

การกำจัด Hg(I) และ Hg(II) โดยใช้ตัวดูดซับที่ได้จากการดัดแปลงกระดาษ

Removal of Hg(I) and Hg(II) using adsorbent obtained from modified paper

ศรายุทธ ยงประพัฒน์ และวีรยุทธ ศรีชัยศิริเวช

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

Email-address: weerayut@alpha.tu.ac.th

บทคัดย่อ

ตัวดูดซับที่ได้จากการนำของเหลือใช้ที่หาได้ง่ายมาใช้ในการดูดซับปรอททั้งในรูปของ Hg(I) และ Hg(II) โดยตัวดูดซับที่นำมาใช้คือ ผงถ่านจากไม้ยาง กระดาษขาวที่ถูกนำไปดัดแปลงโดยการต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์และนำไปอบกับยูเรีย แล้วเปรียบเทียบผลการดูดซับกับถ่านกัมมันต์ พบว่าผลการดูดซับของปรอททั้งสองรูปแบบเป็นไปในทางเดียวกันคือที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็มของ Hg(I) และ Hg(II) ถ่านกัมมันต์ให้ค่าการดูดซับที่ดีที่สุดคือ 82% และ 70% ตามลำดับ สำหรับที่ความเข้มข้น 40 พีพีเอ็มของ Hg(I) และ Hg(II) กระดาษที่ผ่านการอบกับ ยูเรียให้ค่าการดูดซับที่ดีที่สุดคือ 67% และ 47% ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระดาษที่ผ่านการอบกับยูเรียมีคุณสมบัติด้านสมดุลการดูดซับไม่ด้อยกว่าถ่านกัมมันต์แต่มีคุณสมบัติด้านความจุสูงกว่า

Abstract

Waste from daily-life such as charcoal from rubber lodge and modified paper has been used as Hg(I) and Hg(II) adsorbents. The modified paper, treated by boiling with sodium hydroxide solution and drying with urea, was compared the adsorbing property with activated carbon. At 10 ppm of Hg(I) and Hg(II), the carbon adsorbed 82% and 70%, respectively, while at 40 ppm of Hg(I) and Hg(II), the modified paper adsorbed 67% and 47%, respectively. It showed that the modified paper obtained more capacity to adsorb Hg(I) and Hg(II) than other adsorbents at high concentration of mercury. On the other hand, at low concentration of the mercury, the activated carbon gave a better adsorbing property than other adsorbents, however, it had a limitation of the equilibrium condition at high concentration.

1. บทนำ

ปรอทเป็นสารที่มีความเป็นพิษมากชนิดหนึ่งที่พบในธรรมชาติโดยจะพบในรูปของปรอทอินทรีย์ (Organic mercury) และปรอทอนินทรีย์ (Inorganic mercury) เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำปรอทมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น นำมาใช้ในเทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ที่มีปรอทเป็นส่วนประกอบ หลอดไฟปรอท (Mercury lamps) ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ในยาฆ่าเชื้อบางชนิด ในสี หรือแม้แต่ในการทำฟัน ได้มีการประมาณการว่ามีการรั่วไหลของปรอทสู่สิ่งแวดล้อมทั่วโลกประมาณ 3,000 ตันต่อปี [1] ซึ่งพบได้

ทั่วไปทั้งในอากาศ ดิน และแหล่งน้ำ ทำให้สารประกอบของปรอทเข้าไปอยู่ในห่วงโซ่อาหาร เกิดการสะสมในร่างกายคน และสัตว์ อีกทั้งปรอทยังมีสภาพคงตัวสูง ไม่สลายตัวทั้งโดยกระบวนการทางเคมีและทาง ชีววิทยา

เมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลกระทบหลายอย่างขึ้นกับวิธีการที่ได้รับ เช่น การสูดไอของโลหะปรอทเข้าไปจะทำให้เกิดการผิดปกติของทางเดินหายใจจนเสียชีวิตได้ ถ้าเข้าสู่ทางเดินอาหารจะทำให้เสียชีวิตเนื่องจากการขาด ระบบทางเดินปัสสาวะล้มเหลวเฉียบพลัน กรณีการเสียชีวิตที่พบบ่อยมักเกิดจากการรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนของปรอท สำหรับพิษในระยะ

ยาวจะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างถาวรต่อสมอง ไต หรือการเจริญของตัวอ่อน

ปรอทเป็นสารที่มีพิษมากจึงมีผู้คิดค้นวิธีการจัดการกับปรอทหลายวิธี วิธีที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การตกตะกอนในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับ 1,3 - เบนซีนไดอะมิโดไธโอเทิน-ไทออล (1,3 - benzenediamidoethanethiol; BDETH₂) [1] การเกิดปฏิกิริยาโฟโตรีดักชันโดยใช้ TiO₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [2] การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ [3, 4] การใช้เซลล์โอสแตนท์และเซลล์โอสตอซิเตทตกตะกอนในรูปของพอลิเมอร์ [5, 6]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการดัดแปลงกระดาษและผงถ่านจากไม้ยางเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับปรอท สำหรับกระดาษโดยทั่วไปจะมีเส้นใยจำพวกเซลลูโลสผสมอยู่เป็นจำนวนมาก และมีส่วนประกอบอื่นที่เหลือเป็นสารเติมแต่งได้แก่ ตัวเติมสารต้านการซึมผ่าน สารเพิ่มความเหนียว สารฟอกขาว สีย้อม สารควบคุม จุลชีวะ และสารช่วยการยีสต์ตริง สารจำพวกเซลลูโลสที่อยู่ในกระดาษจะมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส มีคุณสมบัติในการดูดซับและสามารถปรับปรุงคุณภาพในการดูดซับได้โดยการทำเป็นอนุพันธ์ของคาร์บาเมตและยูเรีย [7, 8] โดยการเกิดเป็นอนุพันธ์ของยูเรียจะแสดงดังสมการ



ก่อนที่จะนำกระดาษมาทำการปรับปรุงคุณภาพ จำเป็นต้องกำจัดสารเติมแต่งออกจากกระดาษก่อนโดยใช้เบสแอลคาไลน์ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้เบสแอลคาไลน์ยังช่วยกระตุ้นให้โมเลกุลของเซลลูโลสเกิดการดีโปรโตเนต (Deprotonation) ที่ตำแหน่งไฮดรอกซิลซึ่งจะทำให้ ยูเรียสามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ที่ตำแหน่งนี้ได้ง่าย [8] สำหรับผงถ่านจากไม้ยางเป็นผงถ่านที่ใช้ในการหุงต้ม โดยทั่วไปตามบ้านเรือนที่มีราคาไม่แพง หาได้ง่ายอีกทั้งมีการใช้เป็นตัวดูดซับกลิ่น และสีได้เป็นอย่างดี ดังนั้นผงถ่านจากไม้ยางจึงมีความเป็นไปได้ในการเป็นตัวดูดซับปรอท

สำหรับเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอทในงานวิจัยนี้คือเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption

Spectrometry โดยเทคนิคนี้จะทำการรีดิวซ์ปรอทในรูปต่าง ๆ ให้กลายเป็น Hg(0) โดยไม่ต้องใช้เปลวไฟหรือความร้อนในการ atomize ปรอท (เพื่อป้องกันไม่ให้ปรอทมีความร้อนมากเกินไปจนฟุ้งกระจายในระหว่างการวิเคราะห์ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ทำการวิจัย) ด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ให้อยู่ในรูปของไอปรอทซึ่งมีอุณหภูมิไม่สูงนัก จากนั้นพาไอปรอทไปยัง flow - through cell เพื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของปรอทด้วยแก๊สไนโตรเจน

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 สารเคมีและอุปกรณ์

ถ่านกัมมันต์ (High efficiency activated carbon, APS Ajax) กระดาษขาว 80 แกรม, Double A) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (AR grade, Merck) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (AR grade, Merck) ยูเรีย (Lab grade, Ajax) Hg(NO₃)₂·2H₂O (AR grade, Merck) Hg(NO₃)₂·H₂O (AR grade, Merck) Shaker (Heidolph, Unimax 2010) และ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometer (Varian, SpectrAA 220Z)

