การดูดซับปรอทในน้ำสังเคราะห์ด้วยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า
Adsorption of mercury contaminated synthetic water by fly ash from coal fired power plant

วราภรณ์ กิจชัยนุกูล[1]*
Waraporn Kitchainukul[1]*

บทคัดย่อ

การนำเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ด้านการกำจัดของเสียทำได้หลายวิธี เช่น การนำไปเป็นวัสดุร่วมการหล่อแข็ง การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ในงานวิจัยนี้ได้นำเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์โดยใช้เถ้าลอยเป็นสารดูดซับปรอทในน้ำสังเคราะห์ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเถ้าลอยในการดูดซับปรอทที่ความเข้มข้นต่ำในน้ำสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสารปรอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ปฏิกิริยาการดูดซับของเถ้าลอยจะเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง สภาวะที่เหมาะสม คือปริมาณเถ้าลอย 10 กรัมต่อสารละลายปรอท 1 ลิตร ที่ pH 7.0-8.0 เถ้าลอยดังกล่าวสามารถดูดซับสารละลายปรอทได้ 3.5 มิลลิกรัมต่อกรัมเถ้าลอย (น้ำหนักแห้ง) เมื่อนำเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับปรอทมาทดสอบหาค่าการชะ พบว่าปริมาณปรอทที่ถูกชะออกมาต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดที่กำหนดไว้ที่น้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาแสดงว่าเถ้าลอยสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสารละลายปรอทความเข้มข้นต่ำในน้ำสังเคราะห์ได้

Abstract

Fly ash from the coal fired power plant can be applied to many methods of solid waste disposal such as solidification, used as combined material in constriction industries and etc. The adsorption equilibrium was reached after 96 hours. The adsorption capacity of the fly ash for Hg (II) was found to be 3.5 mg g-1 of dry ash. The absorption isotherms with pH from 7.0 to 8.0 and used 10 g of fly ash per 1 l of initial Hg concentration were the optimize condition. The leaching test of mercury bond fly ash is lower than legal concentration (less than 2 mg/l). The results indicated that fly ash from coal fired power plant can be used to stabilize low concentration of mercury in aquatic condition.

คำสำคัญ : ปรอท, เถ้าลอย, การดูดซับปรอท
Keywords : Mercury, Fly ash, Adsorption

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ
*Corresponding author E-mail address : waraporn@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

กระบวนการเผาไหม้ถ่านหินเพื่อนำความร้อนที่ได้ไปผลิตกระแสไฟฟ้านั้น นอกจากจะได้ความร้อนเพื่อนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าแล้ว ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าชนิดนี้คือ เถ้าลอยและเถ้าหนัก ที่เหลือจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในขณะเผาไหม้ยังก่อให้เกิดสารปรอทปนเปื้อนออกมาด้วย ทั้งนี้ส่วนประกอบของเถ้าทั้งสองประเภท และปริมาณของปรอทจะขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านหินที่นำมาใช้รวมทั้งสภาวะของการเผาไหม้ด้วย

ปรอทเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปของสารประกอบของปรอทที่อยู่ในรูป methyl mercury โดย methyl mercury ที่เข้าสู่ร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมจะไปทำลายระบบประสาทส่วนกลาง อาการของโรคที่เกิดขึ้นมีได้หลายอาการขึ้นอยู่กับส่วนของระบบประสาทที่ถูกทำลาย เช่น ประสิทธิภาพการมองเห็นลดลง การเสียการทรงตัว และถึงแก่ชีวิต เมื่อปรอทปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมและเกิดปฏิกิริยา methylation ได้เป็น methyl mercury และเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์บริโภคอาหารที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบนี้ จะทำให้เกิดโรคมินามะตะได้ ทั้งนี้ระดับความรุนแรงของโรคจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ

ในปี พ.ศ. 2547 Pacyna and Munthe(1) กล่าวว่าทวีปเอเชีย ปลดปล่อยปรอทออกสู่สิ่งแวดล้อมสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 53 ของโลก รองลงมาได้แก่ ทวีปแอฟริกา คิดเป็นร้อยละ 18 และในปีต่อมา Jaffe และคณะ (2) กล่าวว่าทวีปเอเชียปลดปล่อยปรอทออกสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่า 1,000 ตันต่อปี ในปี พ.ศ.2546 The United States Environmental Protection Agency (USEPA) (3) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ออกกฎหมายเพื่อควบคุมปริมาณสารมลพิษดังกล่าวโดยกำหนดให้ผู้ก่อกำเนิดจำเป็นต้องติดตั้งระบบบำบัดอากาศก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับในประเทศไทย ได้มีการออกกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับกากของเสียซึ่งออกโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เรียกว่า "ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว"(4) โดยกฎกระทรวงดังกล่าวได้ประกาศใช้ตั้งแต่ปีพ.ศ.2540 และมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขครั้งล่าสุดเมื่อปี พ.ศ.2548 ซึ่งในประกาศฉบับนี้ได้กำหนดให้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเป็นกากของเสียประเภทหนึ่งที่จำเป็นต้องทดสอบความเป็นพิษก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ปัจจุบันมีการนำเถ้าลอยที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินดังกล่าวไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น การนำไปใช้เป็นวัสดุผสมร่วมกับซีเมนต์เพื่อตรึงโลหะหนัก การนำไปใช้ประโยชน์ด้านการก่อสร้าง หรือการนำไปใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนักโดยตรง เป็นต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเอาเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเพื่อนำมาดูดซับสารปรอทในน้ำสังเคราะห์ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ โดยศึกษาถึง ระยะเวลา pH และความสามารถในการดูดซับ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปริมาณสารปรอทในน้ำชะจากเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับที่เกิดจากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาการดูดซับเข้าสู่สมดุล

2.1.1 เตรียมน้ำสังเคราะห์ที่มีปรอทเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เติม 100 มิลลิลิตรของน้ำสังเคราะห์ใส่ในขวดทดลองที่บรรจุ 25 มิลลิกรัมของเถ้าลอยจำนวน 7 ขวด ปิดฝาให้สนิทนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า

2.1.2 นำตัวอย่างครั้งละ 1 ขวดมาทดสอบหาปริมาณปรอทที่เหลืออยู่ในสารละลาย เมื่อครบกำหนด 24, 48, 72, 96, 120, 144 และ 168 ชั่วโมงตามลำดับ โดยการทดสอบหาปริมาณปรอทในการศึกษานี้ใช้เครื่อง Mercury Analyzer ภายใต้หลักการของ Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometer: CVAAS

2.1.3 นำปริมาณปรอทที่เหลืออยู่ในสารละลายมาคำนวณหาปริมาณปรอทที่ถูกกำจัดออกไป

2.1.4 นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างร้อยละของปรอทที่ถูกกำจัดกับเวลา

2.2 การศึกษาปริมาณเถ้าลอยและ pH ที่เหมาะสม

2.2.1 เตรียมน้ำสังเคราะห์ที่มีปรอทเข้มข้น 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เติม 100 มิลลิลิตรของน้ำสังเคราะห์ใส่ในขวดทดลองที่บรรจุ 1, 3, 5, 10, 20 และ 30 กรัมของเถ้าลอย จำนวนความเข้มข้นละ 3 ขวด ปิดฝาให้สนิท นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 96 ชั่วโมง แต่ละชุดของการทดลองปรับค่า pH เป็น 6.0, 7.0 และ 8.0

2.2.2 นำตัวอย่างไปทดสอบหาปริมาณปรอทที่เหลืออยู่ในสารละลาย

2.2.3 เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของเถ้าลอยกับปริมาณปรอทที่ถูกกำจัดออกไป

2.3 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

2.3.1 เตรียมน้ำสังเคราะห์ที่มีปรอทเข้มข้น 0, 30, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เติม 100 มิลลิลิตรของน้ำสังเคราะห์ใส่ในขวดทดลองที่บรรจุ 10 กรัมของเถ้าลอย จำนวนความเข้มข้นละ 3 ขวด ปิดฝาให้สนิท นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 96 ชั่วโมง แต่ละชุดของการทดลองปรับค่า pH เป็น 6.0, 7.0 และ 8.0

2.3.2 นำสารละลายมาทดสอบหาปริมาณปรอทที่เหลืออยู่ในสารละลาย

2.3.3 เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของน้ำสังเคราะห์ที่มีปรอทกับปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับ

2.4 การศึกษาปริมาณปรอทที่ถูกชะออกจากเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับ

2.4.1 รวบรวมเถ้าลอยที่ได้จากการทดลองทั้งหมดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปชั่ง ใส่ขวดโดยใช้สัดส่วนเถ้าลอย 10 กรัมต่อน้ำสกัด 1 ลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ส่วนที่สองนำไปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปชั่งใส่ขวดในสัดส่วนเถ้าลอย 10 กรัมต่อน้ำสกัด 1 ลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

2.4.2 นำของผสมไปกรองและทดสอบหาปริมาณปรอทที่ถูกชะออกมา

2.4.3 เขียนกราฟระหว่างเวลาที่ใช้กับปริมาณปรอทที่ถูกชะออกมา

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 การศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาการดูดซับเข้าสู่สมดุล

Figure 1 แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายปรอทสังเคราะห์ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้เถ้าลอย 0.025 มิลลิกรัม ที่สภาวะนี้ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาการดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ 96 ชั่วโมง ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 96 ชั่วโมง

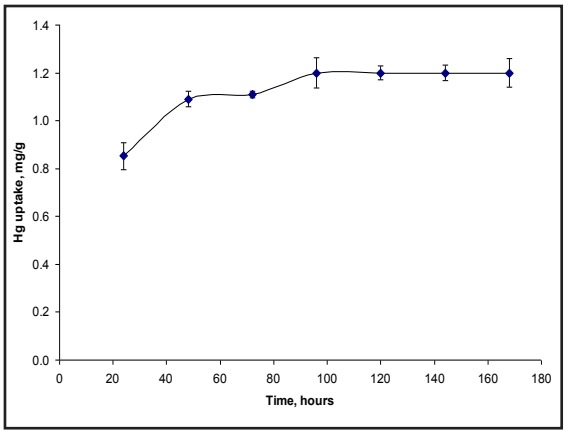

Figure 1 Equilibrium time for the adsorption of Hg from 100 ml solution of 0.5 mg l^{-1} of mercury onto 0.025 g of fly ash

3.2 การศึกษาปริมาณเถ้าลอยและ pH ที่เหมาะสม

ผลจากการทดลองปริมาณเถ้าลอยและ pH ที่เหมาะสม โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายปรอทสังเคราะห์ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณเถ้าลอย 1, 3, 5, 10, 20 และ 30 กรัม Figure 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าลอยกับปรอทที่ถูกดูดซับเป็นแบบเส้นตรง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยขึ้นไปจนมากกว่า 10 กรัมปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับเริ่มคงที่ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับที่ pH ของสารละลาย 6.0, 7.0 และ 8.0 พบว่าที่ pH 7.0 ปรอทจะถูกดูดซับสูงสุด

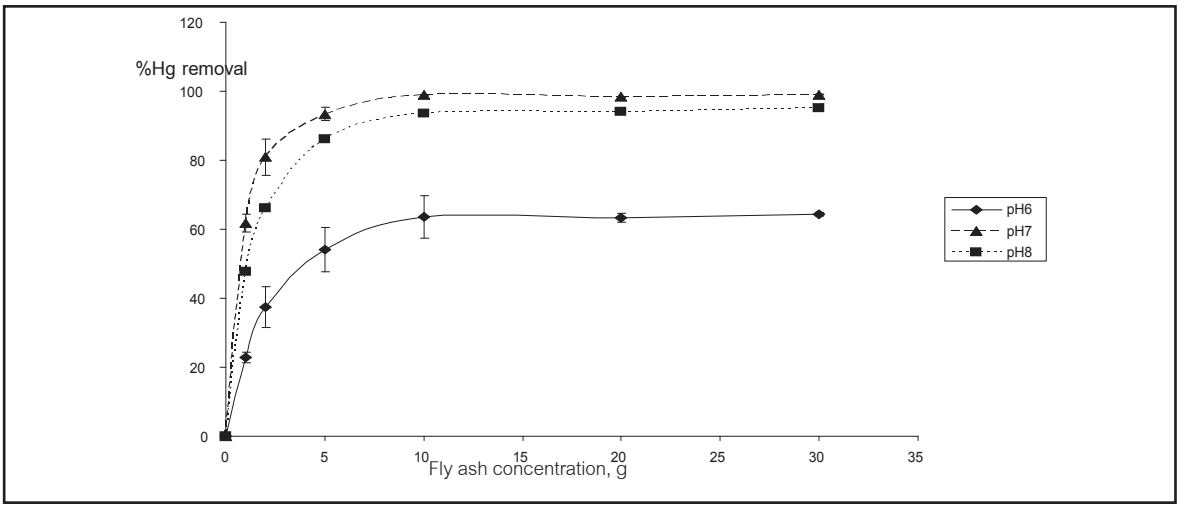

Figure 2 Effect of fly ash dosage on %Hg removal at 1.5 mg l^{-1} of initial Hg concentrations

