ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำของดินเหนียว

Some Factors Affecting on Adsorption of Lead and Cadmium Contaminated Water by Clays

ปณวัฒน์ หมีคุ้ม[1] และ ธนูชัย กองแก้ว[2]

Panawat Maekum[1] and Thanuchai Kongkaew[2]

Abstract

The study was aimed to determine the effects of pH and concentration of solution on adsorption of Pb and Cd by using soils with different cation exchange capacity (C.E.C.). The batch experiment was done and the statistical design was arranged as 3x5x4 factorial in a completely randomized design with 3 replications. Three clayey soils with C.E.C. of 41, 34 and 20 $cmol_c\ kg^{-1}$ respectively were used to adsorb Pb and Cd concentrated 10, 20, 30, 40 and 50 mg L^{-1} prepared in pH values of 3, 5, 7, and 9 respectively. The results revealed that the adsorption of Pb and Cd was increased when the pH of solution was increased. The highest adsorptions of Pb Pb and Cd amounted to 92.71 and 79.93% were in the range of pH 7-9 and pH 9 respectively. Soils with C.E.C. of 41 and 34 $cmol_c\ kg^{-1}$ adsorbed highest Pb amounted to 89.33% which was significantly ($P \leq 0.001$) more than soil with C.E.C. of 20 cmolc kg-1 which adsorbed 79.77% only. For Cd adsorption, soil with C.E.C. of 41 $cmol_c\ kg^{-1}$ adsorbed Cd by 71.73% which was significantly ($P \leq 0.001$) higher than 68.49 and 59.72% adsorbed by the soils with C.E.C. of 34 and 20 $cmol_c\ kg^{-1}$. Moreover, it was found that the adsorptions of Pb and Cd were decreased by about 4.52%, from 91.38 to 86.86%, for Pb and 35.03%, from 82.28 to 47.25%, for Cd when the concentrations of Pb and Cd were increased from 10 to 50 mg L^{-1}. However, all C.E.C. of soils and pH of the solution used in the experiment adsorbed Pb and CD did not lower than the standard value of essluent water.

Key words : Adsorption, cadmium, C.E.C., clay, contaminated water, lead, pH

[1] ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

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

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

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

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเป็นกรดและความเข้มข้นของสารละลายต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของดินที่มีค่า C.E.C. ต่างกัน ทำการทดลองแบบแบทส์และวางแผนการทดลองแบบ 3x5x4 factorial in completely randomized design จำนวน 3 ซ้ำ ใช้ดินเหนียวที่มีค่า C.E.C. ต่างกัน 3 ชุดดิน คือ ชุดดินท่าเรือ หางดง และแม่สาย ซึ่งมีค่า C.E.C. 41, 34 และ 20 $cmol_c\ kg^{-1}$ ตามลำดับ ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 $mg\ L^{-1}$ ในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าดินเหนียวดูดซับตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า pH ระหว่าง 7-9 มีการดูดซับตะกั่วมากที่สุดเท่ากับ 92.7% และ pH 9 ดูดซับแคดเมียมมากที่สุด 79.93% สำหรับผลของ C.E.C. ดินพบว่าดินที่มีค่า C.E.C. 41 และ 34 $cmol_c\ kg^{-1}$ ดูดซับตะกั่วได้มากที่สุดเท่ากับ 89.33% โดยมากกว่าดินที่มีค่า C.E.C. 20 $cmol_c\ kg^{-1}$ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.001$) ซึ่งดูดซับได้เพียง 79.77% เท่านั้น ส่วนการดูดซับแคดเมียมนั้นดินที่มีค่า C.E.C. 41 $cmol_c\ kg^{-1}$ ดูดซับได้ 71.73% ซึ่งมากกว่าดินที่มีค่า C.E.C. 34 และ 20 $cmol_c\ kg^{-1}$ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.001$) โดยดูดซับได้เพียง 68.49 และ 59.72% นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วและแคดเมียมให้สูงขึ้นจาก 10 เป็น 50 $ml\ L^{-1}$ ทำให้การดูดซับตะกั่วลดลง 4.52% จาก 91.38 เหลือเพียง 86.86% และดูดซับแคดเมียมลดลง 35.03% จาก 82.28 เหลือเพียง 47.25% อย่างไรก็ตามทุกค่า C.E.C. ของดินและ pH ของสารละลายที่ใช้ในการทดลองดูดซับตะกั่วและแคดเมียมลดลงได้ไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