2.2 การเตรียมตัวดูดซับ 4 ชนิด ดังนี้

2.2.1 ถ่านกัมมันต์

2.2.2 ผงถ่านจากไม้ยาง

นำไม้ยางมาผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) [3] บดและกรองผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

2.2.3 กระดาษต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์

นำกระดาษขาวชิ้นเล็ก ๆ 1 กรัมมาต้มกับ 4% โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล และล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งจนสารละลายเป็นกลาง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C 1 ชั่วโมง

2.2.4 กระดาษอบกับยูเรีย

นำกระดาษที่ต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์จากข้อ 2.2.3 มาผสมกับสารละลายยูเรีย ยูเรีย 3 กรัมต่อน้ำกลั่น 15 มิลลิตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 °C 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น ล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล และล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งจนสารละลายเป็นกลาง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C 1 ชั่วโมง

2.3 การทดลองการดูดซับ

ตัวถูกดูดซับที่ใช้คือ Hg(I) และ Hg(II) ที่ความเข้มข้น 10 และ 40 พีพีเอ็ม

นำตัวถูกดูดซับ 50 มิลลิลิตรมาเติมตัวดูดซับลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าที่เวลาต่าง ๆ กันคือ 5 10 20 30 และ 60 นาที จากนั้นทำการกรองตัวดูดซับออกแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณ Hg(I) ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry โดยใช้ตัวรีดิวซ์เป็น 0.3% โซเดียม-โบโรไฮไดรด์ผสมกับ 0.5% โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความยาวคลื่นของ Hg Lamp คือ 253.7 nm

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองการดูดซับ Hg(I) และ Hg(II) ด้วยตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 1 และรูปที่ 1 ซึ่งพบว่าแนวโน้มการดูดซับตามเวลาของปรอททั้งสองรูปที่ความเข้มข้น 40 พีพีเอ็มนั้นถ่านกัมมันต์ กระดาษที่อบกับยูเรีย และกระดาษที่ต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าร้อยละการดูดซับค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งเนื่องจากกำลังเข้าสู่สมดุลระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สำหรับผงถ่านจากไม้ยางจะมีค่าร้อยละการดูดซับค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ต้นที่ 5 เป็นต้นไป ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมผงถ่านจากไม้ยางผ่านเพียงการคาร์ไบไนซ์ (Carbonization) เท่านั้นไม่ได้ผ่านการกระตุ้น (Activation) ความสามารถในการดูดซับจึงน้อยกว่าถ่านกัมมันต์

ที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม เวลา 60 นาที สามารถเรียงลำดับความสามารถในการดูดซับปรอททั้งสองรูปของตัวดูดซับจากมากไปน้อยได้เป็น ถ่านกัมมันต์ กระดาษที่ผ่านการอบกับ ยูเรีย กระดาษที่ผ่านการต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์และผงถ่านจากไม้ยาง สำหรับ Hg(I) ที่ความเข้มข้น 40 พีพีเอ็ม เวลา 60 นาที เรียงลำดับตัวดูดซับที่ดีที่สุดได้เป็น กระดาษที่ผ่านการอบกับยูเรีย ถ่านกัมมันต์ กระดาษที่ผ่านการต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์และผงถ่านจากไม้ยาง และ Hg(II) ความเข้มข้น 40 พีพีเอ็ม เวลา 60 นาทีได้ผลเป็น กระดาษที่ผ่านการอบกับยูเรีย กระดาษที่ผ่านการต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ถ่านกัมมันต์และผงถ่านจากไม้ยาง ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่า

กระดาษที่ผ่านการอบกับ ยูเรียมีความสามารถในการดูดซับดีกว่ากระดาษที่ไม่ได้อบกับ ยูเรีย กระดาษที่ผ่านการต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ทั้งนี้อาจเนื่องจากการนำกระดาษไปอบกับยูเรียจะทำให้ยูเรียเกิดปฏิกิริยาแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคส จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น

