

## 자동차용 폐 리튬 이차전지 모듈의 안정적 해체와 알루미늄 박막으로부터 양극활물질의 분리공정 개발

김연정 · 오인경<sup>†</sup> · 홍용표<sup>†</sup> · 유건상<sup>†,\*</sup>

안동대학교 공동실험실습관

<sup>†</sup>안동대학교 응용화학과

(접수 2019. 7. 9; 게재확정 2019. 8. 7)

### Safe Decomposition of the Vehicle Waste Battery Module and Development of Separation Process of Cathode Active Material from Aluminum Thin Film

Younjung Kim, In-Gyung Oh<sup>†</sup>, Yong Pyo Hong<sup>†</sup>, and Keon Sang Ryoo<sup>†,\*</sup>

Center for Instrumental Analysis, Andong National University, Andong 36729, Korea.

<sup>†</sup>Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 36729, Korea.

\*E-mail: ksr@andong.ac.kr

(Received July 9, 2019; Accepted August 7, 2019)

**요 약.** 본 연구는 자동차 폐리튬 이차전지의 모듈로부터 재생할 수 있는 자원을 효율적으로 회수하는 방법을 개발하는 것이다. 모듈의 셀은 구리 박막, 알루미늄 박막, 그리고 이들 사이는 폴리머 재질의 격막으로 이루어져 있다. 셀은 특별히 제작한 글러브 상자 안에서 그리고 여러 번의 단계를 거쳐 손상 없이 완전히 해체 하였다. 우선적으로 양극활물질은 400 °C에서 열처리하여 알루미늄 박막으로부터 분리하였다. 그런 후 분리된 양극활물질은 잔류되어 있는 탄소 성분을 제거하기 위해 800 °C에서의 소성 후에 최종적으로 높은 순도로 회수되었다. 본 연구 결과를 바탕으로 해서, 알루미늄 박막으로부터 양극활물질을 구성하고 있는 코발트(Co), 니켈(Ni), 망간(Mn), 리튬(Li)과 같은 희유금속들을 80% 이상 회수할 수 있었다.

**주제어:** 자동차 폐리튬 이차전지 모듈, 양극활물질, 모듈 셀, 알루미늄 박막, 희유금속

**ABSTRACT.** It has developed a method that can recover efficiently the reproducible resources from the vehicle waste lithium second battery module. Module cell consists of copper thin film, aluminum thin film and diaphragm made with polymer between these thin films. Cell was disassembled completely without any damage in glove box and through several steps. Preferentially, cathode active material was separated from aluminum thin film at heat treatment of 400 °C. The retrieved cathode active material was then obtained as high purity after calcining at 800 °C to remove residual carbon. Based on this study, it was found that rare metals such as Co, Ni, Mn and Li made up of cathode active material could recover above 80% from aluminum thin film.

**Key words:** Vehicle waste lithium second battery module, Cathode active material, Module cell, Aluminum thin film, Rare metal

## 서 론

자동차용 리튬 이차전지 모듈은 충전과 방전을 거듭 시 사용 내구연수가 20년 이내로 한정되고, 사용 후 폐전지로 버려지게 된다. 우리나라에서 자동차용 전지의 생산은 LG화학과 삼성 SDI에서 선도적으로 이루어지고 있으며 이에 따른 폐전지 발생량도 기하급수적으로 증가할 것으로 예상된다. 현재 국내 하이브리드 자동차와 전기 자동차 전지의 수가 해마다 상승함에도 불구하고, 전기 자동차 전지의 재활용이나 재생관련 기술들이 미흡한 실정이다. 따라서 이들 폐모듈로부터 재활용이 가능한 희유금속 회수 기술이 시급히 이루어질 필요가 있다. 우리 나라의 경

우, 폐전지에 포함된 희유금속의 많은 부분을 수입에 의존하고 있어 이를 효율적으로 재생할 수 있는 기술을 확보 시 원천 소재의 확보와 이에 따른 수입대체 효과를 기대할 수 있다.