คำสำคัญ : การดูดซับ, ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก, ความเป็นกรด, แคดเมียม, ดินเหนียว, ตะกั่ว, น้ำปนเปื้อน

บทนำ

ปัจจุบันตะกั่วและแคดเมียมได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมและกิจกรรมต่าง ๆ มากขึ้น ผลจากการผลิตและการใช้ที่ขาดการควบคุมอย่างถูกต้องและระมัดระวัง เป็นสาเหตุให้โลหะหนักทั้งสองปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะแหล่งน้ำ ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำและสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคติดตามมา ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ แต่ด้วยเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดในปัจจุบันต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ทำให้มีการศึกษาการนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ในการบำบัดโลหะหนักมากขึ้น เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าอีกด้วย เช่น Larsen and Hans (1981) ใช้ฟางข้าวบาร์เลย์ผสมกับปูนขาวเป็นวัสดุดูดซับโลหะหนัก แต่วัสดุธรรมชาติเหล่านี้ไม่มีความคงที่ของประสิทธิภาพการดูดซับเนื่องจากมีการสลายตัวอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำ ดินเหนียวมาทดลองใช้ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ เนื่องจากดินเหนียวมีสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับโลหะหนักได้ดีและมีการสลายตัวช้า แต่เนื่องจากการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของดินเหนียวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกดิน ความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดูดซับโลหะหนัก

วิธีการทดลอง

เป็นการศึกษาการใช้ดินที่มีค่า C.E.C. ต่างกันมาดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในสารละลายที่มีค่า pH และความเข้มข้นต่างกัน โดยดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

1. ใช้ชุดดินท่าเรือ หางดงและแม่สายซึ่งมีค่า C.E.C. 41, 30 และ 20 $cmol_c\ kg^{-1}$ ตามลำดับ โดยชั่งมาชุดดินละ 4 กรัม ใส่ขวดพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ชุดดินละ 1 ขวด เติมสารละลายตะกั่วที่

เตรียมจาก [Pb $(NO_3)_2$] ความเข้มข้น 10 mg L^{-1} ค่ามีค่า pH เท่ากับ 3 จำนวน 500 มิลลิลิตรต่อขวด นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที นาน 3 ชั่วโมง ดูดสารละลายที่เป็นตัวแทนขวดละ 250 มิลลิลิตร มา centrifuge ด้วยความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที เพื่อแยกส่วนดินและสารละลายออกจากกัน จากนั้นนำส่วนที่เป็นสารละลายไปหาตะกั่วด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry

2. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่เปลี่ยนค่า pH ของสารละลายเป็น 5, 7 และ 9 ตามลำดับ หลังจากนั้นเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายตะกั่วจาก 10 เป็น 20, 30, 40 และ 50 mg L^{-1} พร้อมทั้งปรับค่า pH สารละลายแต่ละความเข้มข้นเป็น 3, 5, 7, และ 9 ตามลำดับ ก็จะครบทุกชุดการทดลองตามที่วางแผนไว้ สำหรับการดูดซับแคดเมียมใช้สารละลายแคดเมียมที่เตรียมจาก [$Cd(NO_3)_2.8H_2O$] เป็นสารละลายที่ถูกดูดซับ โดยปรับความเข้มข้นและค่า pH ของสารละลายเช่นเดียวกับของตะกั่วทุกประการ

ผลการทดลอง

1. สมบัติบางประการของดินที่ใช้ทดลอง

ดินที่ใช้ทดลองทั้ง 3 ชุดดินคือ 1) ชุดดินท่าเรือ (Tr: Aquentic chromurators; very-find, mont-morillonite) เป็นดินที่มีค่า C.E.C. สูง (41 $cmol_c$ kg^{-1}) 2) ชุดดินหางดง (Hd: Tropaqualfs; find, kaolinite) มีค่า C.E.C. ปานกลาง (34 $cmol_c$ kg^{-1}) และ 3) ชุดดินแม่สาย (Ms: Aeric Tropaqualfs; find-silt, mixed) มีค่า C.E.C. ต่ำ (20 $cmol_c$ kg^{-1}) ชุดดินทั้งสามมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวและพบตะกั่วและแคดเมียมปนเปื้อนประมาณ 0.004 - 0.008 และ 0.002 - 0.075 mg g-1 ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Some physical and chemical properties of soils used in the experiment, Tha Rua (Tr), Hang Dong (Hd) and Mae Sai (Ms) series

