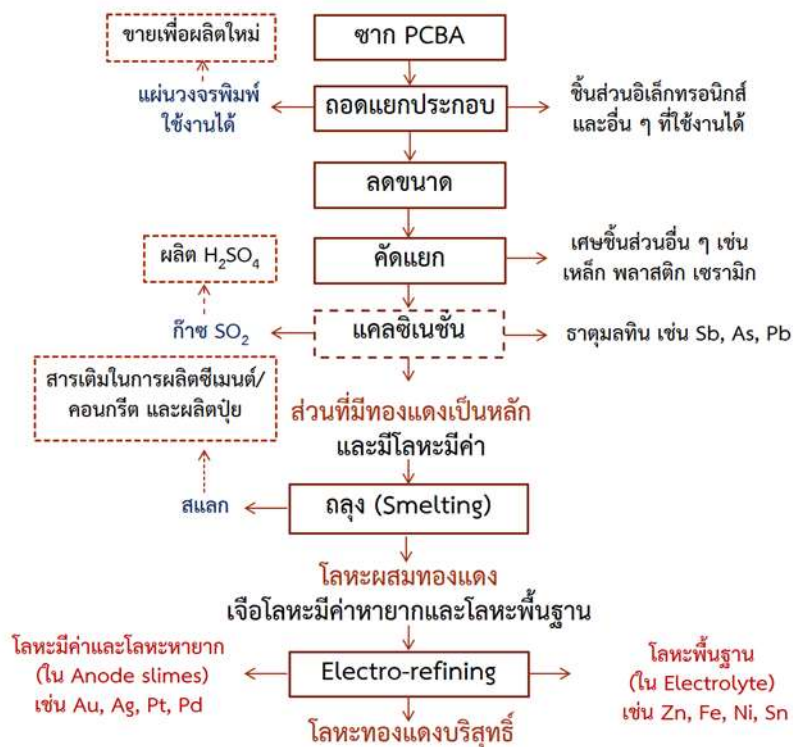


<b>1. ชื่อเทคโนโลยี (Technology Title) :</b>								
เทคโนโลยีรีไซเคิลซากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบโดยการผลิตเป็นทองแดงบริสุทธิ์								
<b>2. ประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม (Industrial Sector) :</b>								
	อุตสาหกรรมแร่		อุตสาหกรรมโลหการ	X	อุตสาหกรรมรีไซเคิล			
<b>3. ระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Levels) :</b>								
ระดับต่ำ								ระดับสูง
TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
Basic principle observed and reported	Technology concept and/or application formulated	Concepts demonstrated analytically or experimentally	Key elements demonstrated in laboratory environment	Key elements demonstrated in simulated environment	Representative of the deliverable demonstrated in relevant environments	Final development version of the deliverable demonstrated in operational environment	Actual deliverable qualified through test and demonstration	Operational use of deliverable
องค์ความรู้และการวิจัยพื้นฐาน			ต้นแบบห้องปฏิบัติการ		ต้นแบบภาคสนาม			
<b>4. รายละเอียดโดยสังเขป (Details Description) :</b>								
<b>แนวคิด :</b>	เนื่องจากซากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มักจะมีทองแดงเป็นส่วนประกอบรวมอยู่ด้วย ซึ่งโลหะทองแดงนั้นเป็นโลหะพื้นฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายๆด้านจึงมีแนวคิดที่จะใช้ประโยชน์จากซากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์นำมารีไซเคิลเอาทองแดงมาใช้เป็นวัตถุดิบต่อไป							
<b>ลักษณะและองค์ประกอบของวัสดุตั้งต้น :</b>	ซากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์มักจะทำจากวัสดุพอลิเมอร์ เช่น แผ่นพลาสติกเสริมด้วยวัสดุเซรามิก มีทองแดงเป็นลายวงจรไฟฟ้าปรากฏบนผิวหน้าของแผ่นพลาสติก นอกจากนี้ยังใช้โลหะที่มีมูลค่าสูง เช่น ทองและเงิน และโลหะหายากในกลุ่มแพลทินัม นำมาใช้บริเวณวงจรไฟฟ้าย่อยที่มีความสำคัญมาก และใช้โลหะบัดกรี (solder) ชนิดต่าง ๆ ในการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าย่อยเข้าด้วยกัน							
<b>ผลิตภัณฑ์ที่ได้ :</b>	- โลหะทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 99.99 เมื่อผ่านกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์รีไฟน์นิ่งแล้ว โดยสามารถขายเข้าสู่ตลาดได้ตามราคาซื้อขายในตลาด							
<b>เทคโนโลยี/กระบวนการที่ใช้ :</b>	<p>- เทคโนโลยีรีไซเคิล</p> <p>การรีไซเคิลโลหะจากซากแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยวิธีความร้อนสูง ซึ่งใช้วิธีการที่อิงกับหลักการง่าย ๆ คือ ใช้โลหะหลอมเหลวที่เหมาะสมในการหลอมละลายทั้งโลหะพื้นฐานและโลหะมีค่าหายากที่เคลือบอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์ หลังจากนั้นจึงใช้เทคนิคการรีไฟน์นิ่ง เพื่อแยกสกัดโลหะพื้นฐานและโลหะมีค่าหายากออกจากโลหะหลอมเหลวดังกล่าว ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. การคัดเลือกและถอดแยกส่วนประกอบ (sorting and dismantling)</li> <li>2. การลดขนาด (size reduction)</li> <li>3. การคัดแยก (separation) เพื่อทำการคัดแยกเหล็ก พลาสติกหรือเซรามิกออกมาก่อน โดยจะกระทำตามคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุ</li> <li>4. การแคลซิเนชัน (calcination) เป็นการเผาให้ความร้อนแก่เศษแผ่นวงจรพิมพ์ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิเหมาะสมและเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาแคลซิเนชันของสารประกอบต่าง ๆ</li> </ol>							

