แนวทางเบื้องต้นสำหรับการจัดการ ของเสียอิเล็กทรอนิกส์ จากโทรศัพท์มือถือ

เรียบเรียงโดย

นางสาวเบญจพร พวงจำปี
นักวิทยาศาสตร์ 4
กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยา สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

แนวทางเบื้องต้นสำหรับการจัดการ ของเสียอิเล็กทรอนิกส์ จากโทรศัพท์มือถือ

1. บทนำ

โทรศัพท์มือถือ เป็นอุปกรณ์สื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ ที่ประกอบขึ้นด้วยแผงวงจรไฟฟ้าซึ่งมีส่วนผสมของโลหะชนิดต่าง ๆ รวมทั้งสารประกอบของโลหะมีพิษในแบตเตอรี่ ซึ่งสภาวะปกติจะคงรูปในสถานะของแข็งที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย

รูปที่ 1 โทรศัพท์มือถือ / อุปกรณ์ และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายใน

ปัจจุบัน โทรศัพท์มือถือกลายเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับการติดต่อสื่อสารในโลกไร้พรมแดน และด้วยความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยี ซึ่งอาจเห็นได้จากการที่มีโทรศัพท์รุ่นใหม่ออกวางตลาดปีละไม่ต่ำกว่า 3 รุ่น ทำให้โทรศัพท์มือถือจำนวนมากถูกผลิตขึ้นกว่า 400 ล้านเครื่องในแต่ละปี เมื่อโทรศัพท์เหล่านี้หมดสภาพการใช้งาน หรือไม่ได้รับความนิยมจะกลายมาเป็นขยะ ที่มีปริมาณมากถึง 40,000 ตัน

ดังนั้น เพื่อเป็นการนำโลหะที่อยู่ในโทรศัพท์มือถือกลับมาใช้ประโยชน์ อีกทั้งเพื่อเป็นการลดปริมาณของเสียจำนวนมากที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จึงมีผู้คิดหาแนวทาง ตลอดจนเทคโนโลยีการรีไซเคิลโลหะที่เหมาะสม ซึ่งจำเป็นต้องรู้ว่าส่วนประกอบต่าง ๆ และวัตถุดิบที่จะนำมาเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลเป็นชนิด / ประเภทใด เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพิจารณาเลือกวิธีการจัดการ และกำจัดของเสียดังกล่าวอย่างถูกต้อง และเหมาะสมต่อไป

2. อุปกรณ์ และชิ้นส่วนต่าง ๆ ในโทรศัพท์มือถือ

- แผงวงจรไฟฟ้า ซึ่งบรรจุ printed circuit board ที่ประกอบด้วยหน่วยประมวลผล (microprocessor) และแปลงสัญญาณ (digital signal processor) รวมถึงหน่วยความจำต่าง ๆ (read-only-memory and flash memory ships) ที่เชื่อมต่อกันกับ microphone และ speaker ขนาดเล็ก
- เสาอากาศ ภายในเต็มไปด้วยสายไฟ
- หน้าจอ ซึ่งทำขึ้นจากผลิตขึ้นด้วยเทคโนโลยี Liquid Crystal Display (LCD) และแก้ว
- แบตเตอรี่ ปัจจุบันมีด้วยกัน 3 ชนิด คือ
  - nickel-cadmium
  - nickel metal hydride
  - lithium ion/polymer
- หน้ากาก (case) ที่ทำขึ้นจากพลาสติก เป็นตัวห่อหุ้มแผงวงจร และอุปกรณ์ทั้งหมด นอกจากนี้ อาจมีโลหะบางชนิดเคลือบเป็นชั้น หรือแถบบาง ๆ เพื่อป้องกันการสะท้อนของรังสี และคลื่นแม่เหล็กต่าง ๆ
- แท่นชาร์จประจุไฟ และอุปกรณ์ต่อเชื่อม
- อุปกรณ์เสริม เช่น หูฟัง หรือสายเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์

รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ และส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในโทรศัพท์มือถือ

3. วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในโทรศัพท์มือถือ

- **โลหะ**

การนำไปใช้ในส่วนต่าง ๆ	โลหะ
1. แผงวงจรไฟฟ้า	ตะกั่ว สารหนู ดีบุก ทองแดง โลหะมีค่า*
2. แบตเตอรี่	ตะกั่ว แคดเมียม โคบอลต์ นิกเกิล สังกะสี
3. จอแสดงผล	ตะกั่ว
4. ช่องเสียบอุปกรณ์ หรือสัญญาณเชื่อมต่อ	แบริลเลียม
5. หลอดไฟ	ปรอท
6. วงจรไฟฟ้าของปุ่มสัมผัส	แบริลเลียม เงิน โลหะมีค่า*

* โลหะมีค่า : ทองคำ เงิน แพลทินัม

- **ชิ้นส่วนพลาสติก / อื่น ๆ**

- พลาสติก ประเภท polycarbonate (PC) และ acrylonitrile butadiene styrene (ABS) สำหรับใช้ผลิตหน้ากากโทรศัพท์มือถือ

- พลาสติก ประเภท Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PHA) ในหน้าจอแสดงผล ซึ่งใช้เทคโนโลยีประเภท LCD (Liquid Crystal Display)

- แฮโลเจน เช่น ฟลูออรีน (เป็นสารประกอบในแบตเตอรี่แบบ lithium ion) ซึ่งเป็นสารที่อาจก่อให้เกิด halogenated hydrocarbon และสารก่อมะเร็งประเภท dioxins และ furans

- **สารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนในแบตเตอรี่**
  - โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
  - ไอออนของลิเทียม

4. แนวทางการแพร่กระจายของสารที่อาจก่อให้เกิดอันตราย (ในโทรศัพท์มือถือ) สู่สิ่งแวดล้อม

