การดูดติดตะกั่วและแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำดิบโดยการตีกวนกับดินเหนียว

Adsorption of Lead and Cadmium Contaminated Raw Water by Clayey Soil

สิทธิศักดิ์ ลิ้มสาลา[1] และ ธนูชัย กองแก้ว[2]

Sitthtisak Limsala[1] and Thanuchai Kongkaew[2]

Abstract

The study on removal of Pb and Cd in raw water by using clayey soil aimed to use baked clayey soil to remedy Pb- and Cd-contaminated water less than the standard value of wastewater and drinking water. The experiment was done in synthetic Pb-and Cd-contaminated water of 10 mg L^{-1}. The experiment was divided into two parts. The first experiment was to study the adsorption of Pb and Cd by using Tha Rau soil series baked at 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1,000, 1,100, 1,200 and 1,300 ° C respectively. The result indicated that soil baked with higher temperatures adsorbed lessen Pb and Cd. The second experiment aimed to determine the effects of contact time, soil particle size and the ratios of soils to solutions on Pb and Cd adsorption. The baked soil at 800 ° C was used to determine. The experiment was arranged in 5x3x5 factorial in completely randomized design. Five contact times between the baked soil and the solution at 30, 60, 120, 180, and 240 minutes, three groups of soil particles size included <2, 2-5 and 5-8 mm and five ratios of soil and solution of 1:25, 1:50, 1:75, 1:100, and 1:125 g:mL were tested. The results revealed that the extension of the contact time caused significantly ($P \leq 0.05$) increase in the adsorption of Pb and Cd. At the contact time of 240 minute adsorbed highest Pb by 85.20% and Cd by 55.65%. On the contrary, the adsorption of Pb and Cd was decreased significantly ($P \leq 0.05$) when soil particles size was increased. The soil particle size of <2 mm adsorbed highest Pb and Cd amounted to 79.85% and 47.39%. The adsorption of the both metals was increased significantly ($P \leq 0.05$) when the higher ratios of soil and solution were used. The highest Pb and Cd adsorption amounted to 82.40 and 65.48% were obtained in the ratio of 1:25 g:mL. However, all factors used in the experiment i.e. contact time, soil particle size and ratio of soil to solution adsorbed the two metals at the initial concentration of 10 mg L^{-1} did not lesser than the standard value of essluent water and drinking water.

[1] ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

[1] Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineer, Naresuan University, Muang, Phitsanulok 65000

[2] ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

[2] Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Muang, Phitsanulok 65000

บทคัดย่อ

การศึกษาการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมในน้ำดิบโดยการตีกวนร่วมกับดินเหนียว มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองใช้ดินเหนียวเผามาดูดติด (บำบัด) น้ำที่ปนเปื้อนโลหะหนักทั้งสองให้ลดลงจนสามารถนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้ โดยทดลองในน้ำปนเปื้อนสังเคราะห์ของสารละลายตะกั่วและแคดเมียมที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ 1) ศึกษาการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมของดินชุดท่าเรือที่เผาที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1,000, 1,100, 1,200 และ 1,300 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าดินที่เผาโดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นดูดติดตะกั่วและแคดเมียมได้ลดลง 2) ศึกษาผลของเวลาสัมผัส กลุ่มขนาดอนุภาคและอัตราส่วนระหว่างดินต่อสารละลายต่อการดูดติดตะกั่วและแคดเมียม โดยเลือกดินเหนียวเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นตัวดูดติด จัดกรรมวิธีการทดลองแบบ 5 x 3 x 5 factorial ในแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design มีเวลาสัมผัสระหว่างดินเผากับสารละลาย 5 ระยะเวลา คือ 30, 60, 120, 180 และ 240 นาที กลุ่มขนาดอนุภาคดินเผา 3 กลุ่มขนาด คือ กลุ่มขนาดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง <2, 2-5, และ 5-8 มิลลิเมตร และอัตราส่วนระหว่างดินเผาต่อสารละลาย 5 อัตรา คือ 1:25, 1:50, 1:75, 1:100 และ 1:125 กรัม:มิลลิลิตร เป็นกรรมวิธีการทดลอง ผลการทดลองพบว่าการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสระหว่างดินเผากับสารละลาย โดยเวลาสัมผัสที่ 240 นาที ดูดติดตะกั่วและแคดเมียมได้มากที่สุด 85.20 และ 55.65 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การดูดติดโลหะหนักทั้งสองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อกลุ่มขนาดอนุภาคดินเผาใหญ่ขึ้น โดยกลุ่มขนาดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง <2 มิลลิเมตร ดูดติดตะกั่วและแคดเมียมได้มากที่สุด 79.85 และ 47.39 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราส่วนดินเผาต่อสารละลายพบว่าการดูดติดโลหะหนักทั้งสองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อใช้อัตราส่วนมากขึ้น โดยอัตราส่วน 1:25 กรัม:มิลลิลิตร ดูดติดตะกั่วและแคดเมียมได้มากที่สุด 82.40 และ 65.48 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามทุกเวลาสัมผัส กลุ่มขนาดอนุภาคและอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่ใช้ในการทดลองยังบำบัดตะกั่วและแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งและน้ำดื่ม

บทนำ

การที่ประเทศไทยมีการพัฒนาที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทุก ๆ ด้าน ทั้งทางเศรษฐกิจและสังคม ทำให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมากมายและปล่อยของเสียทิ้งลงในแม่น้ำ ลำธาร ซึ่งทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม มากมาย เช่น น้ำเสีย ขยะเป็นพิษ และอากาศเสีย มลพิษที่สำคัญอันหนึ่งซึ่งพบในหลายพื้นที่ ของประทศไทย คือ น้ำเน่าเสียที่เกิดจากน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียจากแหล่งอุตสาหกรรมที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำโดยไม่มีการบำบัดหรือยังมีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ เช่น ตะกั่วและแคดเมียม ถ้าน้ำทิ้งเหล่านี้มีปริมาณโลหะหนักดังกล่าวมาก ๆ เช่น มากกว่า 10 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมอนามัย, 2541) ก็อาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภคได้ ปรกตินำ้เสียที่มีตะกั่วและแคดเมียมเป็นส่วนประกอบมักย่อยสลายตัวในธรรมชาติได้ยาก นอกจากนี้โลหะหนักทั้งสองยังเป็นสารที่ก่อมะเร็งอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งวิธีการในการบำบัดตะกั่วและแคดเมียมออกจากน้ำเสียที่ใช้กันทั่วไปนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน วิธีการใช้ดินเหนียวดูดติดเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนักทั้งสองได้ และเสียค่าใช้จ่ายน้อยเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ จึงเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้

วิธีการศึกษา

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมของดินชุดท่าเรือ

1.1 เป็นการศึกษาโดยใช้ชุดดินท่าเรือ (Tr: Aquentic chromurators; very-find, montmoril-lonite) ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1,100, 1,200 และ 1,300 องศาเซลเซียส โดยชั่งอย่างละ 4 กรัม ใส่ในสารละลายตะกั่วที่เตรียมจาก [Pb $(NO_3)_2$] ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร (1:125 กรัม:มิลลิลิตร) นำสารละลายดินที่ได้เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที นาน 3 ชั่วโมง และ centrifuge ที่ความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที เพื่อแยกสารละลายและดินเหนียวออกจากกัน

1.2 นำสารละลายใสที่แยกได้จากข้อ 1.1 ไปหาความเข้มข้นของตะกั่วด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry

1.3 ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 1.1-1.2 แต่เปลี่ยนสารละลายจากตะกั่วเป็นแคดเมียมที่เตรียมจาก [$Cd(NO_3)_2.8H_2O$]

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการดูดติดตะกั่วและแคดเมียม

ใช้การทดลองแบบ 3 x 5 x 5 factorial in completely randomized design จำนวน 3 ซ้ำ ศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการดูดติดตะกั่วหรือแคดเมียมของชุดดินท่าเรือ 3 ปัจจัย คือ 1) เวลาสัมผัสของดินเผากับสารลายตะกั่วหรือแคดเมียม 5 ระยะเวลา คือ 30, 60, 120, 180 และ 240 นาที 2) กลุ่มขนาดอนุภาคดินเผา 3 กลุ่มขนาด คือ กลุ่มขนาดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง <2, 2-5 และ 5-8 มิลลิเมตร และ 3) อัตราส่วนระหว่างดินเหนียวกับสารละลายตะกั่วหรือแคดเมียม 5 อัตราส่วน คือ 1:25, 1:50, 1:75, 1:100 และ 1:125 กรัม:มิลลิลิตร

ทำการเลือกดินเผาที่อุณหภูมิต่ำสุดและไม่ละลายในสารละลาย คือ 800 องศาเซลเซียส จากการทดลองที่ 1 แบ่งดินเผาดังกล่าวออกเป็น 3 กลุ่มขนาด ตามกรรมวิธีที่กำหนด มาทำการทดลองดังนี้

2.1 ชั่งดินเผากลุ่มขนาด <2 มิลลิเมตร 4 กรัม ใส่ในสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2 เขย่าสารละลายข้อ 2.1 ด้วยเครื่อง Shaker ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที นาน 30 นาที และ centrifuge ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที เพื่อแยกสารละลายและดินเหนียวออกจากกัน

2.3 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2.2 ไปหาความเข้มข้นของตะกั่วด้วยโดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry ส่วนตะกอนดินที่แยกแล้วนำไปหาตะกั่วที่สกัดได้

2.4 ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1-2.3 แต่เปลี่ยนกลุ่มขนาดอนุภาคดินเป็น 2-5 และ 5-8 มิลลิเมตร เปลี่ยนเวลาสัมผัสของดินเผาต่อสารละลายตะกั่วเป็น 60, 120, 180 และ 240 นาที และเปลี่ยนอัตราส่วนดินต่อสารละลายตะกั่วเป็น 1:50, 1:75, 1:100 และ 1:125 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

สำหรับการดูดติดแคดเมียม ก็ปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลองในสารละลายตะกั่วโดยใช้กลุ่มขนาดอนุภาค เวลาสัมผัส อัตราส่วนของดินเผาต่อสารละลาย และความเข้มข้นของสารละลายเช่นเดียวกัน

หมายเหตุ : การดูดติดหมายถึงปริมาณตะกั่วหรือแคดเมียมเริ่มต้น - ปริมาณที่เหลือในสารละลาย

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for windows สถิติที่วิเคราะห์ได้แก่ ความแปรปรวน (analysis of variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ

ทรีทเมนต์โดยวิธี Duncan's Multiple Rang Test และวิเคราะห์การถดถอย (regression) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% กำหนดตัวแปรอิสระ คือ กลุ่มขนาดอนุภาคดิน เวลาสัมผัส และอัตราส่วน และตัวแปรตาม คือ เปอร์เซ็นต์การดูดติด

ผลการศึกษา

1. การดูดติดตะกั่วและแคดเมียมโดยดินเหนียวเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การดูดติดตะกั่วและแคดเมียมของดินเหนียวเผาในสารละลายตะกั่วและสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 10 มก./ล. พบว่าการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมของดินเผาลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจาก 100 เป็น 1,300 องศาเซลเซียส ทำให้การดูดติดตะกั่วและแคดเมียมลดลง 20 และ 78.14% และเมื่อแบ่งกลุ่มของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดติด พบว่าการดูดติดตะกั่วของดินที่เผาที่อุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส ดูดติดตะกั่วได้มากกว่าดินที่เผาที่อุณหภูมิ1,000-1,300 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 100-900 องศาเซลเซียส ดูดติดมากกว่าอุณหภูมิ 1200-1300 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ตามลำดับ ส่วนการดูดติดแคดเมียมนั้น พบว่าอุณหภูมิมีผลเช่นเดียวกับกับการดูดติดตะกั่ว แต่นัยสำคัญของการลดลงของการดูดติดจะแตกต่างกันในช่วงการเพิ่มอุณหภูมิที่ค่อนข้างแคบ คือ มีการดูดติดที่อุณหภูมิ 100-200, 400, 500-600, 700, 800, 900, 1}000 และ 1,100-1,300 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (Table 1) นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดติดแคดเมียมลดลงอย่างรวดเร็ว ประมาณ 67% เมื่ออุณหภูมิที่เผาดินเพิ่มขึ้นจาก 400 เป็น 1,300 องศาเซลเซียส ในขณะที่การดูดติดตะกั่วนั้นลดลงเพียง 17% เท่านั้น

