

ภาพรวมและความก้าวหน้า การรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ชนิดลิเทียมแบตเตอรี่

นายทองศักดิ์ ยิ่งนคร

ศูนย์วิจัยนวัตกรรมการผลิตและรีไซเคิลโลหะ
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



งานสัมมนาวิชาการ Innovation in Raw Materials Conference 2019: Circular Economy
ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิล กรมอุตสาหกรรมและการเหมืองแร่
อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ
12 มิถุนายน 2562



หัวข้อนำเสนอ



1. ซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ
2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ
3. แนวทางการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศ



1. ซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



ประเภทการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียม

การใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา



แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมใช้ในโทรศัพท์มือถือ



แบตเตอรี่คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก



แบตเตอรี่ชนิดกระดุม ทรงระบอก และชนิดเหลี่ยม

การใช้งานในกลุ่มยานยนต์



แบตเตอรี่ในรถยนต์ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า



แบตเตอรี่สำหรับรถโดยสารไฟฟ้า



แบตเตอรี่สำหรับจักรยานหรือสกูตเตอร์ไฟฟ้า

การใช้งานอื่น ๆ

1. ซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



ข้อมูลประมาณการซากของเสียแบตเตอรี่ลิเทียมสำหรับคอมพิวเตอร์พกพา (โน้ตบุ๊ก)

	ปี พ.ศ. 2559	ปี พ.ศ. 2560	ปี พ.ศ. 2561
ปริมาณซากคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ¹ (เครื่อง)	1,630,000	1,360,000	1,210,000
น้ำหนักซากคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ² (ตัน)	3,749	3,128	2,783
น้ำหนักซากแบตเตอรี่ลิเทียม ³ (ตัน)	584.8	488.0	434.1

ข้อมูลประมาณการซากของเสียแบตเตอรี่ลิเทียมสำหรับคอมพิวเตอร์พกพา (แทปเล็ต)

ประมาณการ	ปี พ.ศ. 2559	ปี พ.ศ. 2560	ปี พ.ศ. 2561
ปริมาณซากคอมพิวเตอร์แทปเล็ต ¹ (เครื่อง)	2,000,000	2,400,000	2,500,000
น้ำหนักซากคอมพิวเตอร์แทปเล็ต ² (ตัน)	1,600	1,920	2,000
น้ำหนักซากแบตเตอรี่ลิเทียม ³ (ตัน)	352.5	423.0	440.6

ข้อมูลประมาณการซากของเสียแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า (BEV และ PHEV)

ประมาณการ	ปี พ.ศ.	ปี พ.ศ.	ปี พ.ศ.	ปี พ.ศ.	ปี พ.ศ.	ปี พ.ศ.	ปี พ.ศ.
	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568
ปริมาณซากแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ¹ (ตัว)	10	10	10	70	270	-	300
น้ำหนักซากแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ² (ตัน)	3	3	3	21	81	-	90

1. ซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



การวิเคราะห์แนวโน้มทางการตลาดของแบตเตอรี่ลิเทียมตั้งแต่อดีต ปัจจุบันและอนาคต (หน่วย: กิกะวัตต์-ชั่วโมง/ปี)

ประเภทการใช้งาน	พ.ศ. 2553	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2563	พ.ศ. 2568	พ.ศ. 2573
โทรศัพท์มือถือ	6	11	17	28	44
คอมพิวเตอร์แทปเล็ต	1	7	12	17	25
คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	12	9	9	9	11
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา (อื่น ๆ)	3	4	7	12	20
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา (ทั้งหมด)	21	31	45	66	100
รถยนต์ไฟฟ้า (EV)	0	11	65	115	200
รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (PHEV)	0	2	8	13	25
รถยนต์ไฮบริด (HEV)	0	0	2	7	15
ยานยนต์ไฟฟ้า (อื่น ๆ)	0	0	1	2	5
ยานยนต์ไฟฟ้า (ทั้งหมด)	0	13	76	137	245
อุปกรณ์กักเก็บพลังงาน (energy storage)	0	0	2	10	30
การใช้งานอื่น ๆ	1	1	2	7	15
รวมทั้งสิ้น	22	45	125	220	390

งานสัมมนาวิชาการ Innovation in Raw Materials Conference 2019: Circular Economy, 12 มิถุนายน 2562

1. ซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



ประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียมตามวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นขั้วแคโทด

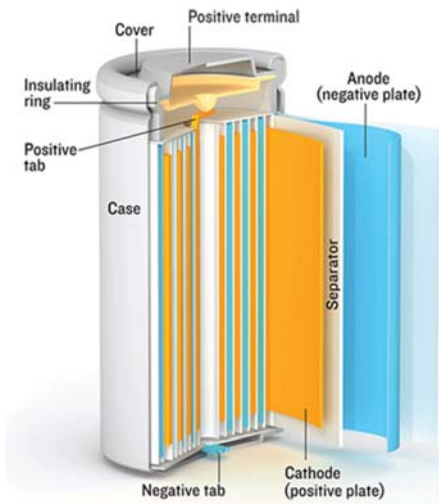
Type	Lithium cobalt oxide	Lithium nickel oxide	Lithium nickel cobalt aluminium oxide	Lithium nickel manganese cobalt oxide	Lithium manganese spinel	Lithium iron phosphate	Lithium titanate
Short name	LCO	LNO	NCA	NMC	LMO	LFP	LTO
Type	Lithium cobalt oxide	Lithium nickel oxide	Lithium nickel cobalt aluminium oxide	Lithium nickel manganese cobalt oxide	Lithium manganese oxide	Lithium iron phosphate	Lithium titanate
Cathode	LiCoO_2	LiNiO_2	$\text{Li}(\text{Ni}_{0.85}\text{Co}_{0.1}\text{Al}_{0.05})\text{O}_2$	$\text{Li}(\text{Ni}_{0.33}\text{Mn}_{0.33}\text{Co}_{0.33})\text{O}_2$	LiMn_2O_2	LiFePO_4	e.g. LMO, NCA
Anode	graphite	graphite	graphite	graphite	graphite	graphite	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Cell voltage	3.7-3.9V	3.6V	3.65V	3.8-4.0V	4.0V	3.3V	2.3-2.5V
Energy density	150 mAh/g	150 Wh/kg	130 Wh/kg	170 Wh/kg	120 Wh/kg	130 Wh/kg	85 Wh/kg

งานสัมมนาวิชาการ Innovation in Raw Materials Conference 2019: Circular Economy, 12 มิถุนายน 2562

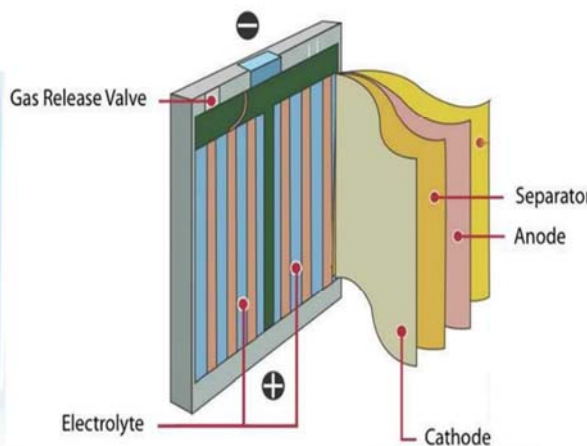
1. ซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



