วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 30 ฉบับที่ 3 : หน้า 29-35 (2559)
www.eeat.or.th

การนำอะลูมิเนียมกลับคืนจากตะกรันอะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมการผลิตอะลูมิเนียมทุติยภูมิ

Aluminium Recycling from Aluminium Dross in Secondary Aluminium Industry

Supaluk Chaipurimas and Manaskorn Rachakarakij
ศุภลักษณ์ ชัยภูริมาศ และ มนัสกร ราชากรกิจ
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
E-mail : ch.supaluk@gmail.com, manaskorn@gmail.com

บทคัดย่อ

ตะกรันอะลูมิเนียม (Aluminium dross) จัดเป็นของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตอะลูมิเนียมทุติยภูมิ ที่ต้องมีการกำจัดตามกฎหมายควบคุม เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของตะกรันโดยทั่วไปแล้ว พบว่ามีปริมาณโลหะอะลูมิเนียมสูงกว่าร้อยละ 50 ซึ่งหากมีการแยกโลหะอะลูมิเนียมนี้ได้ จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกระบวนการผลิตและลดปริมาณของเสียที่ต้องจัดการได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการนำอะลูมิเนียมกลับคืนจากตะกรันอะลูมิเนียม โดยศึกษาปัจจัยสองชนิดที่ส่งผลต่อปริมาณอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนมา ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นของเตาครูซิเบิลแกรไฟต์ (Graphite Crucible) ที่ใช้รองรับตะกรันอะลูมิเนียม และเวลาที่ใช้ในการกวน โดยการนำตะกรันที่เกิดขึ้นทันทีจากกระบวนการหลอมในขณะที่ยังร้อนอยู่มาใส่ในเตาครูซิเบิลแกรไฟต์ ซึ่งให้ความร้อนไว้แล้ว และทำการกวนในทันที จากนั้นจึงเทอะลูมิเนียมเหลวซึ่งถูกแยกชั้นอยู่ที่ก้นเตาออกมาใส่ในภาชนะรองรับที่เตรียมไว้ จากการวิเคราะห์ตะกรันอะลูมิเนียมเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีการย่อยสลายโดยโบรมีน-เมทานอล และวัดด้วยเครื่อง ICP พบปริมาณโลหะอะลูมิเนียมร้อยละ 70-80 จากการศึกษา พบว่าปัจจัยด้านระยะเวลาที่ใช้การกวนและอุณหภูมิเริ่มต้นของเตาหลอมมีผลต่อปริมาณโลหะอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งเวลาที่ใช้ในการกวนที่ 3 นาที และอุ่นเตาหลอมที่ 700-900 °C สามารถทำให้นำกลับโลหะอะลูมิเนียมได้สูงสุดถึงร้อยละ 35-40 โดยน้ำหนัก เมื่อนำโลหะที่ได้จากการนำกลับคืนมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Spark Optical Emission Spectroscopy พบว่ามีองค์ประกอบของโลหะอะลูมิเนียมมากกว่าร้อยละ 99

คำสำคัญ : อุตสาหกรรมอะลูมิเนียม; ตะกรันอะลูมิเนียม; การนำอะลูมิเนียมกลับคืน

Abstract

Aluminium dross, a byproduct from secondary aluminium production and a classified hazardous waste, has been regulated under Thai regulations. In general, the dross contains more than 50% aluminium metal by weight. Recovery of aluminium metal from the dross can not only add more value to the process, but reduce quantity of waste to be managed as well. In this study, effects of initial heating temperature and mixing time on the recovery of aluminium metal were investigated. The recovery process started with pouring byproduct from aluminium melting process and mixing it in the heated graphite crucible. Liquid aluminium metal was separated at the bottom solution and poured into receiving molds. Initial dross contained 70-80% aluminium metal by bromine-methanol decomposition and subsequent ICP analysis. The overall result showed that mixing time and initial temperature of graphite crucible did statistically affect the yield of aluminium metal recovery ($P < 0.05$). The condition that yielded the highest aluminium metal recovery (35-40% by mass) was found to be three minutes of mixing at 700-900 °C of crucible temperature. The recovered product was determined to contain 99% aluminium metal via spark optical emission spectroscopy.

