A study on the pyrolysis of lithium carbonate for conversion of lithium hydroxide from lithium carbonate

Jae Eun Park, Min Hwa Park, Hyeong Jun Seo, Tae Seong Kim, Dae Weon Kim*, Bo Ram Kim* and Hee Lack Choi

Department of Material Science & Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea *Institute for Advanced Engineering, Advanced Material & Processing Center, Yongin 17180, Korea (Received March 25, 2021) (Revised April 2, 2021) (Accepted April 9, 2021)

Abstract Research on the production of lithium hydroxide (LiOH) has been actively conducted in response to the increasing demand for high nickel-based positive electrode materials for lithium-ion batteries. Herein we studied the conversion of lithium oxide (Li₂O) through thermal decomposition of lithium carbonate for the production of lithium hydroxide from lithium carbonate (Li₂CO₃). The reaction mechanism of lithium carbonate with alumina, quartz and graphite crucible during heat treatment was confirmed. When graphite crucible was used, complete lithium oxide powder was obtained. Based on the TG analysis results, reagent-grade lithium carbonate was heat-treated at 700°C, 900°C and 1100°C for various time and atmosphere conditions. XRD analysis showed the produced lithium oxide showed high crystallinity at 1100°C for 1 hour in a nitrogen atmosphere. In addition, several reagent-grade lithium oxides were reacted at 100°C to convert to lithium hydroxide. XRD analysis confirmed that lithium hydroxide (LiOH) and lithium hydroxide monohydrate (LiOH·H₂O) were produced.

Key words Lithium carbonate, Lithium oxide, Thermal decomposition

탄신리튬으로부터 수산화리튬 전환을 위하여 탄산리튬의 열분해에 대한 연구

박재은, 박민화, 서형준, 김태성, 김대원*, 김보람*, 최희락

부경대학교 재료공학과, 부산, 48513 *고등기술연구원, 용인, 17180 (2021년 3월 25일 접수) (2021년 4월 2일 심사완료) (2021년 4월 9일 게재확정)

요 약 현재 리튬이온 배터리에 사용되는 고니켈계 양극재의 수요 증대에 따라 수산화리튬(LiOH) 제조 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 탄산리튬(Li₂CO₃)으로부터 수산화리튬의 제조를 위하여, 탄산리튬의 열분해를 통한 산화리튬(Li₂O)의 전환 공정에 대해 연구하였다. 열처리 시 탄산리튬과 알루미나, 석영 그리고 흑연 도가니 사용에 따른 반응 메커 니즘을 확인하였으며, 흑연 도가니를 사용했을 경우 온전한 산화리튬 분말을 얻었다. TG 분석 결과를 바탕으로 열처리 온도를 700°C, 900°C 그리고 1100°C로 설정하였으며 유지시간 및 분위기를 제어하여 시약급 탄산리튬의 열처리를 진행하였다. XRD 분석 결과, 제조된 산화리튬은 질소 분위기에서 1시간 동안 1100°C의 온도로 열처리를 하였을 때 높은 결정성을 보였다. 또한 수산화리튬으로 전환하기 위해 시약급 산화리튬을 100°C에서 수반응하였다. XRD 분석을 통해 수산화리튬(LiOH)과 수산화리튬 일수화물(LiOH·H₂O)이 생성됨을 확인하였다.

1. 서 론

최근 높은 에너지밀도와 우수한 출력을 지닌 리튬이온 전지는 스마트폰 및 노트북과 같은 소형전자기기에서부

터 친환경 자동차(xEV: Electric Vehicle) 및 에너지 저장장치(ESS: Energy Storage System)까지 다방면으로한 출력을 지닌 리튬이온 사용되고 있다. 현재 고성능 전지의 특성을 위하여 고니켙은 소형전자기기에서부 켈계 리튬이온 2차전지 양극재(Li[Ni-Co-Al]O2 및 Li[Ni-Co-Mn]O2)의 개발과 관련하여 원료물질로써 니켈과의합성이 용이한 수산화리튬(LiOH) 제조에 관하여 지속적으로 연구되고 있다[1].