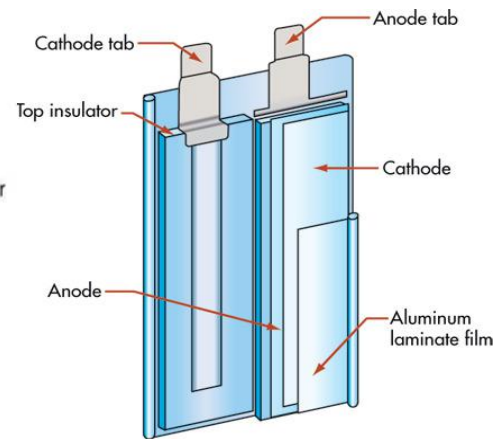
โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเทียม



แบบแท่งกลม

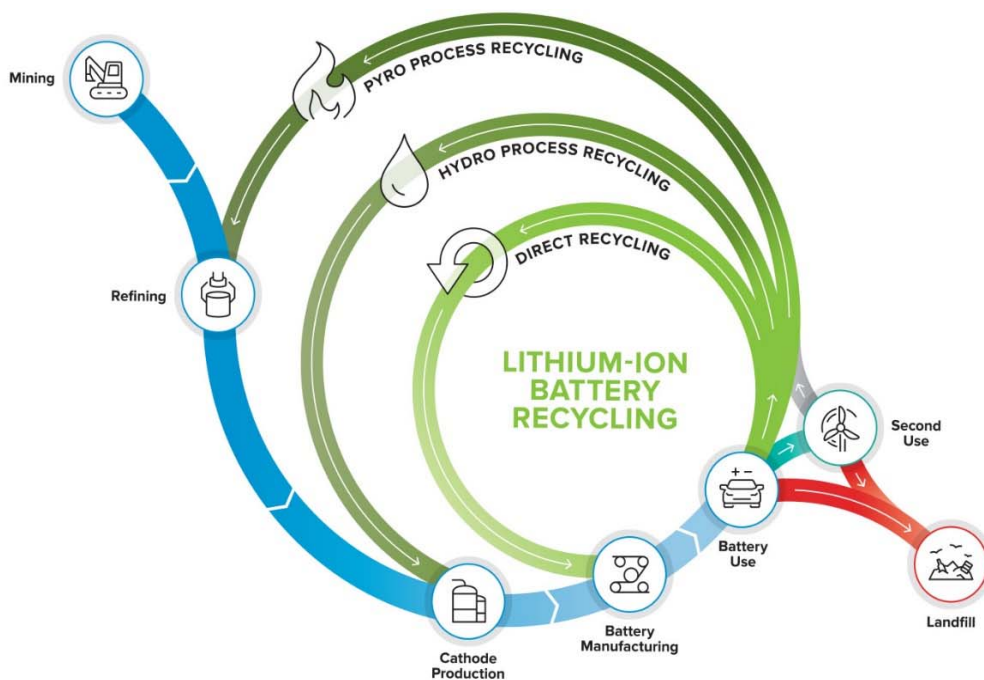


แบบแท่งเหลี่ยม



แบบแพคเกจเซลล์

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ

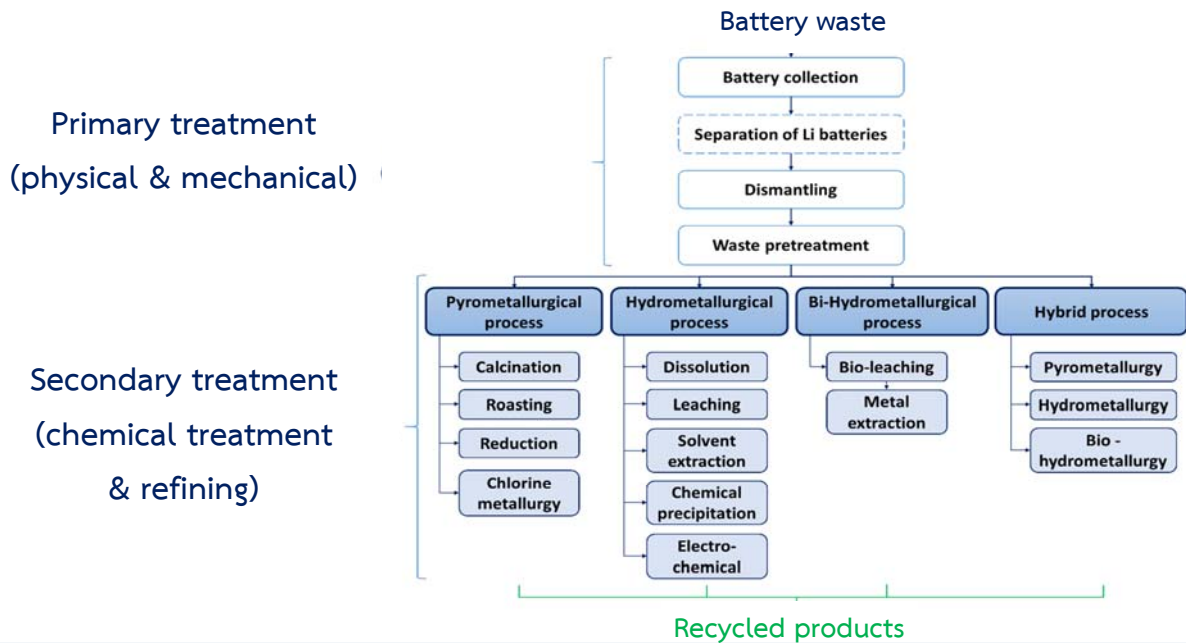


แผนภาพแสดงการปิดวงจรซากแบตเตอรี่ด้วยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ โดย Argonne National Laboratory

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



กระบวนการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ลิเทียมเริ่มจากการรวบรวม เตรียมซากแบตเตอรี่และการสกัดโลหะ

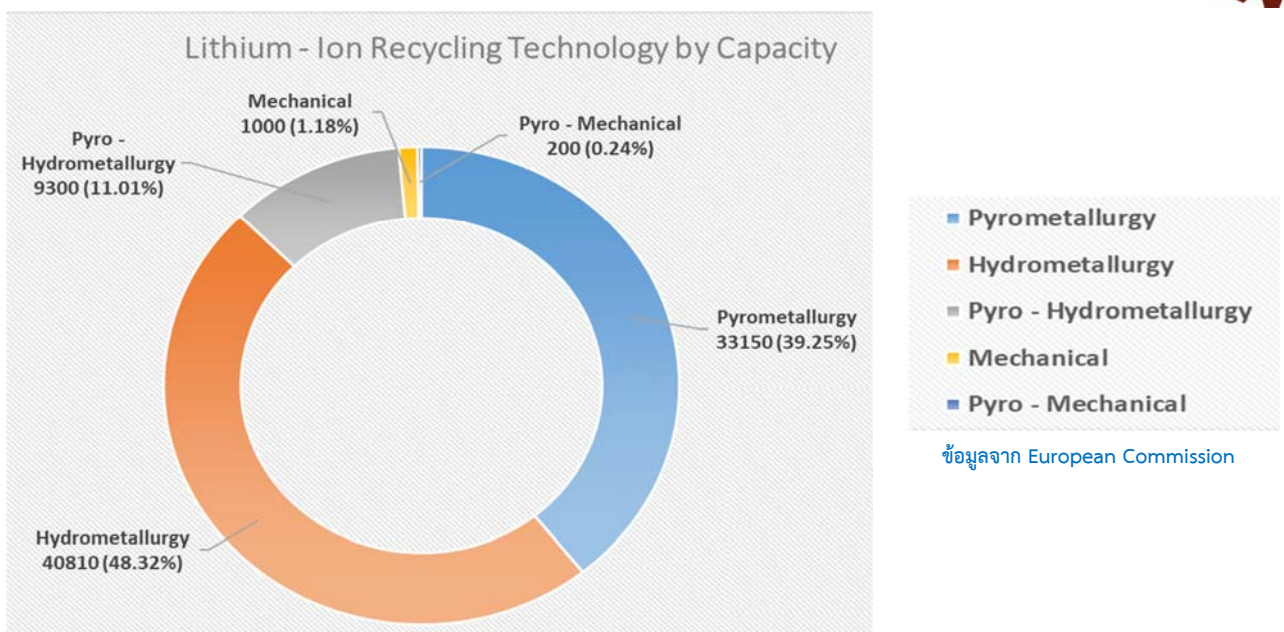


งานสัมมนาวิชาการ Innovation in Raw Materials Conference 2019: Circular Economy, 12 มิถุนายน 2562

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



ข้อมูลเปรียบเทียบกำลังการผลิตในการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ลิเทียมแยกตามเทคโนโลยีที่ใช้ในการรีไซเคิล



งานสัมมนาวิชาการ Innovation in Raw Materials Conference 2019: Circular Economy, 12 มิถุนายน 2562

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



ตัวอย่างข้อมูลรายชื่อบริษัท ประเภทของซากและกระบวนการที่ใช้รีไซเคิลแบตเตอรี่

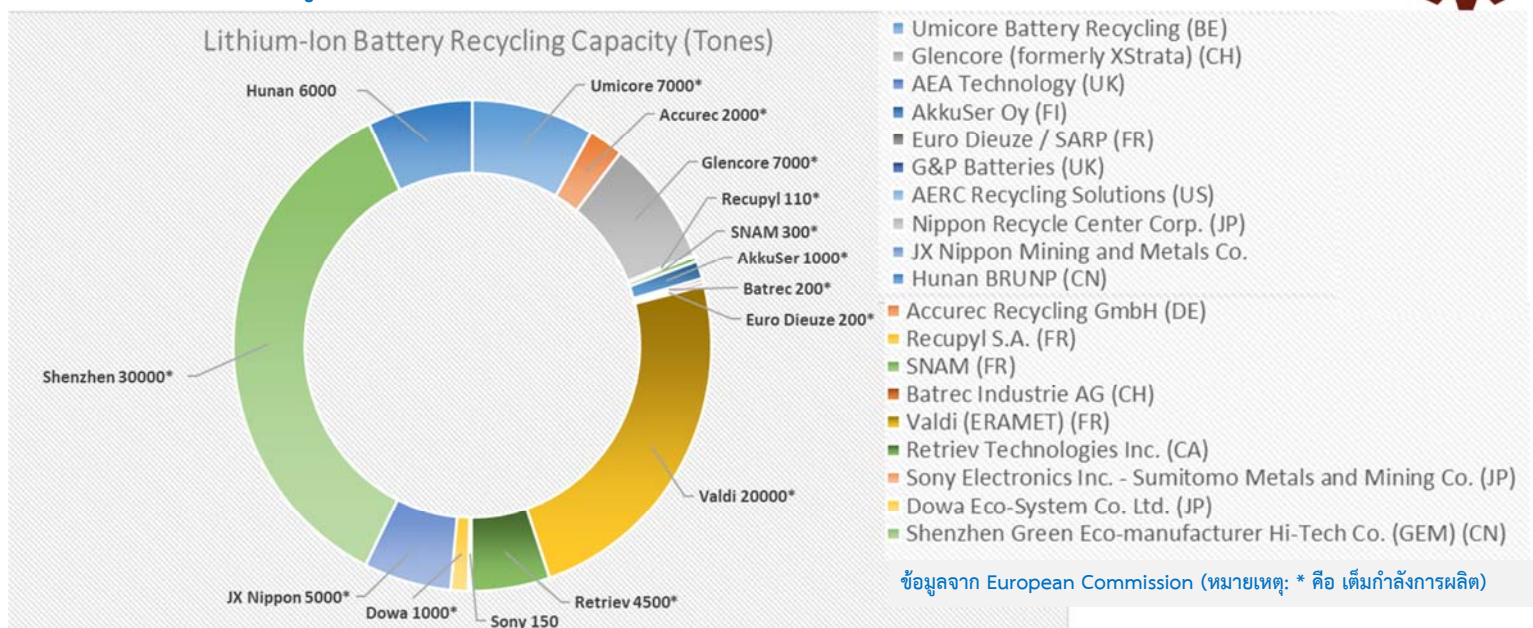
Company	Battery type	Process	Location
Toxco	Ni, Li-based	Cryomilling (Li)	Trail, BC, Canada
		Pyrometallurgy (Ni)	Baltimore, OH, USA
Sony Corp. & Sumitomo Metals and Mining Co.	All type battery	Pyrometallurgy	Japan
Accurec	All type battery	Pyrometallurgy	Mulhiem Grenada
Batrec AG	Li-based, Hg	Pyrometallurgy	Wimmis, CH, Switzerland
Umicore	All type battery	Pyrometallurgy + electrowinning	Hooboken, Belgium
Recupyl S.A	All type battery	Hydrometallurgy	France
Saubermacher and Redux	Li-based	Pyrometallurgy	Bremerhaven, Germany
AERC	All type battery	Pyrometallurgy	Allentown, PA, USA
			Hayward, CA, USA
			West Melbourne, FL, USA

งานสัมมนาวิชาการ Innovation in Raw Materials Conference 2019: Circular Economy, 12 มิถุนายน 2562

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



ข้อมูลเปรียบเทียบกำลังการผลิตของแต่ละบริษัทในการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ลิเทียม

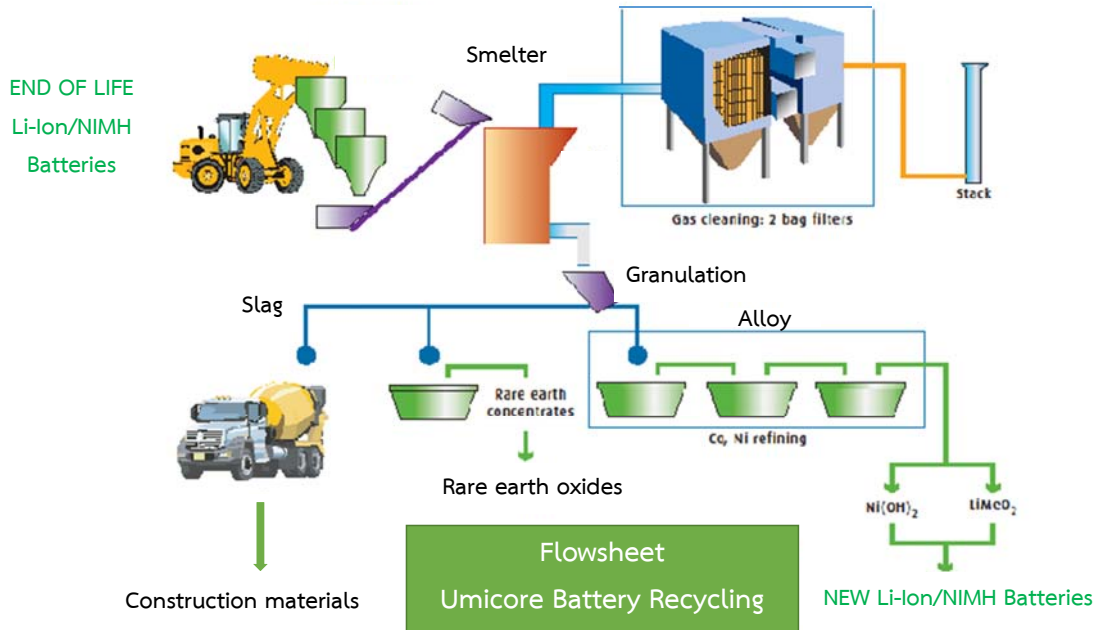


งานสัมมนาวิชาการ Innovation in Raw Materials Conference 2019: Circular Economy, 12 มิถุนายน 2562

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



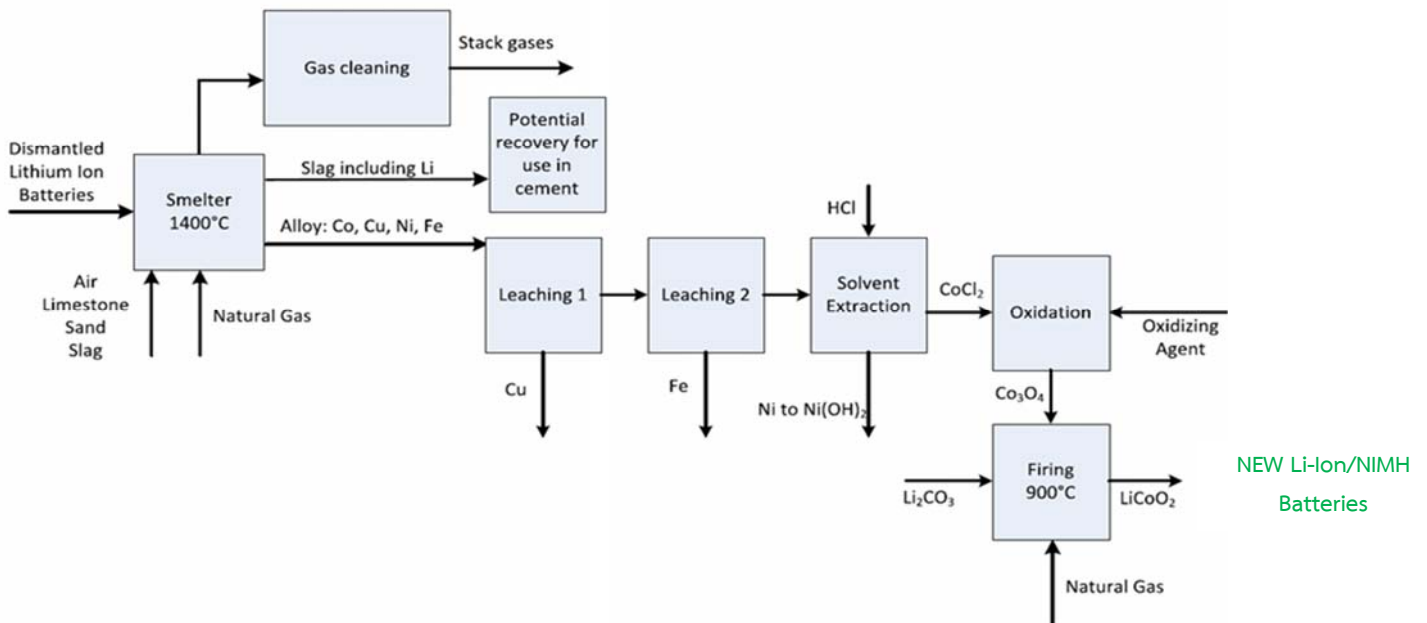
การรีไซเคิลแบตเตอรี่โดยใช้กระบวนการโลหวิทยาความร้อน บริษัทยูนิคอร์ ประเทศเบลเยียม



2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



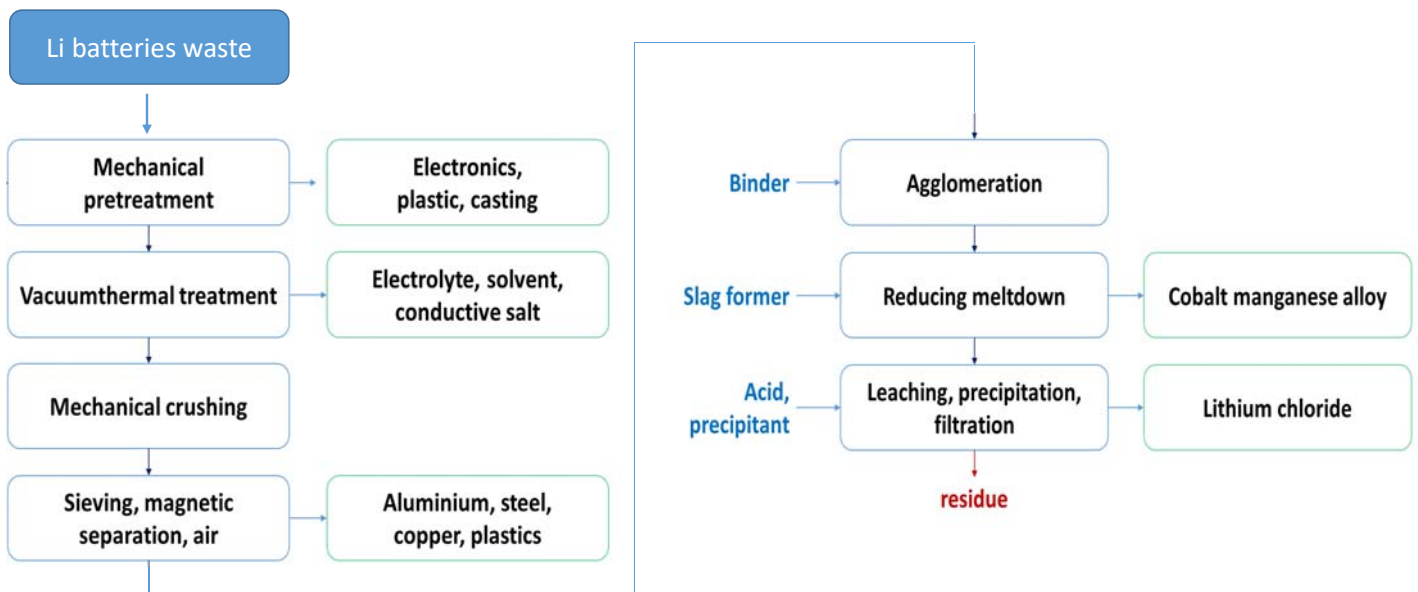
การรีไซเคิลแบตเตอรี่โดยใช้กระบวนการโลหวิทยาความร้อน บริษัทยูนิคอร์ ประเทศเบลเยียม (ต่อ)



2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



กระบวนการรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเทียม บริษัท Accurec ประเทศเยอรมนี



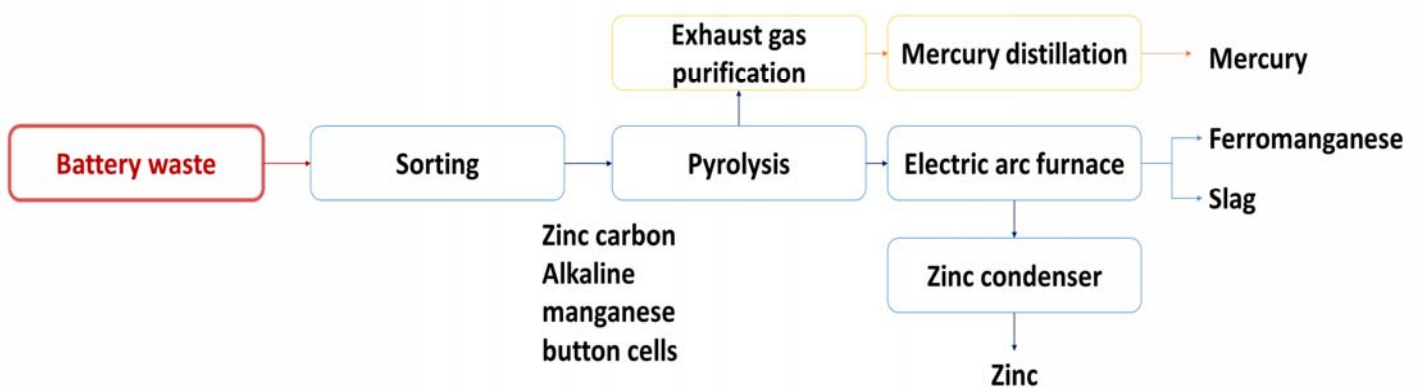
งานสัมมนาวิชาการ Innovation in Raw Materials Conference 2019: Circular Economy, 12 มิถุนายน 2562

15

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



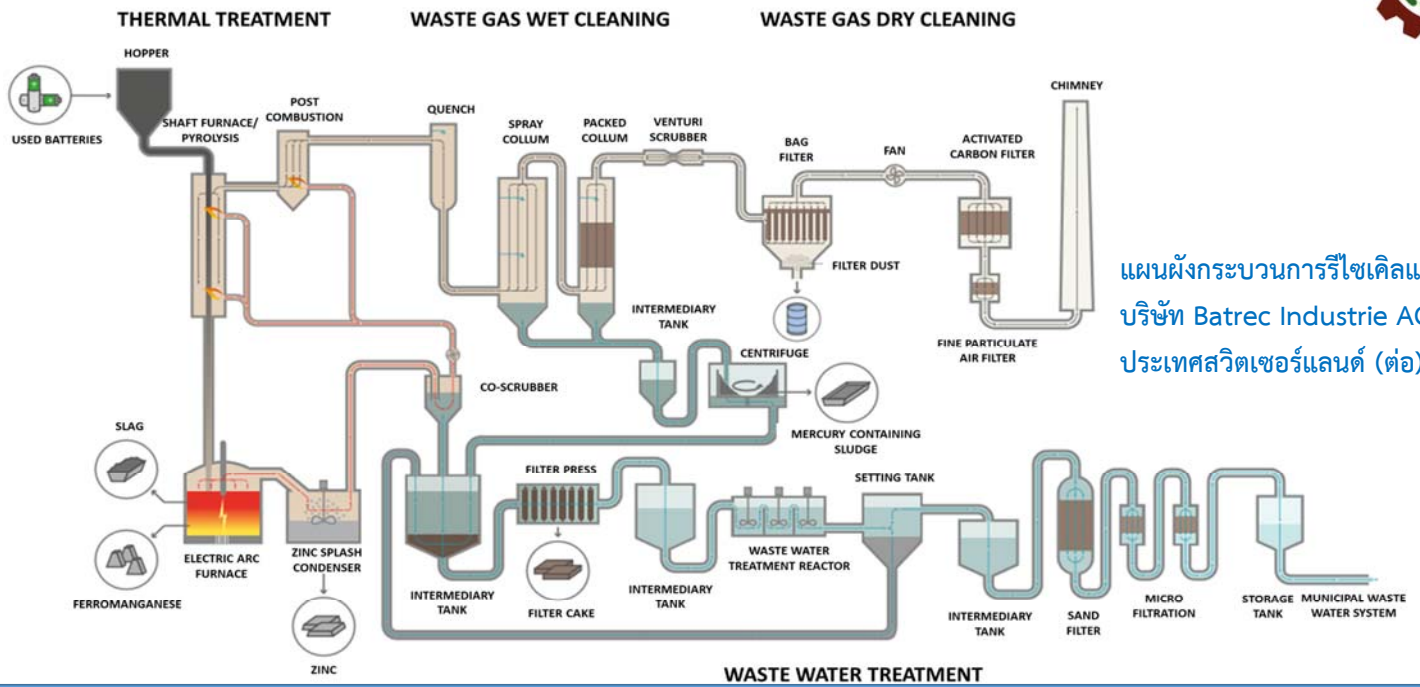
กระบวนการรีไซเคิลแบตเตอรี่ บริษัท Batec Industrie AG ประเทศสวิตเซอร์แลนด์



งานสัมมนาวิชาการ Innovation in Raw Materials Conference 2019: Circular Economy, 12 มิถุนายน 2562

16

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ

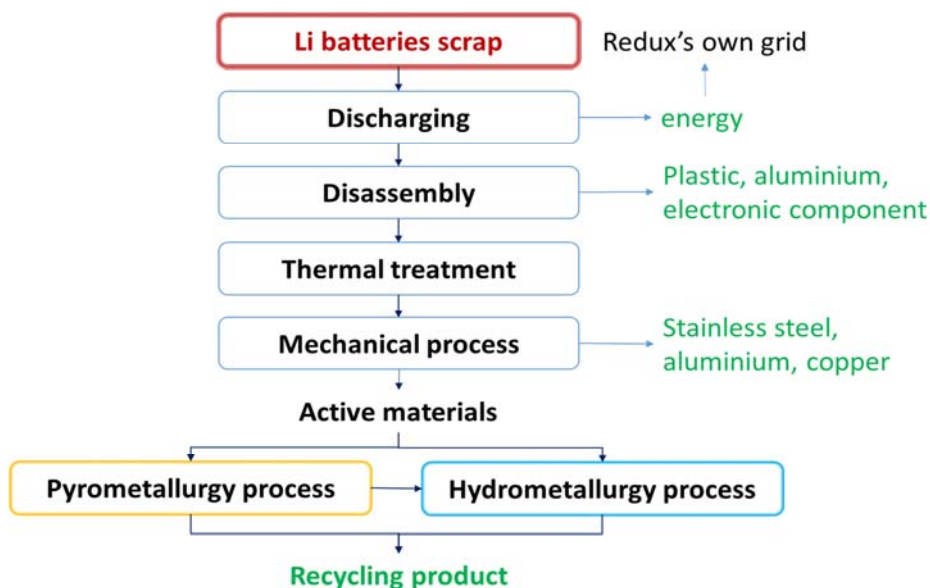


แผนผังกระบวนการรีไซเคิลแบตเตอรี่
บริษัท Batrec Industrie AG
ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (ต่อ)