Keywords : aluminium industry; aluminium dross; aluminium recycling

บทนำ

อุตสาหกรรมการหลอมอะลูมิเนียมที่มีทั้งหมดในประเทศไทยเป็นการหลอมอะลูมิเนียมแบบทุติยภูมิ คือการใช้แท่งอะลูมิเนียม (Aluminium ingot) หรือเศษอะลูมิเนียม เช่น เศษอะลูมิเนียมที่เหลือจากการใช้งาน เศษอะลูมิเนียมที่เกิดจากการรื้อถอน เป็นวัตถุดิบในการผลิต [1] จากคุณสมบัติที่ดีหลายประการของอะลูมิเนียม เช่น น้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม มีความหยืดหยุ่นสูง ขึ้นรูปได้ง่าย ทำให้อะลูมิเนียมถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ต่างๆ อย่างแพร่หลาย ส่งผลให้ความต้องการอะลูมิเนียมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตก็เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยของเสียที่สำคัญนั่นก็คือ ตะกรันอะลูมิเนียม (Aluminium dross) ซึ่งจัดเป็นของเสียอันตราย [2] และยังพบปัญหาการลักลอบนำตะกรันอะลูมิเนียมไปทิ้งตามที่ต่างๆ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา เพราะฉะนั้นจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยที่สุด นอกจากนั้นแล้วการนำของเสียไปใช้ให้เกิดประโยชน์ก็เป็นทางหนึ่งที่ช่วยในการลดปริมาณของเสียที่ต้องนำไปกำจัดได้ เช่น การนำอะลูมิเนียมกลับคืนจากตะกรันอะลูมิเนียมด้วยวิธีการชะละลาย [3] การนำตะกรันอะลูมิเนียมไปใช้ประโยชน์ในโรงหลอมเหล็ก [4] หรือกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ [5]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการนำอะลูมิเนียมกลับคืนจากตะกรันอะลูมิเนียมโดยการใช้ความร้อน [6, 7] เป็นการลดปริมาณของเสียและนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ โลหะอะลูมิเนียมที่ได้จากกระบวนการนำกลับคืนมานั้น สามารถใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในกระบวนการผลิต ซึ่งช่วยในการลดการนำเข้าวัตถุดิบได้อีกด้วย นอกจากการนำโลหะอะลูมิเนียมกลับคืนมาแล้ว

อุปกรณ์และวิธีการ

ตะกรันอะลูมิเนียม

งานวิจัยนี้ใช้ตะกรันอะลูมิเนียมที่เกิดจากกระบวนการหลอมอะลูมิเนียมของโรงงานแห่งหนึ่ง ซึ่งเป็นตะกรันที่ถูกนำออกมาจากเตาหลอมและยังคงมีความร้อนอยู่ (800-900 °C) มาทำการทดลองในทันที โดยแต่ละครั้งจะใช้ตะกรันอะลูมิเนียมประมาณ 5 กิโลกรัม และจากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าตะกรันอะลูมิเนียมมีปริมาณโลหะอะลูมิเนียมอยู่ร้อยละ 70-80

ชุดอุปกรณ์เตาหลอม

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่เตาครูซิเบิล ขนาด ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ เตาครูซิเบิลแกรไฟต์ (Graphite crucible) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว ความลึก 13 นิ้ว เครื่องเป่าลม (Blower) และถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ซึ่งสามารถให้ความร้อนแก่เตาครูซิเบิลสูงสุดประมาณ 850 °C ภายในเวลา 40 นาที

ชุดอุปกรณ์การกวน

ประกอบด้วย มอเตอร์ เกียร์ทดรอบ และใบกวน ซึ่งใบกวนที่ใช้เป็นแบบ Anchor Stirrer และใช้ความเร็วรอบในการกวนคงที่ 25 รอบต่อนาที ซึ่งมาจากการทดลองเบื้องต้นและการศึกษาลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกอะลูมิเนียมเหลวกับตะกรันอะลูมิเนียมในโรงงานต่างๆ