โทรศัพท์มือถือที่ใช้แล้ว โดยปกติจะไม่ก่อให้เกิดสภาพอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เว้นแต่การจัดการที่ไม่เหมาะสม และไม่ถูกวิธีเท่านั้นที่จะเป็นสาเหตุให้เกิดการแพร่กระจายของสาร และโลหะต่างๆ ในโทรศัพท์มือถือสู่สภาพแวดล้อม ก่อให้เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แนวทางการแพร่กระจายมีด้วยกันหลายวิธี อาทิ

- **จากการนำไปใช้**

ในทางตรงกันข้ามการนำโทรศัพท์มือถือที่ใช้แล้ว และไม่เป็นที่ต้องการจากในกลุ่มประเทศหนึ่งจะถูกขาย และนำกลับมาใช้งานซ้ำได้อีกในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งถือเป็นการยืดอายุการใช้งาน และขยายเวลาการเป็นขยะของโทรศัพท์มือถือเหล่านั้น แต่สิ่งหนึ่งที่ค่อนข้างน่าเป็นห่วง นั่นคือ ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาบางประเทศ ค่อนข้างละเลยกับมาตรการจัดการ และป้องกันสภาพสิ่งแวดล้อม ดังนั้น เมื่อโทรศัพท์มือถือหมดสภาพการใช้งาน และถูกทิ้งโดยปราศจากการควบคุม ดูแล จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตจากการแพร่กระจายของโลหะหนักมีพิษสู่แหล่งน้ำ และสิ่งแวดล้อม

- **จากการนำไปทิ้งในบ่อฝังกลบ**

การนำขยะอิเล็กทรอนิกส์ประเภทโทรศัพท์มือถือ ไปทิ้งโดยการฝังกลบในพื้นที่ซึ่งไม่มีการปูพื้น หรือวางแนววัสดุกันซึมที่ดี อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะมีพิษ (จากการชะล้างของสารละลายประเภทกรดที่ปะปนอยู่ในขยะทิ้งเหล่านั้น) สู่ชั้นน้ำผิวดิน และใต้ดิน กระทั่งแพร่กระจายไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตทั่วไปที่นำน้ำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค

- **จากการเผาไหม้**

การเผาไหม้ของเสียจากโทรศัพท์มือถือ ที่ขาดการควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้ และการระบายอากาศเสียที่เหมาะสม จะปล่อยสารมีพิษออกสู่บรรยากาศ

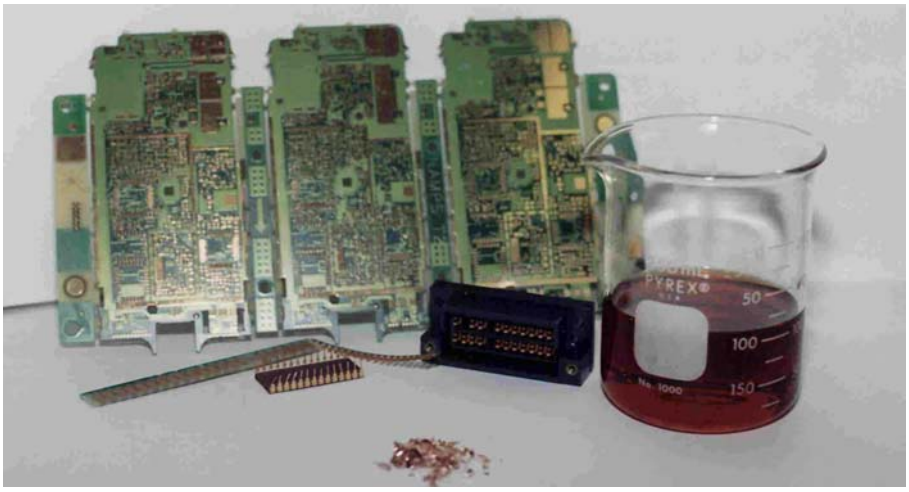
โลหะประเภทแคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจะกลายเป็นไอ และออกไซด์ของโลหะที่มีอนุภาคขนาดเล็ก และถูกพัดพาไปกับอากาศที่ระบายออกจากปล่อง ดังนั้น หากพบว่ามีโลหะประเภทดังกล่าว หรือแม้แต่โลหะหนักตัวอื่นปะปนอยู่ในโทรศัพท์มือถือจะต้องทำการเพิ่มอุณหภูมิการเผาไหม้ให้สูงกว่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลว ไม่เช่นนั้น จะเกิดการตกตะกอนของโลหะที่ก้นเตา เมื่อนำตะกรันที่นี้ ไปทำการฝังกลบในพื้นที่ที่ไม่มีการปูชั้นวัสดุกันซึมที่ดี ตะกรันจะถูกชะละลาย อย่างรวดเร็วหากเทียบกับเมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง นอกจากนี้ การเผาไหม้ที่อุณหภูมิ และช่วงเวลาไม่เหมาะสม (อุณหภูมิสูงต่ำ ช่วงเวลาสั้น) จะเป็นสาเหตุให้พลาสติก และวัสดุประเภทไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบ

ในโทรศัพท์มือถือเกิดการเผาไหม้ไม่ เกิดการรวมตัวกับธาตุแฮโลเจนก่อตัวเป็น halogenated hydrocarbons รวมถึงสารก่อมะเร็งประเภทไดออกซิน และฟูแรน