폐모듈은 다양한 물리·화학적 성질을 갖는 정극, 부극, 격막, 전해질 등으로 이루어져 있고, 핵심부품과 주변 기구들을 분리·정제하는 기술들의 확보가 우선적으로 필요하다. 장기적으로 볼 때 폐전지를 구성하는 금속이나 희토류 혼합물과 같은 재료의 재활용에 많은 관심을 가질 필요성이 있다.

기존의 폐전지의 재활용 기술은 자력과 비중을 이용한 선별을 1차적으로 수행하고, 황산에 녹여 수산화 코발트

침전법과 유기 인산염 화합물을 이용한 코발트 함유 추출 기술을 이용하고 있고, 양극스크랩을 용해한 수산화반응 이용법과 전해 채취법, 환원제 등을 이용한 회수기술이 있다.<sup>1-8</sup> 이외에도, LiCoO<sub>2</sub> 전극분리를 이용한 코발트 회수기술, 염산용출과 유기용제를 이용한 방법, 수열합성법으로 LiCoO<sub>2</sub>를 분리하는 방법 등이 있다.<sup>9-17</sup>

자동차용 리튬 이차전지에서 가장 값비싼 금속은 양극 활물질에 모두 포함되어 있는데, 기존 방식으로는 이와 같은 양극활물질을 모두 산에 녹여서 각각의 금속으로 분리하고 있다. 본 개발 기술을 활용 시 폐리튬 전지 모듈 내부에 있는 양극활물질을 다시 합성하지 않고 그대로 재생하여 리튬전지 생산에 사용할 수 있도록 함으로서 양극활물질을 만드는데 소비되는 비용과 에너지를 현저히 줄일 수 있다고 본다.

본 연구는 자동차용 리튬 이차전지 폐모듈을 안정적으로 분리하여 해체하고, 모듈을 구성하고 있는 알루미늄 박막으로부터 양극활물질인 망간, 니켈, 코발트, 리튬 성분을 80% 이상 회수하기 위한 효율적인 분리 공정을 개발하는 것이다.

## 실 험

### 재료

본 연구에서 사용된 폐모듈(Fig. 1a)은 H사 자동차의 리



Figure 1. (a) module and (b) module cell with the rolled-up several thin films.

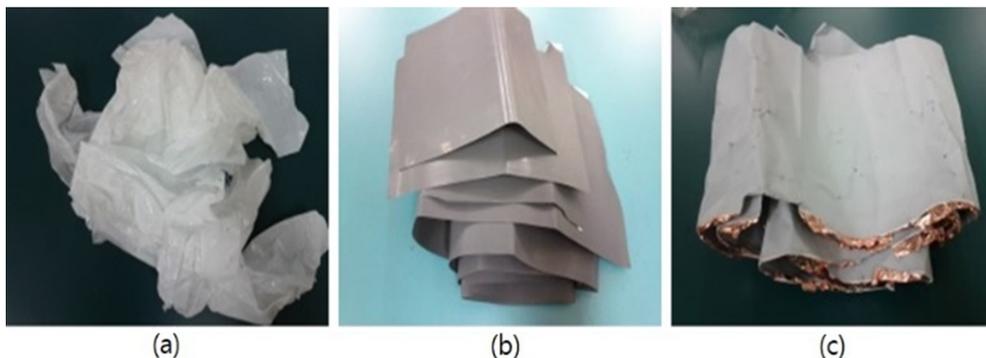


Figure 2. (a) polymer, (b) aluminum, and (c) copper thin film.

튬 2차 전지(lithium second battery)로 모듈의 내부 셀(Fig. 1b)은 여러 개의 얇은 박막으로 말려져 있다. 폐모듈을 펼쳐보면 크게 3가지로 분리되어 있는데 알루미늄 박막에 검은색물질이 코팅된 알루미늄 박막, 구리 박막에 흰색물질이 코팅된 구리 박막, 이들 사이에 비닐과 같은 폴리머 격막으로 구성되어 있다.

본 연구는 모듈을 기존 방식과는 다르게 안전적으로 해체한 후, Fig. 2와 같은 모듈 셀 내의 폴리머 격막, 알루미늄 박막, 구리 박막들 중 관심의 대상인 알루미늄 박막 표면에 코팅되어 있는 양극활물질(Co, Ni, Mn, Li)을 분리하였다.

