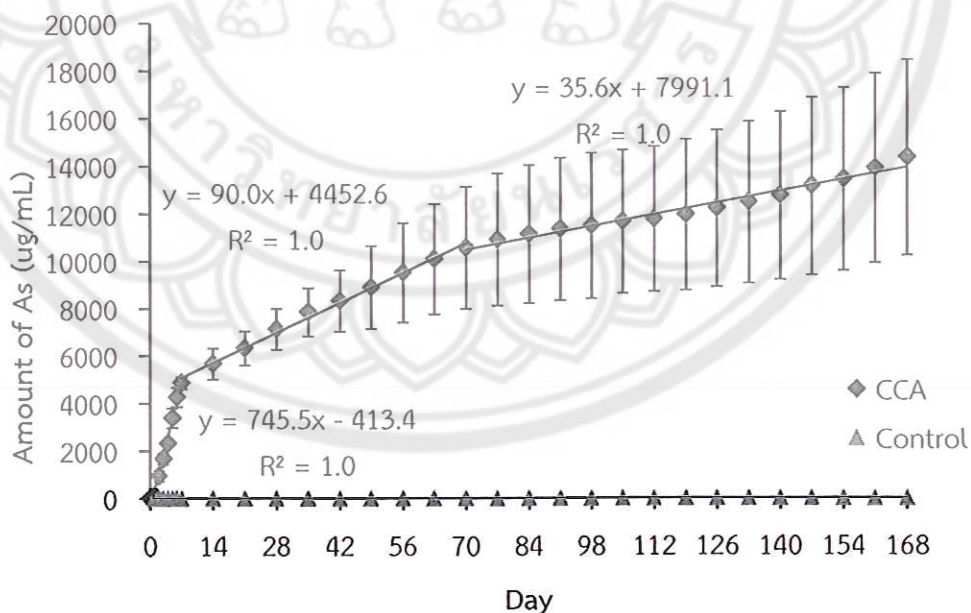
เมื่อนำกรดไฮโดรคลอริกที่ผ่านการแช่ไม้ไผ่ที่ผ่านและไม่ผ่านการอัดน้ำยา CCA เป็นเวลา 168 วัน มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะทองแดง โครเมียม และสารหนูได้ผลการทดลอง ดังภาพ 3.10-3.12



ภาพ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดไฮโดรคลอริกในระยะเวลา 168 วัน



ภาพ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดไฮโดรคลอริกในระยะเวลา 168 วัน

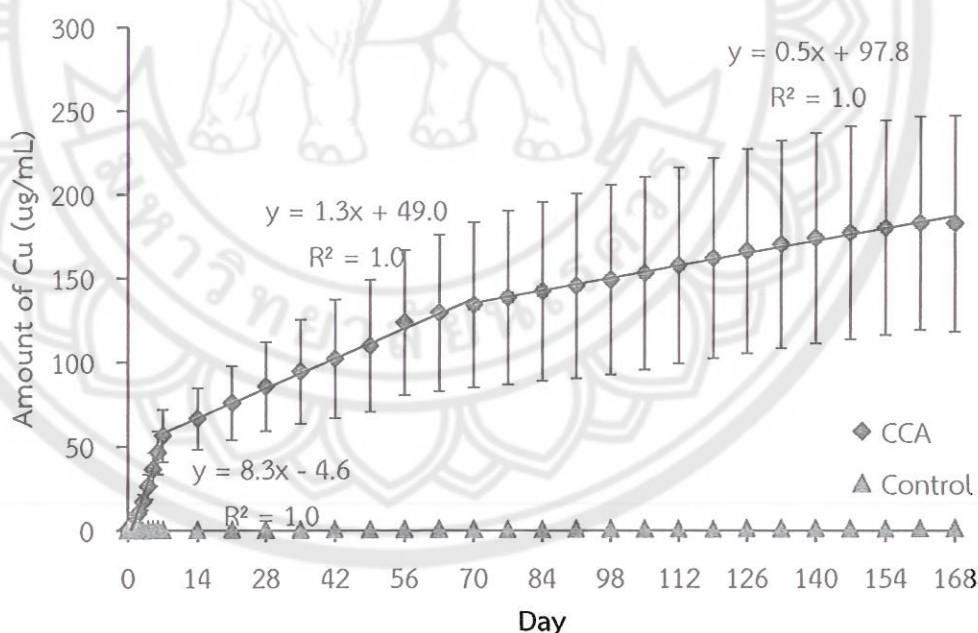


ภาพ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางกรดไฮโดรคลอริกในระยะเวลา 168 วัน

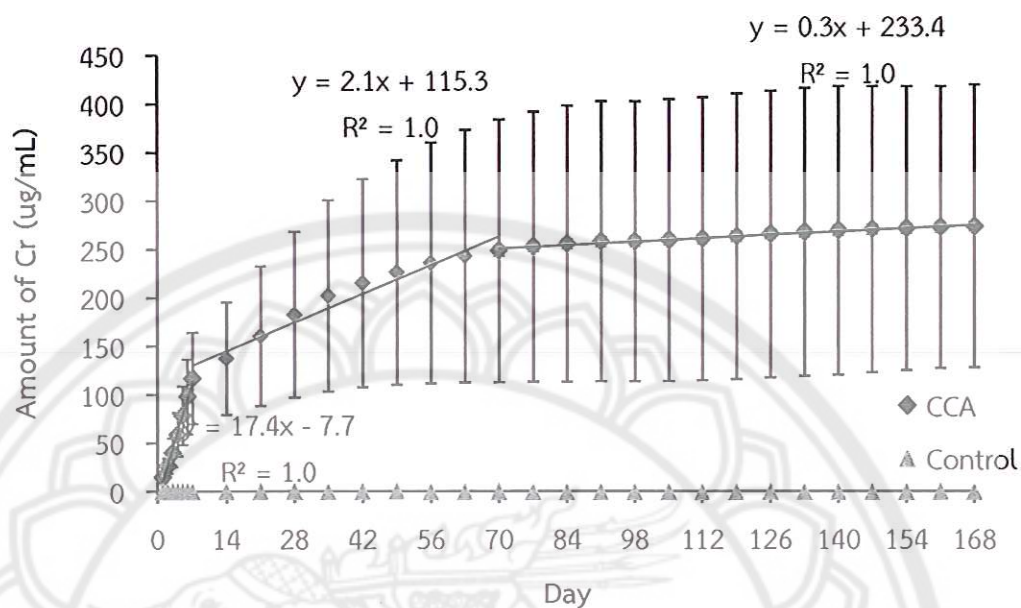
จากภาพ 3.10- 3.12 พบว่าการปนเปื้อนของโลหะทั้งสามชนิดมีสูตรไฮโดรคลอริก ในลักษณะที่เหมือนกัน โดยทองแดงและโครเมียมมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน คือ มีการชะของทองแดง โครเมียมและสารหนูสู่ตัวกลางน้ำอย่างรวดเร็วใน 7 วันแรกด้วยอัตรา 12.1, 16.3 และ 745.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวัน และลดลงเป็น 2.0, 2.8 และ 90.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวันตามลำดับใน 70 วันถัดมา หลังจากนั้นอัตราการปนเปื้อนของทองแดงและโครเมียมลดลงเหลือ 1.2-1.3 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวันหลังจาก 70 วัน ในขณะที่การปนเปื้อนของสารหนูลดลงเป็น 35.6 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรต่อวัน จะเห็นได้ว่าการปนเปื้อนของโลหะทั้งสามชนิดสูตรไฮโดรคลอริก คล้ายกับกรดฮิวมิก เนื่องจากทั้งสองชนิดมีสภาพเป็นกรด ทำให้โลหะทั้งสามชนิดถูกชะออกมาจากไม้ ได้อย่างง่ายดาย