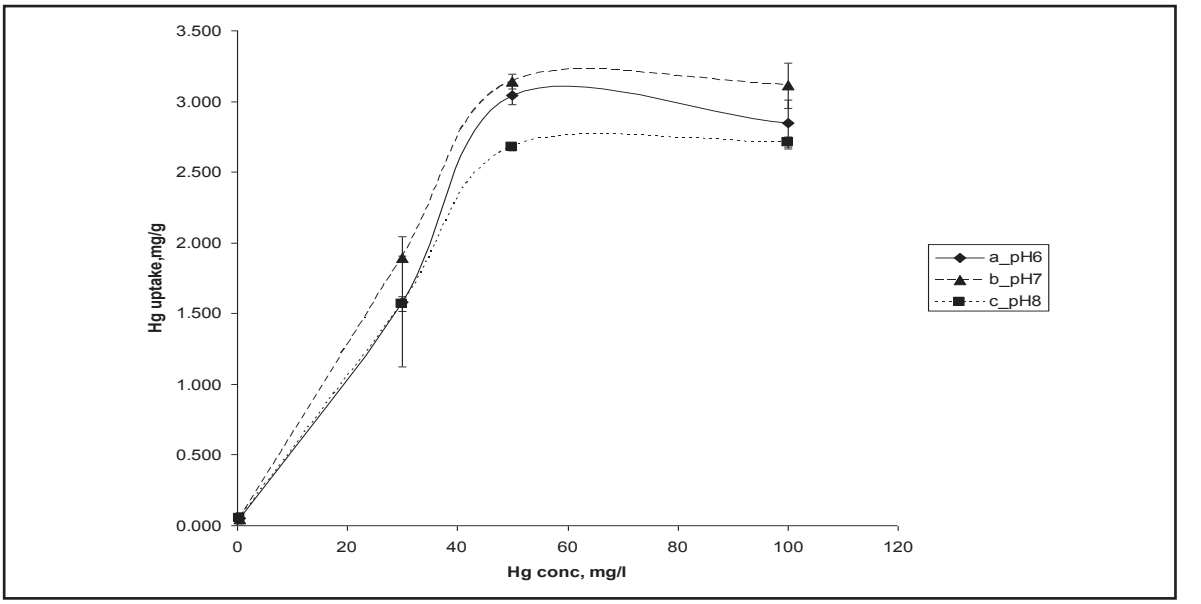

Figure 3 Uptake of Hg on 10 g fly ash from different initial Hg concentration in 1 l of solution at three pHs

3.3 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

นำสภาวะที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.1 และ 3.2 มาทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับ โดยใช้ปริมาณเถ้าลอย 10 กรัม เปรียบเทียบปริมาณปรอทที่ถูกดูดซับที่ pH ของสารละลาย 6.0, 7.0 และ 8.0 พบว่าปรอทถูกดูดซับได้สูงสุดประมาณ 3.5 มิลลิกรัม pH 7.0 และลดลงเหลือประมาณ 3.0 มิลลิกรัมที่ pH 6.0 โดยที่ pH 8.0 ปรอทถูกดูดซับน้อยที่สุดอยู่ที่ประมาณ 2.5 มิลลิกรัม (แสดงใน Figure 3)

3.4 การศึกษาปริมาณปรอทที่ถูกชะออกจากเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับ

Figure 4 แสดงให้เห็นว่าปรอทที่ดูดซับด้วยเถ้าลอยและผ่านกระบวนการดูดซับทำให้แห้ง ด้วยการผึ่งมีความสามารถตรึงปรอทได้ดีกว่าปรอทที่ดูดซับด้วยเถ้าลอยเปียก โดยน้ำชะที่เกิดจากเถ้าลอยแห้งมีค่าประมาณ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่เถ้าลอยเปียกให้ค่าการชะที่ 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร

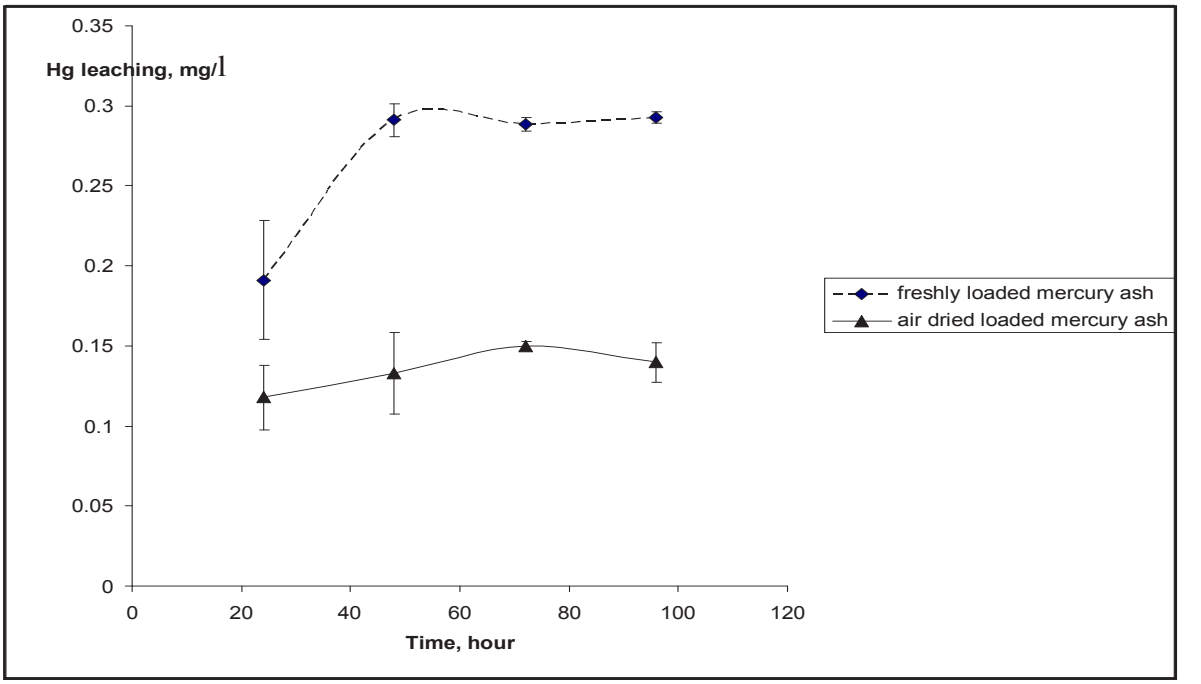

Figure 4 Time to equilibrium for percentage of mercury leaching from both wet and air dried samples of fly ash containing 3 mg Hg g^{-1}

4. สรุปผล (Conclusion)

เถ้าลอยที่เกิดจากโรงไฟฟ้าถ่านหินสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดสารละลายปรอทความเข้มข้นต่ำได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการดูดซับ คือ เถ้าลอย 10 กรัมต่อลิตร สามารถกำจัดปรอทได้สูงสุดประมาณ 3.5 มิลลิกรัมปรอทต่อกรัมเถ้าลอย ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมงในสภาวะ pH เท่ากับ 7.0 เมื่อนำเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการดูดซับดังกล่าวไปทดสอบหาปริมาณปรอทที่ถูกชะ พบว่าปริมาณปรอทในน้ำชะมีค่า 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำสกัดสำหรับเถ้าลอยเปียก และ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับเถ้าลอยผึ่งแห้ง โดยที่เกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายไทยกำหนดค่าการชะไว้ที่ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำสกัด อย่างไรก็ตามการใช้เถ้าลอยดูดซับสารปรอทในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ที่มีโลหะหนักอื่นปนเปื้อนด้วยจะต้องมีการศึกษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนผลักดันให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จบรรลุผลตามเป้าหมายทุกประการ

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

(1) Pacyna, E. G. & Pacyna, J. M. Global emission of mercury from anthropogenic sources in 1995. Water Air Soil Pollut. 2002, 137, 149-165.

(2) Jaffe, D., Prestbo, E., Swartzendruber, P., Weiss-Penzias, P., Kato, S. & Takami, A. Export of atmospheric mercury from Asia. Atoms Environ 2005, 39, 3029-3038.

(3) The United Stated Environmental Protection Agency, USEPA (1994) Background Information on Mercury Sources and Regulations.

(4) กระทรวงอุตสาหกรรมกรมโรงงานอุตสาหกรรม, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548, 54 หน้า