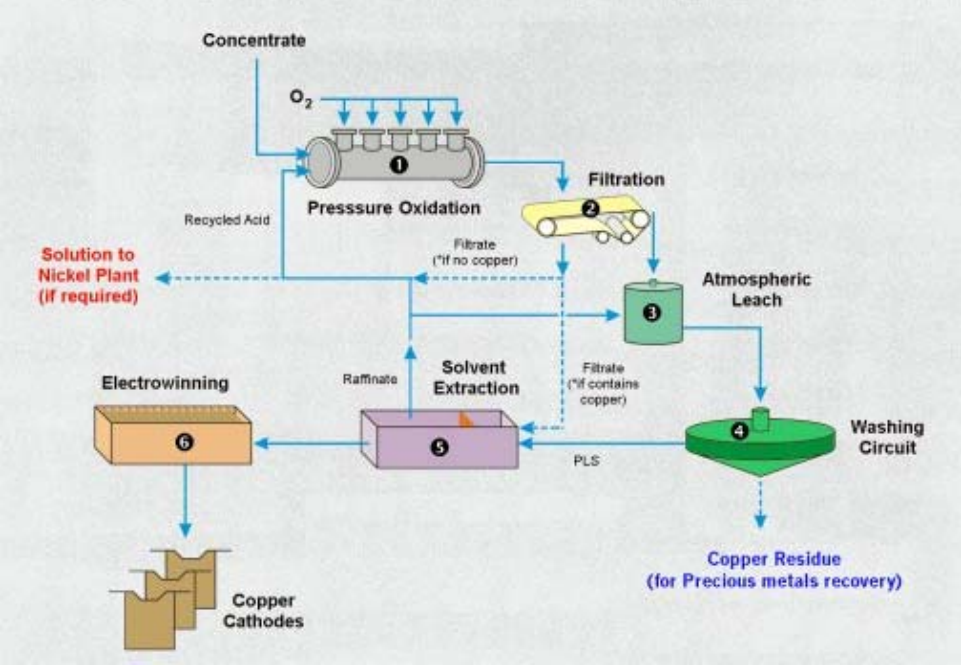
- **จากขั้นตอนการถลุงเพื่อนำโลหะกลับมาใช้ใหม่**

<u>โลหะทั่วไปในแผงวงจรไฟฟ้า และหน่วยประมวลผล</u>

ในขั้นตอนแรกของการถลุงเพื่อนำโลหะจากโทรศัพท์มือถือกลับมาใช้ใหม่นั้น โดยปกติจะเริ่มจากการถลุงโลหะทองแดง ซึ่งเป็นไปได้ว่าในขั้นตอนนี้ จะได้โลหะตัวอื่นๆ ออกมาด้วย เช่นตะกั่ว ดีบุก และนิกเกิล โลหะที่แยกออกมา รวมถึงวัสดุอื่นๆ จะถูกนำมากลับเข้าสู่กระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพ (ด้วยการทำให้บริสุทธิ์) ในขณะที่โลหะมีค่ายังคงหลอมเหลวอยู่ในสารละลาย ที่อุณหภูมิสูง ไอและออกไซด์ของโลหะที่มีอนุภาคขนาดเล็ก จะถูกปล่อยออกมา ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความใส่ใจในการดูแล ควบคุมระบบการระบายอากาศเสีย เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารอันตรายสู่คนงาน และชุมชนโดยรอบ นอกจากนี้ ถ้าในโทรศัพท์มือถือส่วนผสมของสารประเภทไฮโดรคาร์บอน จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และหากมีธาตุแฮโลเจนเป็นส่วนประกอบ จะยิ่งเป็นตัวการก่อให้เกิดสารอันตรายประเภทไดออกซิน และฟูแรน ซึ่งจำเป็นต้องมีการควบคุมอย่างเหมาะสม เพราะเป็นสารอันตรายประเภทก่อให้เกิดมะเร็ง



รูปที่ 3 แผงวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 4 แสดงแผนผัง และขั้นตอนการแยกโลหะประเภทต่างๆ

<u>โลหะในแบตเตอรี่</u>

เมื่อนำโลหะที่แยกได้เข้าสู่กระบวนการหลอมที่อุณหภูมิสูง ไอ และอนุภาคออกไซด์ของโลหะจะถูกระบายออกมา ทำให้คนงาน และชุมชนโดยรอบได้รับผลกระทบ เนื่องจากแคดเมียมซึ่งเป็นส่วนผสมในแบตเตอรี่ประเภท Ni-Cd มีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงระเหยเป็นแคดเมียมออกไซด์ ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็ก นอกจากนี้ ยังมีฝุ่นซึ่งเกิดในระหว่างขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อป้อนเข้าสู่เตาหลอม โดยการตัด ลดขนาด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการ ทำให้ฝุ่นขนาดเล็กซึ่งมีสารต่างๆ เป็นองค์ประกอบ จำนวนมากเกิดการแพร่กระจาย จึงจำเป็นที่จะต้องได้รับการควบคุมและป้องกันอย่างเหมาะสม และถูกวิธี

ในการหลอมโลหะแต่ละชนิด จะมีการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้กระแสไฟฟ้าการละลาย และการตกตะกอน เพื่อปรับปรุงคุณภาพโลหะให้เป็นที่ต้องการของตลาด ในขั้นตอนเหล่านี้เอง จะก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน ซึ่งสามารถนำกลับไปหมุนเวียนใช้ในกระบวนการได้ใหม่ หากไม่เช่นนั้นจะต้องควบคุม โดยผ่านเข้าสู่กระบวนการบำบัดก่อนปล่อยสู่ธรรมชาติ

สำหรับตะกรันที่ได้จากกระบวนการถลุงโลหะ ซึ่งเต็มไปด้วยโลหะมีพิษต่างๆ นั้น ถ้ายังคงมีปริมาณของโลหะมาก ควรนำกลับเข้าสู่กระบวนการถลุงซ้ำอีกครั้ง เพื่อนำโลหะที่มีอยู่นั้นกลับมาใช้ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการปล่อยไอระเหย และฝุ่นเล็กออกมา แต่จะช่วยเพิ่มปริมาณโลหะที่นำกลับมาใช้ และลดปริมาณขยะที่จะต้องกำจัด ตะกรันโลหะจะถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการล้าง และตกตะกอนให้เป็นผงโลหะ ในกระบวนการนี้เองที่คนงานเสี่ยงจะได้รับฝุ่นที่มีโลหะผสมอยู่ และน้ำเสียที่มีโลหะมีพิษผสมอยู่มาก ดังนั้นจึงควรควบคุม และวางแนวทางการจัดการอย่างเหมาะสม เพื่อรักษาสภาพแวดล้อม