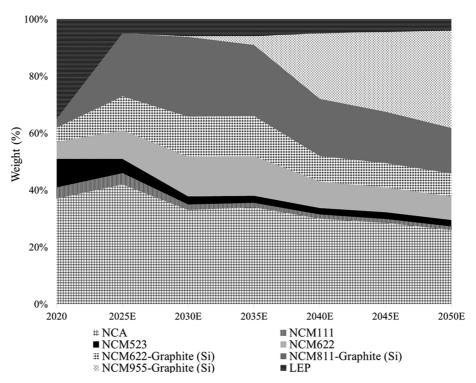


Fig. 1. Forecast of demand for cathod material of the lithium ion battery.

Figure 1은 리튬이온전지 양극재의 형태별 수요와 전 망을 나타낸 것으로 코발트의 함량을 낮추고 니켈의 함량이 높은 배터리 양극재의 수요가 증가할 것으로 예상된다[2]. 중장기적으로 고니켈계 전지가 요구되고 합성온도가 낮아짐에 따라 반응성 저하를 방지하기 위해 분해온도가 높은 탄산리튬보다 분해온도가 낮은 수산화리튬이 필수적이다[3,4].

리튬화합물의 생산은 원료에 따라 광석으로부터 제조되는 경우와 염호에서 제조되는 경우가 있다. 광석의 경우, 호주나 중국 등지에서 채굴되는 리튬 품위 0.5-3.7%의 광석으로부터 열처리-산 혹은 알칼리 침출-전해 채취 혹은 탄산화 반응을 통하여 수산화리튬(LiOH) 및 탄산리튬(Li₂CO₃)을 생산하고 있다[4]. 염호의 경우, 일반적으로 남아메리카 지역에서 발생하는 리튬 함량 0.06-0.15% 염호에서 증발-농축-불순물 제거 공정을 거쳐 탄산리튬의 형태로 생산한다. 또한 폐리튬전지로부터 분쇄/분급-산침출-탄산화 반응을 거쳐 탄산리튬을 회수한다[5,6].

현재 리튬계 이차전지에 사용되는 리튬의 원료로 탄산리튬 및 수산화리튬이 사용되고 있으나, 고성능의 전지의 특성을 위하여 사용되는 리튬의 경우 탄산리튬보다수산화리튬의 사용량이 증대하고 있다. 수산화리튬의 제조방법은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 리튬함유 전구체 원료로부터 직접 수산화리튬을 제조하는 방법[7], 두 번째 탄산리튬 분말로부터 수산화리튬으로 전환시키는 방법이 있다. 탄산리튬에서 수산화리튬의 전환

방법은 탄산리튬 슬러리에 수산화칼슘 $(Ca(OH)_2)$ 과의 반응인 causticization - carbonation을 이용하여 아래와 같은 반응을 이용하여 제조하게 된다[8-10].

$$\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{LiOH} + \text{CaCO}_3 \downarrow$$
 (1)

Ryabtsev 등[7]은 멤브레인 전기분해법을 이용하여 테 크니컬급(2N) 탄산리튬으로부터 고순도 수산화리튬 수화물 제조에 대한 보고를 하였으며, Yuan 등[8]은 수산화칼슘 부유액에서 탄산리튬이 수산화리튬으로 전환에 있어서 온도에 대한 영향을 조사하였다. 25°C에서 이온 교환반응에 의하여 바로 탄산칼슘(CaCO₃)이 생성되었으며, 온도와 [CO₃²-]/[Ca²+] 비에 따라 탄산리튬에서 수산화리튬으로의 전환율이 증가한다고 보고하였다. Kim[9]은 탄산리튬 슬러리에 수산화칼슘(Ca(OH)₂)을 첨가하여 150μm 크기의 고순도 수산화리튬 분말을 얻었다고 보고하였다. 상기 (1) 반응의 문제점은 원료로 사용하는 탄산리튬의 용해도가 낮아 대량으로 수산화리튬을 제조하는데 비효율적이며, 리튬을 회수하는데 수율이 낮다. 또한반응에 사용되는 칼슘 이온이 최종 산물에 불순물이 함유되는 문제가 발생한다.