검은 색깔의 코팅으로 이루어진 알루미늄 박막(Fig. 2b)은 검게 코팅되어 있는 양극활물질과 알루미늄 박막을 함께 포함한 시료(시료명: T-AI)를 분석하는 방법과 양극활물질(시료명: B-AI)과 알루미늄 박막(시료명: AI)을 각각 분리하여 분석하는 방법으로 수행하였다.

### 기기분석

알루미늄 박막 시료들은 열분석기(TG-DTA, TG-1280, Rigaku, Japan)를 이용하여 공기 분위기 하에서 승온속도 10 °C/min로 상온~1,200 °C까지 온도를 상승시키면서 열적변화를 측정하였다. 또한 주사전자현미경(SEM, Vega II LMU, Tescan, Czech)을 이용하여 박막 표면에 Au 코팅을 한 후, 박막 표면의 구조상태를 관찰하였다. 박막의 결정 구조를 알아보기 위하여 X-선 회절분석기(XRD, Ultima IV, Rigaku, Japan)를 이용하였다. XRD의 분석조건은 Cu-K $\alpha$ , Step 0.05, Speed 3 min/degree (10~80), Power 35 kV/20 mA 이었다. 알루미늄 박막에 코팅되어 있는 희유 금속들의 정성 및 정량을 위해서 고압 초단파용해장치(HPMDS, ULTRAWAVE, Milestone, Swiss)로 시료를 전처리한 후 유도결합플라즈마 방출분광기(ICP, Agilent 5110, USA)와 X-선형광분석기(XRF, ZSX Primus II, Rigaku, Japan)를 이용하여 각 원소를 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 모듈의 해체

폐모듈은 유독 유기물질인 전해질 용액과 잔류 전기를 내포하고 있다. 전해질은 폐모듈 해체와 동시에 공기 중에 노출되며, 휘발성이기 때문에 작업자에게 노출되면 호르몬에 변화가 생길 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 잔류 전기는 리튬에 의한 것으로 수분과 접촉 시 폭발성이 있으므로 특별히 글러브 상자를 제작하여 건조한 조건하에서 다음과 같은 순서로 폐모듈을 해체하였다.

1. 폐모듈 케이스 상부에 구멍을 내어 전해질을 제거.
2. 잔류된 전기를 방전시키기 위해 소금물 2% 용액에 폐모듈 케이스를 함침.
3. 양극과 음극 금속이 노출된 케이스 측면을 완전히 절단.
4. 전면과 뒷면의 케이스를 2 mm 깊이로 절단하여 케이스를 제거한 후 모듈 셀을 회수.

잔류 전력을 방전하기 위하여 기존에는 소금물에 자동차용 리튬 이차전지를 그대로 넣어 폐전지의 외피 부식은 물론 폐수 발생량이 많았으나, 본 기술로는 폐전지 내부에만 소금물을 넣어 외부 부식을 방지할 수 있었다. 방전 후, 금속 회수를 위하여 기존 방식은 그대로 분쇄 함으로서 유해 유기물질인 전해액이 그대로 공기 중에 노출되어 작업자들의 위험성 노출이 극대화 되었으나, 본 기술로는 폐전지를 분쇄하지 않고 외피를 절단하고 분리하는 방식을 채택하고 배기시설이 완전히 갖추어진 공간에서 수행함으로써 작업자의 안전성을 확보할 수 있었다.

### 알루미늄 박막

Fig. 3-5는 알루미늄 박막을 열분석기(TG-DTA)로 분석

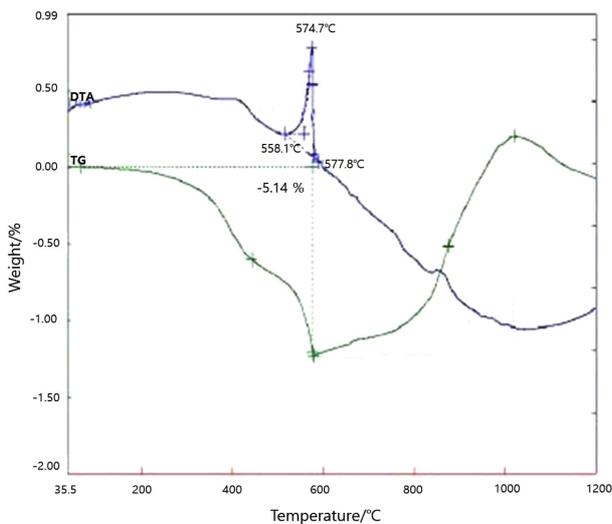


Figure 3. Thermal analysis of aluminum thin film including cathode active material (T-AI).

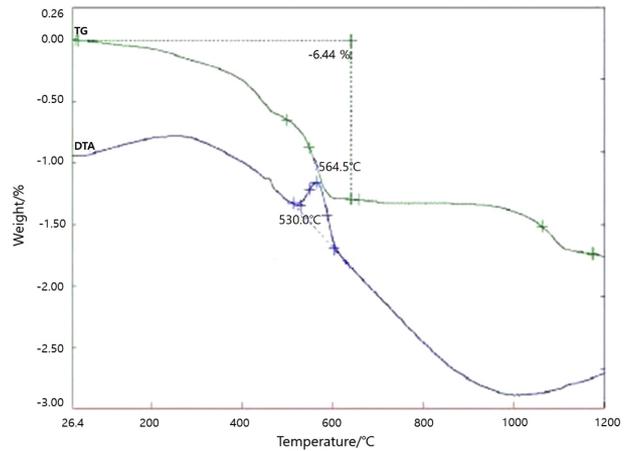


Figure 4. Thermal analysis of cathode active material (B-AI).

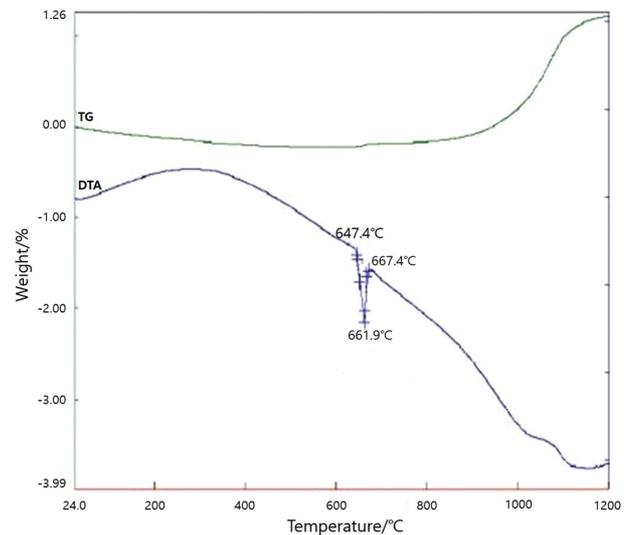
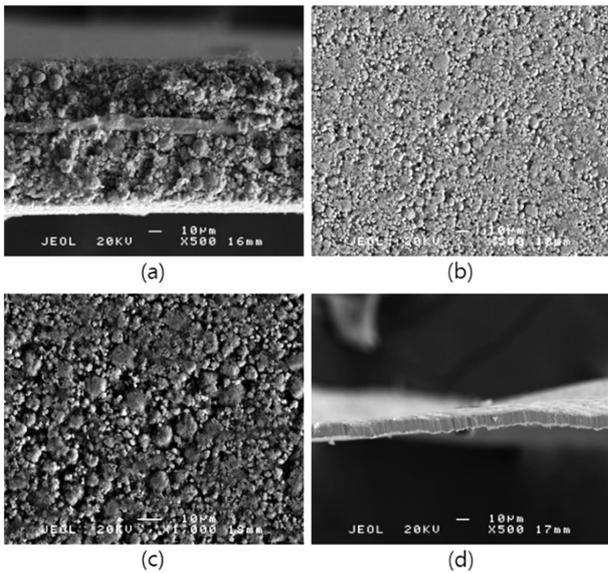


Figure 5. Thermal analysis of aluminum not including cathode active material (AI).

한 결과이다. 양극활물질을 포함한 알루미늄 박막(시료명: T-AI)의 경우 5.14%의 탄화성 물질을 포함하고 있었으며, 양극활물질만 열분석한 시료(시료명: B-AI)는 6.44%의 탄화성 물질을 포함하고 있었다.

알루미늄과 양극활물질이 공존할 때, 578 °C 이상부터는 질량곡선이 상승하는 것으로 보아 산화반응이 나타나는 것으로 사료된다. 따라서 약 550 °C 이상에서의 열처리 방법은 순수한 물질을 회수하기 어려울 것으로 판단된다.

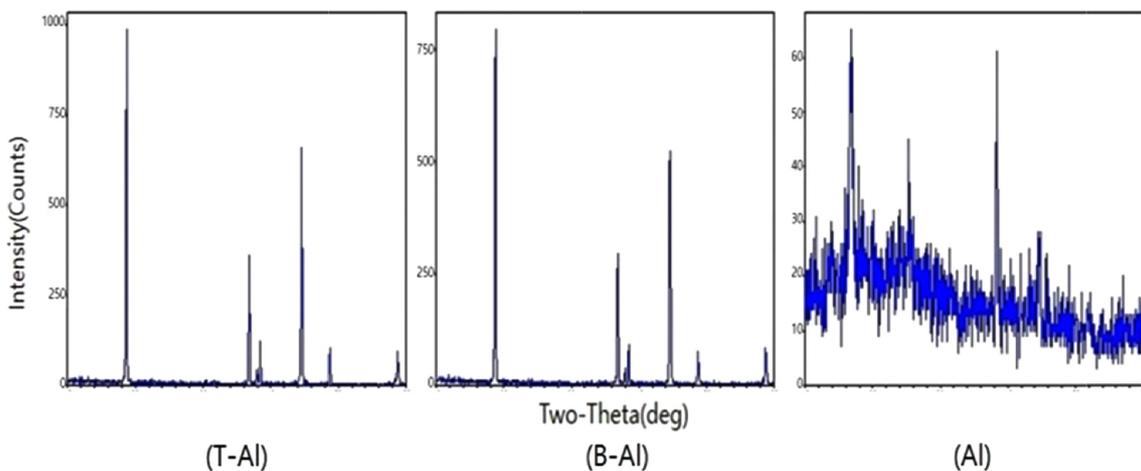
알루미늄만을 열분석한 시료(시료명: AI)는 647 °C에서 녹는 것으로 보아 합금이 아닌 순수한 알루미늄인 것으로 사료된다. 또한, 알루미늄 자체의 경우 950 °C 이상에서 질량곡선이 상승하는 것으로 보아 산화현상이 나타나는 것으로 보인다. 따라서 약 900 °C 이상의 고온에서 소성할 경우, 순수한 알루미늄을 회수하기 어려울 것으로 사료된다.



**Figure 6.** Photography of SEM; (a) Cross-section of aluminum thin film including cathode active material (T-Al), (b) Surface of aluminum thin film including cathode active material (T-Al), (c) Surface of cathode active material (B-Al), and (d) Thickness of aluminum not including cathode active material (Al).

Fig. 6은 각 시료에 대한 SEM의 촬영 사진이다. Fig. 6(a, b)로부터 알루미늄 박막의 양쪽 표면에 대략 30 μm 두께의 검은색을 띠는 다양한 크기의 양극화물질이 코팅되어 있는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 6c는 코팅 표면층을 촬영한 것으로서, 알루미늄 박막 표면에 입자성 물질이 부착되면서 생성된 기공들이 관찰되었다. Fig. 6d는 알루미늄 박막의 두께만을 촬영한 것으로 두께는 10 μm로 측정되었다.

Fig. 7은 각 시료들을 XRD로 분석한 결과로 종합적으로



**Figure 7.** XRD analysis of aluminum thin film including cathode active material (T-Al), cathode active material (B-Al) and aluminum not including cathode active material (Al).

**Table 1.** ICP analysis of cathode active material (B-Al)

Sample	Mn(%)	Co(%)	Ni(%)	Li(%)
B-Al	15.8	16.0	17.8	5.2

고찰해 볼 때, 알루미늄 박막에 코팅되어 있는 양극화물질은 결정성 물질로 분석되었고, 알루미늄 박막은 순수한 알루미늄 성분으로 나타났다.

T-Al, B-Al and Al 시료들을 XRF로 정성 분석한 결과, T-Al과 B-Al에서는 불소, 망간, 코발트, 니켈 등이 검출되었고, 알루미늄 판(Al)만을 분석했을 때는 알루미늄이 합금이 아닌 순수한 알루미늄으로 확인되었다.

Table 1은 알루미늄 박막으로부터 회수한 양극화물질의 구성 성분(B-Al)을 ICP로 정량 분석한 결과이다. 본 연구에서는 정량적으로 회수하고자 하는 목적 원소가 희유금속 속이기 때문에 불소를 제외한 Li를 추가적으로 분석하였다. 측정 결과, Li를 제외하고는 Mn, Co, Ni의 농도가 거의 비슷한 수준을 보였다. 알루미늄 박막은 XRF 분석에서 순수한 알루미늄임을 확인하였으므로 ICP에서 별도의 분석을 수행하지 않았다.

**알칼리 용액을 이용한 코팅물질 분리**

알루미늄 박막에는 분말형태의 각종 희유금속 산화물이 코팅되어 있으며, 이 분말들이 유기접착제로 접착되어 있었다. 따라서 이들 코팅 물질들은 다양한 유기용매를 사용하여도 녹지 않았으며, 초음파를 가하여도 쉽게 떨어지지 않았다. 그래서 산과 알칼리 용액에 침시켜 분리시키기 위한 방안을 검토하였다. 그러나, 위험성을 고려하여 산보다는 알칼리 용액으로 코팅 물질을 분리하고자 하였다.

다양한 알칼리 용액에서 코팅 물질이 탈착되는 속도를 알아보기 위하여 상온에서 KOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH를 농도 별로 제조하여 시료를 함침 시키고, 시간에 따른 코팅 물질의 탈착 정도를 비교하였다. Ca(OH)<sub>2</sub>는 물에서의 용해도가 높지 않아 수 % 이상의 농도로 제조할 수 없었고, 24 시간 함침 이후에도 반응이 나타나지 않아 본 실험 결과에서는 제외시켰다. 알칼리 물질의 농도는 0~10%까지 2% 간격으로 실험을 수행하였다. 탈착되는 현상과 시간을 육안으로 정확히 확인하기 위해 시료를 함침 시킨 후, 초음파를 가하면서 알루미늄 박막에서 코팅 물질이 완전히 떨어져 나가는 시점의 시간을 측정하였다.

알칼리 용액에서 코팅 물질이 분리되는 원리는 다음과 같다. 코팅 물질은 알칼리 용액과 반응 하지 않지만 알루미늄 박막은 알칼리 용액에 용해되므로 알루미늄 박막이 녹으면서 코팅 물질과 떨어지는 현상이 발생하게 된다. 알칼리 용액에 시료를 첨가할 때 코팅 물질의 기공을 통하여 알칼리 용액이 알루미늄 박막까지 침투하게 되고, 침투된 알칼리 용액이 알루미늄 박막을 용해시켜 기포가 발생하면서 코팅 물질이 떨어지게 된다.

Table 2는 알칼리 농도에 따른 알루미늄 박막과 코팅물질의 분리 속도를 분(min) 단위로 나타낸 실험결과로서, 동일 농도에서 KOH에 비하여 NaOH 용액에서 분리되는 시간이 빠르게 나타났다. 또한, 농도가 높을수록 모든 용

액에서 분리되는 속도가 더욱 빠르게 진행되었다. 따라서 경제성을 고려할 때 10% NaOH 용액을 사용하여 코팅 물질을 분리하는 것이 바람직하다고 사료된다.

### 열처리를 이용한 코팅물질 분리

알루미늄 박막으로부터 코팅물질을 분리하는데 있어 알칼리 용액을 사용해도 쉽게 분리가 이루어질 수 있었으나, 공정의 간소화와 효율성을 위하여 열처리하여 물만을 이용하여 코팅물질을 분리하는 방법을 연구하였다. 코팅 물질이 알루미늄 박막에 유기 접착제로 접착되어 있으므로 접착제가 분해되는 온도로 열처리 한 후, 물에 함침시켜 초음파로 분리하였다.