Soil	pH*	C.E.C. ($cmol_c$ kg^{-1})	OM (%)	Sand	Silt	Clay	Texture	Dominated Clay	Pb	Cd
				-------%-------					-- mg g^{-1}--	
Tr	6.8	41	1.3	3	26	71	Clay	Mont.	0.007	0.002
Hd	7.1	34	1.0	12	9	79	Clay	Kaoli.	0.008	0.075
Ms	6.6	20	0.8	10	20	70	Clay	Mixed	0.004	0.041

*soil:water = 2 :1

2. ผลของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกดินต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

เมื่อใช้ดินเหนียวต่อสารละลายอัตราส่วน 1:125 g:mL ชุดดินท่าเรือและหางดงซึ่งที่มีค่า C.E.C. สูงและปานกลาง (41 และ 34 $cmol_c$ kg^{-1}) ดูดซับตะกั่วได้ประมาณ 89.33% ซึ่งมากกว่าชุดดินแม่สายที่มีค่า C.E.C ต่ำ (20 $cmol_c$ kg^{-1}) อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.001$) โดยดูดซับได้เพียง 79.77% สำหรับการดูดซับแคดเมียมนั้นพบว่าการดูดซับแคดเมียมต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.001$) ทุกค่า C.E.C. ของดิน โดยดูดซับได้มากขึ้นจาก 59.72 เป็น 68.49 และ 71.73% เมื่อดินมีค่า C.E.C เพิ่มขึ้นจาก

20 เป็น 34 และ 41 $cmol^c\ kg^{-1}$ ตามลำดับ จะพบว่าการดูดซับตะกั่วนั้นเพิ่มขึ้นสูงมากประมาณ 9% เมื่อเพิ่มค่า CEC ดินจาก 20 เป็น 34 $cmol_c\ kg^{-1}$ และเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเพิ่ม C.E.C. ดินจาก 34 เป็น 41 $cmol_c\ kg^{-1}$ ในขณะที่การดูดซับแคดเมียมนั้นพบว่ายังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้อีกมาก (Table 2)

Table 2 Adsorption of Pb and Cd and its concentration rest in solution as affected by soils with different cation exchange capacity, pH and concentration

Treatments	Pb-adsorption (%)	Kd[1/] (%)	Pb rest in solution (mg L^{-1})	Cd-adsorption (%)	Kd (%)	Cd rest in solution (mg L^{-1})
C.E.C. (E) ($cmol_c\ kg^{-1}$)						
20	79.77b[2/]	3.94	–[4/]	59.72c	1.48	–
34	89.02a	8.10	–	68.49b	2.17	–
41	89.64a	8.65	–	71.73a	2.53	–
F-test	***		–	***		–
pH (P)						
3	71.18c	2.46	–	44.87c	0.81	–
5	87.96b	7.30	–	70.62b	2.40	–
7	92.30a	11.89	–	71.18b	2.46	–
9	93.12a[3/]	13.53	–	79.93a[3/]	3.98	–
F-test	***		–	***		–
Concentration (C) (mg L^{-1})						
10	91.38a	10.60	0.86	82.28a	4.64	1.77
20	89.25b	8.30	2.15	76.05b	3.17	4.79
30	86.74c	6.54	3.98	63.08c	1.70	11.08
40	86.71c	6.52	5.32	64.58c	1.82	14.17
50	86.86c	6.61	6.17	47.25d	0.89	26.37
F-test	***	–	–	***	–	–
E x P	***	–	–	***	–	–
E x C	***	–	–	***	–	–
P x C	***	–	–	***	–	–
E x P x C	***	–	–	***	–	–

