

Raw material foresight

Solar Panel : Recycle to Reborn ตอนที่ 3

นายณัฐฐิติ ศิลปอนันต์

กับการใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในอุตสาหกรรมใด
ซึ่งองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 1

เทคโนโลยีรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ผลึกซิลิกอนที่หมดอายุหรือชำรุด

ตอนที่ 2 ได้กล่าวถึง รายละเอียดกระบวนการในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาโดย กพร. ในกระบวนการที่ (1) การตัดแยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์กันไป แล้ว ในตอนสุดท้ายนี้ จะกล่าวถึงรายละเอียดกระบวนการที่ (2) การรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการทางโลหวิทยา โดยรายละเอียดการตัดแยกในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

จากกระบวนการตัดแยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน ทำให้ได้ผลผลิตหรือวัสดุที่แยกออกมาได้แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบที่ได้หลังจากกระบวนการตัดแยก

ทั้งนี้ การจัดการวัสดุแต่ละส่วนและการนำกลับมารีไซเคิลเพื่อใช้ประโยชน์สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กระจก

กระจกที่ได้จากกระบวนการตัดแยกจนไม่มีเศษแผ่นซิลิกอนปนอยู่แล้ว จะถูกวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธี X-ray Fluorescence (XRF) เพื่อพิจารณาว่าเหมาะสม

สารประกอบ	สัดส่วน (%)
SiO ₂	71.1
Na ₂ O	13.8
CaO	8.34
MgO	3.69
Al ₂ O ₃	0.97
SO ₃	0.17

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกระจกที่ได้จากกระบวนการตัดแยกซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.1 วัตถุดิบทดแทนในการผลิตฟริต(Frit)

เมื่อพิจารณาจากผลวิเคราะห์พบว่า กระจกมีองค์ประกอบของโซเดียม (Na) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในการทำฟริต (Frit) ชนิดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of Expansion : COE) สูง ซึ่งเป็นฟริต (Frit) สำหรับการผลิตสารเคลือบชนิด Engobe โดยขนาดกระจกที่เหมาะสมจะต้องมีขนาดใหญ่กว่า 4.76 มม. (4 เมช) และต้องเป็นชนิดที่ไม่มีพลวง (Sb) เป็นองค์ประกอบเท่านั้น ดังนั้นการจะนำกระจกไปใช้ใหม่จะต้องทำการตัดแยกประเภทของซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละรุ่นตั้งแต่ต้นทาง เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการ ลดการปนเปื้อนของวัสดุที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน รวมทั้งลดกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบองค์ประกอบของวัสดุอีกด้วย



รูปที่ 2 ตัวอย่างฟริท (Frit) สำหรับสารเคลือบชนิด Engobe

<https://ceramicartsnetwork.org/daily/article/Laying-a-Foundation-for-Layered-Surfaces-with-Ceramic-Engobes-and-Etching>

1.2 วัตถุดิบทดแทนในอุตสาหกรรมผลิตกระจก

นอกจากการนำไปผลิตเป็นวัตถุดิบทดแทนการผลิตฟริทแล้ว กระจกที่ได้อาจสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนเศษแก้ว (Cullet) สำหรับการผลิตกระจกโฟลตใส (Clear Float Glass) โดยขนาดกระจกที่เหมาะสมจะต้องใหญ่กว่า 4.76 มม. (4 เมช) เพื่อเหมาะแก่การเข้าสู่กระบวนการหลอมกระจกต่อไป



รูปที่ 3 ตัวอย่างกระจกโฟลตใส (Clear Float Glass)