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



กระบวนการรีไซเคิล บริษัท Saubermacher และ Redux ประเทศเยอรมนี



2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ

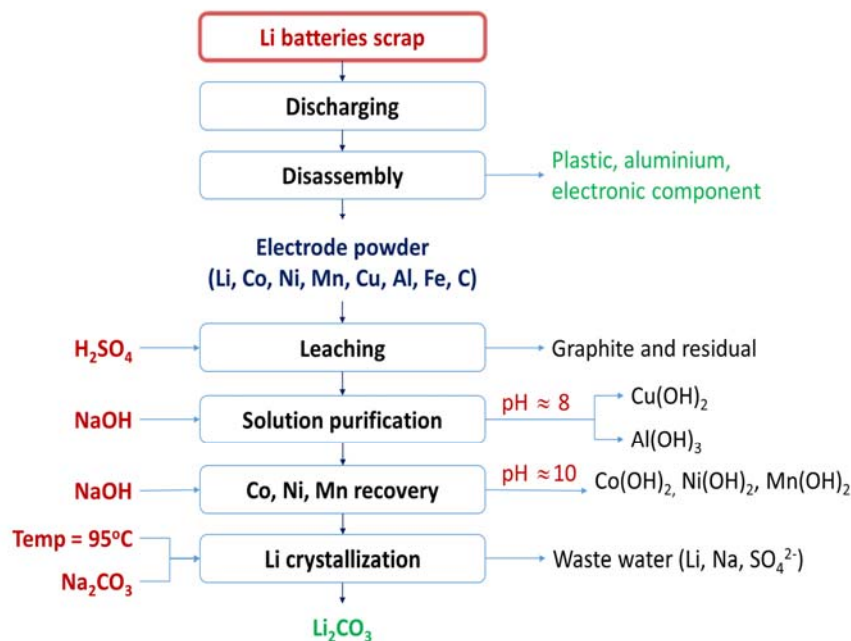


กระบวนการรีไซเคิล บริษัท Saubermacher และ Redux ประเทศเยอรมนี

2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



กระบวนการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ลิเทียมโดยกระบวนการโลหวิทยาสารละลายและตกผลึกลิเทียมในระดับห้องปฏิบัติการ



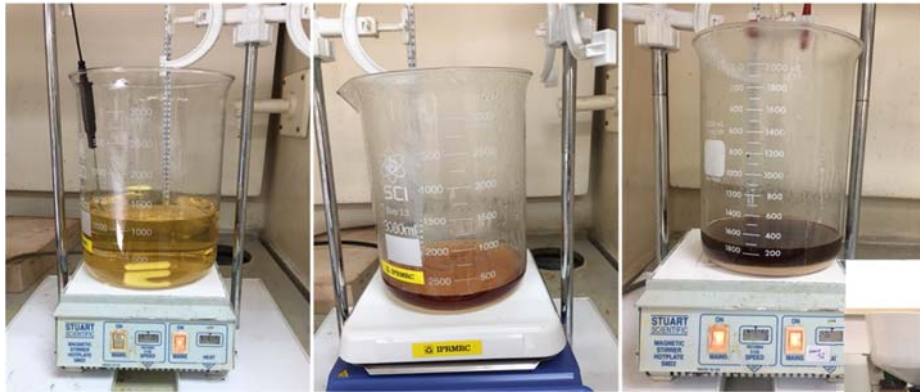
2. เทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบ



1. สารละลายที่มีโลหะ ลิเทียมละลายอยู่

2. ให้ความร้อนไปที่ 95 °C

3. เติมสารละลายโซเดียม คาร์บอเนตให้ตกตะกอน ลิเทียมคาร์บอเนต



กระบวนการรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเทียมโดย กระบวนการโลหวิทยาสารละลายและตกผลึก ลิเทียมในระดับห้องปฏิบัติการ (ต่อ)