สำหรับกระดาษที่ผ่านการอบกับยูเรียจะมีความสามารถในการดูดซับที่ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็มของปรอททั้งสองรูป เนื่องจากกระดาษที่ผ่านการอบกับยูเรียเข้าสู่สมดุลระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับได้ช้ากว่าถ่านกัมมันต์ แต่ที่ความเข้มข้น 40 พีพีเอ็ม กระดาษที่ผ่านการอบกับยูเรียจะมีความสามารถในการดูดซับมากกว่าถ่านกัมมันต์เพราะกระดาษที่ผ่านการอบกับยูเรียมีความจุสูงกว่าถ่านกัมมันต์

4. สรุป

ที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ความสามารถในการดูดซับปรอททั้งสองรูปของถ่านกัมมันต์จะดีกว่าตัวดูดซับอื่น เนื่องจากมีความสามารถในการจับกับปรอททั้งสองรูปได้ดีและสามารถดูดซับได้สูงสุดถึง 82% สำหรับ Hg(I) และ 70% สำหรับ Hg(II) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้น 40 พีพีเอ็ม (พบว่าตัวดูดซับที่ดีที่สุดคือ กระดาษที่ผ่านการอบกับยูเรียซึ่งดูดซับได้ถึง 67% สำหรับ Hg(I) และ 47% สำหรับ Hg(II) เนื่องจากการที่มีความจุมากกว่าตัวดูดซับอื่นและดีกว่ากระดาษที่ไม่ได้ผ่านการอบกับยูเรีย

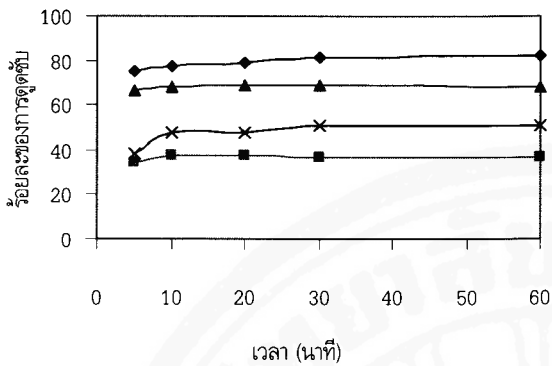
5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Matlock, M.M., Howerton, B.S. and Atwood, D.A., Irreversible precipitation of mercury and lead, Journal of Hazardous Materials, B84; pp.73-82, 2001.
- [2] Khalil, L.B., Rophael, M.W. and Mourad, W.E., The Removal of the toxic Hg(II) salts from water by photocatalysis, Applied Catalysis B: Environmental, 36, pp.125-130, 2002.
- [3] Yardim, M.F., Budinova, T., Ekinci, E., Petrov, N., Razvigorova, M. and Minkova, V., Removal of

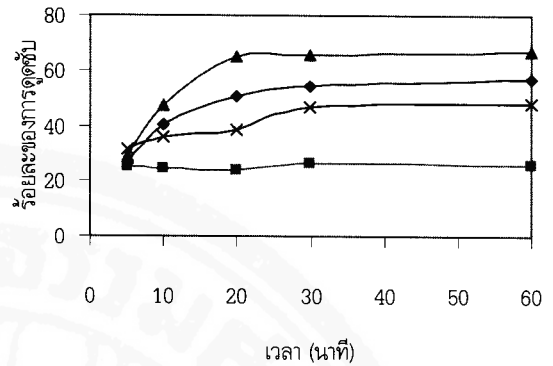
- mercury (II) from aqueous solution by activated carbon obtained from furfural, *Chemosphere*, 52, pp.835-841, 2003.
- [4] Cyr, P.J., Suri, R.P.S. and Helmig, E.D., A pilot scale evaluation of removal of mercury from pharmaceutical wastewater using granular activated carbon, *Water Research*, 36, pp.4725-4734, 2002.
- [5] Tiravanti, G., Petruzzelli, D. and Passino, R., Low and non waste technologies for metals recovery by reactive polymers, *Waste Management*, 16, pp. 597-605, 1996.
- [6] Hanna, A.A., Basta, A.H., El-Saied, H. and Abadir, I.F., Thermal properties of cellulose acetate and its complexes with some transition metals, *Polymer Degradation and Stability*, 63, pp. 293-296, 1999.
- [7] Richardson, S. and Gordon, L., Characterisation of the substituent distribution in starch and cellulose derivatives, *Analytica Chimica Acta*, 497, pp. 27-65, 2003.
- [8] Nada, A.M.A., Kamel, S. and El-Sakhawy, M., Thermal behaviour and infrared spectroscopy of cellulose carbamates, *Polymer Degradation and Stability*, 70, pp. 347-355, 2000.