Thermocouple Type K

สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -200 – 1200 °C

กระบวนการนำอะลูมิเนียมกลับคืน

ในงานวิจัยนี้จะทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 1 โดยจะทำการให้ความร้อนแก่เตาครูซิเบิลและวัดอุณหภูมิภายในเตาด้วย Thermocouple Type K โดยจะแบ่งกลุ่มอุณหภูมิออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 300-500, 500-700 และ 700-900 °C เมื่อได้ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการแล้ว จึงนำตะกรันอะลูมิเนียมที่ถูกกวาดออกจากเตาหลอมของโรงงานประมาณ 5 กิโลกรัม ใส่ในเตาครูซิเบิลที่เตรียมไว้ทันที ซึ่งตะกรันอะลูมิเนียมนี้ยังคงมีความร้อนหลงเหลืออยู่ จากนั้นทำการกวนตามเวลาที่กำหนดดังนี้ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที หลังจากทำการกวนจนครบเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการรินอะลูมิเนียมเหลวที่ได้ออกมาใส่ภาชนะรองรับที่เตรียมไว้และปล่อยให้เย็นตัว ส่วนตะกรันอะลูมิเนียมที่เหลืออยู่ในเตาครูซิเบิลก็ทำการเทออกมาใส่ภาชนะและปล่อยให้เย็นตัวเช่นกัน จากนั้นจึงนำอะลูมิเนียมที่ได้และตะกรันที่เหลือจากการทดลองมาทำการชั่งน้ำหนักและจดบันทึกค่า เพื่อคำนวณในสมการ (1) แสดงร้อยละของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนต่อตะกรันที่ใส่เข้าไปโดยน้ำหนัก คือ

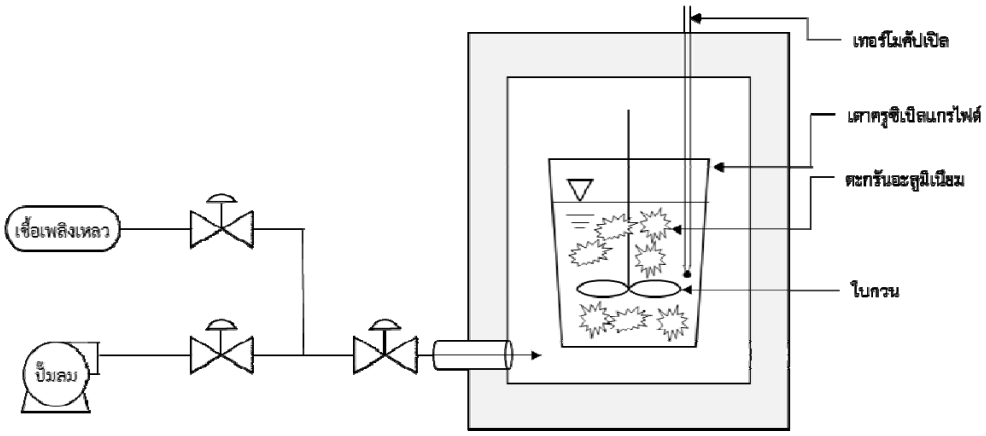
$$\text{ร้อยละของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืน} = \frac{W_{Al}}{W_{Al} + W_d} \quad (1)$$

W_{Al} คือ น้ำหนักของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืน (g)

W_d คือ น้ำหนักของตะกรันที่เหลือหลังการนำอะลูมิเนียมกลับคืน (g)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกรันอะลูมิเนียม

ใช้วิธีการย่อยสลายโดยโบรมีน - เมทานอล และวัดค่าด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP) เพื่อหาปริมาณโลหะอะลูมิเนียมที่มีอยู่ในตะกรันทั้งก่อนและหลังทำการทดลอง ตามวิธีของ JIS 2009 [8]



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์เตาครูซิเบิลแกรไฟต์และใบกวน

การวิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะอะลูมิเนียมที่ได้จากการนำกลับคืน

ใช้หลักการ Spark Optical Emission Spectroscopy ในการหาธาตุโลหะต่างๆ จากอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืน ดังรูปที่ 2