기존 연구에 따르면 탄산리튬 열분해 시 산화리튬과 이산화탄소 가스가 발생한다고 보고된 바 있다. 열역학 적 계산에 의하면 고온에서 이러한 반응이 일어날 수 있 으며, 생성된 산화리튬은 물과의 반응에 의하여 열역학적 으로 쉽게 수산화리튬을 생성할 수 있다[11]. 탄산리튬의 열분해에 대한 기존 연구로써 Takahashi 등[12]은 고압 진공 분위기의 융점 이하의 온도(650~700°C)에서 열분해를 실시하여 산화리튬을 얻고 이를 소결하여 산화리튬 소결체 특성에 대해 보고하였다. 위 반응은 고압 분위기를 형성해야 한다는 단점을 내포하고 있다. Timoshevskii 등[13]은 특수장치를 제작하여 대기압에서 고온의 질소 가스의 주입을 통해 필름형 탄산리튬 용융물에서 산화리튬으로의 전환 연구를 수행하여 75% 전환율을 얻었다고 보고하였다. 기존의 연구에서는 탄산리튬에서 산화리튬의 전환에 있어서 자세한 결정학적 메커니즘은 설명하지 않았으며 온도와 반응시간에 따른 산화리튬 전환율에 관해서는 연구되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 시약급 탄산리튬을 대기압에서 열분해하여 산화리튬으로 전환하였다. 열분해 시 알루미 나, 석영 및 흑연 도가니를 사용하여 도가니 종류에 따 른 탄산리튬과의 반응 메커니즘을 확인하였다. 흑연 도 가니를 사용하여 분위기, 온도 및 반응시간을 제어하여 최적의 열분해 조건을 제시하고, 이를 통해 얻어진 산화 리튬의 최종 결정성에 대하여 보고하였다. 이후 시약급 산화리튬의 수반응을 통하여 수산화리튬이 제조됨을 확 인하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 시약급 탄산리튬의 열분해 반응을 통해 산화리튬을 제조하였으며, 시약급 산화리튬의 수침출을 통해 수산화리튬을 제조하였다. 시료는 고상의 시약급 탄산리튬(Li_2CO_3 , ≥ 99.0 %, Aldrich)과 산화리튬(Li_2O , 99.5 %, Alfa Aesar)을 사용하였다. 시약급 탄산리튬 분 말의 형상을 알아보기 위하여 주사전자현미경(Scanning electron microscope, TESCAN, VEGA II LSU) 분석을 실시하였다. 열중량분석기(Thermal Gravity Differential Temperature Analyzer, Shimadzu, DTG-60H)를 통해 탄산리튬에서 산화리튬으로의 전환이 일어나는 열분해 온도를 측정하였다.

대기 중에서 알루미나, 석영 그리고 흑연 도가니와 산 화리튬의 반응성을 보기 위하여 열처리를 시행하였으며

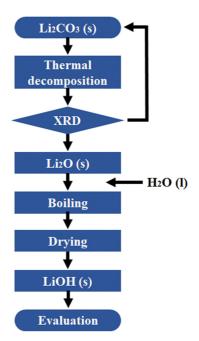


Fig. 3. Flow chart for production of lithium hydroxide from lithium carbonate.