สำหรับกากตะกรันที่ได้จากการถลุงโลหะ ซึ่งมีสารประกอบประเภทซิลิเกตเป็นส่วนผสม จะถูกนำมาทำให้เสถียร (ไม่หลอมละลายที่อุณหภูมิสูง) และนำไปใช้ในงานก่อสร้าง ปูพื้นถนน แต่หากตะกรันดังกล่าวยังไม่เสถียรพอ แนวทางการจัดการ คือ การนำไปฝังกลบในพื้นที่ที่มีการบุวัสดุกันซึมที่มีคุณภาพ

รูปที่ 5 เตา และแท่งโลหะทองแดง (copper anode) ที่ได้จากกระบวนการถลุง

5. ทางเลือกในการนำโลหะมีค่าจากโทรศัพท์มือถือกลับมาใช้ประโยชน์

ปัจจุบันโทรศัพท์มือถือถูกผลิตขึ้นมาจำนวนมาก และในขณะเดียวกัน โทรศัพท์มือถือที่ถูกทิ้งให้เป็นขยะเสียก็มีปริมาณมากขึ้นตามลำดับในแต่ละปี เนื่องจากความก้าวหน้าของรูปแบบโทรศัพท์ทั้งทางด้านเทคโนโลยี และนวัตกรรมด้านแฟชั่น รวมทั้งนโยบายส่งเสริมการขายในรูปแบบต่างๆ ทำให้ความนิยมสนใจของผู้ใช้โทรศัพท์ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โทรศัพท์มือถือที่ยังคงสภาพการใช้งานได้ดีจำนวนมากจึงถูกทิ้งให้กลายเป็นของเสีย ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปได้ ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่มนุษย์จะต้องหันมาให้ความสนใจกับเทคโนโลยีการรีไซเคิล เพื่อนำโลหะ และชิ้นส่วนต่างๆ กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งแนวทางสำหรับการนำโลหะมีค่าจากโทรศัพท์มือถือมาใช้ประโยชน์สามารถทำได้โดย

1) การนำไปใช้ใหม่

จากที่ทราบกันดีว่าโทรศัพท์มือถือเก่า จะไม่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของวัตถุมีพิษ แต่ผู้ใช้จำเป็นต้องดูแล และบำรุงรักษาทำความสะอาดตัวเครื่อง หรือตรวจสอบแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ก่อนส่งขายเป็นสินค้ามือสอง ให้กับผู้ใช้ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาที่ยังขาดความรอบคอบ และรัดกุมในการดูแล จัดการสิ่งแวดล้อม การดูแลโทรศัพท์ให้อยู่ในสภาพปกติ พร้อมใช้งานจึงมีความสำคัญ เพราะนอกจากจะเป็นการยืดอายุการใช้งานของโทรศัพท์มือถือ (reused) แล้ว ยังเป็นการช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด ดังนั้น หน้าที่สำคัญของทั้งผู้ซื้อ และผู้ขาย คือ การดูแล ซ่อมให้โทรศัพท์มือถืออยู่ในสภาพที่ใช้การได้ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการช่วยลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม แต่หากโทรศัพท์มือถือนั้น หมดสภาพการใช้งานแล้ว แนวทางการจัดการที่เหมาะสม คือ การนำไปกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสมโดยระวังไม่ให้สารตะกั่วที่มีในแผงวงจรไฟฟ้าของโทรศัพท์มือถือแพร่กระจายสู่คนงาน ชุมชน และสิ่งแวดล้อม

2) การรีไซเคิลโลหะต่างๆ ซึ่งประกอบในโทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์เสริมที่หมดสภาพ หรืออายุการใช้งาน เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์

หากสามารถรวบรวมโทรศัพท์มือถือที่ไม่สามารถใช้งานได้ในปริมาณที่มากพอ และนำมาทำการแยกชิ้นส่วนต่างๆ อาทิ โลหะ เศษพลาสติก แบตเตอรี่ และอื่นๆ จากนั้นนำโลหะที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการถลุงให้ได้เป็นโลหะ นำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ ต่อไป

ขั้นตอนแรกก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการถลุง คือ การนำโทรศัพท์มือถือมาแยกชิ้นส่วนต่าง ๆ เริ่มจาก

- **ส่วนที่เป็นแท่นชาร์จประจุไฟฟ้า และอุปกรณ์เสริม**

ชนิดของโลหะที่น่าสนใจ และอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในแผงวงจรไฟฟ้าของ handset และแท่นชาร์จประจุไฟฟ้า ที่จุดเชื่อมต่อของ handset และสายไฟที่ทำจากโลหะทองแดง นอกจากนี้ ในอุปกรณ์เสริม เช่น หูโทรศัพท์ และสายเชื่อมต่อสัญญาณ จะมีโลหะทองแดงเป็นส่วนประกอบ เมื่อโทรศัพท์มือถือหมดสภาพการใช้งาน ถูกทิ้งให้เป็นของเสีย อุปกรณ์เหล่านี้จะไม่เป็นที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องแยกเอาโลหะทองแดงกลับมาใช้ประโยชน์ ด้วยกระบวนการถลุงที่เหมาะสม โลหะแต่ละชนิดใน handset ที่แยก และนำกลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการถลุง จะได้รับการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มมูลค่าทางการตลาด

รูปที่ 6 แสดงแท่นชาร์จประจุไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

- **ส่วนที่เป็นแบตเตอรี่**

แบตเตอรี่ที่นำมาใช้กับโทรศัพท์มือถือ แบบชาร์จประจุใหม่ได้ มีทั้งประเภท nickel cadmium (Ni-Cd) nickel metal hydride (NiMH) และประเภท lithium ion (Li-ion)

ชิ้นส่วนของแบตเตอรี่นั้น จะอาศัยแรงงานของคนงานในการแยก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การระวังเรื่องการลุกไหม้ไฟของแบตเตอรี่ที่ยังค้างอยู่ในแท่นชาร์จประจุ หรือ ยังคงมีประจุไฟค้างอยู่จะก่อให้เกิดอันตราย และเป็นสาเหตุของการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ทำให้เกิดไฟไหม้ได้

แบตเตอรี่ทั้งสามชนิดสามารถนำกลับมาประโยชน์ และรีไซเคิลได้ หากยังคงประสิทธิภาพในการเก็บประจุไฟฟ้า โดยพิจารณาวิธีการที่เหมาะสม รวมถึงการหาตลาดเพื่อขายต่อแบตเตอรี่ที่ยังไม่หมดอายุการใช้งาน

ขยะแบตเตอรี่ประเภท nickel cadmium ถูกจัดประเภทเป็นของเสียอันตราย ซึ่งบางประเทศ นำมารีไซเคิลด้วยกระบวนการถลุงแยกโลหะกลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อหลีกเลี่ยงการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ และการเผา โดยการแยกโลหะนิกเกิล และแคดเมียม จาก

แบตเตอรี่ และนำมาหลอมให้ความร้อนในเตาถลุง ในขั้นตอนนี้ จะเกิดมลพิษประเภทไอระเหยของแคดเมียมระบายออกสู่บรรยากาศ โลหะแคดเมียม และนิกเกิลที่แยกได้ จะนำมาทำให้บริสุทธิ์เพื่อเพิ่มคุณภาพตามความต้องการของตลาด ทั้งนี้ กระบวนการดังกล่าวจำเป็นมีระบบดักจับไอของโลหะ และฝุ่นอนุภาคเล็ก ที่ระบายออกมาจากเตาหลอม สำหรับการจัดการกับแบตเตอรี่ประเภท nickel metal hydride (NiMH) และ lithium ion (Li-ion) สำหรับหลายประเทศที่ไม่มีเทคโนโลยีการรีไซเคิลที่เหมาะสม จะใช้แนวทางการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ ทั้งนี้ เนื่องจากการนำโลหะนิกเกิลจากแบตเตอรี่ประเภท nickel metal hydride (NiMH) และโลหะโคบอลต์จากแบตเตอรี่ประเภท lithium ion (Li-ion) กลับมาใช้ประโยชน์ด้วยกระบวนการถลุงโลหะแบบเฉพาะ ไม่ได้รับความนิยม ด้วยเหตุผลความไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

รูปที่ 7 สัญลักษณ์การรีไซเคิลแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ

- **การแยกชิ้นส่วนอื่น ๆ**

โทรศัพท์มือถือที่นำแบตเตอรี่ออกแล้ว จะถูกส่งมาแยกชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการหลอม และนำโลหะกลับมาใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติพบว่าค่าใช้จ่ายสำหรับดำเนินการดังกล่าวค่อนข้างสูง และให้ผลที่ไม่คุ้มค่า แม้ว่าจะลงทุนในประเทศที่มีค่าแรงงานต่ำ เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์ขยายเสียง ระบบประมวลผล และหน่วยความจำต่าง ๆ ซึ่งไม่เป็นที่นิยมในตลาดรับซื้อของมือสอง เพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ รวมถึงวัสดุที่ใช้ผลิตหน้าจอ LCD เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ สามารถทำลายอย่างปลอดภัยได้ในเตาหลอมโลหะภายใต้สภาวะที่เหมาะสม หรือแม้กระทั่งหน้ากากโทรศัพท์มือถือ (case) ซึ่งอาจมีโลหะเคลือบอยู่ภายในเพื่อป้องกันการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ไม่สามารถรีไซเคิลกลับมาเป็นพลาสติก PC/ABS ที่สะอาดได้

นอกจากนี้ ความนิยมในการนำพลาสติกผสมกลับมาใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย และหากพิจารณาประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม เทียบกับพลังงานจำนวนมหาศาลที่ต้องเสียไปในกระบวนการหลอมเพื่อนำพลาสติกผสมกลับมาใช้ใหม่นั้น พบว่าไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน เนื่องจากในพลาสติกผสม จะมีส่วนประกอบของโบรมีนซึ่งมีคุณสมบัติทนทานการไหม้ไฟ และ

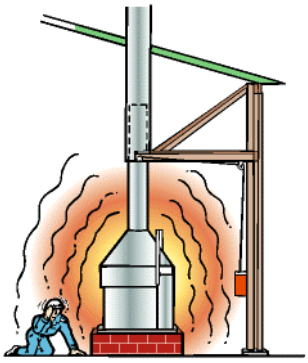
เป็นข้อจำกัดสำหรับการนำพลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ ดังนั้น จึงนำพลาสติกผสมมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการถลุงโลหะ เพื่อให้เกิดประโยชน์คุ้มค่า และมีประสิทธิภาพ

รูปที่ 8 แสดงหน้าจอ LCD ของโทรศัพท์มือถือ

- **การตัด**

การลดขนาดชิ้นส่วนต่างๆ ของโทรศัพท์มือถือ นับเป็นสิ่งจำเป็นอันดับแรกสำหรับกระบวนการถลุง เนื่องจากเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการ โดยเริ่มจากการแยกแบตเตอรี่ และแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และนำแผ่นวงจรมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 2-3 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้ง่าย และสะดวกในการเก็บ ขนย้าย และจัดการด้วยอุปกรณ์ และเครื่องจักรก่อนป้อนเข้าสู่เตาถลุง เพื่อหลอมและแยกโลหะแต่ละชนิดต่อไป