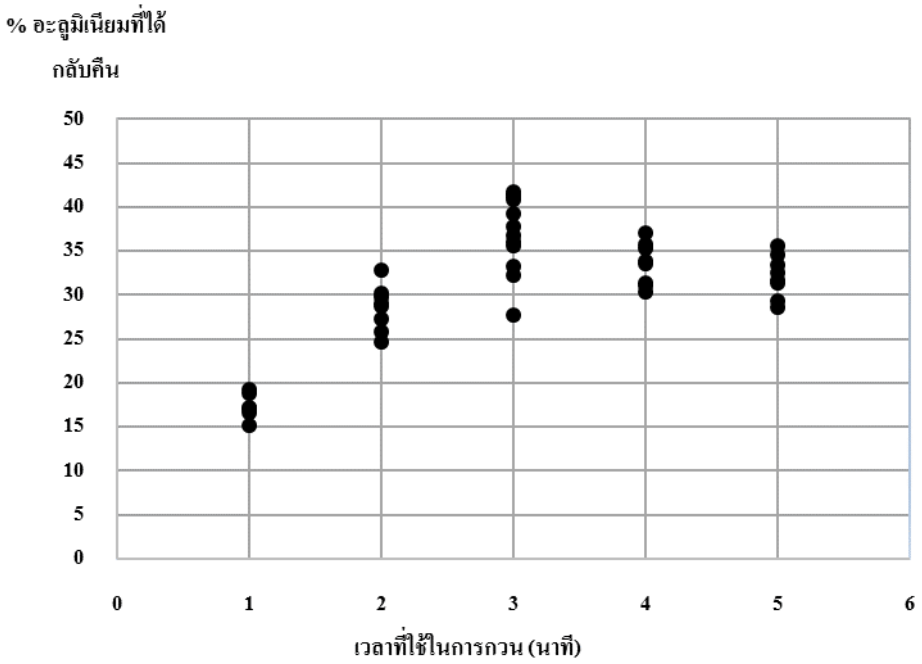
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า หากการให้ความร้อนแก่เตาครูซิเบิลที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300 °C ความร้อนจากตะกรันจะสูญเสียอย่างรวดเร็วทำให้ตะกรันแข็งตัวจนไม่สามารถแยกโลหะอะลูมิเนียมออกมาได้ เนื่องจากอะลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวที่ 660 °C [8] ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นของเตาครูซิเบิลอยู่ในช่วงระหว่าง 300 °C ถึง 900 °C นอกจากนั้นแล้วยังได้ทำการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการกวน พบว่าเมื่อทำการกวนตะกรันนานเกินไปจะทำให้การนำกลับโลหะอะลูมิเนียมลดลง เนื่องจากกระบวนการกวนจะทำให้อะลูมิเนียมเหลวสัมผัสกับออกซิเจนและกลายเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ ดังนั้นจึงกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการกวนตะกรันอะลูมิเนียมในเตาครูซิเบิลเป็น 1 ถึง 5 นาที

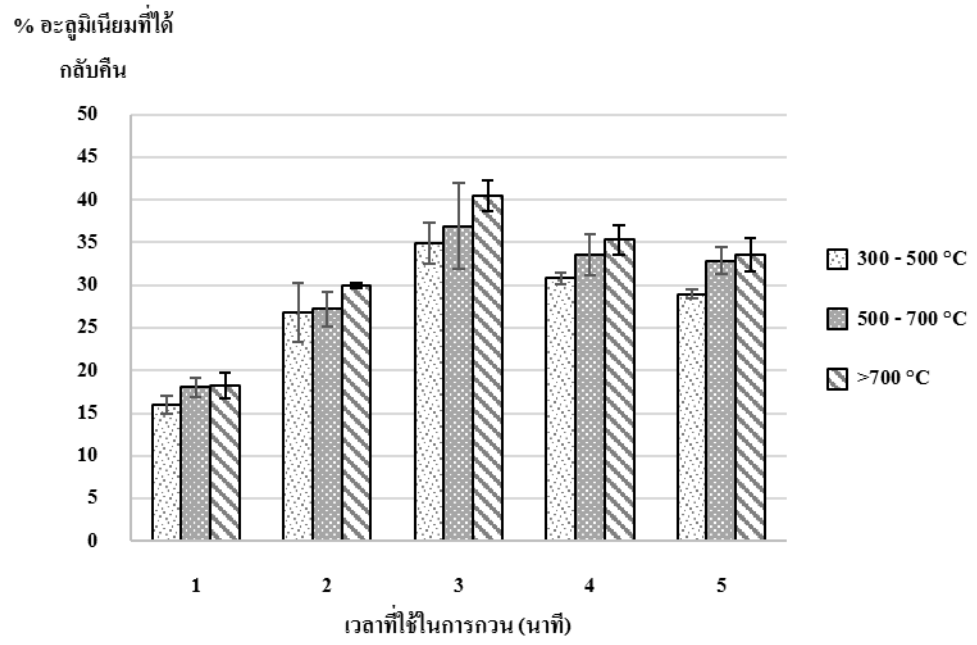
จากผลการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการกวนมีผลต่อร้อยละของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนดังแสดงในรูปที่ 3 โดยช่วงเวลาที่สามารถนำอะลูมิเนียมกลับคืนมาได้มากที่สุดนั้นจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3 นาที ซึ่งจะสามารถนำโลหะอะลูมิเนียมกลับคืนมาได้ประมาณร้อยละ 30-40 ต่อน้ำหนักตะกรันที่ใส่เข้าไป แต่หากใช้เวลาในการกวนที่ 1 และ 2 นาที จะพบว่าได้อะลูมิเนียมกลับคืนเพียงร้อยละ 15-20 และ 25-30 ตามลำดับ

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นของเตาครูซิเบิลแกรไฟต์ก่อนที่จะใส่ตะกรันอะลูมิเนียมลงไปนั้นแตกต่างกันโดยแบ่งอุณหภูมิออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 300-500 °C, 500-700 °C และ 700 °C ขึ้นไป และทำการควบคุมเวลาที่ใช้ในการกวนตั้งแต่ 1-5 นาที พบว่าที่เวลาในการกวนที่เท่ากัน ร้อยละของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนปัจจัยด้านเวลาในการกวนนั้น จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่ใช้ในการกวนที่ 1-3 นาที ร้อยละของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้กวนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาในการกวนในช่วง 4-5 นาที ร้อยละของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการกวนที่นานเกินไปจะทำอะลูมิเนียมเหลวสัมผัสกับออกซิเจนและกลายเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ จึงทำให้ปริมาณโลหะอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนลดลง

รูปที่ 2 อะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการ Spark Optical Emission Spectroscopy



รูปที่ 3 ร้อยละของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนที่เวลากวนต่างๆ



รูปที่ 4 ร้อยละของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

สรุป

กระบวนการนำอะลูมิเนียมกลับคืนจากตะกรันอะลูมิเนียมด้วยวิธีการดังกล่าวนั้น สามารถนำอะลูมิเนียมกลับคืนมาได้ประมาณ ร้อยละ 35-40 ***ต่อน้ำหนักของตะกรันอะลูมิเนียมที่ใส่เข้าไป ซึ่งปัจจัยทั้ง 2 ที่ศึกษา คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของเตาครูซิเบิลแกรไฟต์ก่อนที่จะใส่ตะกรันอะลูมิเนียม และเวลาที่ใช้ในการกวน มีผลต่อปริมาณอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนโดยปริมาณอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนอย่างมีนัยยะสำคัญ*** ($P < 0.05$) ***โดยเวลาที่ใช้ในการกวนที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 3 นาที จะทำให้*** ร้อยละ***ของอะลูมิเนียมที่ได้กลับคืนสูงกว่าช่วงเวลาอื่นๆ***

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ และศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย ที่เป็นผู้สนับสนุนทุนวิจัยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการจัดทำแนวปฏิบัติที่เป็นเลิศ (Best Practice) การบริหารจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมอะลูมิเนียม และขอขอบคุณบริษัท ไทยเม็ททอล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ทำวิจัย เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานต่างๆ ภายในโรงงาน รวมทั้งบริษัท ไดกิ อลูมิเนียม อินดัสทรี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าชมกระบวนการผลิตอะลูมิเนียมและจัดการจัดตะกรันอะลูมิเนียมอย่างเป็นระบบ

เอกสารอ้างอิง

[1] ***Bureau of Sectoral Industrial Policy 1.*** Report of aluminum industrial situation 2012. ***Office of Industrial Economics. 2012.*** (in Thai)

[2] David, E. and Kopac, J. 2012. Hydrolysis of aluminum dross material to achieve zero hazardous waste, J. Hazard. Mater. (209-210): 501-509.

[3] Tsakiridis, P.E., Oustasakis, P. and Agatzini-Leonardou, S. 2013. Aluminium recovery during black dross hydrothermal treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering. 1(1-2): 23-32.

[4] Tsakiridis, P.E. 2012. Aluminium salt slag characterization and utilization – A review. J. Hazard. Mater. (217-218): 1-10.

[5] Scharf, C. and Ditze, A. 2015. Recycling of black dross containing rare earths originating from melting and recycling of magnesium alloys. Hydrometallurgy. 157: 140-148.

[6] Menendez, J. B. S. 1984. Apparatus for the separation of metallic zinc from residues containing zinc. U.S. Patent.

[7] Groteke, D. E., Becher, E. J., Judkins, T. J. and Judkins, J. A. 2003. Dross processing system. U. S. Patent.

[8] JIS. 2009. Japanese industrial standard. Japan.