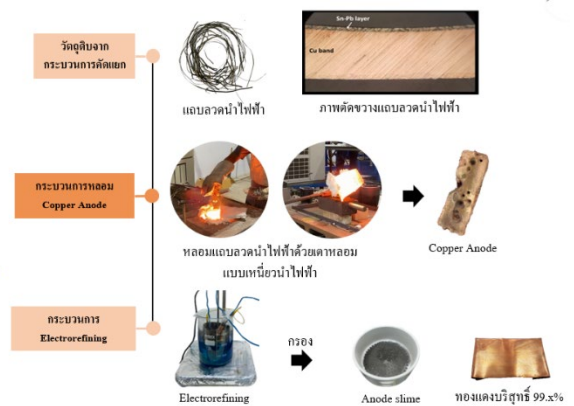
2. แกลลวดนำไฟฟ้า

แกลลวดนำไฟฟ้ามักจะเป็นโลหะผสม ซึ่งมีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก ดังแสดงจากผลวิเคราะห์ XRF ในตารางที่ 2 ซึ่งจะสามารถนำมารีไซเคิลสกัด

ทองแดงบริสุทธิ์ โดยผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อหลอมทำเป็นขั้วแอโนด (Copper Anode) และต่อกับกระบวนการแยกโลหะให้บริสุทธิ์ด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrorefining)

โลหะ	สัดส่วน (%)
Cu	88.62
Sn	5.4
Pb	3.48
Ag	2.07

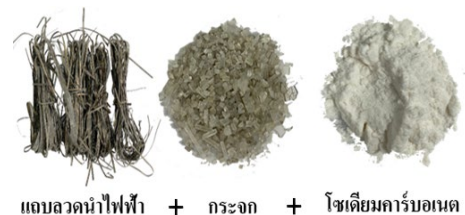
ตารางที่ 2 องค์ประกอบของลวดนำไฟฟ้าที่ได้จากการกระบวนการคัดแยกซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4 ภาพรวมการรีไซเคิลแกลลวดนำไฟฟ้าจากกระบวนการคัดแยกซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 กระบวนการหลอม Copper Anode

นำแกลลวดนำไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยกมาผ่านกระบวนการหลอมเป็นขั้ว Copper Anode โดยรวบรวมและนำใช้ลวดนำไฟฟ้า นำมาผสมกับเศษกระจกที่ได้จากกระบวนการอบและคัดแยกแผ่นซิลิกอน ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต เพื่อช่วยให้เกิดการหลอมได้ดี



แกลลวดนำไฟฟ้า + กระจก + โซเดียมคาร์บอเนต

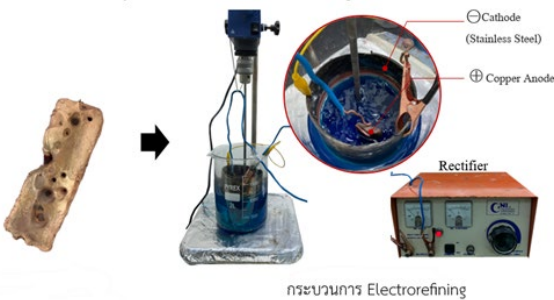


รูปที่ 5 การหลอมแถบไฟฟ้า เพื่อผลิตเป็น Copper Anode

จากนั้นนำ Copper Anode ที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการ Electrorefining เพื่อสกัดทองแดงบริสุทธิ์ต่อไป

2.2 กระบวนการ Electrorefining

นำแถบลวดนำไฟฟ้าที่ได้จากกระบวนการหลอม มาเข้าสู่กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี (Electrorefining) โดยใช้เป็นขั้ว Copper Anode ซึ่งเป็นขั้วบวก และใช้ สเตนเลสเป็นขั้วลบ (Cathode) เพื่อแยกมลทินออกจาก Copper Anode ซึ่งมีทองแดงเป็นหลัก และทำให้มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น

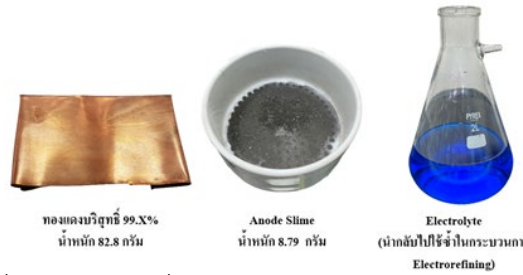


รูปที่ 6 กระบวนการ Electrorefining

โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ทองแดงความบริสุทธิ์ 99.x % ตะกอนมลทิน (Anode Slime) และสารละลาย Electrolyte