Fig. 2에 사용한 도가니를 나타내었다. 열처리 온도에 따른 시료의 특성 변화를 관찰하기 위하여 700°C, 900°C 그리고 1100°C에서 탄산리튬을 열처리하여 결정성을 확인하였다. 열처리 유지시간에 따른 결정성 변화를 관찰하기 위하여 각 0.5시간, 1시간 동안 탄산리튬을 열처리하였다. 또한 분위기 제어 유무에 따른 반응성을 알아보기 위하여 대기 분위기와 질소 분위기(5°C/min)에서 탄산리튬을 열처리하였다. 열분해 후 얻어진 시료를 도가니로부터 분리하여 샘플을 회수하였다.

시약급 산화리튬으로부터 수산화리튬을 제조하기 위하여 5% 산화리튬 수용액을 상온에서 100°C까지 가열하여 수반응하였다. 이후 얻어진 시료를 drying oven에서 80°C, 20시간을 유지하여 샘플을 얻었다.

얻어진 산화리튬과 수산화리튬 분말은 X-선 회절분석 법(X-ray diffraction spectroscopy, Rigaku, UltimalV)을 이용하여 결정상 및 결정성 분석을 실시하였다. Figure 3에 탄산리튬으로부터 수산화리튬 제조 실험의 전체 공 정 흐름도를 나타내었다.

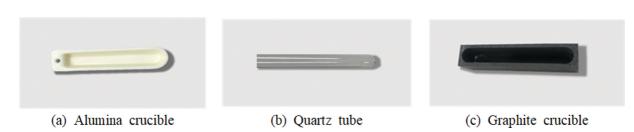
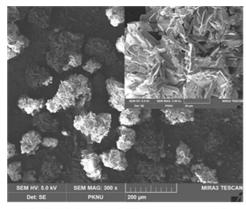
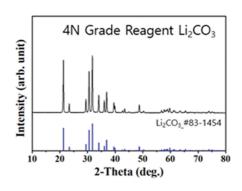


Fig. 2. Crucibles used in the heat treatment.



(a) SEM image (4N Reagent grade)



(b) XRD pattern (4N Reagent grade)

Fig. 4. XRD patterns and SEM images of lithium carbonate powder; (a) SEM image (4N Reagent grade), and (b) XRD pattern (4N Reagent grade).

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 사용된 탄산리튬(Li_2CO_3)의 결정형상과 결정성을 살펴보기 위하여 주사전자현미경, X-선 회절 분석법을 이용하였으며, 이를 Fig. 4에 나타내었다.

일반적인 탄산리튬의 열분해 반응식은 다음 식(2)과 같이 표현할 수 있다[14].

$$\text{Li}_2\text{CO}_3(l) \rightarrow \text{Li}_2\text{O}(s) + \text{CO}_2(g)$$
 (2)

반응식(2)에 따르면 탄산리튬 열분해에 의해 이산화탄소 가스의 휘발이 발생하며 이론적 중량감소는 약 59.61 % 이며, 본 실험에 사용한 시약급 탄산리튬의 경우 1200°C 에서 약 62.1 %로 측정되었다. 이론값보다 높게 나온 이유는 시약에 함유된 수분에 의한 것으로 이를 보정하여보면 거의 이론값과 유사한 것으로 확인된다.

탄산리튬 분말의 열분해 반응온도를 결정하기 위하여 Fig. 5에 시약급 탄산리튬에 대한 열중량 분석 결과를 나타내었다. 대기에서 승온속도 10° C/min으로 탄산리튬의 열분석을 진행하였으며 질량감소 구간을 3 step으로 나누었다. step $1(\sim712^{\circ}\text{C})$ 에서는 3.7% 질량이 소실되었

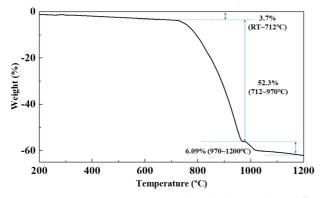


Fig. 5. TG results for lithium carbonate in air (10°C/min).

으며 이는 분말로부터 결정수가 증발하였기 때문이다. step 2(712~970°C)와 step 3(970~1200°C)에서는 각각 52.3 %, 6.09 %의 질량감소가 발생하였다. Beyer 등[15]에 따르면 700~1000°C에서 탄산리튬으로부터 이산화탄소 기체가 휘발되고, 1000~1100°C에서 이산화탄소가 2차 방출된다고 보고하였다. 따라서 step 2와 step 3에서 질량감소는 이산화탄소 기체 휘발과 관련 있는 것으로 판단된다.

Kim과 Lee[16]는 탄산나트륨과 탄산리튬에 있어서 열분해에 연구를 통하여 탄산리튬의 용융온도 720°C에 해당하는 흡열 피크를 측정하였으며, 탄산염의 용융에 따라 서서히 무게가 감소함을 보고하였다. 1076°C에서 분해가 완료되어 총 중량감소는 56.3 %로 1100°C까지 온도가 상승하여도 더 이상의 중량감소는 나타나지 않았다고 하였다. 또한 반응이 끝난 샘플에 대한 결정상은 XRD 분석을 통하여 산화리튬 및 수산화리튬 일수화물(LiOH·H₂O)로 확인되었으며, 수화물은 공기 중의 수분과 반응하여 형성되었다고 보고하였다. Beyer 등[15]에서 리튬염인 과산화리튬(Li₂O₂), 수산화리튬, 그리고 탄산리튬의 공기 중에서 10°C/min의 속도로 열분해를 하면 거의 열역학적으로 안정한 산화리튬으로 전환된다고보고하였으며, 탄산리튬의 경우 약 58.7 %의 중량감소를나타내었다.

열분해 과정에서 탄산리튬과 도가니와의 반응성을 확인 하기 위해 알루미나, 석영 그리고 흑연 도가니를 이용하여 대기에서 1100° C, 0.5시간 동안 열처리를 진행하였다.

Figure 6은 알루미나 도가니를 사용하여 열처리 한 후 얻은 산물의 결정상을 확인하기 위해 XRD 분석을 실시하였으며, 그 결과 메타알루민산리튬(LiAlO₂)과 오르토알루민산리튬(Li₅AlO₄)이 생성되었다. Lehmann 등[17]의 연구에서도 970° C에서 메타알루민산리튬(LiAlO₂)를 생성한다고 보고하였다.

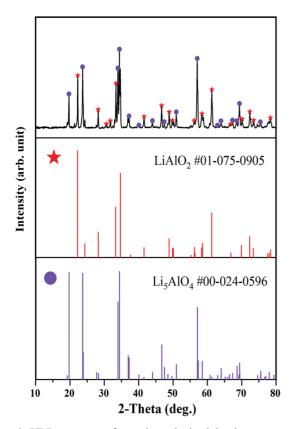


Fig. 6. XRD patterns of powders obtained by heat treatment with the alumina crucible at 1100°C in air.

Figure 7은 석영 도가니를 사용한 산물의 XRD 분석 결과이다. 분석 결과, 주피크로 메타규산리튬(Li₂SiO₃)이 생성되었음을 확인하였다. 또한 이산화규소 결정상이 확인되었는데, 이는 열처리 과정 중에 도가니에 산물이 들러붙어 샘플 채취 중 석영 도가니의 일부가 혼입된 것으로 확인된다. Grasso 등[18]의 연구에 따르면 탄산리튬과 이산화규소가 반응하여 약 100~400°C에서 메타규산리튬(Li₂SiO₃)가 생성되기 시작하며, 500°C에서 대부분메타규산리튬(Li₂SiO₃)으로 전환되었다고 보고된 바 있다. 또한 온도가 높아질수록 메타규산리튬(Li₂SiO₃)과 소량의 오르토규산리튬(Li₄SiO₄)이 공존한다고 하였다. 따라서 탄산리튬과 반응하는 알루미나와 석영 도가니는 탄산리튬의 열처리 시 부적합한 도가니로 판단하였다.