3.2.5 การศึกษาการปนเปื้อนของทองแดง โครเมียมและสารหนูในโซเดียมไฮดรอกไซด์

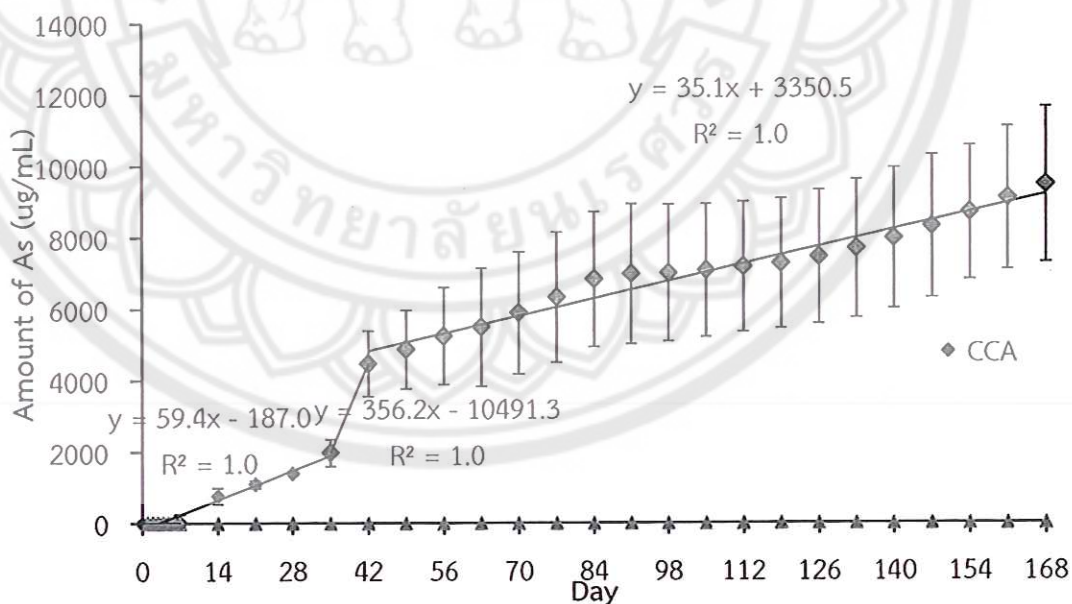
เมื่อนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการแช่ไม้ใผ่ที่ผ่านและไม่ผ่านการอัดน้ำยา CCA เป็นเวลา 168 วัน มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะทองแดง โครเมียม และสารหนูได้ผลการทดลอง ดังภาพ 3.13-3.15



ภาพ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระยะเวลา 168 วัน



ภาพ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในระยะเวลา 168 วัน



ภาพ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนสู่ตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ใน ระยะเวลา 168 วัน

จากภาพ 3.13-3.15 พบว่าการปนเปื้อนของโลหะทั้งสามชนิดมีสูงโซเดียมไฮดรอกไซด์ในลักษณะที่คล้ายกัน โดยทองแดงและโครเมียมมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมคล้ายกัน คือ มีการชะของทองแดงโครเมียมและสารหนูสู่ตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นเบสอย่างรวดเร็วใน 7 วันแรกด้วยอัตรา 8.3 และ 17.4 ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตรต่อวัน และลดลงเป็น 1.3 และ 2.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตรต่อวันตามลำดับใน 70 วันถัดมา และลดลงเป็น 0.3-0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตรต่อวันเมื่อทำการแช่ไม้ไผ่มากกว่า 70 วัน ส่วนการปนเปื้อนของสารหนูสู่โซเดียมไฮดรอกไซด์ใน 35 วันแรกมีค่าเท่ากับ 59.4 ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตรต่อวันและหลังจากนั้นลดลงเป็น 35.4 ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตรต่อวัน เนื่องจากสารตัวกลางมีสภาวะเป็นเบส ทำให้ไม่มีความเสถียรมากขึ้น



บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากการนำไม้ไผ่ที่ผ่านการอัดน้ำยา CCA มาศึกษาการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในสภาวะต่างๆ ในระยะเวลา 168 วัน พบว่า โลหะหนักทั้งสามชนิด ได้แก่ ทองแดง โครเมียม และสารหนูมีการปนเปื้อนสู่ตัวกลางทุกชนิด ได้แก่ น้ำ กรดฮิวมิก โซเดียมคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการปนเปื้อนของทองแดงและโครเมียมสู่ตัวกลางต่างๆมีลักษณะเหมือนกัน

ใน 7 วันแรก พบว่า ทองแดงมีการปนเปื้อนสู่สารตัวกลางน้ำ กรดฮิวมิก โซเดียมคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตรา 8-12 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวัน และการปนเปื้อนลดลงเป็น 1-2 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวันใน 70-77 วัน แล้วหลังจากนั้นการปนเปื้อนก็ลดลงเป็น 0.3-1.3 2 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวัน ส่วนโครเมียมมีการปนเปื้อนในน้ำน้อยที่สุด คือ 9 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวัน ในขณะที่ตัวกลางอื่นมีการปนเปื้อนสูงกว่าประมาณ 13.1-17.6 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวันใน 7 วันแรก หลังจากนั้นการปนเปื้อนลดลงเป็น 1.6-3.4 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวันใน 70-77 วันถัดมา และการปนเปื้อนมีแนวโน้มลดลงประมาณ 0.5-1.2 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวัน

สำหรับการปนเปื้อนของสารหนูมีลักษณะที่แตกต่างจากโลหะชนิดอื่น และการปนเปื้อนในตัวกลางต่างชนิดกันก็แตกต่างกัน โดยการปนเปื้อนในน้ำ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะคล้ายกัน โดยมีการปนเปื้อนใน 28 วันแรกประมาณ 10.9-59.4 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวัน และการปนเปื้อนเพิ่มขึ้นเป็น 154.6-356.2 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวันใน 70-77 วันถัดมา หลังจากนั้นการปนเปื้อนลดลงอีกครั้งประมาณ 20.8-38.7 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวัน สำหรับการปนเปื้อนของสารหนูในกรดฮิวมิกและกรดไฮโดรคลอริกมีลักษณะเหมือนกันคือ มีการปนเปื้อนมากในช่วงแรกและการปนเปื้อนลดลงตามลำดับคล้ายกับโลหะชนิดอื่น โดยการปนเปื้อนในช่วง 7 วันแรกในกรดฮิวมิกและกรดไฮโดรคลอริกมีค่าประมาณ 225.9-745.5 8-12 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวัน แล้วลดลงเป็น 72.3-90.0 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวันใน 70 วันถัดมา หลังจากนั้นจึงลดลงเป็น 20.8-35.6 ไมโครกรัมต่อลิตรต่อวัน คล้ายกับตัวกลางอื่นๆในช่วงเวลาเดียวกัน

จะเห็นได้ว่า การนำไม้ไผ่ที่ผ่านการอัดน้ำยา copper chromated arsenate (CCA) ไม่มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน เนื่องจากโลหะทั้งสามชนิดสามารถปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้

บรรณานุกรม

1. http://www.baanjommyut.com/library_2/extension-2/bamboo/01.html (สืบค้นเมื่อวันที่ 24 เดือน ตุลาคม พ.ศ 2557)
2. เจนจบ ยิ่งสุมล. (2536). ต้นไม้พืชพันธุ์มหัศจรรย์ของโลก. บริษัท ต้นอ้อ จำกัด, กรุงเทพฯ.
3. สุทัศน์ เดชวิสิทธิ์. (2544). การปลูกไม้ไผ่ พืชครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์เกษตรศาสตร์ นนทบุรี.
4. Lee, A.W.C., Chen, G., Tainter, F.H. (2001). Comparative treatability of Moso bamboo and Southern pine with CCA preservative using a commercial schedule. *Bioresource Technol.* 77, 87-88.
5. Chang, S., Yeh, T. (2001). Protection and fastness of green color of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) treated with chromium-based reagents. *J. Wood Sci.* 47, 228-232.
6. Chang, S., Wu, J. (2000). Green-color conservation of ma bamboo (*Dendrocalamus latiflorus*) treated with chromium-based reagents. *J. Wood Sci.* 46, 40-44.
7. Lahiry, A.K. (1998). CCA leachability of slow dried three major bamboo species of Bangladesh. *Bull. Mater. Sci.* 21, 181-184.
8. Shibata, T., Solo-Gabriele, H.M., Fleming, L.E., Cai, Y., Townsend, T.G. (2007). A mass balance approach for evaluating leachable arsenic and chromium from an in-service CCA-treated wood structure. *Sci. Total Environ.* 372, 624-635.
9. Hingston, J.A., Collins, C.D., Murphy, R.J., Lester, J.N. (2001). Leaching of chromate copper arsenate wood preservatives: a review. *Environ. Pollut.* 111, 53-66.
10. Townsend, T., Tolaymat, T., Solo-Gabriele, H., Dubey, B., Stook, K.e, Wadanambi, L. (2004). Leaching of CCA-treated wood: implications for waste disposal. *J. Hazard. Mater. B.* 114, 75-91.
11. Kakitani, T., Hata, T., Kajimoto, T., Imamura, Y. (2004). Effects of pyrolysis on solvent extractability of toxic metals from chromate copper arsenate (CCA)-treated wood. *J. Hazard. mat. B* 109, 53-57.
12. Janin, A., Blais, J., Mercier, G., Drogui, P. (2009). Optimization of a chemical leaching process for decontamination of CCA-treated wood. *J. Hazard. Mat.* 169, 136-145.
13. Yadav, S.K. (2010). Heavy metal in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. *S. Afr. J. Bot.* 76, 167-179.

14. Zabłudowska, E. Kowalska, J., Jedynek, L., Wojas, S., Skłodowska, A., Antosiewicz, D.M. (2009). Search for a plant for phytoremediation-What can we learn from field and hydroponic studies? *Chemosphere*. 77, 301-307.
15. Jedynek, L., Kowalska, J., Kossykowska, M., Golimowski, J. (2010). Studies on the uptake of different arsenic forms and the influence of sample pretreatment on arsenic speciation in White mustard (*Sinapis alba*). *Microchem. J.* 94, 125-129.
16. Jedynek, L., Kowalska, J., Harasimowicz, J., Golimowski, J. (2009). Speciation analysis of arsenic in terrestrial plants from arsenic contaminated area. *Sci. Total Environ.* 407, 945-952.
17. Raab, A., Schat, H., Meharg, A.A., Feldmann, J. (2005). Uptake, translocation and transformation of arsenate and arsenite in sunflower (*Helianthus annuus*): formation of arsenic-phytochelatin complexed during exposure to high arsenic concentrations. *New Phytol.* 168, 551-558.
18. <http://locals.in.th/index.php?topic=703.0> (สืบค้นเมื่อวันที่ 24 เดือน ตุลาคม พ.ศ 2556)
19. http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=4619&filename=index (สืบค้นเมื่อวันที่ 24 เดือน ตุลาคม พ.ศ 2556)
20. <http://www.baannatura.com/th/mat/content/detail/106.html>. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557.
21. <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Cu.html>. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557.
22. จิระฉัตร ศรีแสน. ผลกระทบของโครเมียม และสารประกอบโครเมียมต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*. 60(189), 10-12.
23. บุษรา ผลทวี.สารหนู (Arsenic) อันตรายที่ควรระมัดระวัง. กรุงเทพมหานคร; 2551, 1-3
24. <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9D%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%94> . สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2557
25. <http://mste.illinois.edu/beusch/acidrain.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2557
26. <https://sites.google.com/site/kaelngdin501/home/din-khem-din-periyw>. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557.
27. http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical03035_2.pdf. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557.
28. http://www.rmuti.ac.th/user/thanyaphak/Web%20EMR/Web%20IS%20Environment%20gr.3/page6_tem.htm. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557.
29. <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%82%E0%B8%8B%E0%B8%94%E0%B8%B2%E0%B9%84%E0%B8%9F>. สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2557 .

30. แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ. อะตอมมิกแอสซอร์พชันสเปกโทรสโกปี. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ (Principles and Techniques of Instrumental Analysis Spectroscopy). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร:ชวนพิมพ์ 50 จำกัด; 2554, 345-385.



การเผยแพร่ผลงาน

1. การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON2015), 21 - 23 January 2015, Bangkok, Thailand



PACCON 2015
Pure and Applied Chemist
International Conference 2015



*"Innovative Chemistry for Sustainability
of the AEC and Beyond"*

21st - 23rd January 2015
Amari Watergate Hotel
Bangkok, Thailand



Organized by Thai Chemical Society of Thailand
(under the Patronage of Her Royal Highness Princess Chulabhorn Mah
Co-organized by Department of Chemistry, Faculty of Science
King Mongkut's University of Technology Thonburi



PACCON 2015
Pure and Applied Chemistry International Conference 2015



PACCON 2015
Pure and Applied Chemistry
International Conference 2015

ISSN : 978-974-456-799-1

ANC
PO
049

Figure of Merit of Moving Liquid Drop as Flow Manipulation System

Tinsakorn Kanyanee^{1,*}, and Kate Grudpan²
¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand
²Center of Excellence for Innovation in Analytical Science and Technology, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand
^{*}E-mail: tinakorn.kanyanee@cmu.ac.th

- We reported the advantage of using moving liquid drop as cost-effective flow analysis system with application for micro conductivity and in-situ gas sampling analysis.
- The analogy mono-segmented flow system with using moving liquid drop will be demonstrated.

Keywords Moving liquid drop; Flow analysis; Cost-effective analysis

ANC
PO
050

Automatic Flow Injection Analyzer for Determination of Various Fractions of Phosphorus in Solid Samples

Eincom Jessai¹, Nuntaporn Moonyongse², and Jasson Jakkumee^{3,*}
¹Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science,
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
²Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University,
Chiang Mai 22000, Thailand
^{*}E-mail: jhannanee@gmail.com

- An automatic flow injection analyzer (FIA) was developed in our laboratory for determination of phosphorus in sediment extracted solutions.
- The developed system provides the linear range of 0.1-10 mg L⁻¹ Phosphorus, with detection limit of 0.01 mg L⁻¹ Phosphorus, good precision and accuracy, and fast determination.
- The column sequential extraction was proposed for fractionation of phosphorus in solid samples.

Keywords Automatic flow injection analyzer; Phosphorus; Soil; Sediment; Fractionation

ANC
PO
051

Flow Multi-Analysis for Simultaneous Determination of Some Heavy Metals in Water Sample

Kittinan Sammanasol¹ and Narpaporn Youngviset^{2,*}
¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit,
Pathum Thani, 12120, Thailand
²Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit,
Pathum Thani, 12120, Thailand
^{*}E-mail: jovanam_jk@tmsu.ac.th

- We reported the development of flow multi-analysis system for in situ determination of some heavy metals (Fe³⁺, Fe²⁺, Cu²⁺ and Mn²⁺) in water samples.
- The proposed method obtained linearity in range 0.1-1.0 mg L⁻¹.
- The system was successfully applied to monitoring four heavy metal ions in water samples.

Keywords Multi-analysis; Flow injective analysis (FIA); Heavy metals; Optical sensor

ANC
PO
052

The Determination of Trace Cadmium in Soil Samples Based on Chemiluminescence Flow Injection Procedure after Off-line Preconcentration with Polystyrene Beads Mini-Column

Nam Taokenchan, Sirinai Phasansuthichol, Manoch Thanomwat and Sakdai Sitticornsakul^{*}
¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand
^{*}E-mail: sakchai@mj-u.ac.th

- A sensitive chemiluminescence flow injection procedure was developed for determination of cadmium in soil samples.
- The chemiluminescence detection was based on the catalytic reaction of Cr(II) on the luminol-H₂O₂ system in an alkaline media.
- A mini-column, packed with polystyrene beads, was used for an off-line preconcentration of Cd-ammonium pyrosulfide dithiocarbamate (APDC) complex and provided very low detection limit of 0.02 µg L⁻¹.

Keywords Cadmium; Chemiluminescence; Flow injection; Contaminated soil

ANC
PO
053

The Leaching of Copper, Chromium and Arsenic from CCA-treated Bamboo Sticks through Water and Humic Acid

Sarawee Chuanomkuchasom^{1,*}, Uthai Wirat²
¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand
²Department of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand
^{*}E-mail: sarawee@nu.ac.th

- A 42 day study of water and humic acid contamination by copper, chromium, and arsenic from CCA treated bamboo sticks was carried out.
- Copper and chromium had a leaching rate into water and humic acid of 9-11 µg/mL/day in the first 7 days followed by a decrease to 2 µg/mL/day for the rest of the monitored period.
- Arsenic leached into water and humic acid at rates of 13 and 22.6 µg/mL/day respectively for the first 28 days with a change in the rate of 286 and 16 µg/mL/day respectively for the rest of the monitored period.

Keywords Copper; Chromium; Arsenic; Bamboo; CCA

ANC
PO
054

The Influence of Pre-Warming Coffee Beans on Antioxidant Generation During Roasting

Sebastian L. W. Opitz¹, Chahan Yezarian² and Bernhard A. Goodman^{3,*}
¹Zurich University of Applied Sciences, Institute of Chemistry and Biological Chemistry,
Einsiedlerstrasse 31, CH-8820 Wetzikon, Switzerland
²State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-Bioresources, Guangxi
University, Nanning, 530004 Guangxi, China
³E-Mail: bernard_a_goodman@yahoo.com

- We show that different assays exhibit selectivity for different types of antioxidant in coffee.
- Pre-heating has a negligible effect on chlorogenic acid destruction during coffee roasting.
- Pre-heating coffee beans influences the generation of antioxidants during subsequent roasting.
- Water may be involved in reactions that lead to melanoidin production during coffee roasting.

Keywords Coffee roasting; Antioxidants; Pre-heating; FC; ABTS; ORAC



The Leaching of Copper, Chromium and Arsenic from CCA-treated Bamboo Sticks through Water and Humic Acid

Saroonng Ouyornkoekachom*, Uthai Wichai
 Department of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand
 *E-mail: saroonng@nu.ac.th

Abstract

Bamboo is a plant grass which omnipresent in Thailand. One of its benefits is its used in constructions. People around the country usually used bamboo sticks to construct shelters from water, rain and soil. However, the lifetime of such constructions is short. Bamboo sticks treated with copper chromate arsenate (CCA), show extended lifetimes. Therefore it is necessary to study the leaching behaviours of copper, chromium and arsenic from CCA treated bamboo sticks into the environment. In this work, the leaching of these metals into water and humic acid were investigated by AAS. The experiments were carried over a period of 42 days. It was found that copper and chromium had a leaching rate into water and humic acid of 9-11 $\mu\text{g/mL/day}$ in the first 7 days. This rate then decreased to 2 $\mu\text{g/mL/day}$ for the rest of the monitored period. Arsenic rate of transfer into water and humic acid was 13 and 226 $\mu\text{g/mL/day}$ respectively for the first 28 days. The rate of arsenic leaching into water and humic acid then changed to 286 and 16 $\mu\text{g/mL/day}$ respectively for the rest of the monitored period.

Introduction

Thailand is agricultural country. A lot of crops are trade over the world. However, Thailand is the tropical country. We have a lot of problem from insect. Many agriculture used insecticide to protect their plants and products. However, insecticide might accumulate in all plant crops. One of remedy method is growing their plants in the net shelter which needs bamboo to construct this shelter because this plant grows everywhere in Thailand. It's cheaper than metal frame but it cannot use for long time since it is rotten when it damps. One idea to expand bamboo-framework lifetime is treated this stick with chromated copper arsenate (CCA). CCA was distributed in bamboo texture by physical mechanism. Therefore chromium, copper and arsenic were possible contaminated to landfill and crops. This research studied the leaching effect of chromium, copper and arsenic to water and an aqueous extract of a peaty soil in order to confirm that it is safe for using this treated bamboo sticks for agriculture.

EXPERIMENTS

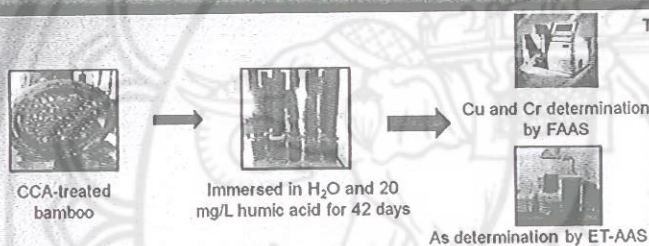


Table 1: Parameters for chromium, copper and arsenic determination

Parameter	Copper	Chromium	Arsenic
Technique	FAAS	FAAS	ETAAS
Wavelength (nm)	324.8	357.9	193.7
Slit width (nm)	0.2	0.2	0.2
Current (mA)	7.0	7.0	10.0
Fuel gas	Air/acetylene	Air/acetylene	Ar
Flame type	Oxidized	Oxidized	-
Background correction	D ₂	D ₂	Zeemann

RESULTS

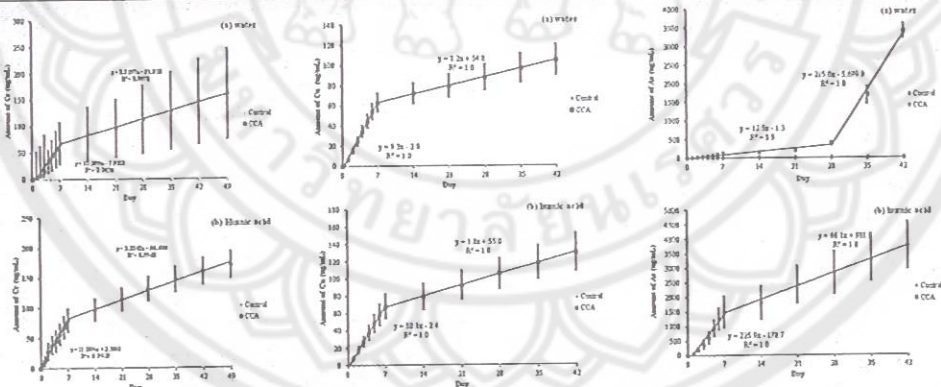


Figure 1 The leaching of chromium from bamboo and treated bamboo sticks through (a) water and (b) 20 mg/L humic acid

Figure 2 The leaching of copper from bamboo and treated bamboo sticks through (a) water and (b) 20 mg/L humic acid

Figure 3 The leaching of arsenic from bamboo and treated bamboo sticks through (a) water and (b) 20 mg/L humic acid

Conclusion

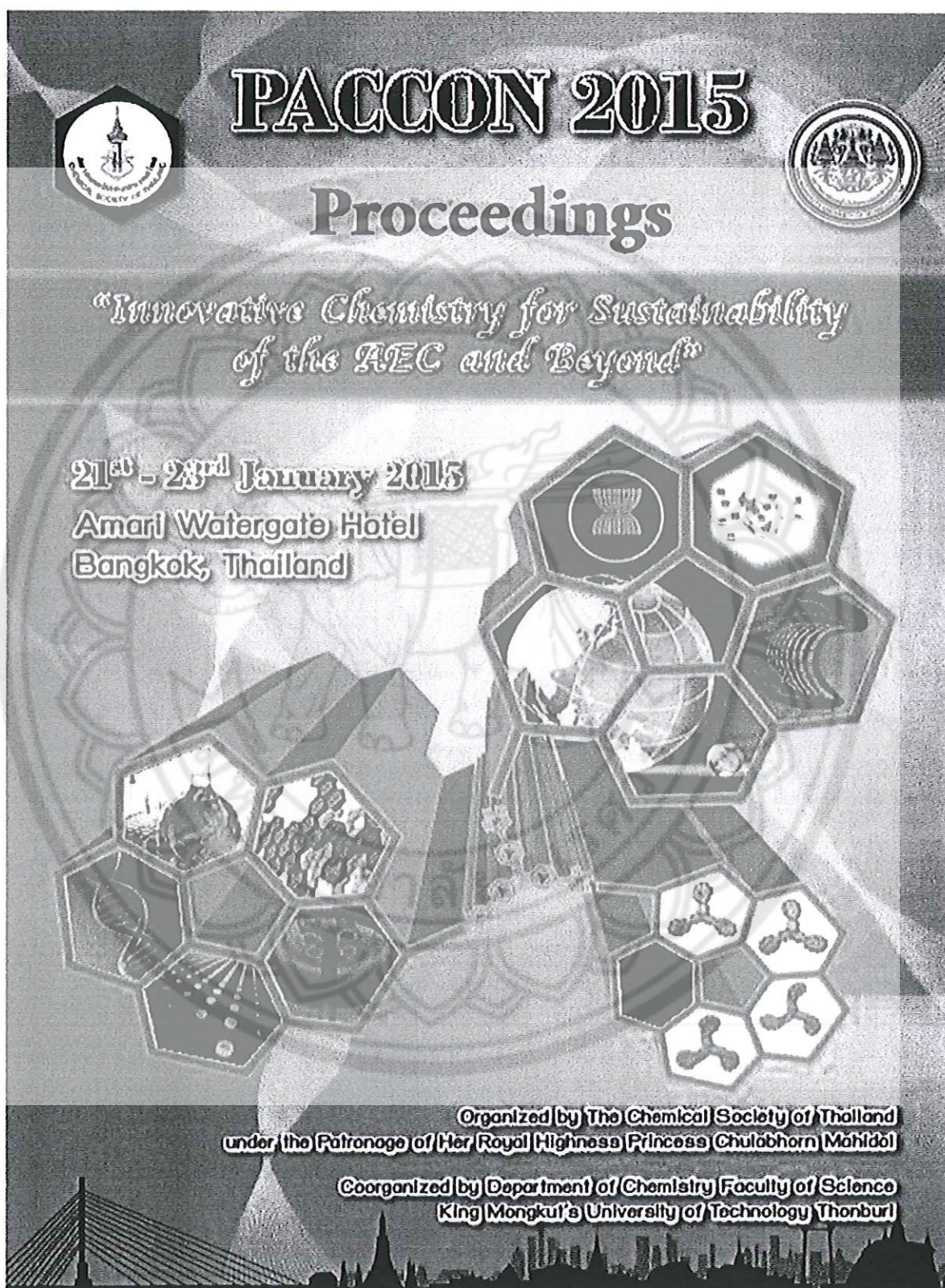
- A 42 day study of water and humic acid contamination by copper, chromium, and arsenic from CCA treated bamboo sticks.
- The chromium's and copper's leaching rate into water and humic acid were 9.3-11.2 $\mu\text{g/mL/day}$ in the first 7 days followed by a decrease to 1.2-2.3 $\mu\text{g/mL/day}$ for the rest of the monitored period.
- Arsenic was leached through water with the similar rate as other metals in the first 28 days but this rate changed rapidly increased in the rest of the monitored period while the leaching behavior of arsenic to humic acid was similar to other metals but faster than the others.