ชิ้นส่วนที่ปตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้ว จะถูกนำมาแยกส่วนที่เป็นโลหะออกโดยใช้ไฟฟ้า ให้เหลือเพียงโลหะมีค่า และเศษพลาสติก จากนั้นจึงป้อนเข้าเตาถลุง อย่างไรก็ตามอาจมีการสูญเสียโลหะมีค่าบางส่วนไปกับเศษพลาสติก ซึ่งคิดเป็นมูลค่าเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบมูลค่าที่ได้จาการใช้พลาสติกเหล่านั้นเป็นเชื้อเพลิง (ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น)



รูปที่ 9 อันตรายที่คนงานอาจได้รับ เมื่อต้องทำงานใกล้กับเตาหลอม

นอกเหนือจากกระบวนการแยกชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับป้อนในเตาหลอม การป้องกัน และสร้างความปลอดภัยให้กับคนงาน ซึ่งปฏิบัติหน้าที่ถือเป็นสิ่งจำเป็นที่ไม่ควรละเลย เนื่องจากในการทำงานของคนงานจะต้องสัมผัสกับสาร และไอระเหยที่มีอันตรายตลอดเวลา ดังนั้น จึงได้กำหนดให้มีแนวทางการป้องกันด้านอาชีวอนามัยเบื้องต้นด้วยการสวมใส่อุปกรณ์นิรภัยต่างๆ เพื่อป้องกันอวัยวะต่างๆ ให้ปลอดภัยจากสารเคมี และฝุ่น ไอของโลหะหนักมีพิษต่างๆ ตลอดจนอุบัติเหตุ ซึ่งสามารถป้องกันโดย

- การสวมหน้ากาก หรือแว่นตา เพื่อป้องกันดวงตาจากการกระเด็นของชิ้นส่วนพลาสติกจากการตัด หรือจากกระบวนการอื่น
- การสวมหมวกนิรภัย เพื่อป้องกัน และลดอันตรายของอุบัติเหตุจากเครื่องจักรในกระบวนการ
- การสวมชุดปฏิบัติงานซึ่งสามารถป้องกันอันตรายจากสารเคมี และความร้อน ตลอดจนถุงมือ และรองเท้า ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันอันตรายจากอุบัติเหตุระหว่างการทำงาน
- การสวมเครื่องป้องกันเสียง นอกจากนี้ ควรมีมาตรการควบคุมความดังเสียงในสถานประกอบการไม่ให้เกินตามที่มีมาตรฐานกำหนด
- การสวมเครื่องป้องกันไอระเหย ของโลหะมีพิษต่างๆ และควรมีการตรวจสอบ ดูแลระบบระบายอากาศเสียให้มีประสิทธิภาพ ระหว่างช่วงเวลาดำเนินการ

นอกจากนี้ ควรให้ความใส่ใจในการระวังอุบัติเหตุ จาก

- แบตเตอรี่ที่ยังคงมีประจุไฟฟ้าเหลืออยู่ เมื่อได้รับความร้อนจากการเสียดสี (ในขั้นตอนการตัด ลดขนาดชิ้นส่วน) อาจทำให้เกิดเป็นสะเก็ดไฟ ลุกไหม้โดยมีพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี
- โลหะที่มีคุณสมบัติแม่เหล็กในเครื่องขยายเสียง อาจเข้าไปติดขวางอยู่ในเครื่องตัด ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการทำงาน จึงจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ทำจากโลหะแมงกานีสหรือแสตนเลส เป็นส่วนประกอบในเครื่องมือ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว

- **การถลุงโลหะทองแดง**

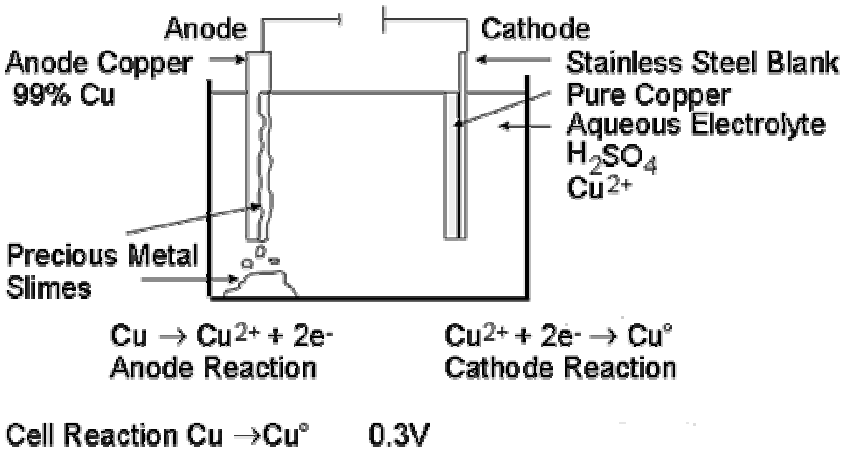
ขั้นแรกของการนำโลหะกลับมาใช้ประโยชน์ คือ การหลอมที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้โลหะที่มีความเข้มข้น และคุณภาพเพิ่มขึ้น โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และรีดักชั่น โลหะต่าง ๆ ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิเตาที่ให้ จะละลายและแยกตัวเป็นชั้น โดยที่โลหะทองแดง และโลหะมีค่า ได้แก่ ทองคำ เงิน และพลาเดียม จะหลอมเหลวรวมตัวกัน แยกชั้นจากโลหะหนักพื้นฐานตัวอื่น ๆ ในขณะที่ ตะกั่ว แคดเมียม และแบริลเลียม ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะถูกออกซิไดส์เป็นออกไซด์ลอยสู่ผิวหน้าน้ำโลหะ ในรูปของตะกรัน ซึ่งจะถูกแยกออกมาเพื่อนำกลับเข้าสู่กระบวนการถลุงเพื่อให้ได้โลหะ ตะกั่ว ดีบุก และนิกเกิล นอกจากที่กล่าวมาแล้วโลหะบางตัวที่มีความดันไอสูงจะระเหยเป็นไอ และถูกกำจัดด้วยเครื่องดักจับฝุ่นละออง และอากาศเสีย ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