ทั้งนี้ ตะกอน Anode Slime มีส่วนประกอบของ ดีบุก ตะกั่ว และเงิน ซึ่งสามารถนำไปขายหรือรวบรวม

และนำไปสกัดแยกต่อได้ ส่วนสารละลาย Electrolyte สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการ Electrorefining ได้เช่นกัน



รูปที่ 7 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ Electrorefining

3. แผ่นซิลิกอน

แผ่นซิลิกอนที่ได้จากการตัดแยก จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางเปราะ ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกอน อะลูมิเนียม และเงินซึ่งมีหน้าที่หลักในการนำไฟฟ้า



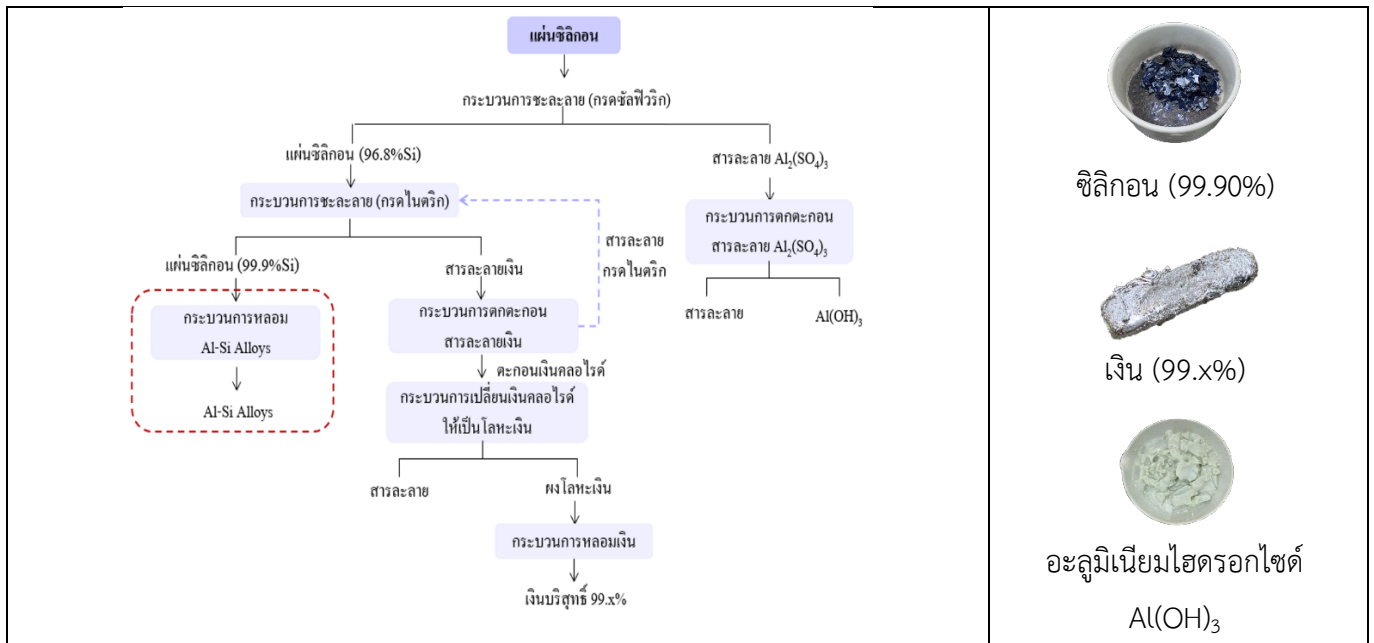
รูปที่ 8 แผ่นซิลิกอนที่ได้จากการตัดแยก

องค์ประกอบของแผ่นซิลิกอนที่ได้จากการตัดแยกด้วยความร้อนและตัดแยกทางกล ดังตารางต่อไปนี้