References

- Lee, A.W.C., Chen, G., Tainter, F.H., 2001. *Bioresour. Technol.* 77, 87-88.
- Lahiry, A.K., 1998. *Bull. Mater. Sci.* 21, 181-184.
- Shibata, T., Solo-Gabriele, H.M., Fleming, L.E., Cai, Y., Townsend, T.G., 2007. *Sci. Total Environ.* 372, 624-635

Acknowledgements

This research supports by the National Research Council of Thailand.



THE LEACHING OF COPPER, CHROMIUM AND ARSENIC FROM CCA-TREATED BAMBOO STICKS IN WATER AND HUMIC ACID

Sairoong Ouypornkochagorn^{1*}, Uthai Wichai¹

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

*E-mail: sairoongo@nu.ac.th, Tel. +66 5596 3436, Fax. +66 5596 3401

Abstract: Bamboo is a giant grass which omnipresent in Thailand. One of its benefits is used in greenhouse structure in the northern of Thailand. People around the country usually used bamboo sticks to construct shelters from water, rain and soil. However, the lifetime of such constructions is short. Bamboo sticks treated with copper chromate arsenate (CCA), showed extended lifetimes. Therefore, it is necessary to study the leaching behaviours of copper, chromium and arsenic from CCA treated bamboo sticks into the environment. In this work, the leaching of these metals into water and humic acid were investigated by AAS. The experiments were carried over a period of 42 days. It was found that copper and chromium had a leaching rate into water and humic acid of 9-11 µg/mL/day in the first 7 days. This rate then decreased to 2 µg/mL/day for the rest of the monitored period. The transfer rate of arsenic into water and humic acid was 13 and 226 µg/mL/day, respectively for the first 28 days. The rate of arsenic leaching into water and humic acid then changed to 286 and 16 µg/mL/day, respectively for the rest of the monitored period.

1. Introduction

Thailand is agricultural country and a lot of crops are trade over the world. However, Thailand is the tropical country and problem from insect is quite common problem during planting and harvesting. Much agriculture used insecticide to protect their plants and products. However, insecticide might accumulate in all plant crops. One of remedy method is growing their plants in the net shelter which needs bamboo to construct this shelter because it grows easily in Thailand. It is cheaper than metal frame but it cannot use for long time since it is rotten when it damps. One idea to expand bamboo-framework lifetime is treated this stick with chromate copper arsenate (CCA). CCA was distributed in bamboo texture by physical mechanism. Therefore, chromium, copper and arsenic were possible contaminated to landfill and crops. This research studied the leaching effect of chromium, copper and arsenic to water and an aqueous extract of a peaty soil in order to confirm that it is safe for using this treated bamboo sticks for agriculture. Lee et al. found that chromium, copper and arsenic from CCA-coating in pine tree released to environment in a week and released around 14.3-18.5%, 62.5-66.7% and 14.3-18.5%, respectively in 15 days [1]. Lahiry, A.K. also reported that 13% of arsenic and 1.4% of chromium was leached from dried bamboo in 3 years [2] and Shibata found that

the leaching behaviour depended on environment [3].

2. Materials and Methods

Chromium and copper were analyzed by Flame atomic absorption spectrometer, FAAS, (AAAnalyst 200, PerkinElmer) while arsenic was analysed by electrothermal atomic absorption spectrometer, ETAAS, (Spectra AA220Z, Varian). All reagents were of analytical reagent grade and diluted with deionized water from Elga. All 1000 ppm standard solutions of chromium, copper and arsenic were obtained from Merck and diluted to the appropriate concentration with nitric acid (0.1-1%), which were taken from Carlo Erba. For the ETAAS measurement, the matrix modifier from Merck was applied. The leachate solutions were obtained from hydrochloric acid (RCI Labscan), sodium hydroxide (Merck), sodium chloride (RCI Labscan) and humic acid (Sigma Aldrich).

2.1 The preparation of bamboo sticks with copper chromate arsenate

Bamboo sticks (50 cm X 2 inch id) were provided by The Royal projects units, Each stick was drilled and treated with 2.5-5% of chromate copper arsenate (CCA) at 180 lb/in² for 90 minutes. Then, all bamboo sticks were washed with distilled water and dried with oven at 60 °C.

2.2 The Leaching of chromium, copper and arsenic from treated bamboo sticks

The bamboo sticks and the treated bamboo sticks were immersed in 600 mL of distilled water and an aqueous extract of a peaty soil which prepared from 20 mg/L humic acid as shown in Figure 1 (n=3). Aliquots (50 mL) of leachate were taken for analysis and then filled the new solution to 600 mL after immersed in 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days. Chromium and copper were determined by FAAS while arsenic was investigated by ETAAS with the conditions summarized as in Table 1.