Table 1 Adsorption of Pb and Cd by burned clay as affected by different burned temperatures

Burned Temperature (° C)	Pb- adsorption (%)	Pb rest in solution (mg L^{-1})	Cd-adsorption (%)	Cd rest in solution (mg L^{-1})
100	93.00a[1/]	0.7	91.33a	0.88
200	92.59a	0.74	88.91a	1.11
300	92.26a	0.774	86.23ab	1.37
400	90.38a	0.961	80.48b	1.95
500	90.75a	0.925	61.43c	3.85
600	89.00ab	1.092	59.08c	4.17
700	87.08ab	1.298	49.55d	5.05
800	86.00abc	1.394	37.98e	6.20
900	84.32abc	1.568	27.75f	7.22
1,000	78.97bcd	2.102	22.52g	7.74
1,100	76.29cd	2.371	18.70h	8.12
1,200	73.13d	2.687	14.55h	8.54
1,300	72.93d	2.702	13.19h	8.68
F-test	*	-[2/]	*	-

[1/] value with the same letter in the same column are not significantly different at 5% by DMRT

[2/] = not determined

2. ผลของเวลาสัมผัส กลุ่มขนาด และอัตราส่วนระหว่างดินเผากับสารละลายต่อการดูดติดตะกั่วและแคดเมียม

2.1 เวลาสัมผัสระหว่างดินเผากับสารละลาย

การดูดติดตะกั่วในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาสัมผัสของดินเผากับสารละลายเพิ่มขึ้น การดูดติดตะกั่วที่สัมผัสกับสารละลาย 30, 60, 120,180 และ 240 นาที เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ทุกระยะเวลาสัมผัส โดยเพิ่มขึ้นจาก 47 เป็น 85.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระยะเวลาสัมผัสที่ 30 นาที เพิ่มเป็น 240 นาที และที่ระยะเวลาสัมผัส 240 นาทีนี้ทำให้มีตะกั่วเหลือในสารละลายน้อยที่สุด 1.48 มก./ล. (ตาราง 2) เช่นเดียวกับการการติดแคดเมียม เมื่อนำดินเผาไปดูดติดสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 10 มก./ล. ที่ระยะเวลาสัมผัสเช่นเดียวกับของตะกั่วพบว่าการดูดติดแคดเมียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจาก 30 เป็น 60, 120, 180 และ 240 นาที ทำให้การดูดติดเพิ่มขึ้นจาก 26.13 เป็น 34.71 42.51 49.07 และ 55.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเวลาสัมผัส 240 นาที มีแคดเมียมเหลืออยู่ในสารละลายน้อยที่สุดเท่ากับ 4.43 มก./ล. (Table 2)

2.2. กลุ่มขนาดของดินเผา

กลุ่มขนาดอนุภาคดินเผาที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน 3 ขนาด คือ 2, 2-5 และ 5-8 มม. สามารถดูดติดตะกั่วในสารละลายได้ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ทุกกลุ่มขนาด โดยกลุ่มขนาดอนุภาค <2 มม. ดูดติดตะกั่วได้มากกว่ากลุ่มขนาด 2 -5 และ 5-8 มม. ตามลำดับ ทำให้การดูดติดจาก 79.85% ลดลงเหลือ 65.96 และ 62.11% ตามลำดับ ส่วนปริมาณตะกั่วที่เหลือในสารละลายหลังจากการดูดติดนั้น พบว่ากลุ่มขนาดดินเผาที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง <2 มม. ทำให้เหลือปริมาณตะกั่วในสารละลายน้อยที่สุด ส่วนการดูดติดแคดเมียม พบว่าทุกกลุ่มขนาดของดินเผาดูดติดแคดเมียมได้ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับกรดูดติดตะกั่ว กลุ่มขนาด <2 มม. ดูดติดแคดเมียมได้มากกว่าขนาด 2-5 มม. 6.4 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มขนาด 2-5 มม. ดูดติดได้มากกว่ากลุ่มขนาด 5-8 มม. 4.6 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการดูดติดแคดเมียมของกลุ่มขนาดอนุภาคทั้งสามยังทำให้เหลือแคดเมียมในสารละลายค่อนข้างมาก ประมาณ 5.26 - 6.35 มก./ล. (Table 2)

2.3 อัตราส่วนระหว่างดินเผากับสารละลาย

การดูดติดตะกั่วลดลงเมื่ออัตราส่วนของดินต่อสารละลายลดลง อัตราส่วนดินต่อสารละลาย 1:25, 1:50, 1:75, 1:100 และ 1:125 ก./มล. ดูดติดตะกั่วลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในทุกอัตราส่วน อัตราส่วนที่ดูดติดตะกั่วได้มากที่สุด คือ 1:25 เท่ากับ 82.40 และน้อยที่สุด คือ 1:125 เท่ากับ 60.18 เปอร์เซ็นต์ หรือแตกต่างกันประมาณ 22.22 เปอร์เซ็นต์ โดยที่อัตราส่วนที่มากที่สุด คือ 1:25 ก./มล. ยังคงมีตะกั่วเหลือในสารละลาย เท่ากับ 1.76 มก./ล. สำหรับอัตราส่วน 1:75 และ 1:100 ก./มล. ให้การดูดติดที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เฉลี่ย 64.7% สำหรับการดูดติดแคดเมียมนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่ออัตราส่วนของดินต่อสารละลายลดลงเช่นเดียวกับการดูดติดตะกั่ว อัตราส่วนที่ดูดติดแคดเมียมได้มากที่สุด (65.48เปอร์เซ็นต์) คือ 1:25 ก./มล. ซึ่งเหลือแคดเมียมในสารละลายน้อยที่สุด 3.452 มก./ล. และอัตราส่วนที่ดูดติดน้อยที่สุดคือ 1:125 ก./มล. เท่ากับ 25.06 เปอร์เซ็นต์ (Table 2)

Table 2 Adsorption of Pb and Cd and its concentration rest in solution as affected by different contact time, particle grain size and the ratios of soils to solutions

Treatments	Pb-adsorption (%)	Pb rest in solution (mg L^{-1})	Cd-adsorption (%)	Cd rest in solution (mg L^{-1})
Contact time (C) (min.)				
30	46.98e[1/]	5.30	26.13e	7.38
60	56.91d	4.30	34.71d	6.52
120	74.72c	2.52	42.51c	5.74
180	82.72b	1.72	49.07b	5.09
240	85.20a	1.48	55.56a	4.43
F-test	*	-[3/]	*	-
Particle grain size (S) (mm)				
< 2	79.85a	2.015	47.39a	5.261
2-5	65.96b	3.404	41.02b	5.898
5-8	62.11c	3.789	36.43c	6.357
F-test	*	-	*	-
Ratio of soil:sol. (R) (g:mL)				
1:25	82.40a	1.76	65.48a	3.45
1:50	74.45b	2.55	49.43b	5.05
1:75	64.79c	3.52	37.09c	6.29
1:100	64.70c	3.53	31.01d	6.89
1:125	60.18d	3.98	25.06e	7.49
F-test	*	-	*	-
C x S	*	-	*	-
C x R	*	-	ns[2/]	-
S x R	*	-	*	-
C x S X R	*	-	*	-

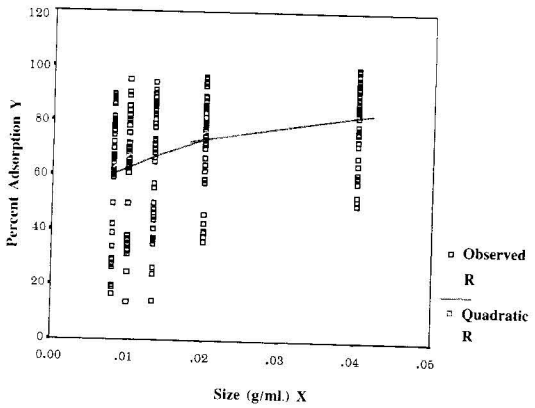
[1/] value with the same letter in the same column are not significantly different at 5% level by DMRT

[2/] ns = not significant

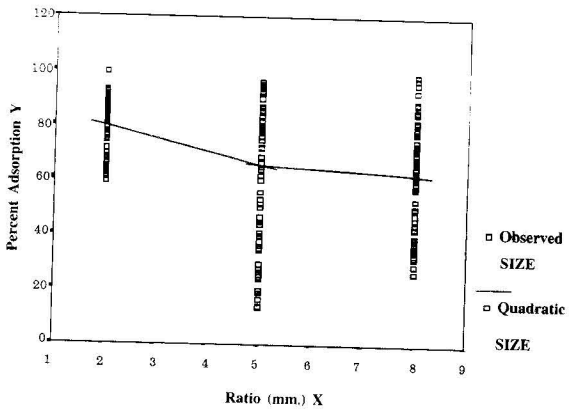
[3/] = not determined

3. อิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อการดูดติดตะกั่วและแคดเมียม

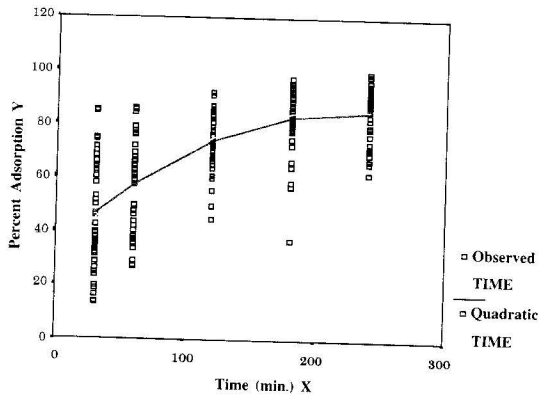
วิเคราะห์การถดถอย (regression) เพื่อพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ศึกษาต่อการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมพบว่าสำหรับการดูดติดตะกั่วนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือเวลาสัมผัส (R^2= 0.51) รองลงมาได้แก่อัตราส่วนของดินเผากับสารละลาย (R^2= 0.14) และขนาดอนุภาคดินเผา (R^2= 0.13) ตามลำดับ ส่วนการดูดติดแคดเมียมนั้นอัตราส่วนของดินเผากับสารละลายแคดเมียมมีอิทธิพลมากที่สุด (R^2=0.57) รองลงมาได้แก่เวลาสัมผัส (R^2= 0.31) และขนาดอนุภาคของดินเผา (R^2= 0.07) ตามลำดับ (Fig. 1)



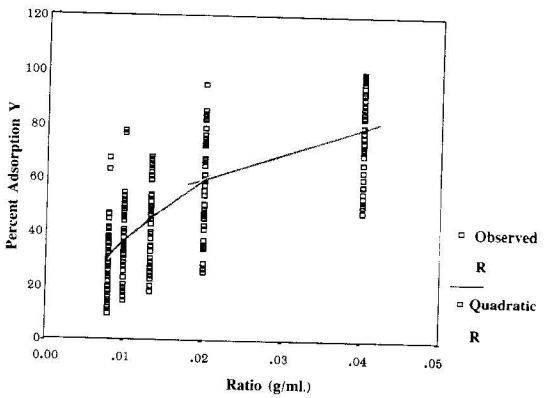
(a) $Y = 48.4639 + 1661.8 - 20286X^2$ (R^2= 0.14)



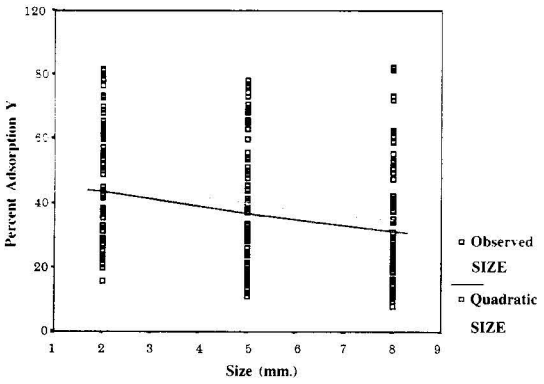
(b) $Y = 94.6975 - 8.5375X + 0.5581X^2$ (R^2=0.13)