알루미늄이 녹는 온도가 660 °C이며, 일반적으로 접착제가 산화되는 온도가 200~500 °C 사이이므로 이들 온도 구간에서 열분해를 수행하여 최적 온도를 알아보았다. 시료는 희유금속이 코팅된 알루미늄 박막을 가로×세로가 각각 10 cm되도록 절단하고, 전기로에서 200~500 °C 사이에서 50 °C 간격으로 각각 30분간 열처리 하였다. 각각의 온도에서 열처리 된 시료들을 물속에 넣고, 초음파를 1분 동안 가하여 코팅 물질이 쉽게 떨어지는 조건을 알아보았다. 결과적으로 400 °C에서 열처리한 시료들은 모두 코팅 물질들이 분리되어 있는 모습을 확인할 수 있었다. 분리된 양극활물질은 잔류되어 있는 탄소 성분을 제거하기 위해 800 °C에서 2차 소성 단계를 거쳐 최종적으로 높은 순도의 양극활물질을 회수하였다.

### 양극활물질에 포함되어져 있는 희유금속들의 회수율

열처리에 의한 알루미늄 박막으로부터 양극활물질을 분리하는 과정 중 Li, Co, Mn, Ni의 손실 여부를 측정하였다. 회수율 계산방법은 1개 모듈에 포함되어 있는 Li, Co, Mn, Ni의 분리 전, 후의 함량을 비교하여 계산하였다. 분리 전

**Table 2.** Separation velocity (min) of coating substance from aluminum thin film with alkali concentration (%)

Concentration (%)	KOH	NaOH
2	120	27
4	23	9
6	10	6
8	7	4
10	0.5	0.2

**Table 3.** Recovery efficiency (%) of rare metals in cathode active material

Rare metal		1	2	3	4	5	Average
Li	Before (%/module)	6.8	6.2	6.7	6.6	6.9	6.54
	After (%/module)	5.1	5.4	5.6	5.2	5.8	5.4
	Recovery (%)	75.0	87.1	83.6	78.8	84.1	82.9
Co	Before (%/module)	19.4	19.5	19.7	18.9	18.7	19.2
	After (%/module)	17.1	17.6	17.5	17.2	17.8	17.4
	Recovery (%)	88.1	90.3	88.8	91.0	95.2	90.6
Mn	Before (%/module)	23.2	23.4	23.5	23.0	23.4	23.3
	After (%/module)	23.1	23.3	23.2	22.9	23.1	23.1
	Recovery (%)	99.6	99.6	98.7	99.6	98.7	99.2
Ni	Before (%/module)	21.8	21.9	21.5	21.4	22.1	21.6
	After (%/module)	17.1	17.9	17.4	17.7	17.2	17.5
	Recovery (%)	78.4	81.7	80.9	82.7	77.8	81.0

양극활물질의 무게는 431 g이었고, 본 연구 공정으로 양극활물질만을 분리한 후 무게는 367 g으로 나타났다. 분리 전의 양극활물질의 전체 무게를 고려하여 Li, Co, Mn, Ni의 각각 함량을 분석하여 각 원소들의 회수 전 무게를 100%로 하였다. 그리고 분리 후의 양극활물질의 전체 무게를 고려하여 Li, Co, Mn, Ni의 각각의 함량을 분석하여 각 원소들의 회수율을 계산하였다. Table 3은 ICP를 이용하여 5회에 걸쳐 분석한 결과로서, Li의 평균 회수율은 82.9%, Co는 90.6%이며, Mn은 99.2%, Ni은 81.0%로 나타났다.

## 결론

자동차용 폐리튬 이차전지 모듈의 안정적 해체와 모듈 구성성분의 효율적 단체 분리 공정 개발을 위하여 H사 자동차의 2차 전지 폐모듈을 이용하였다. 안전적 해체과정에서 폭발의 위험성을 방지하기 위하여 소금물에 넣어 전기방전을 유도하였으며, 전해액의 휘발성 유기물을 제거하기 위하여 특수하게 제작한 장치(글러브 상자)를 이용하여 해체가 이루어졌다. 폐모듈 해체 시 셀의 손상이 없는 양면을 완전히 절단하고 난 후, 모듈 외피 두께 부분만을 절단하여 셀을 완전히 분리하였다.

모듈 셀의 구성성분은 폴리머로 만들어진 분리막, 알루미늄 박막에 코팅된 양극활물질, 구리 박막에 코팅된 음극활물질로 이루어져 있었다. 알루미늄 박막에 코팅된 양극활물질을 알루미늄 박막으로부터 분리하기 위하여 1차 400 °C에서 열처리하고 분쇄한 후 물 속에서 교반하여 알루미늄과 양극활물질을 분리하고, 양극활물질은 다시 건조하여 800 °C에서 2차 소성하여 높은 순도의 알루미늄과 양극활물질을 분리하였다.

이와 같이 본 공정으로 폐리튬 이차전지의 해체와 분리 시 다른 공정에 비하여 유효 희유금속들의 손실을 최소화할 수 있는 기술임을 알 수 있었다. 기존에 알려진 분쇄, 용융, 산처리와 같은 처리 방식은 고에너지, 다량의 폐수 및 폐기물 발생 등의 환경적 문제점들이 발생함은 물론 금속들의 회수율도 낮아 경제성이 떨어지고 있다. 본 기술은 적은 에너지 사용은 물론 폐수, 폐기물의 기존 발생량을 50% 이하로 절감시킬 수 있을 뿐만 아니라 유효 금속들을 80% 이상 회수할 수 있으므로 경제적 효율성이 우수한 것으로 평가할 수 있다고 본다. 향후 세부적인 추가

기술들을 개발하여 자동차용 폐리튬 이차전지 자원 재생 설비를 구축함으로써 새로운 녹색사업으로 확장하고자 한다.

**Acknowledgments.** This research was supported by the Basic Science Research Program (NRF-2019R1F1A1042413) through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology.

## REFERENCES

- Guo, Y.; Li, F.; Zhu, H.; Li, G.; Huang, J.; He, W. *Waste Management* **2016**, *51*, 227.
- Zhu, S.; HE, W.; LI, G.; Zhou, Xu.; Zhang X.; Huang, J. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **2012**, *22*, 2274.
- Swain, B.; Jeong, J.; Lee, J. C.; Lee, G. H.; Sohn, J. S. *J. Power Sources* **2007**, *167*, 536.
- Chen, X.; Ma, H.; Luo, C.; Zhou, T. *Journal of Hazardous Materials* **2017**, *326*, 77.
- Wang, M.; Zhang, C.; Zhang, F. *Waste Management* **2016**, *51*, 239.
- Sun, L.; Qiu, K. *Waste Management* **2012**, *32*, 1575.
- Zhao, J. M.; Shen, X. Y.; Deng, F. L.; Wang, F. C.; Wu, Y.; Liu, H. Z. *Separation and Purification Technology* **2011**, *78*, 345.
- Wang, R.; Lin, Y.; Wu, S. *Hydrometallurgy* **2009**, *99*, 194.
- Sun, L.; Qiu, K. *Journal of Hazardous Materials* **2011**, *194*, 378.
- Paulino, J. F.; Busnardo, N. G.; Afonso, J. C. *Journal of Hazardous Materials* **2008**, *150*, 843.
- Ordoñez, J.; Gago, E. J.; Girard, A. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2016**, *60*, 195.
- Wang, M. M.; Zhang, C. C.; Zhang, Fu. S. *Waste Management* **2016**, *51*, 239.
- Nayaka, G. P.; Pai, K. V.; Santhosh, G.; Manjanna, J. *Hydrometallurgy* **2016**, *161*, 54.
- Nayaka, G. P.; Pai, K. V.; G. Santhosh, J. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2016**, *4*, 2378.
- Li L.; Dunn, J. B.; Zhang, X. X.; Gaines, L.; Chen, R. J.; Wu, F.; Amine, K. *Journal of Power Sources* **2013**, *233*, 180.
- Joo, S. H.; Shin, D. J.; Oh, C. H.; Wang, J. P.; Senanayake, G.; Shin, S. M. *Hydrometallurgy* **2016**, *159*, 65.
- Viirolainen, S.; Fini, M. F.; Laitinen, A.; Sainio, T. *Separation and Purification Technology* **2017**, *179*, 274.