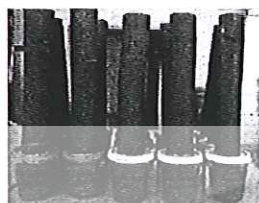


Figure 1 The Leaching experiment of chromium, copper and arsenic into leachate

Table 1: Parameters for chromium, copper and arsenic determination

Parameter	Copper	Chromium	Arsenic
Technique	FAAS	FAAS	ETAAS
Wavelength (nm)	324.8	357.9	193.7
Slit width (nm)	0.2	0.2	0.2
Current (mA)	7.0	7.0	10.0
Fuel gas	Air/acetylene	Air/acetylene	Ar
Flame type	Oxidized	Oxidized	-
Background correction	D ₂	D ₂	Zcemann

The metal concentrations in the leachate can be plotted as a function of time. This will also facilitate a comparison of the behavior in the two different leachant solutions.

3. Results and Discussion

3.1 Standard curve and detection limit of chromium, copper and arsenic

The obtained analytical features including linearity (dynamic range), linear equation and limit of detections are summarized in Table 2.

Table 2 Calibration and limit of detection of chromium ($\mu\text{g/mL}$), copper ($\mu\text{g/mL}$) and arsenic (ng/mL)

Element	Dynamic range	Equation	Limit of detection
Chromium	0-15	$y = 0.0311x + 0.0188$	0.03
Copper	0-75	$y = 0.1465x$	0.004
Arsenic	0-100	$y = 0.0022x + 0.0161$	7.2

The results showed that the calibration curves of chromium and copper by FAAS were $y = 0.0311x + 0.0188$ and $y = 0.1465x$, respectively and the limit of detections were $0.03 \mu\text{g/mL}$ and $0.004 \mu\text{g/mL}$, respectively. The calibration curve of arsenic was $y = 0.0022x + 0.0161$ while the limit of detection was 7.2 ng/mL .

3.2 The Leaching of chromium from treated bamboo sticks through water and humic acid

After the were immersed in distilled water and 20 mg/L humic acid for 42 days, the relationship between the amounts of chromium in the leachant solution versus time were plotted as shown in Figure 2.

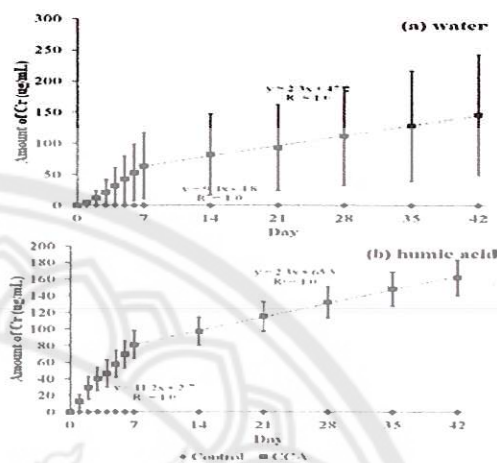


Figure 2 The leaching of chromium from bamboo and treated bamboo sticks through (a) water and (b) 20 mg/L humic acid

Chromium was leached through water at the rate of $9.4 \mu\text{g/mL/day}$ in the first 7 days and reduced to $2.3 \mu\text{g/mL/day}$ in the rest of the monitored day. The leaching behaviour of chromium into humic acid was similar to water. It contaminated the leachant solution at the rate of $11.2 \mu\text{g/mL/day}$ in the first 7 days and reduced to $2.3 \mu\text{g/mL/day}$ in the other days. Figure 2 showed that chromium eliminated 146 and $162 \mu\text{g/mL}$ to water and humic acid, respectively in 42 days which were higher than Cr level of the US State limits (100 mg/kg (hexavalent Cr) or 3900 for trivalent Cr) and the Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, National Health and Medical Research Council limit (110 mg/kg). Therefore it was not safe for using CCA-treated bamboo as a shelter.

3.3 The Leaching of copper from treated bamboo sticks into water and humic acid

The leaching behavior of copper from both bamboo sticks and treated bamboo sticks also investigated and the results shown in Figure 3.

The removal of copper from the treated bamboo sticks into water is similar to those of humic acid. It eliminated through water with the rate of $9.3 \mu\text{g/mL/day}$ in the first 7 days and reduced to $1.2 \mu\text{g/mL/day}$ in the rest days while the leaching rate of copper to humic acid was $10.1 \mu\text{g/mL/day}$ in the first 7 days and reduced to $1.8 \mu\text{g/mL/day}$ in the rest days. From Figure 3 showed that copper released to water and humic acid with 105 and $131 \mu\text{g/mL}$, respectively which was less than the State of CT limit of 2500 mg/kg and the Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, National Health and Medical Research Council of 190 mg/kg . Therefore it was safe for using CCA-treated bamboo as a shelter.

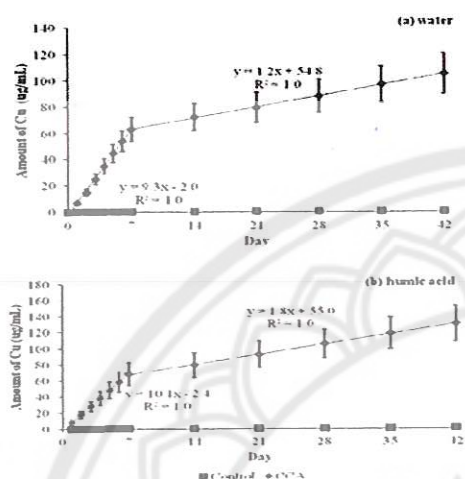


Figure 3 The leaching of copper from bamboo and treated bamboo sticks through (a) water and (b) 20 mg/L humic acid

3.4 The Leaching of arsenic from treated bamboo sticks through water and humic acid

Arsenic from both bamboo and treated bamboo sticks were leached through water and 20 mg/L humic acid as shown in Figure 4.