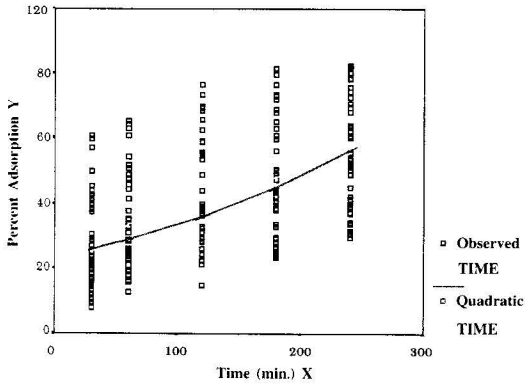
(c) $Y = 33.9438 + 0.4546X - 0.001X^2$ (R^2= 0.51)



(d) $Y = 3.5997 + 3037.5X - 37266X^2$ (R^2= 0.57)



(e) $Y = 486649(e)^{-0.0547X}$ ($R^2 = 0.07$)



(f) $Y = 23.2288(e)^{0.0037X}$ ($R^2 = 0.31$)

หมายเหตุ: Y = การดูดติดตะกั่ว/แคดเมียม (%), X = อัตราส่วนของดินเผาต่อสารละลายตะกั่วหรือแคดเมียม/กลุ่มขนาดอนุภาค/เวลาสัมผัสของดินเผากับสารละลายตะกั่วหรือแคดเมียม ตามลำดับ

Fig. 1 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดติดตะกั่วหรือแคดเมียมของดินเผากับอัตราส่วนของดินเผาต่อสารละลายตะกั่วหรือแคดเมียม (a, d)/กลุ่มขนาดอนุภาคดินเผา (b, e)/เวลาสัมผัสของดินเผากับสารละลายตะกั่วหรือแคดเมียม (c, f) ตามลำดับ

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองนี้ใช้ดินเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มาดูดติดตะกั่วและแคดเมียมเนื่องจากไม่ต้องการให้น้ำที่จะบำบัดขุ่น เพราะเป็นน้ำที่จะต้องใช้ในการอุปโภคและบริโภค ถ้าใช้ดินที่เผาโดยอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ คือ 100-700 องศาเซลเซียส ดินเผาจะละลายออกมาแล้วทำให้น้ำขุ่น ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากเมื่อนำไปใช้ในการบำบัดจริง ๆ ถึงแม้ว่าดินเผาที่อุณหภูมิดังกล่าวจะดูดติดตะกั่วและแคดเมียมได้มากก็ตาม สำหรับอุณหภูมิในการเผาที่สูงขึ้นแล้วทำให้การดูดติดตะกั่วและแคดเมียมในสารละลายลดลง เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและกายภาพของดินที่เผา ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไป คือ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cation exchange capacity) จะลดลง เนื่องจากปริมาณอินทรียวัตถุในดินซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ดินมี C.E.C. สูงและสามารถดูดติดและแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดีจะลดลงด้วยขณะเผาดินที่อุณหภูมิสูง ๆ ตั้งแต่ 400-900 องศาเซลเซียส (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) การลดของ C.E.C. ดินจะทำให้เกิดการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมลดลงด้วย เนื่องจากการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมนั้นจะผันแปรตามค่า C.E.C. ของดินและอินทรียวัตถุในดินสูง (Altin et al., 1999) โดยสอดคล้องกับค่า C.E.C. ของดินเผา ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ลดลงจาก 44.1 เหลือเพียง 1.59 มิลลิอิควิวาเลนต์/100 ก. ดิน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจาก 100 เป็น 1,300 องศาเซลเซียส ส่วนเวลาสัมผัสระหว่างดินเผากับสารละลายที่เพิ่มขึ้นแล้วทำให้เกิดการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากการเพิ่มเวลาสัมผัสนั้นทำให้อนุภาคดินเผาสัมผัสกับสารละลายได้