[1/] adsorption coefficient value (www://ecb.jrc.it/DOCUMENTS/Testing-Methods/ANNEXV/C19web2001.pdf)

[2/] value with the same letter in the same column are not significantly different at $P \leq 0.001$ by LSD

[3/] partial adsorption resulting of precipitation at pH ≥ 8 (Stumm & Morgan. 1970)

[4/] = not determined

3. ผลของความเป็นกรดของสารละลายต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

pH ของสารละลาย 7 และ 9 ดูดซับตะกั่วได้มากกว่า pH 5 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.001$) โดย pH 7 และ 9 ดูดซับตะกั่วได้มากที่สุด เฉลี่ย 92.7% ซึ่งมากกว่า pH 5 และ 3 ซึ่งดูดซับได้เพียง 87.96 และ 71.18% โดยที่การดูดซับเริ่มคงที่เมื่อ pH ของสารละลายมีค่ามากกว่า 7 ส่วนการดูดซับแคดเมียมนั้นพบว่า pH 9 ดูดซับได้มากกว่า pH 7 และ 5 และมากกว่า pH 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.001$) เรียงตามลำดับดังนี้ 79.3% สำหรับ pH 9 71% สำหรับ pH 7 และ 5 และ 44.87% สำหรับ pH 3 โดยที่การดูดซับยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกถึงแม้ว่า pH ของสารละลายจะสูงถึง 9 แล้วก็ตาม (Table 2)

4. ผลของความเข้มข้นสารละลายต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

ดินเหนียวดูดซับตะกั่วและแคดเมียมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.001$) เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในสารละลายเพิ่มขึ้น การดูดซับตะกั่วลดลงจาก 91.38% เหลือ 86.86% เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 10 mg L^{-1} เป็น 20 และ 30, 40, 50 mg L^{-1} ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้น 3 ระดับหลังนี้ไม่ได้ทำให้ดินเหนียวดูดซับตะกั่วได้เพิ่มขึ้น ส่วนการดูดซับแคดเมียมนั้นลดลงจาก 82.28% เหลือ 76.05% และ 63.08% เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มจาก 10 mg L^{-1} เป็น 20 และ 30 mg L^{-1} ตามลำดับ และยังดูดซับได้ไม่ต่างจากความเข้มข้น 30 mg L^{-1} เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 40 mg L^{-1} แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 50 mg L^{-1} การดูดซับลดลงเหลือเพียง 47.25% ซึ่งจะต่างกับการดูดซับตะกั่วที่คงที่เมื่อความเข้มข้นมีค่าตั้งแต่ 30 mg L^{-1} เป็นต้นไป (Table 2)

5. อิทธิพลร่วมระหว่าง pH สารละลายและ C.E.C. ดินต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

การดูดซับตะกั่วของชุดดินที่มีค่า C.E.C. สูงและปานกลาง (40 และ 32 cmol$_c$ kg^{-1}) เริ่มจะคงที่ (เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มค่า pH ของสารละลายจาก 5 เป็น 7 และ 9 ซึ่งต่างจากดินที่มีค่า C.E.C ต่ำ ๆ (20 cmol$_c$ kg^{-1}) ยังมีการดูดซับตะกั่วได้เพิ่มมากขึ้น ตามค่า pH ที่เพิ่มขึ้นข้างต้น ส่วนการดูดซับแคดเมียมนั้นพบว่าในดินที่มีค่า C.E.C. สูงและต่ำ การดูดซับแคดเมียมจะเพิ่มขึ้นตามค่า pH ของสารละลายที่เพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 5 7 และ 9 ตามลำดับ แต่ในขณะที่ดินที่มีค่า C.E.C. ปานกลางนั้นการดูดซับแคดเมียมไม่ได้สอดคล้องดินที่มีค่า C.E.C. สูงและต่ำ กล่าวคือที่ pH ของสารละลาย 7 นั้นดินที่มีค่า C.E.C. ปานกลางดูดซับแคดเมียมได้น้อยกว่าในสารละลายที่มีค่า pH ต่ำกว่า คือ 5 (Fig. 1)