Beyer 등[15]은 600~850°C에서 탄산리튬과 탄소가 반응하여 산화리튬과 일산화탄소기체를 생성한다고 하였다. 그러므로 흑연 도가니의 경우 탄산리튬의 열분해에 적합

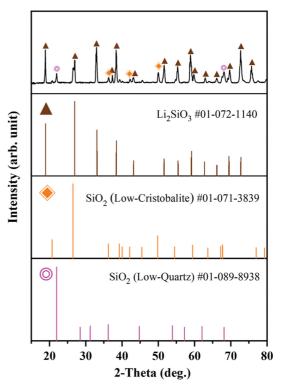


Fig. 7. XRD patterns of powders obtained by heat treatment with the quartz crucible at 1100°C in air.

하다고 판단하여 이후 열처리 과정에서 흑연 도가니를 이용하였다.

Table 1에 탄산리튬과 각 도가니의 반응을 나타내었다. 흑연 도가니를 사용하여 탄산리튬 열처리 시 유지시간에 따른 샘플의 결정상을 확인하기 위하여 1100°C에서 0.5시간, 1시간 동안 열처리하였으며 산물에 대한 XRD 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

대기 중에서 열처리 시 산화리튬 패턴과 동일한 (111), (200), (220), (311) 결정면이 성장하였다. 유지시간이 길어짐에 따라 산화리튬 피크의 강도가 높아졌다. 그러나탄산리튬과 산화리튬의 결정상이 혼재하여 온전한 산화리튬을 얻지 못하였다.

분위기에 따른 결정상 변화를 관찰하기 위하여 탄산리 튬을 질소 분위기의 1100°C에서 1시간 동안 열처리하였고, 대기 분위기와 달리 탄산리튬 결정상이 혼재하지 않는 온전한 산화리튬을 얻을 수 있었다. 질소를 통해 분위기를 제어한 공정의 경우 탄산리튬에서 산화리튬으로

Table 1 Reactions between lithium carbonate and crucibles

Crucible	Temperature range (°C)	Reaction		Ref.
Al_2O_3	970	$\text{Li}_2\text{CO}_3(s) + \text{Al}_2\text{O}_3(s) \rightarrow 2\text{LiAlO}_2 + \text{CO}_2(g)$	(5)	[17]
SiO_2	500	$\text{Li}_2\text{CO}_3(s) + \text{SiO}_2(s) \rightarrow \text{Li}_2\text{SiO}_3(s) + \text{CO}_2(g)$	(6)	[18]
C	600~850	$\text{Li}_2\text{CO}_3(s) + \text{C}(s) \rightarrow \text{Li}_2\text{O}(s) + \text{CO}(g)$	(7)	[15]

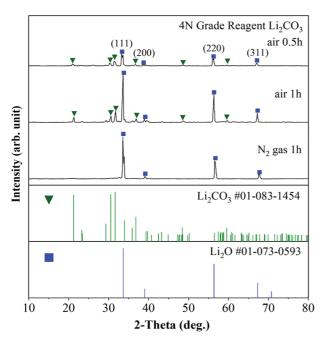


Fig. 8. XRD patterns of prepared powders with the various heat treatment conditions at 1100°C in air and N_2 gas.

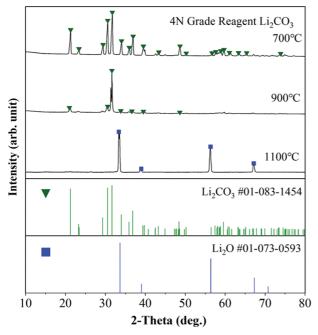


Fig. 9. XRD patterns of prepared powders with the various heat treatment conditions for 0.5 hrs in N_2 gas.

의 전환이 유리함을 확인하였다.