4. กรองแยก

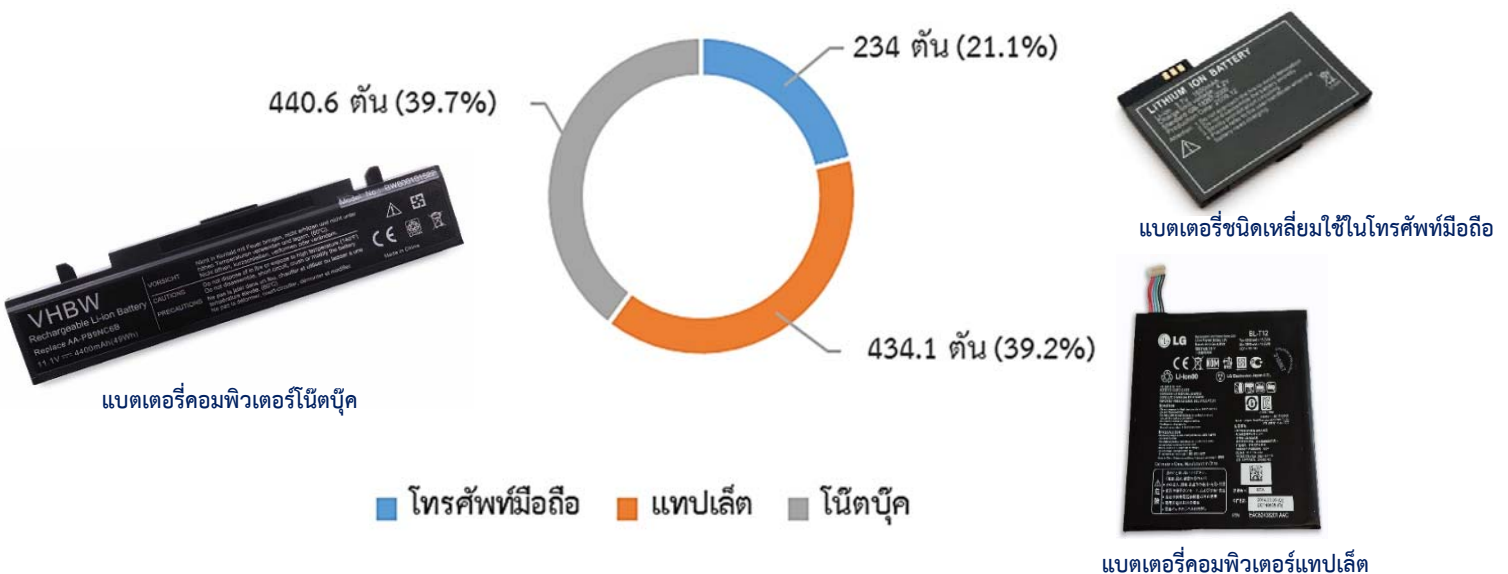
5. ลิเทียมคาร์บอเนตที่ตกตะกอน



3. แนวทางการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศ



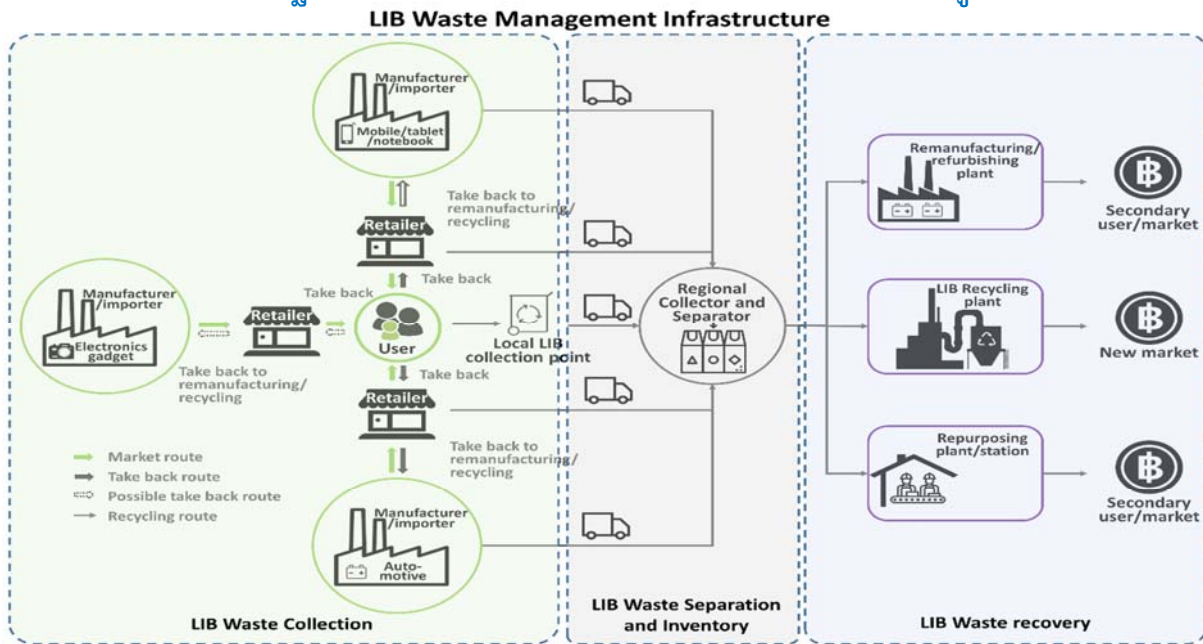
สัดส่วนปริมาณซากแบตเตอรี่ลิเทียม (ไม่คัดแยกองค์ประกอบทางเคมี) ในปี พ.ศ. 2561



3. แนวทางการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศ



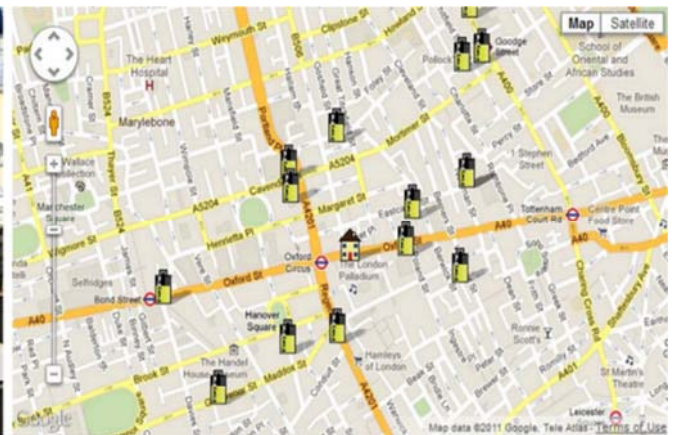
โครงสร้างพื้นฐานการบริหารจัดการซากของเสียแบตเตอรี่ลิเทียมเชิงบูรณาการ



3. แนวทางการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศ



ขั้นตอนหลักในการรีไซเคิลของเสียแบตเตอรี่ลิเทียมที่ด้วยกระบวนการทางโลหวิทยาสารละลาย

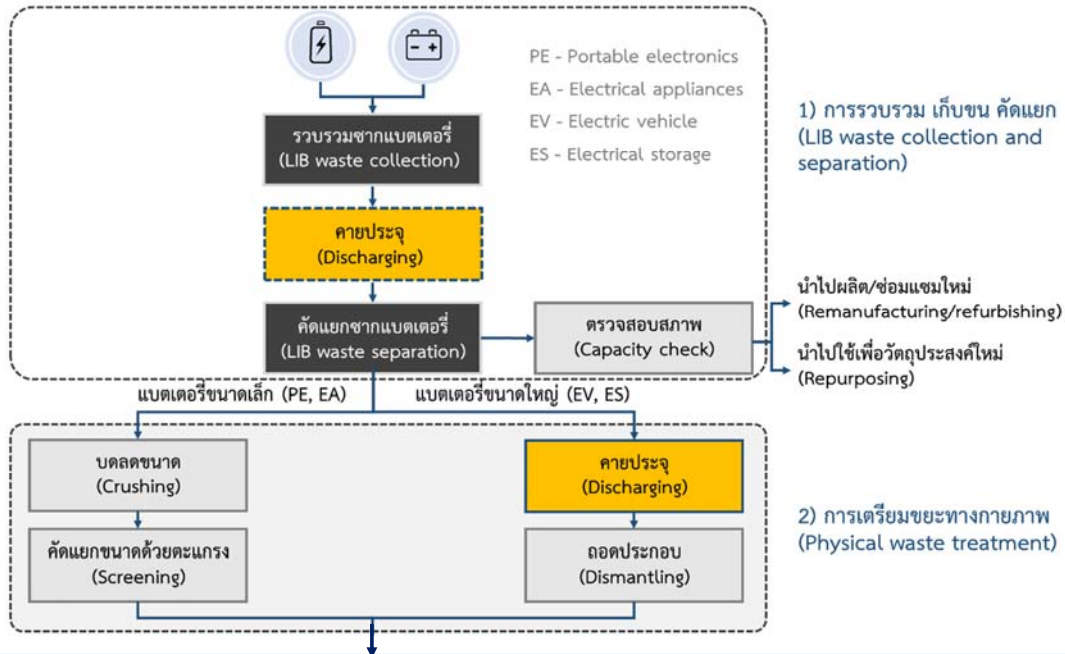


จุดรับคืนซากของเสียแบตเตอรี่ลิเทียมที่เข้าถึงได้ง่ายและแผนที่แสดงตำแหน่งจุดรับคืน

3. แนวทางการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศ



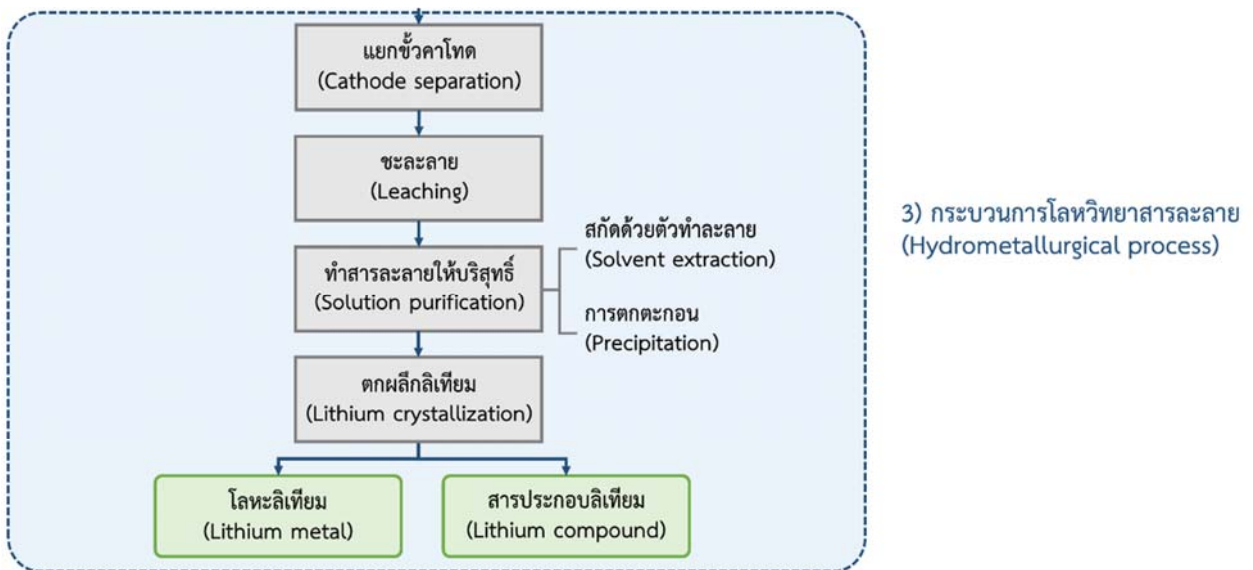
รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนหลักในการรีไซเคิลของเสียแบตเตอรี่ลิเทียมที่ด้วยกระบวนการทางโลหวิทยาสารละลาย



3. แนวทางการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศ



รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนหลักในการรีไซเคิลของเสียแบตเตอรี่ลิเทียมที่ด้วยกระบวนการทางโลหวิทยาสารละลาย (ต่อ)



3. แนวทางการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศ

- มีหน่วยงานภาครัฐที่ดูแลรับผิดชอบกำกับดูแลการจัดการซากของเสียอันตราย
- มี “(ร่าง) พระราชบัญญัติ (พ.ร.บ.) การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และซาก...”
- มียุทธศาสตร์การจัดการซาก ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ
- มีความร่วมมือระหว่างกรมควบคุมมลพิษกับผู้ผลิต จัดจำหน่าย และให้บริการรับคืนซาก กว่า 300 จุดในกรุงเทพและปริมณฑล
- มีการพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเทียมในระดับห้องปฏิบัติการและมีความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ที่สามารถขยายเป็นระดับอุตสาหกรรม



- การบังคับใช้กฎหมาย ระเบียบข้อบังคับและมาตรการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องยังไม่ทั่วถึงรัดกุม
- ผู้ดำเนินการในการเก็บซากแบตเตอรี่ในชุมชนยังขาดความรู้ความเข้าใจและขาดแนวทางปฏิบัติตามมาตรฐาน
- ขาดมาตรฐานการดำเนินงานการจัดเก็บรวบรวมและการขนแบตเตอรี่ปริมาณมาก เช่น การขายประจุที่ถูกต้องเพื่อป้องกันการลัดวงจร ติดไฟหรือระเบิด
 - ขาดนโยบายด้านการเงินและการคลังสนับสนุนจากภาครัฐที่ชัดเจนสำหรับการลงทุนในกิจการที่เกี่ยวข้องกับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- ประชาชนมีทางเลือกน้อยในการกำจัดซากแบตเตอรี่หรือไม่สามารถเข้าถึงจุดรับคืนได้โดยสะดวก
- การพัฒนาประสิทธิภาพแบตเตอรี่ทำให้เกิดการออกแบบโครงสร้างเซลล์ที่ซับซ้อนมากขึ้น สวนทางกับแนวทางการถอดประกอบเพื่อมารีไซเคิล
- ขาดข้อมูลวิธีการถอดประกอบซากแบตเตอรี่แต่ละชนิดถ้ามีโครงสร้างของเซลล์และโมลที่ซับซ้อน

- แนวโน้มการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมเพิ่มขึ้นในอนาคต
- ราคาของลิเทียมจะสูงขึ้นในอนาคต
- ปัญหามลพิษในปัจจุบันทำให้เกิดความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น
- มีการจัดให้มีจุดทิ้งซากแบตเตอรี่โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย
- สามารถพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีรีไซเคิลแบตเตอรี่ให้สามารถดำเนินการได้ในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศ

จบการนำเสนอ



Thank You
for Your Attention!





- <https://www.amazon.in/SR-INFOTECH-CR2032-Lithium-ion-Battery>.
- <https://www.getfpv.com/panasonic-18500-2040mah-li-ion-battery.html>.
- <https://gearbox.ae/product/sony-np-fw50-2pcs-and-dual-charger/>.
- <https://www.electrochem.org/redcat-blog>.
- <https://www.amazon.fr/Batterie-compatible>.
- <https://skyline-eng.com/lg-v400-tablet-li-ion-battery-bl-t12/>.
- <https://shop.antigravitybatteries.com>.
- <https://chargedevs.com/newswire>.
- <http://www.batterysupports.com>.
- <http://youtube.com>, Lithium ion battery structure diagram, Ashland video.
- <http://www.itdirection.net/it-news-0015/052913-00398-it-news.shtml>.
- What is lipo battery pack construction. <https://www.genstattu.com/blog/what-is-lipo-battery-pack-construction/#more-1898>.
- Safety of lithium-ion batteries. June 2013, The European Association for Advanced Rechargeable Batteries. p. 26.



- Zubi, G., et al., The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 89: p. 292-308.
- Swain, B., Recovery and recycling of lithium: A review. Separation and Purification Technology, 2017. 172: p. 388-403.
- Elwert, T., et al, Current Developments and Challenges in the Recycling of Key Components of (Hybrid) Electric Vehicles, Recycling, 2015. 1: p. 25-60.
- Chagnes, A., Li battery recycling. PSL Research University - Chimie Paristech - IRCP, 2016.
- Ekermo, V. and h.w.c.s.c.E.d.i.-r.f.-p.r.-o. , Recycling opportunities for Li-ion batteries from hybrid electric vehicles, in Department of Chemical and Biological Engineering. 2009, Chalmers University of Technology, Göteborg Sweden. p. 50.
- process, T.B. <http://www.batrec.ch/en/Recycling-Services>.
- Bonhomme, R., et al., Economic Feasibility of a Novel Alkaline Battery Recycling Process. 2013, Worcester Polytechnic Institute.



- Saubermacher opens new high-tech recycling plant for lithium-ion batteries, in Redux smart battery recycling. 5 June 2018, Saubermacher AG Bernadette Triebel-Wurzenberger Head of Group Communication.
- สงบ คำค้อ, โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีรีไซเคิล เพื่อการพัฒนาของเสียเป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน และการพัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (จังหวัดพระนครศรีอยุธยา) ปี 2561, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม
- Kunz, T., DOE launches its first lithium-ion battery recycling R&D center: ReCell February 15, 2019, Argonne National Laboratory.
- Lebedeva, N., F.D. Persio, and L. Boon-Brett, Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe. 2016, European Union. p. 80.