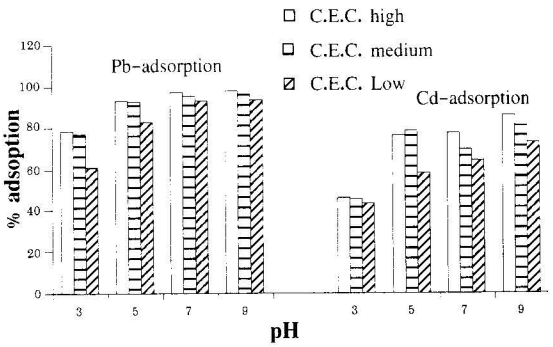
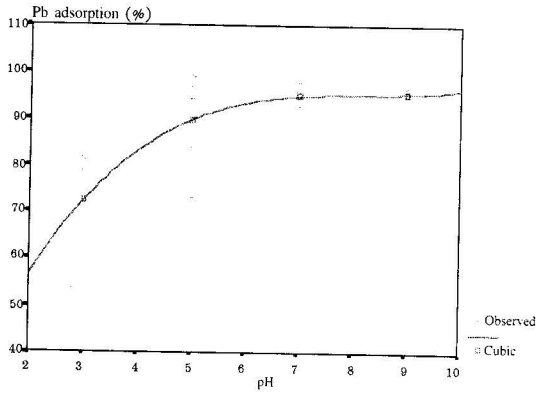


Fig. 1 Adsorption of lead and cadmium as affected by C.E.C. and pH interaction

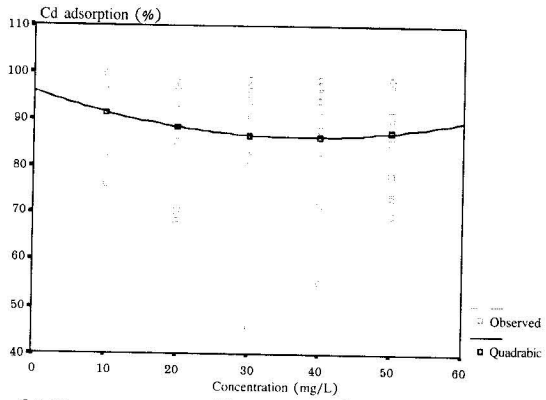
6. อิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม

วิเคราะห์การถดถอย (regression) เพื่อศึกษาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ศึกษาต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม พบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับตะกั่วมากที่สุดคือ ความเป็นกรดของสารละลาย (R^2=0.63) รองลงมาได้แก่ค่า C.E.C. ของดิน (R^2=0.11) และความเข้มข้นของสารละลาย (R^2=0.02) ตามลำดับ ส่วนการดูดซับแคดเมียมปัจจัยที่มีอิทธิพล

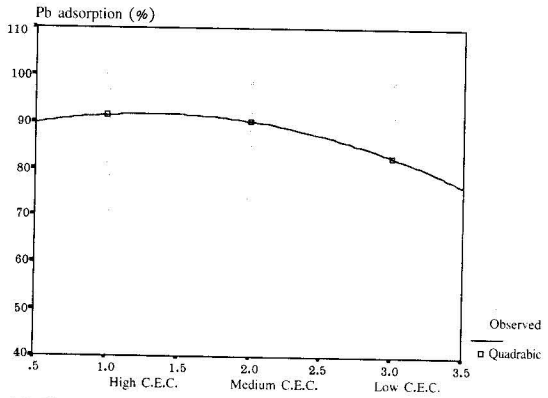
มากที่สุดคือ ความเป็นกรดของสารละลาย (R^2=0.38) ตามด้วยความเข้มข้นของสาระลาย (R^2=0.0.31) และค่า C.E.C. ของดิน (R^2=0.05) ตามลำดับ (Figure 2)



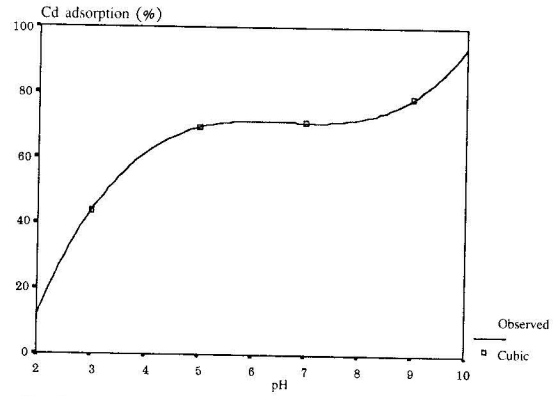
(a) $Y = 5.89+32.53X - 3.96X^2+0.16X^3$, $R^2 = 0.63$



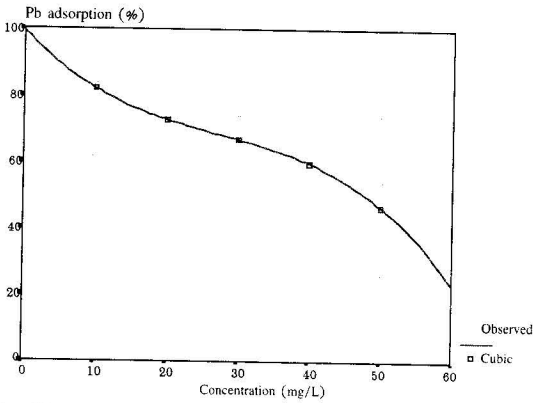
(b) $Y = 95.94 - 0.51X + 0.0068X^2$, $R^2 = 0.02$



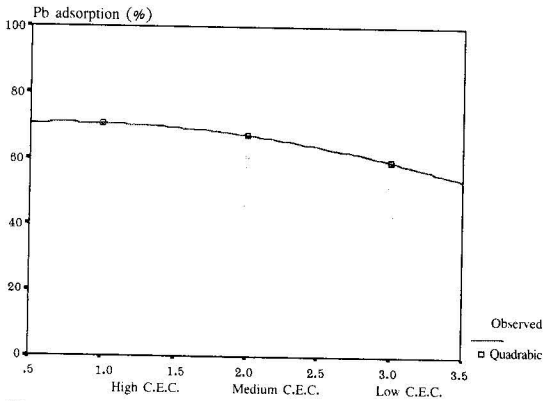
(c) $Y = 86.38 + 8.19X-3.15X^2$, $R^2 = 0.11$



(d) $Y = -106.82 + 81.89X - 12.47X^2 + 0.62X^3$, $R^2 = 0.39$



(e) $Y = 99.42-2.29X+0.06X^2+0.0008X^3$, $R^2=0.31$



(f) $Y = 69.55 + 3.28X-2.24X^2$, $R^2 = 0.05$

Remark : Y = Adsorption Lead/Cadmium (%), X = pH/concentration of lead or cadmium solution/C.E.C. of soil, respectively

Fig. 2 Interaction between lead or cadmium adsorption and pH of lead or cadmium Solution (a, d)/ concentration of lead or cadmium (b, e)/C.E.C. of soil (c, f), respectively

วิจารณ์ผลการทดลอง

การที่ดินที่มีค่า C.E.C. สูงดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้มากกว่าดินที่มีค่า C.E.C. ต่ำ เนื่องจากมีปริมาณของ clay พวก high activity เช่น พวก 2:1 montmorillonite และ illite มากกว่าดินที่มีค่า C.E.C. ต่ำ ซึ่งมักเป็นพวก 1:1 เช่น kaolinite เป็นส่วนใหญ่นอกจากนี้ยังมีอินทรียวัตถุในดินมากกว่าด้วย (Table 1) สองปัจจัยที่กล่าวมาทำให้ดินที่มีค่า C.E.C. สูง สามารถดูดซับ/แลกเปลี่ยนประจุของตะกั่วและแคดเมียมได้ดีกว่าดินที่มีค่า C.E.C. ต่ำ (Leretta and Raymond. 2000) สอดคล้องกับการศึกษาของ Stella et al. (1999) พบว่าดินที่มีค่า C.E.C. สูง (Na-activated bentonite) ดูดซับโลหะหนักพวกนิเกิลและโคบอลท์ได้มากขึ้น