โลหะ	สัดส่วน (%)
Si	90.4
Al	7.64
Ag	1.09
Other	0.87

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของแผ่นซิลิกอนที่ได้จากการตัดแยกด้วยความร้อนและตัดแยกทางกล

ทั้งนี้ ในกระบวนการรีไซเคิลแผ่นซิลิกอน ประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยเพื่อแยกซิลิกอน เงิน และอะลูมิเนียมออก ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ภาพรวมกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรีไซเคิลแผ่นซิลิกอน

3.1 กระบวนการชะละลาย (กรดซัลฟิวริก)

นำแผ่นซิลิกอนมาชะละลายด้วยกรดซัลฟิวริก จะสามารถแยกอะลูมิเนียมออกมาอยู่ในรูปของ สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต $Al_2(SO_4)_3$ และได้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์ 96.8%

3.2 กระบวนการตกตะกอนสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$

นำสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) ที่ได้จากกระบวนการชะละลายด้วยกรดซัลฟิวริก มาปรับ pH เพื่อตกตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ออกมาจากสารละลาย

3.3 กระบวนการชะละลาย (กรดไนตริก)

จากนั้นนำซิลิกอน (96.8% Si) ที่ได้จากกระบวนการชะละลายด้วยกรดซัลฟิวริกไปผ่านกระบวนการชะละลายด้วยกรดไนตริกเพื่อแยกโลหะที่เหลือ จะได้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์ 99.90% และสารละลายที่มีโลหะเงินเป็นองค์ประกอบ

3.4 กระบวนการตกตะกอนสารละลายเงิน

นำสารละลายเงินจากกระบวนการชะละลายด้วย กรดไนตริก มาทำการตกตะกอนเป็นเงินคลอไรด์ ($AgCl$) ด้วยกรดไฮโดรคลอริก จากนั้น นำเงินคลอไรด์ทำการ ตกตะกอนให้เป็นผงโลหะเงิน และในขั้นตอนสุดท้ายนำผง เงินไปหลอมเพื่อทำเป็นแท่งเงินบริสุทธิ์ 99.x %

3.5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้

จากการรีไซเคิลแผ่นซิลิกอนจากซากแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ สามารถสกัดวัตถุดิบได้ ดังนี้

- ซิลิกอนในรูปของโลหะที่มีความบริสุทธิ์ 99.90%
- เงิน ความบริสุทธิ์ 99.x%
- อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$)

ทั้งนี้ เงินสามารถนำไปขายหรือนำกลับไปใช้เป็น วัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรมได้โดยตรง ในขณะที่ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) หรือ สารส้ม สามารถ ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น บำบัดน้ำ เสีย สิ่งทอ ไปจนถึงยา นอกจากนี้ กพร. ได้นำซิลิกอน (99.9% Si) ที่สกัดได้มาประยุกต์ใช้ร่วมกับกรอบ อะลูมิเนียมที่ได้จากกระบวนการคัดแยก โดยนำไปหลอม

รวมกัน เพื่อผลิตเป็นอะลูมิเนียมซิลิกอนหล่อผสม (Al-Si Alloys) สำหรับเป็นวัตถุดิบตั้งต้นให้แก่การผลิตอะลูมิเนียม ที่มีคุณสมบัติทนแรงอัดและการผุกร่อนได้ดี สามารถตกแต่งผิวได้เงางาม เหมาะกับงานกรอบประตูหน้าต่าง เป็นต้น

ที่มา : กลุ่มนวัตกรรมอุตสาหกรรมรีไซเคิล กองนวัตกรรมวัตถุดิบและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

จะเห็นได้ว่าซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำมารีไซเคิล เพื่อสกัดโลหะที่มีค่าหรือวัตถุดิบอื่นกลับมาใช้ใหม่ได้เกือบทั้งหมด หรือสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจได้ ตามแนวคิดที่ว่า

“Waste = Resource”