TGA 결과를 바탕으로 온도에 따른 탄산리튬의 결정성 변화를 확인하기 위하여 질소 분위기에서 0.5시간 동안 700°C, 900°C, 1100°C에서 열처리하였고, XRD 분석하여 Fig. 9에 나타내었다. 700°C에서 열처리한 샘플의경우 열처리 후 분말 형태로 수득하였으며 앞선 열분석결과에서 예상했듯이 원재료인 탄산리튬의 결정상으로

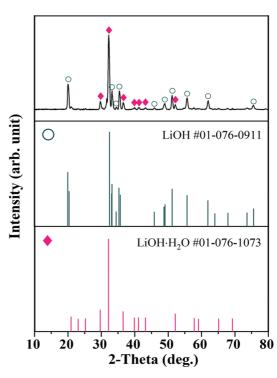


Fig. 10. XRD patterns of obtained powders via water reaction at 100°C

분석되었다. 900°C 열처리 시 주로 탄산리튬 패턴의 피크가 형성되어 있지만 700°C에서 열처리한 샘플에 비해 탄산리튬 패턴이 감소하여 결정상이 변화되고 있음을 알수 있었다. 1100°C에서 열처리 한 경우 탄산리튬에서 이산화탄소가 완전히 분리된 산화리튬의 패턴을 확인하였다. 900°C와 1100°C에서 열처리한 샘플은 도가니 벽에 융착되어 있었으며 spatula를 이용하여 획득할 수 있었다.

수산화리튬을 제조하기 위하여 시약급 산화리튬을 수 반응한 샘플의 XRD 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 샘 플의 XRD 피크로부터 수산화리튬과 수산화리튬 일수화 물으로 전환되었음을 확인하였다.

4. 결 론

고성능 이차전지 제조 원료인 수산화리튬의 사용량이 탄산리튬보다 크게 증가하고 있어, 탄산리튬으로부터 수 산화리튬으로의 전환하기 위한 열처리 조건 설정 방향을 제시하였다.

- 1) 탄산리튬 열분해 반응(Li₂CO₃(*I*) → Li₂O(s) + CO₂(g)) 은 720°C부터 시작되며 1200°C까지 중량이 약 62.1 % 감소하였다.
- 2) 1100°C에서 열분해 시 알루미나와 석영 도가니는 탄산리튬과 화학 반응을 일으켜 온전한 산화리튬을 회수

할 수 없었으며 흑연 도가니의 경우 온전한 산화리튬을 회수할 수 있었다.

- 3) 700°C의 질소 분위기에서 0.5시간 동안 탄산리튬을 열처리한 경우 결정상의 변화는 없었다. 900°C에서 열처리한 경우 산화리튬으로의 전환이 일부 일어났지만 대부분 탄산리튬 결정상이었으며 1100°C의 경우 산화리튬으로 완전히 전환되었다.
- 4) 대기 분위기의 1100°C에서 각각 0.5, 1시간 동안 탄 산리튬을 열처리 한 결과 유지시간이 길어질수록 결정성 이 높은 산화리튬을 얻을 수 있었으며, 열처리 시 대기에 서보다 질소 분위기에서 순도 높은 산화리튬을 얻었다.
- 5) 열처리를 통해 얻은 산화리튬을 100°C에서 수반응 하여 최종적으로 수산화리튬 및 수산화리튬 일수화물을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 2019년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산 업기술평가평가원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구 과제 입니다(청정생산기반산업공생기술개발사업 No. 20004128).

References

- [1] M. Grageda, A. Gonzalez, A. Quispe and S. Ushak, "Analysis of a process for producing battery grade lithium hydroxide by membrane electrodialysis", Membranes 10 (2020) 198.
- [2] C. Xu, Q. Dai, L. Gaines, M. Hu, A. Tukker and B. Steubing, "Future material demand for automotive lith-ium-based batteries", Commun. Mater. 1 (2020) 99.
- [3] S.Y. Kim, S.H. Choi, E.J. Lee and J.S. Kim, "Synthesis and electrochemical performance of Ni-rich NCM cathode materials for lithium-ion batteries", J. Electrochem. Soc. 20 (2017) 67.
- [4] J.K. Ngala, N.A. Chernova, M. Ma, M. Mamak, P.Y. Zavalij and M.S. Whittingham, "The synthesis, characterization and electrochemical behavior of the layered LiNi_{0.4}Mn_{0.4}Co_{0.2}O₂ compound", J. Mater. Chem. 14 (2004) 214.
- [5] D.W. Kim, J.R. Park, N.K. Ahn, G.M. Choi, Y.H. Jin and J.K. Yang, "A review on the recovery of the lithium carbonate powders from lithium-containing substances", J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 29 (2019) 91.