สำหรับผลของค่า pH ของสารละลายที่ทำให้การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มขึ้นในสารละลายที่มี pH สูงขึ้นนั้น มาจากสภาวะที่เป็นกรด (มี H^+ มาก) อนุมูลของ-OH ในอ๊อกตะฮีดรอนและอนุมูล -O ในเตทตะฮีดรอนที่ขอบข้างของผลึกแร่ดินเหนียวรับ H^+ ได้มากขึ้น จึงทำให้ประจุลบที่อยู่รอบผลึกดินเหนียวลดลง ดังนั้นการดูดซับ/แลกเปลี่ยนประจุกับตะกั่วและแคดเมียมจึงลดลงด้วย (Schulthess and Huang, 1990) ดังที่ Bolland et al. (1976) รายงานไว้ว่าประจุลบของดินเหนียว kaolinite เพิ่มขึ้นผันแปรกับค่า pH สารละลาย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Forbes et al. (1976) พบว่าการการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มขึ้นตาม pH ของสารละลายที่เพิ่มขึ้น

ส่วนการที่ดินเหนียวดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้น้อยลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นตะกั่วและแคดเมียมสูง ๆ เนื่องจากที่ความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมสูง ๆ นั้นจะมีค่า electrolyte concentration ของ NO_3^- ในสารละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายดังกล่าวเตรียมมาจาก $[Pb(NO_3)_2]$ และ $[Cd(NO_3)_2.8H_2O]$ ซึ่ง NO_3^- จะไปแข่งขันกับตะกั่วและแคดเมียมที่จะถูกดูดซับไว้ที่ผิวดิน ทำให้การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของดินที่ความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองสูง ๆ ลดลง นอกจาก นี้ยังเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า face-to-face flocculation โดยอนุมูลของตะกั่วและแคดเมียมจะตกตะกอนที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวก่อนที่จะถูกดูดซับโดยอนุภาคดิน อันเนื่องมาจากอิทธิพลของ NO_3^- ในสารละลายนั่นเอง (Spark et. al., 1995)

สรุปผลการทดลอง

การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมของดินเหนียวแปรผันโดยตรงกับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินและ pH ของสารละลาย แต่แปรผันตรงข้ามกับความเข้มข้นของสารละลายของโลหะหนักทั้งสอง โดยดินเหนียวดูดซับตะกั่วได้มากกว่าแคดเมียม สำหรับสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ดินเหนียวดูดซับตะกั่วและแคดเมียมคือการใช้ดินที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ๆ มาดูดซับในสารละลายที่มีสภาวะเป็นกลาง ดังนั้นการนำผลการทดลองนี้ไปใช้บำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อนตะกั่วและแคดเมียมในพื้นที่จริง ๆ จึงควรศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ pH ของน้ำปนเปื้อนก่อน แล้วปรับให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ทั้งนี้เพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิผลมากขึ้นนั้นเอง

เอกสารอ้างอิง

Bolland, M.D.A., A.M. Posner, and J.P. Quic. 1976. Surface change on kaolinite in aqueous suspension. Australian Journal of Soil Research. Vol. 14: March-April 1976, p. 197-216.

Forbes, E.A., A.M. Posner, and J.P. Quic. 1976. The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb and Zn on geothite. Journal of Soil Science. Vol. 27: January-February 1976, p. 154-166.

http://www://ecb.jrc.it/DOCUMENTS/Testing-Methods/ANNEXV/C19web2001.pdf.

Leretta, Y. Li. and S. Li. Raymond. 2000. The role of clay minerals and effect of H+ ions on removal of metal (Pb^{2+}) from contaminate soils. Journal of Can Qeoteec. Vol. 37 : May-August 200, p. 296-306.

Schulthess and Huang. 1990. Adsorption of heavy metals by silicon and aluminum oxide surfaces on clay minerals. Journal of Soil Science Society of America. Vol. 54: March-April 1990, p. 676-688.

Spark, K.M., B.B. Johnson, and J.D. Wells. 1995. Characterizing trace metal adsorption on oxides and oxyhydroxides. Europpean Journal of Soil Science. Vol. 46:1995, p. 621-631.

Stella, E.C. and P. Neou-Syngouna. 1999. Removal of nikel and cobal from aqueous solutions by Na-activated bentonite. Journal of Clay and Clay Minerals. Vol. 47(5): September-October 1999, p. 567-572.

Stumm, W. and J.J. Morgan. 1970. Aquatic Chemistry. John Wiley and Sons, New York. 1970.