ตารางที่ 1 ค่าร้อยละการดูดซับ Hg(I) และ Hg(II) ของตัวดูดซับแต่ละชนิด

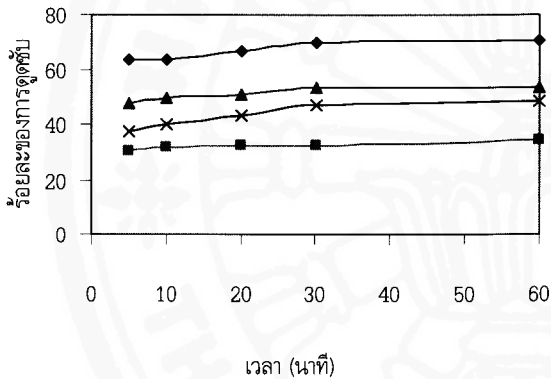
ตัวถูกดูดซับ	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	เวลาที่ใช้ใน การดูดซับ (นาที)	ตัวดูดซับ			
			ถ่านกัมมันต์	กระดวยที่ต้มกับ ยูเรีย	กระดวยที่ต้มกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์	ผงถ่านจากไม้ยาง
Hg(I)	10	5	74.98	66.59	38.57	34.44
		10	77.48	68.13	47.37	37.31
		20	78.85	68.48	47.95	37.78
		30	81.49	68.78	50.51	36.88
		60	81.90	68.21	50.57	36.48
	40	5	26.43	29.18	31.42	25.27
		10	40.23	46.97	35.60	24.77
		20	50.17	64.61	38.68	23.87
		30	54.07	65.76	46.33	26.26
		60	56.42	66.68	47.66	25.85
Hg(II)	10	5	63.71	47.92	37.43	30.69
		10	63.23	49.68	40.29	31.63
		20	66.52	50.69	43.47	32.31
		30	69.89	53.37	47.23	32.47
		60	70.48	53.23	48.09	34.11
	40	5	6.66	32.62	7.23	13.95
		10	14.68	36.86	22.44	14.38
		20	22.20	43.59	29.99	15.49
		30	29.82	45.81	37.53	14.22
		60	34.68	46.82	42.49	16.26



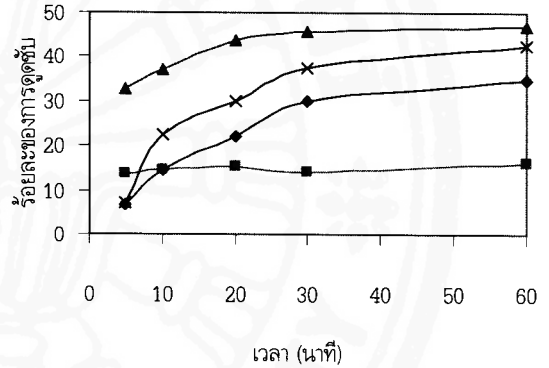
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 1 ค่าร้อยละการดูดซับที่เวลา 60 นาที (ก) 10 พีพีเอ็มของ Hg(I) (ข) 40 พีพีเอ็มของ Hg(I) (ค) 10 พีพีเอ็มของ Hg(II) และ (ง) 40 พีพีเอ็มของ Hg(II) ◆ ถ่านกัมมันต์ ▲ กระดาดขี้ผึ้งยูเรีย X กระดาดขี้ผึ้งไฮดรอกไซด์ และ ■ ผงถ่านจากไม้ยาง