สำหรับโลหะทองแดงหลอมเหลวที่ได้จะนำมาเทเป็นแท่ง เพื่อใช้เป็น copper anode สำหรับใช้แยกโลหะตัวอื่นในขั้นตอนของการทำโลหะให้บริสุทธิ์ต่อไป ด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม สามารถนำโทรศัพท์มือถือเข้าสู่กระบวนการถลุงโลหะได้ โดยไม่จำเป็นต้องแยกชิ้นส่วนใดก่อน เนื่องจากพลาสติกในโทรศัพท์มือถือ จะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานในกระบวนการถลุง ทั้งนี้ สิ่งที่ต้องระวัง คือ การควบคุมอุณหภูมิเตาหลอมให้สูงพอเพื่อที่จะเผาไหม้สารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีสารประกอบของอโลหะในหมู่แฮโลเจน เช่น คลอรีน หรือ โบรมีน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสารฟูแรน และไดออกซิน ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เพื่อให้การเผาไหม้สารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 850 องศาเซลเซียสขึ้นไป (ประมาณ 2 วินาที) ในสภาวะอิ่มตัวด้วยออกซิเจน จะช่วยลดการเกิดสารอันตรายประเภทไดออกซิน และฟูแรน นอกจากนี้ สารประกอบแฮโลเจนยังสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรด และเกลือของกรด ในสถานะแก๊สร้อน ซึ่งจะต้องถูกนำไปลดอุณหภูมิให้เหลือเพียง 200 องศาเซลเซียส ก่อนปล่อยเข้าสู่ Baghouse หรือเครื่องตกตะกอนฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ต่อไป

- **การทำโลหะให้บริสุทธิ์**

ขั้นตอนแรกของการทำโลหะทองแดงให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางไฟฟ้า คือ การนำแท่ง copper anode ที่ได้จากการกระบวนการถลุงโลหะ จุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป โลหะทองแดงจากขั้ว copper anode จะละลายและเข้าเกาะที่ copper cathode ซึ่งเป็นขั้วโลหะทองแดง (ความบริสุทธิ์ มากกว่า 99.5%) สำหรับโลหะมีค่า ได้แก่ ทอง คำ เงิน และพลาเดียม ซึ่งไม่ละลายในสารละลายกรดซัลฟิวริก จะตกตะกอนเป็น cell slimes สามารถแยกออกมาและนำเข้าสู่กระบวนการ refine โลหะมีค่าแต่ละชนิดตามกรรมวิธีการที่เหมาะสม เพื่อให้ได้เป็นโลหะบริสุทธิ์ต่อไป



รูปที่ 10 กระบวนการทำโลหะทองแดงให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางไฟฟ้า

- **การจัดการกับตะกรัน**

ตะกรันที่ได้จากการถลุงโลหะทองแดง จะนำมาผ่านเข้าสู่กระบวนการหลอมเหลวใหม่อีกครั้งเพื่อดึงโลหะตัวที่ต้องการออกมา กระทั่งเหลือเป็นตะกรันของโลหะซึ่งไม่เป็นที่ต้องการแล้วจึงนำมาตรวจวิเคราะห์หาอัตราการชะละลาย หากพบว่าไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตราย รวมทั้งไม่มีของเสียเป็นพิษใดแพร่สู่สภาพแวดล้อม ตลอดจนมีความคงรูป จึงจะนำมาบดอัด เพื่อใช้ในการก่อสร้าง และบดอัดทำถนนต่อไป

6. สรุป

ปัจจุบันโทรศัพท์มือถือ ได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินชีวิต เนื่องจากความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารในโลกไร้พรมแดน ส่งผลให้โทรศัพท์มือถือได้รับการพัฒนา และผลิตขึ้นมาจำนวนมากนับร้อยล้านเครื่องในแต่ละปี และด้วยเหตุที่ส่วนประกอบภายในโทรศัพท์มือถือบรรจุแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีโลหะประเภทต่าง ๆ จำนวนมาก ดังนั้น เมื่อโทรศัพท์มือถือหมดสภาพการใช้งาน และไม่เป็นที่ต้องการ จึงถูกทิ้งก่อให้เกิดเป็นมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่มนุษย์จะต้องเร่งหาเทคโนโลยีการรีไซเคิล และแนวทางป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม มารองรับการจัดการของเสียปริมาณกว่าหลายหมื่นตันที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ ด้วยการนำเอาวิทยาการด้านเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ ซึ่งไม่เพียงจะช่วยลดต้นทุนของกระบวนการผลิต แต่ยังประโยชน์โดยรวมต่อระบบเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน ในการทดแทนการนำเข้าวัตถุดิบ และสร้างศักยภาพให้แก่ผู้ประกอบการ ผลักดันไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมต้นน้ำ ที่เป็นพื้นฐานสำหรับความก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมต่อไป

รูปที่ 11 วงจรชีวิตของโทรศัพท์มือถือ

เอกสารอ้างอิง

เอกสาร

Copper Smelting, Pollution Prevention and Abatement Handbook, World Bank Group. July 1998. http://wbln0018.worldbank.org/essd/essd.nsf/GlobalView/PPAH/$File/54_coppr.pdf

Environmentally Sound Management Used Mobile Telephones, International Precious Metals Institute. U.S.A., July 2003. http://www.ipmi.org