- [6] T.T. Hien-Dinh, V.T. Luong, R. Gieré and T. Tran, "Extraction of lithium from lepidolite via iron sulphide roasting and water leaching", Hydrometallurgy 153 (2015) 154.
- [7] A.D. Ryabtsev, N.M. Nemkov, N.P. Kotsupalo and L.A. Serikova, "Preparation of high-purity lithium hydroxide monohydrate from technical-grade lithium carbonate by membrane electrolysis", Russ. J. Appl. Chem. 77 (2004) 1108.
- [8] B. Yuan, J. Wang, W. Cai, Y. Yang, M. Yi and L. Xiang, "Effects of temperature on conversion of Li₂CO₃ to LiOH in Ca(OH)₂ suspension", Particuology 34 (2017) 97
- [9] G.J. Kim, "Recovery of lithium hydroxide from spent lithium carbonate using crystallizations", Sep. Sci. Technol. 43 (2008) 420.
- [10] S.Y. Joo, Y.B. Kang, H.W. Shim, S.H. Byun, Y.H. Kim, C.G. Lee and D.G. Kim, "Study on preparation of high purity lithium hydroxide powder with 2-step precipitation process using lithium carbonate recovered from Waste LIB battery", J. Korean Inst. Resour. Recycl. 28 (2019) 60.
- [11] M.M. Sarah, J.M. Haschke, W. McLean and L.N. Dinh, "Moisture corrosion of LiH: A kinetic investigation by DRIFT spectroscopy", J. Phys. Chem. A. 124 (2020) 283.
- [12] T. Takahashi and H. Watanabe, "Preparation and characterization of lithium oxide", Fusion Eng. Des. 8 (1989) 399
- [13] A.N. Timoshevskii, M.G. Ktalkherman, V.A. Emel'kin, B.A. Pozdnyakov and A.P. Zamyatin, "High-temperature decomposition of lithium carbonate at atmospheric pressure", High Temp. 46 (2008) 414.
- [14] L. Shi, T. Qu, D. Liu, Y. Deng, B. Yang and Y. Dai, "Materials Processing Fundamentals 2020", J.L. Lee, S. Wagstaff, G. Lambotte (Springer. cham, Switzerland, 2020) 107.
- [15] H. Beyer, S. Meini, N. Tsiouvaras, M. Piana and H.A. Gasteigera, "Thermal and electrochemical decomposition of lithium peroxide in non-catalyzed carbon cathodes for Li-air batteries", Phys. Chem. Chem. Phys. 15 (2013) 11025.
- [16] J.W. Kim and H.G. Lee, "Thermal and carbothermic decomposition of Na₂CO₃ and Li₂CO₃", Metall. Mater. Trans. B. 32 (2001) 17.
- [17] H.A. Lehmann and H. Hesselbarth, "Zur Kenntnis der Lithiumaluminate. I. Über eine neue Modifikation des LiAlO₂", Z. Anorg. Allg. Chem. 313 (1961) 117.
- [18] M.L. Grasso, M.V. Blanco, F. Cova, J.A. Gonzalez, P. Arneodo Larochettea and F.C. Gennari, "Evaluation of the formation and carbon dioxide capture by Li₄SiO₄ using in situ synchrotron powder X-ray diffraction studies", Phys. Chem. Chem. Phys. 20 (2018) 26570.