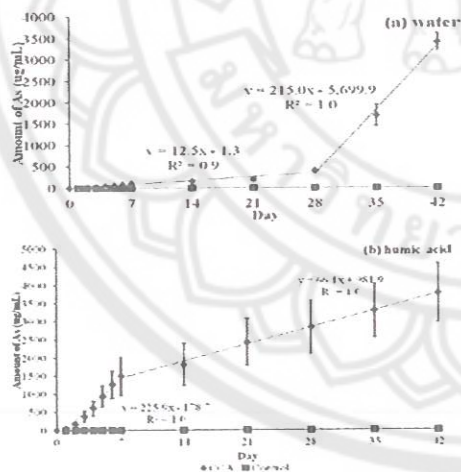


Figure 4 The leaching of arsenic from bamboo and treated bamboo sticks through (a) water and (b) 20 mg/L humic acid

The leaching behavior of arsenic from treated bamboo sticks through water differed from the other

elements. It dissolved to water in the rate of 12.5 µg/mL/day in the first 28 days and then increased to 215.0 µg/mL/day in the rest of the monitored day. However, the leaching rate of arsenic through humic acid was similar to the other elements. It leached through humic acid in the rate of 225.0 µg/mL/day in the first 7 days and reduced to 66.13 µg/mL/day in the rate of the monitored day. Figure 4 showed arsenic released 3,402 and 3,763 µg/mL to water and humic acid, respectively in 42 days which were higher than Cr level of the US State limits (10 mg/kg) and the Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, National Health and Medical Research Council limit (30 mg/kg). Therefore it was not safe for using CCA-treated bamboo as a shelter.

From Figure 2-4 showed that chromium, and copper released to environments in the first 7 days more than the others because the concentration of these metals in water and humic acid at the beginning stage were low. These metal can rapidly dissolved in these medias while the latter stage showed that chromium and copper were slowly dissolved in water and humic acid because of the concentration of these metals in these solutions after long-term exposure.

4. Conclusions

A 42 day study of water and humic acid contamination by copper, chromium, and arsenic from CCA treated bamboo sticks was carried out and found that chromium and copper had a leaching rate into water and humic acid of 9.3-11.2 µg/mL/day in the first 7 days followed by a decrease to 1.2-2.3 µg/mL/day for the rest of the monitored period. Arsenic was leached through water with the similar rate as other metals in the first 28 days but this rate changed rapidly increased in the rest of the monitored period while the leaching behavior of arsenic to humic acid was similar to other metals but faster than the others. The amounts of chromium, copper and arsenic from the CCA-treated bamboo were not safe for build agriculture shelter.

Acknowledgements

This research supports by the National Research Council of Thailand.

References

1. Lee, A.W.C., Chen, G., Tainter, F.H., 2001, *Bioresource Technol.*, 77, 87-88.
2. Lahiry, A.K., 1998, *Bull. Mater. Sci.* 21, 181-184.
3. Shibata, T., Solo-Gabriele, H.M., Fleming, L.E., Cai, Y., Townsend, T.G., 2007, *Sci. Total Environ.*, 372, 624-635.
4. Read, D. 2003, Report on Copper, Chromium and Arsenic (CCA) Treated Timber. Environmental Risk Management Authority New Zealand.

5. Stilwell D.E. and Gratz, T.J., 2001, Copper, chromium and arsenic levels in soil near traffic sound barriers built using CCA pressure-treated wood. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67:303-308.





กองกลาง สำนักงานอธิการบดี
เลขรับ..... 11788
วันที่..... - 1 ก.ย. 2558
เวลา..... ๑.๓๐ น. บันทึกข้อความ

R25578086
R 2557 8086

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
เลขรับ..... ๑๕๖
วันที่..... - 4 ส.ค. 2558
เวลา..... ๑๑.๑๕

ส่วนราชการ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชา เคมี โทร. 3401-2
ที่ ศธ 0527. ๐๔.๑๓๖/๒๐๔ วันที่ 4 สิงหาคม 2558
เรื่อง ขอบิดโครงการวิจัยและส่งผลงานตามตัวชี้วัด

กองบริหารการวิจัย
เลขรับ..... ๑๓๓๐
วันที่..... - 5 ส.ค. 2558
เวลา..... ๑๘.๒๐๖๖

1) เรียน อธิการบดี

ตามที่ มหาวิทยาลัยอนุมัติให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 สัญญาเลขที่ R25578086 เรื่อง ความเหมาะสมของไม้ไผ่ที่ผ่านการรักษาเนื้อไม้ด้วยน้ำยา CCA ต่อการนำมาใช้สร้างโรงเรือนทางการเกษตร ในวงเงิน 339,700.00 บาท (สามแสนสามหมื่นเก้าพันเจ็ดร้อยบาทถ้วน) โดยมี ดร.สายรุ้ง อวยพรกชกร สังกัดคณะ คณะวิทยาศาสตร์ เป็นหัวหน้าโครงการ นั้น

ขณะนี้ได้ดำเนินการมาเป็นระยะเวลา 1 11 เดือน และมีผลงานวิจัยตามตัวชี้วัดความสำเร็จของโครงการวิจัย (รายละเอียดดังเอกสารที่แนบมาพร้อมนี้) และเพื่อให้ผลงานทางวิชาการของข้าพเจ้าเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและสาธารณชน ข้าพเจ้าอนุญาตให้กองบริหารการวิจัยและสำนักหอสมุดเผยแพร่ผลงานวิจัยฉบับสมบูรณ์และบทความย่อ ในระบบสารสนเทศ ดังนี้

- ระบบผลงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (<http://dra-is.research.nu.ac.th/dra-elibrary/>)
- ฐานข้อมูล NU Digital Repository (<http://obj.lib.nu.ac.th/media>)
- ไม่ยินยอม เนื่องจาก.....

ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอปิดโครงการวิจัยดังกล่าว และหากมีผลงานวิจัยเกิดขึ้นภายหลังจึงนำแจ้งให้มหาวิทยาลัยทราบทันที

งานธุรการ (หน่วยสัญญา)
 ตรวจสอบและคุมยอด 31 ส.ค. 2558
 ระบบบริหารโครงการวิจัย 4 ก.ย. 2558
 ระบบ NRP

.....
ดร.สายรุ้ง อวยพรกชกร
หัวหน้าโครงการวิจัย

เรียน อธิการบดี
2) เห็นควรอนุมัติ และให้ดำเนินการบันทึกข้อมูล

เรียน อธิการบดี
4) (/) เห็นควรอนุมัติ () เห็นควรไม่อนุมัติ

ลงชื่อ
(นางสาวสุชีลา พุ่มจูง)
หัวหน้าผู้ประสานงานวิจัย
(วันที่ 4 ส.ค. 2558)

ลงชื่อ
(นางสาวสิริกกร ชูแก้ว)
ผอ.กองบริหารการวิจัย
(วันที่ 1 ส.ค. 2558)

เรียน อธิการบดี
3) เห็นควรอนุมัติ

เรียน อธิการบดี
5) (/) อนุมัติ () ไม่อนุมัติ

ลงชื่อ
รองคณบดีฝ่ายบริหาร ศึกษาราชการแทน
รองคณบดีฝ่ายวิจัย คณะวิทยาศาสตร์
(วันที่ 4 ส.ค. 2558)

ลงชื่อ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย
(วันที่ 31 ส.ค. 2558)

31 ส.ค. 2558

.....
31 ส.ค. 58