Mobile Phone Recycling, Envocare Ltd,. February 2003. http://www.envocare.co.uk/mobile_phones.htm

รูปภาพ

- http://nb.nikkeibp.co.jp/eng/Article/1157/1157.jpg
- http://www.oneillgroup.co.uk/acc4e.gif
- http://www.xpic.fsnet.co.uk/BATTERY.JPG
- http://www.cancer-health.org/images/cell-phone-radiation-transm.jpg
- http://www.alpha11.com/alpha_11/alpha_images/chip.jpg
- http://static.howstuffworks.com/gif/cordless-telephone-ge-handset-parts-front.jpg
- http://www.kirtland.cc.mi.us/cis/CIS105/Week1/cpu.jpg
- http://www.belkin.co.uk/graphics/fp1_04.jpg
- http://www.asic.fh-offenburg.de/FhopKit/Reports/Images/img00006.gif
- http://www.all4cell.com/graphics/5180/lcd.jpg
- http://www.phatphones.com/LED_replacement_screen_x3_in_a_fan.jpg
- http://www.diasemi.com/grafik/mobile_parts.jpg
- http://www.satsuki.co.jp/e/company/img/phone.jpg
- http://www.all4cell.com/graphics/lcd/pol8290lcd3.jpg
- http://kadenfan.hitachi.co.jp/kankyo/recycle/image/rechargeable_battery.gif
- http://www.jicosh.gr.jp/english/cases/cases/case33-2.gif
- http://www.metalsrecycling.ie/mob2.jpg
- http://www.ocworkbench.com/2002/nokia/7210/earphone.jpg
- http://www.mrpalm.com/mainnews2/reviewt415/TN_DSC01203.JPG
- http://www.phatphones.com/LED_replacement_screen_x3_in_a_fan.jpg
- http://www.dal.ca/~kipourgj/Copper%20electrodeposition.htm
- http://www.cyanidedestruct.com/ images/circuit.jpg
- http://www.amta.org.au/default.asp?id=121

ภาคผนวก ก

องค์ประกอบ (โดยประมาณ) ของโทรศัพท์มือถือ 1 เครื่อง

ภาคผนวก ก องค์ประกอบ (โดยประมาณ) ของโทรศัพท์มือถือ 1 เครื่อง

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
พลาสติกประเภท ABS-PC	29
ซิลิคอนพลาสติก	10
Epoxy	9
พลาสติกอื่น ๆ	8
ส่วนผสมของสารประกอบซิลิคอน (เซรามิก)	16
เหล็ก	3
PPS	2
สารทนไฟ	1
นิกเกิล และสารประกอบของนิกเกิล	1
สังกะสี และสารประกอบของสังกะสี	1
ทองแดง และสารประกอบของทองแดง	15
เงิน และสารประกอบของเงิน	1
ทองคำ	< 1
อะลูมิเนียม	< 1
ดีบุก	< 1
ตะกั่ว	< 1
พลาเดียม	< 1
มังกานีส	< 1
อื่น ๆ	< 1
รวม	100

ที่มา : http://www.envocare.co.uk/mobile_phones.htm

ภาคผนวก ข

ผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากสารอันตราย
และค่ามาตรฐานสำหรับปริมาณโลหะมีพิษ ที่เป็นองค์ประกอบในโทรศัพท์มือถือ

ภาคผนวก ข ผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากสารอันตราย และค่ามาตรฐานสำหรับปริมาณโลหะมีพิษ ที่เป็นองค์ประกอบในโทรศัพท์มือถือ

ส่วนประกอบ	อันตรายต่อสุขภาพ	STD [1] ($\mu g/m^3$)	STD [2] ($\mu g/m^3$)
ตะกั่ว	ทำลายระบบประสาท และเป็นสารก่อมะเร็ง	< 1.5	50
แคดเมียม	- เป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ ตับ และไต - - เป็นสารก่อมะเร็ง		100
แบริลเลียม	ส่งผลกระทบต่อการทำงานของปอดอย่างรุนแรง โดยหากได้รับสารแบริลเลียมอย่างต่อเนื่อง จะก่อให้เกิดโรค berylicosis นอกจากนี้ ยังเป็นสารก่อมะเร็ง	0.01	2
โคบอลต์	หากสูดหายใจเอาไอระเหย และฝุ่นของโคบอลต์เข้าไป จะก่อให้เกิดอันตรายต่อปอด	-	0.0001
นิเกิล	เป็นสารก่อมะเร็ง	-	0.001
ปรอท	เป็นพิษต่อระบบประสาท	-	5×10^{-5}
เงิน	หากอยู่ในรูปของไอออน จะก่อให้เกิดอันตรายกับสิ่งมีชีวิตบางชนิด แต่ไม่เป็นอันตรายกับมนุษย์	-	1×10^{-5}
สารหนู	เป็นสารก่อมะเร็ง	-	10
ดีบุก		-	0.002
สังกะสี		-	0.005
ทองแดง	หากได้รับในปริมาณสูงมาก จะก่อให้เกิดอาการระคายเคือง และส่งผลให้การหายใจติดขัด นอกจากนี้ อาจเป็นอันตรายต่อตับ และไต	-	0.0001
ผลึกคริสตัลเหลว	สารประกอบของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) เป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งกับสัตว์ในห้องทดลอง	-	0.0002

หมายเหตุ [1] ค่ามาตรฐานของ U.S. EPA (กำหนดมาตรฐานในบรรยากาศทั่วไป)

[2] ค่ามาตรฐานของ U.S. OSHA (กำหนดมาตรฐานของอากาศในสถานที่ทำงาน)

ที่มา : Substances of Concern, IPMI Guidance-ESM for used Mobile Phones. July 2003. http://www.ipmi.org/pdf/IPMI_Guidance_Used_Mobile_Phones.pdf