นานขึ้น ดังนั้นการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างดินกับสารละลายก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้มากด้วย เนื่องจากการเกิดปฏิกริยาแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างดินกับสาระลายและการดูดติดที่ผิวของดินเผานั้นจะดำเนินไปได้ดีจนเข้าสู่สมดุลจำเป็นต้องอาศัยเวลาสัมผัสที่พอเพียง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Altin et al., 1999 ที่พบว่าการดูดติดตะกั่วและแคดเมียมของดินเหนียว Montmorillonite เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาสัมผัสระหว่างดินกับสารละลายที่เพิ่มขึ้น ส่วนการดูดติดสารละลายตะกั่วและแคดเมียมที่ลดลงผกผันกับขนาดอนุภาคของดินเผา มาจากพื้นที่ผิวที่ต่างกันของอนุภาคแต่ละกลุ่มขนาด กลไกหนึ่งที่ทำให้เกิดการดูดติด คือ กระบวนการดูดติดพื้นผิว ซึ่งเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวของกลุ่มอนุภาคดินที่ใช้ผสมกับสารละลาย และค่า Iodine Number ของอนุภาคดินแต่ละกลุ่มขนาด โดยที่ค่า Iodine Number ของกลุ่มขนาด <2 มม. สูงสุดเท่ากับ 874.15 มก./ก. ส่วนกลุ่มขนาด 2-5 และ 5-8 มม. เท่ากับ 861.65 และ 855.48 มก./ก. กลุ่มขนาดที่มีค่า Iodine Number สูงจะดูดติดตะกั่วและแคดเมียมได้มากกว่ากลุ่มขนาดที่มีค่า Iodine Number น้อยลงมาคือ 2-5 และ 5-8 มม. นอกจากนี้ปริมาณพื้นที่ผิวต่อหน่วยมวลของกลุ่มขนาด <2 มม. ก็มีมากกว่ากลุ่มขนาด 2-5 และ 5-8 มม. ด้วย ดังนั้นจึงมีเนื้อที่ผิวภายในและพื้นที่ผิวรวมมากกว่ากลุ่มอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีมวลเท่ากันจึงดูดติดตะกั่วและแคดเมียมได้มากกว่ากลุ่มอนุภาคขนาดใหญ่ สำหรับอัตราส่วนของดินต่อสารละลายที่เพิ่มขึ้นแล้วทำให้เกิดการดูดติดสารละลายตะกั่วและแคดเมียมได้มากขึ้นนั้น เนื่องจากปริมาณดินเผาที่ใส่ในสารละลายเพิ่มขึ้น จะทำให้สารละลายมีปริมาณพื้นที่ผิวของดินเผาและค่า C.E.C. เพิ่มมากขึ้นด้วย ดังเช่น งานวิจัยของทนงศักดิ์ ศรีทุมมา (2538) ที่พบการดูดติดตะกั่วของวัสดุผสมดินเหนียวและทรายจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณของดินเหนียวที่ใช้ผสมในสารละลาย

สรุปผลการทดลอง

1. ดินที่ถูกเผาโดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะดูดติดตะกั่วและแคดเมียมได้ลดลง
2. เวลาสัมผัสและอัตราส่วนระหว่างดินเผากับสารละลายที่เพิ่มขึ้นทำให้การดูดติดตะกั่วและแคดเมียม เพิ่มขึ้น ขณะที่กลุ่มขนาดอนุภาคดินเผาที่ใหญ่ขึ้นทำให้การดูดติดโลหะหนักทั้งสองลดลง
3. ดินเผาดูดติดตะกั่วได้มากกว่าแคดเมียม

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย. 2541. ผลกระทบจากโลหะหนัก. อนามัยสิ่งแวดล้อม. 3 (6) : มี.ค.- เม.ย. 2541. หน้า 10-14.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541.

ทนงศักดิ์ ศรีทุมมา. 2538. การกำจัดสารตะกั่วออกจากน้ำเสียของโรงงานแบตเตอรี่โดยใช้ขี้เถ้าผสมลิกไนต์. กรุงเทพฯ. ม.ป.ท., 2538.

Altin, O., O.H. Ozbelge, and T. Dogo. 1999. Effect of pH, flow rate and concentration on the sorption of Pb and Cd on montmorillonite. Journal of Chemical Technology 74: May-June 1999, p.1131-1138.

Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney. 1982. Methods of soil analysis. Wisconsin:Madison American Society of Agronomy, 1982