ภายในแผนวงจรพิมพ์ เพื่อกำจัดคาร์บอนออกจากขยะวงจรพิมพ์

5. การถลุง (smelting) โดยในขั้นตอนดังกล่าวนี้ หากสามารถใช้เตาถลุง (smelter) จะมีความเหมาะสมที่สุด หรืออาจจะใช้เตาหลอมอาร์คไฟฟ้า (electric arc furnace) และเตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induction furnace)

6. การอิเล็กโทรไฟน์นิง (electrorefining) เป็นการทำให้บริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น โดยนำโลหะทองแดงหลอมเหลวที่หลอมละลายโลหะพื้นฐานและโลหะมีค่าหายากกลุ่มแพลทตินั่มมาหล่อเป็นแผ่นแอโนด (anode) ส่วนแผ่นแคโทด (cathode) ทำจากโลหะทองแดงบริสุทธิ์ ใช้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ( $CuSO_4$ ) และกรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างแผนภาพการคัดแยกและการรีไซเคิลซากแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยกระบวนการโลหวิทยาความร้อนและการทำให้บริสุทธิ์

### 5. สรุปการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นในเชิงพาณิชย์ (Pre-Feasibility Study) :

ความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ของการดำเนินการรีไซเคิลซากแผ่นวงจรพิมพ์จากงานศึกษาวิจัยของ N. U. Rao [8] ในปี ค.ศ.2004 โดยทำการวิเคราะห์โมเดล (cost analysis model) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นค่าใช้จ่าย (cost) และรายได้ (revenue) ดังแสดงในสมการ ซึ่งจะแสดงถึงผลกำไรสุทธิ (total profit: TP) ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Total profit} &= \text{Total revenues} - \text{Total cost} \\ &= (RCR + RR + RMR) - (C_{\text{fixed}} + C_{\text{tb}} + C_{\text{l}} + C_{\text{d}} + C_{\text{t}} + C_{\text{p}} + C_{\text{rl}} + C_{\text{w}}) \end{aligned}$$

ตารางรายละเอียดค่าใช้จ่ายและรายได้ที่ใช้ในการวิเคราะห์ cost analysis model

ค่าใช้จ่าย (cost)	รายได้ (revenue)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- การลงทุนและอื่น ๆ (fixed cost: <math>C_{fixed}</math>)</li> <li>- การรวบรวมกลับคืน (take back: <math>C_{tb}</math>)</li> <li>- การขนส่ง (logistics: <math>C_l</math>)</li> <li>- การคัดแยกและถอดส่วนประกอบ (sorting and dismantling: <math>C_d</math>)</li> <li>- การทดสอบเพื่อนำกลับไปใช้งานใหม่ (testing for reuse: <math>C_r</math>)</li> <li>- กระบวนการรีไซเคิล (processing: <math>C_p</math>)</li> <li>- การขนส่งกลับสู่ตลาด (reverse logistics: <math>C_{rl}</math>)</li> <li>- การกำจัดของเสีย (waste disposal: <math>C_w</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การขายผลิตภัณฑ์จากกระบวนการรีไซเคิลทำให้บริสุทธิ์ (recycle revenue : RCR)</li> <li>- การขายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการคัดแยกส่วนประกอบ (resale revenue: RR)</li> <li>- การขายผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปผลิตใหม่ในผลิตภัณฑ์อื่น (remanufacturing revenue: RMR)</li> </ul>

โดยจะเกิดความคุ้มทุนหรือไม่ขึ้นอยู่กับราคาในตลาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลทั้งหมด รวมถึงการลดขั้นตอนกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและการใช้พลังงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด