

廢리튬一次電池의 安定的 解體를 위한 研究[†]

柳庚謹 · 金明和 · 申宣明 · 梁東淳 · 姜眞求 · [‡]孫廷秀

韓國地質資源研究院 資源活用素材研究部

Dismantlement of Spent Lithium Primary Batteries for Recycling[†]

Kyoungeun Yoo, Myoung-Hwa Kim, Shun-Myung Shin,
Dong-Hyo Yang, Jin-Gu Kang and [‡]Jeong-Sooh Sohn

Minerals and Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

요 약

고열 및 과절단에 의하여 폭발위험이 있는 폐리튬일차전지를 재활용하기 위해서는 폐리튬일차전지의 안정적 해체공정이 필수적이다. 본 연구에서는 폐리튬일차전지의 안정적 해체를 위한 최적 방전공정 조건을 연구하였다. 0.5 kmol·m⁻³ 황산용액을 이용하여 안정화를 진행한 결과, 35°C에는 4일째에 그리고 50°C에는 1일째에 안정적 파쇄가 가능하였으며, 높은 반응온도에서 보다 빠른 안정화 결과를 얻을 수 있었다. 황산만을 사용하여 안정화를 진행할 경우, 재활용 가능한 폐리튬일차전지 금속의 손실이 크기 때문에 황산과 증류수를 이용하여 2단으로 안정화하는 공정을 제안하였으며, 0.5 kmol·m⁻³ 황산으로 6시간 안정화시킨 후, 증류수로 24시간 안정화한 결과, 폐리튬일차전지는 안정적으로 파쇄되었으며 금속의 손실도 적어 향후 재활용공정의 경제성 향상이 가능하다고 판단되었다.

주제어 : 폐리튬일차전지, 재활용, 방전공정, 금속회수

Abstract

Dismantlement of lithium primary batteries without explosion is required to recycle the lithium primary batteries which could be exploded by heating too much or crushing. In the present study, the optimum discharging condition was investigated to dismantle the batteries without explosion. When the batteries were discharged with 0.5 kmol·m⁻³ sulfuric acid, the batteries became inert after 4 days at 35°C and after 1 day at 50°C, respectively. This result shows that higher temperature accelerates inert of the batteries. Because loss of metals recycled increases when the batteries are discharged only with the sulfuric acid, discharging process using acid solution and water was newly proposed. When the batteries were discharged with water during 24 hours after discharging with 0.5 kmol·m⁻³ sulfuric acid during 6 hours, the batteries discharged were dismantled without explosion. Because decrease in loss of metals was accomplished by new process, the recycling process of the batteries could become economic by the 2-step discharging process.

Key words : lithium primary battery, recycling, discharging process, recovery of metals

1. 서 론

리튬은 가장 가벼운 금속이며 3.04 V의 높은 표준전극전위(E^0)를 갖는다.¹⁾ 리튬일차전지는 60년대에 미국

의 NASA에서 우주개발용 전원으로 연구 개발된 고에너지밀도의 전지로서 -55°C ~ 85°C에서 사용이 가능하기 때문에 지난 40 여 년간 IT, 의료, 군사용 등 다양한 분야에서 사용되어왔다.^{2,3)} 넓은 사용 온도범위 이외에도 수명이 길고, 일정 전압을 유지하며, 자가 방전율이 낮은 장점이 있어 세계 리튬일차전지 시장은 2003년에 820.6백만\$에서 2010년에 1,135.3백만\$까지 성장

[†] 2007년 5월 21일 접수, 2007년 7월 4일 수리

[‡] E-mail: jss@kigam.re.kr

할 것으로 예상되고 있다(http://www.frost.com, Frost & Sullivan).^{2,4)}

국내 리튬전지 제조업체로서 연간 200억원 이상의 매출을 기록하고 있는 (주) 비츠로셀 이외에 (주) 제노에너지와 (주) 애니셀이 있다.³⁾ 국내에서 리튬일차전지는 산화은전지, 니켈카드뮴전지와 함께 생산자 책임재활용제도(EPR, Extended Producer Responsibility)에 의하여 재활용 의무량이 정해지며 2002년 총 출고량 255톤을 기준으로 2004년에 총 의무량이 74톤이었다 (http://www.kbra.net, 사단법인 한국전지재활용협회). 그러나 리튬일차전지는 전지로서 수명이 다한 후에도 리튬금속이 일부 남아 높은 온도, 충전, 천공, 단락에 의하여 리튬금속이 가열되거나 수증기와 접촉할 경우 격렬히 반응하고 전지내의 전해액 등까지 함께 연쇄적으로 반응폭발하기 때문에 적절한 재활용 공정이 없어서 생산자책임재활용제도에 등록되어있음에도 불구하고 전량 매립처리되어왔다.^{3,4)}

현재까지 개발된 페리튬일차전지의 재활용공정은 미국의 TOXCO 사가 개발한 공정이 유일하며 이 공정은 1992년에 상용화되었다.⁴⁾ 이 공정에서 폐전지는 액화질소 또는 액화 아르곤에 의하여 안정화된 후 파분쇄되며 단체분리된 유기물은 재활용된다. 그러나 극저온을 이용하는 공정이기 때문에 대표적 리튬일차전지인 리튬염화티오닐 전지의 경우 처리비용이 파운드당 2.16US\$로서 비교적 고가이다(http://www.toxco.com, TOXCO Inc., USA). 따라서 국내 페리튬일차전지의 재활용을 위하여 새로운 저가의 안정적 해체공정개발이 요구되고 있다.

손정수 등은 페리튬일차전지를 재활용하기 위한 안정적 해체공정을 연구하여왔으며, 산을 이용하여 페리튬일차전지 내의 리튬을 강제 방전시키는 공정을 제안하였다.^{2,3,5)} 그러나 과도한 산을 이용할 경우 유기물인 니켈 등의 성분이 용해되어 회수가 어렵게 된다. 따라서 본 연구에서는 경제성 있는 페리튬일차전지 재활용공정을 개발하기 위하여 페리튬일차전지의 최적 방전공정 조건을 연구하였다.

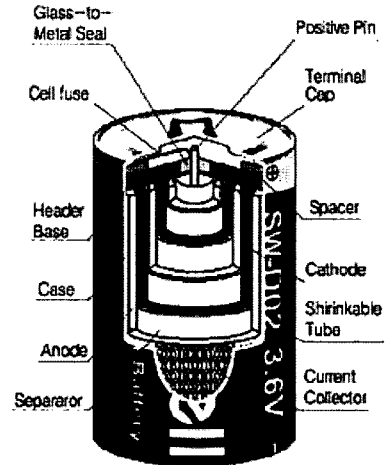


Fig. 1. Cross-sectional view of Li/SOCl₂ Cell³⁾.

2. 실험조건

2.1. 실험재료

리튬일차전지는 양극활물질의 종류에 따라 다양한 전지가 존재하나^{2,3)} 본 실험에서 사용된 페리튬일차전지는 무전기 등에서 사용되었던 염화티오닐 리튬전지(모델명: BA-6853K)로서 원통형 전지이다. 이 전지의 단면도와 주요 성분을 Fig. 1³⁾과 Table 1에 나타내었다. 안정화 실험을 진행하기 위하여 건전지의 ABS 케이스를 해체하고, 전선과 PVC 피복을 제거한 후 실험에 사용하였다. 폐전지의 전압을 측정된 결과 0.6 V ~ 1.0 V의 전압을 나타냈으며, 이는 폐전지 내에 방전되지 않은 리튬금속이 남아있는 것을 의미한다.

일급 황산용액(Junsei chemical, Japan)을 초순수로 희석하여 용액을 준비하였으며, pH 측정은 Orion사의 3 star series Benchtop 모델을 사용하였다. 실험 중에 용해된 금속이온 농도를 분석하기 위하여 용액을 채취하고, syringe filter (0.45 μm)를 사용하여 여과한 후, 1 kmol·m⁻³ 질산용액으로 희석하여 AAnalyst 400 원자흡광광도계(PerkinElmer, Germany)로 철, 리튬, 니켈 농도를 분석하였다.

Table 1. Components of the lithium primary battery used in this study

	Li	SOCl ₂	Acetylene black	Nickel net	Stainless steel
Amount in cell / g·cell ⁻¹	5.4	42.0	5.0	7.0	45.0
Weight %	5.2	40.2	4.8	6.7	43.1

2.2. 온도에 따른 페리튬일차전지의 안정화 실험

온도에 따른 페리튬일차전지 안정화 실험은 진탕항온수조(Shaking bath, Jeio-Tech, Korea)에서 진행하였다. 1 dm³ 삼각플라스크에 0.5 kmol·m⁻³ 황산용액 500cm³과 무게가 104.4 g·cell⁻¹인 페리튬일차전지 3개를 넣은 후 진탕항온수조에 고정하였다. 진탕항온수조는 온도를 35°C 또는 50°C로 유지하였으며, 회전속도는 60 rpm이었다. 폐전지와 황산이 반응하여 수소 가스 등이 배출되므로 실험이 시작된 후 9시간 동안 가스가 삼각플라스크로부터 배출되도록 한 후에 실리콘 마개로 삼각플라스크의 입구를 봉하였다.

정해진 일정에 따라 각각의 삼각플라스크를 꺼내어 실리콘 마개를 제거한 후, 상기의 방법으로 용액을 채취하여 pH와 금속이온의 농도를 분석하였다. 회수된 건전지는 60°C에서 하루 동안 건조한 후, 파쇄실험을 진행하여 페리튬일차전지의 안정화 여부를 조사하였다.

2.3. 황산용액과 증류수를 이용한 이단 방전 및 안정화 실험

이단 방전 실험을 위하여 온도조절방법으로서 증탕법이 사용되었다. 4 dm³ 비이커를 가열교반기(Hot plate & Magnetic stirrer) 위에 놓은 후, 2 dm³의 증류수를 넣고 온도를 50°C로 유지하였다. 이 4 dm³ 비이커 안에 0.5 kmol·m⁻³ 황산용액 500cm³과 페리튬일차전지 3개를 넣은 1 dm³ 비이커를 넣어 실험을 진행하였다. 황산에 의한 방전을 3, 6, 9시간 각각 진행한 후, 폐전지를 건져내어 증류수 500cm³에 넣고 하루 동안 상온에서 방치하였다. 2.2에서 설명한 실험과 같이 각 단계의 용액을 분석하고 페리튬일차전지의 안정화 여부를 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

페리튬일차전지 안정화 실험을 35°C와 50°C에서 수행하고 산에 의하여 용해된 철, 리튬, 니켈의 농도 및 pH의 변화를 Fig 2와 3에 나타내었다. 산성용액 중에서 금속은 다음과 같은 반응에 의하여 용해된다.



여기서 M과 M²⁺는 금속과 금속이온을 각각 나타낸다. 반응온도 35°C에서 수행된 페리튬일차전지 안정화 실험결과(Fig. 2)에서 pH는 0.3부터 3일째까지 서서히 상승한 후 4일째부터 급격히 증가하여 pH 2~2.5를 나타

낸다. 철이온의 농도도 3일째까지 서서히 증가하다가 4일째 41250 g·m⁻³로 급격히 증가하며, 이후 6일째 63800 g·m⁻³까지 증가한 후에 농도가 다소 감소하였다. 이와 같이 철이온 농도와 pH가 비슷한 경향을 나타내는 것은 Eq. (1)에서 알 수 있듯이 폐전지 외벽의 스테인리스강 성분이 용해되면서 수소이온을 소비하여 pH와 철이온의 농도가 함께 증가하기 때문이다. 니켈도 스테인리스강의 성분으로서 4일째 2011 g·m⁻³까지 증가하였으나 10일 이후 800 g·m⁻³이하로 감소하였다. 스테인리스강의 성분인 니켈이 철과 함께 용해되어 농도가 증가하나 pH의 상승과 함께 용해도가 감소하여 침전한 것으로 생각된다. 철이온과 니켈이온 농도감소 거동을 분석하기 위하여 침전물 분석을 시도하였으나, 침전물이 삼각플라스크에 굳게 고착되어있고, 실험 10일 이후에는 침전물과 폐전지의 구분이 불가능하여 전량을 회수할 수 없었다. 일부 회수된 침전물을 XRD로 분석하였으나, 특별한 피크는 검출되지 않았다. 본 연구를 위한 예비실험에서 폐전지에 따라 용해 거동에 편차가 존재하였기 때문에 Fig. 2의 철이온농도 감소가 침전에 의한 것인지 아니면 폐전지에 따른 금속용해 거동 차이에 의한 것인지 판단하는 것은 극히 곤란하였다. 리튬이온농도는 4일째까지의 증가는 극히 미미하나 7일째

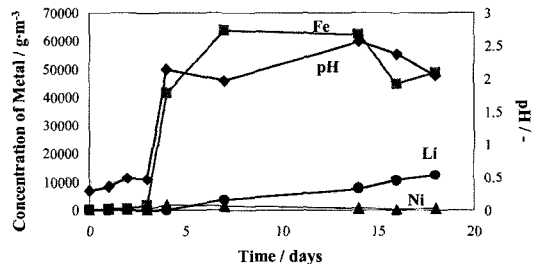


Fig. 2. pH and concentrations of Fe, Ni, and Li in the experiment at 35°C.

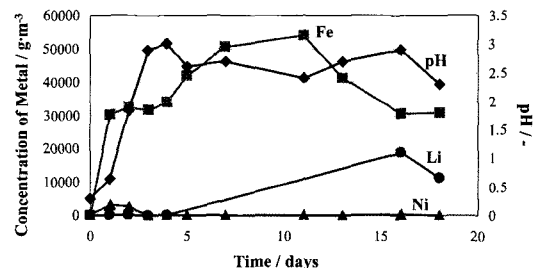


Fig. 3. pH and concentrations of Fe, Ni, and Li in the experiment at 50°C.

3540 g·m⁻³를 기록한 후, 18일째 12360 g·m⁻³까지 증가하였다. 실험이 500cm³ 용액에서 진행되었으므로 용액 중의 리튬은 6.18 g이며 이는 38%의 리튬이 용해되어 있는 것을 의미한다.

반응온도 50°C에서 수행된 페리튬일차전지 안정화 실험결과(Fig. 3)에서 pH는 1일째 1.8, 그리고 4일째 3.0까지 상승한 후, 2.5~3.0을 유지하였다. 철이온 농도는 1일째 30150 g·m⁻³까지 증가하였으며, 11일째 54020 g·m⁻³를 기록한 후 다시 30000 g·m⁻³까지 감소하였다. 니켈은 1일째 3225 g·m⁻³까지 농도가 증가하였으나 3일째 이후에는 100 g·m⁻³이하의 농도로 감소하였다. 35°C 실험에서와 같이 pH, 철이온농도, 니켈이온농도의 증가는 스테인리스강의 용해가 원인이라고 생각된다. Fig. 3에서 pH가 3 부근까지 상승하였을 때 철이온농도가 낮아지며 pH가 2.5~2.7일 때 철이온농도가 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 그러나 위에서 설명한 바와 같이 침전물의 회수 및 분석이 극히 곤란하여 정확한 pH와 금속이온농도의 관계를 파악할 수 없었다. 리튬은 18710 g·m⁻³까지 농도가 증가한 것을 확인할 수 있었으며 이는 9.35 g, 즉 57.7%의 리튬이 용해되어 있는 것을 의미한다.

Fig. 4는 35°C와 50°C에서 수행된 페리튬일차전지 안정화실험의 pH 결과를 비교한 그래프이다. 35°C에서 수행된 결과에 비하여 50°C에서 수행된 실험의 pH가 상승속도가 빠르며 실험기간 중 더 높은 값을 유지하고 있다. 이 결과는 50°C에서 수행된 안정화 실험에서 Eq. (1)의 반응이 더욱 활발하게 일어나 반응속도가 빠르고, 금속과 수소이온의 반응이 더 많았다는 것을 나타낸다고 생각된다. 즉, 반응온도가 높을수록 안정화 반응이 빨라진다고 생각할 수 있다. Fig. 5와 6은 Fig. 2와 3의 철이온농도와 니켈이온농도의 변화를 각각 나타낸 것이다. Fig. 5에서 3일째까지는 50°C에서 용해된 철이

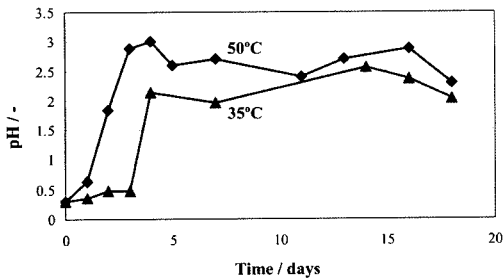


Fig. 4. Comparison of pHs in experiments performed at 35°C and 50°C.

온농도의 증가속도가 빠르나 4일째부터는 35°C에서의 용해된 양이 더 많은 것으로 나타났다. Fig. 6의 니켈 농도 변화도 비슷한 경향을 나타내며, 3일째까지는 50°C에서 용해된 니켈이온농도가 높으나 4일째부터는 35°C에서의 니켈이온농도가 더 많은 것으로 나타난다. 특히, 50°C에서의 니켈이온농도는 5일째 이후로 거의 검출되지 않았다. 실험 3일째까지는 높은 온도에서 스테인리스강의 용해반응속도가 더 높아 pH 및 철과 니켈이온농도가 50°C에서 높게 나타나나, 4일째 이후로 pH의 상승과 더불어 철과 니켈이온이 침전하여 35°C의 농도보다 낮게 나타난 것으로 생각된다. 육안으로 관찰하였을 때 50°C에서 실험한 삼각플라스스크에서 35°C에서보다 더 많은 침전물이 관찰되었으나, 위에서 설명한 바와 같이 정량적인 평가는 곤란하였다.

안정화실험을 마친 후 회수된 페리튬일차전지를 건조하여 파쇄실험을 진행하였고, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 50°C에서 안정화된 페리튬일차전지의 파쇄실험에서 폭발은 전혀 관찰되지 않았다. 그러나 35°C에서 안정화된 페리튬일차전지 파쇄실험의 경우, 2일 동안 안정화된 폐전지를 분쇄한 경우 강력한 폭발이 관찰되었으며, 3일 동안 안정화된 폐전지를 분쇄한 경우 약한 폭발이 확인되었다. 이 결과를 Fig. 2~6의 이온농도 변

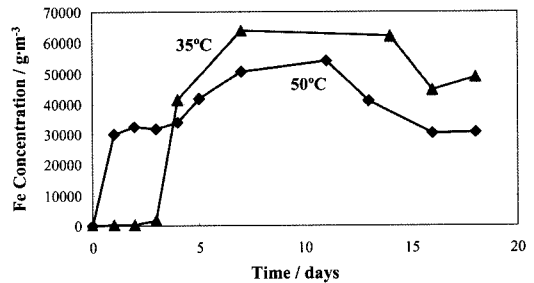


Fig. 5. Comparison of Fe concentrations in experiments performed at 35°C and 50°C.

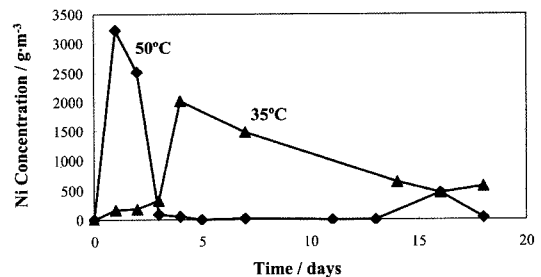


Fig. 6. Comparison of Ni concentrations in experiments performed at 35°C and 50°C.

Table 2. Explosion during shredding the lithium primary batteries discharged

Day	1st	2nd	3rd	4th	7th	14th	16th	18th
35°C	Explosion	Explosion	Weak Explosion	None	None	None	None	None
Day	1st	2nd	3rd	5th	7th	11th	13th	16th
50°C	None	None	None	None	None	None	None	None

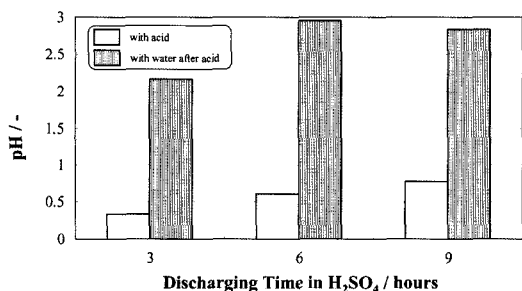


Fig. 7. Comparison of pHs after discharged with acid(white) and with water(strip) after acid solution. Discharging time indicates the time discharged in acid solution.

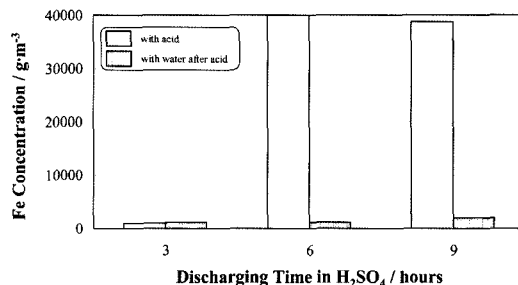


Fig. 8. Comparison of Fe concentrations after discharged with acid(white) and with water(strip) after acid solution. Discharging time indicates the time discharged in acid solution.

화와 비교하였다. 폭발의 주요원인이라고 생각되는 리튬은 페리튬일차전지가 안정화된 50°C 실험에서의 1일째와 35°C 실험에서의 4일째 결과에서 전혀 검출되지 않았다. 페리튬일차전지가 파쇄실험에서 폭발하지 않은 시기(50°C에서 1일째, 35°C에서 4일째)와 이온농도 변화를 비교하면 pH, 철이온농도, 니켈이온농도가 급증하는 때와 일치하는 것을 알 수 있다. 이 결과는 페리튬일차전지내의 리튬성분이 용액으로 용해되어 나오지는 않았지만, 페리튬일차전지의 케이스 성분인 스테인리스강이 용해되어 외부의 용액이 내부로 흘러들어가 리튬을 안정화시켰을 가능성을 보여준다. 또는 건조과정에서 수증기를 함유하는 공기가 내부로 유입되어 리튬을 안정화시켰을 가능성이 있다.

건조과정에서 공기의 유입에 의하여 리튬이 안정화되는 것은 페리튬일차전지의 발열반응을 유발하여 폭발사고 등을 유발할 수 있으므로 바람직하지 않다. 50°C에서 황산에 의하여 안정화할 경우, 본 실험의 결과에서는 1일에 안정화되는 것으로 나타났으나, 페리튬일차전지에 따라 안정화되는 속도가 다소 차이가 나기 때문에 건조나 파쇄과정 중 폭발사고를 방지하기 위하여 더 장시간 안정화를 진행하는 것이 바람직하다. 그러나 장시간 황산용액에 방치할 경우, 페리튬일차전지 중 금속성분의 급속한 용해가 진행되어 파쇄과정 이후 회수되는 금속의 양 및 순도가 감소하기 때문에 바람직하지 않다. 따

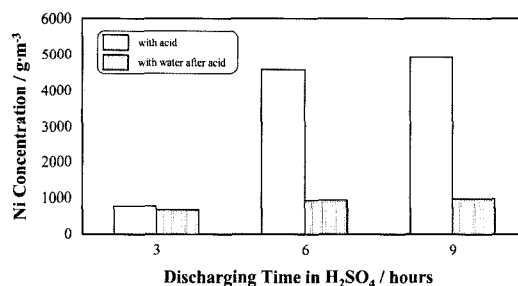


Fig. 9. Comparison of Ni concentrations after discharged with acid(white) and with water(strip) after acid solution. Discharging time indicates the time discharged in acid solution.

라서 본 연구에서는 황산에서의 안정화시간을 최소화한 후, 용액을 증류수로 치환하여 안정화시키는 2단 안정화법을 제안하여 실험하였다.

Fig. 7에 황산으로 안정화실험을 3, 6, 9시간 진행한 후의 pH와 각 실험의 산을 증류수로 치환하고 24시간 경과한 pH를 나타내었다. 황산 0.5 kmol·m⁻³의 pH는 0.3이므로 황산에 3시간 동안 안정화실험을 진행하였을 경우, pH 변화는 거의 없는 것을 알 수 있다. 그러나 6시간과 9시간 동안 안정화를 진행한 경우에 pH의 상승이 나타났으며, 이에 따라 철(Fig. 8), 니켈(Fig. 9), 리튬(Fig. 10)이온농도가 3시간 안정화를 진행한 결과에

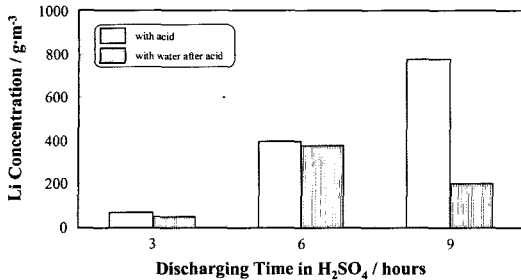


Fig. 10. Comparison of Li concentrations after discharged with acid(white) and with water(striped) after acid solution. Discharging time indicates the time discharged in acid solution.

비하여 높게 나타난 것을 알 수 있다. 6시간과 9시간 안정화를 진행하였을 때 철이온농도와 니켈이온농도는 각각 $40000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 과 $4000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 정도를 나타내고 있으며, 이는 Fig. 3의 결과와 비교하면 1일 경과한 농도와 비슷하게 나타난 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 각 페리튬일차전지의 차이에 기인한 것일 수도 있으나, 진탕항온수조와 증탕법의 가열방식 차이에 기인하는 것일 수도 있으므로, 실제 현장에 적용할 때에 온도조절방법을 적절히 고려해야한다고 생각된다.

증류수로 치환하고 24시간 방전한 후의 pH(Fig. 7)는 2~3을 나타내고 있다. 증류수의 pH는 5.4이었으나, 산으로 안정화시키는 과정에서 폐전지 표면에 묻은 산의 영향과 폐전지 내부의 SOCl_2 의 영향으로 pH가 감소되었다고 판단된다. SOCl_2 는 수용액에서 다음과 같이 반응한다.



Eq. (2)에서 알 수 있듯이 SOCl_2 는 물과 반응하여 염산을 생성시킨다. Fig. 8~10에서 알 수 있듯이, 증류수에 의한 안정화과정에서 금속이온농도가 검출되었다. 그러나 철이온농도는 $1170 \sim 1990 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 니켈이온농도는 $660 \sim 960 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, 리튬이온농도는 $50 \sim 380 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 으로 산에서 안정화한 결과에 비하여 매우 낮은 농도임을 알 수 있다. 증류수로 안정화된 페리튬일차전지를 파쇄한 결과, 3시간동안 산에서 방전한 후 증류수로 24시간 동안 안정화한 폐전지는 파쇄기에서 폭발하였으나, 6시간과 9시간 산에서 방전한 후 증류수로 24시간 동안 안정화한 폐전지는 폭발하지 않았다. 이 결과는 본 연구에서 새롭게 제안된 2단 안정화 방식(황산과 증류수에 의한 연속 안정화)으로 페리튬일차전지를 안정화하는 경우에

금속의 큰 손실이나 건조공정 중의 폭발위험 없이 페리튬일차전지를 안정적으로 파쇄할 수 있다는 것을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 경제성 있는 페리튬일차전지 재활용 공정을 개발하기 위하여 페리튬일차전지의 최적 방전공정의 조건을 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 황산만으로 페리튬일차전지를 안정화하는 방법에서 50°C 의 결과가 35°C 에서 수행된 결과보다 빠른 반응속도를 나타냈으며, 페리튬일차전지를 안정화시키는 기간도 4일에서 1일로 단축이 가능하였다. 이는 안정화공정이 온도에 의하여 크게 좌우된다는 것을 의미한다. 또한 증탕방식이 진탕항온수조방식에 비하여 반응속도가 빨랐으며, 이는 현장적용에서 온도조절방식이 안정화공정에 중요한 요인으로 작용할 수 있음을 의미한다.

(2) 페리튬일차전지의 안정화는 전지의 케이스 성분인 스테인리스강의 용해에 의하여 진행되었으며 이는 안정화공정 중의 용액 또는 건조공정 중의 공기에 의한 것이라고 생각된다.

(3) 산과 증류수를 이용한 2단 안정화 방식에 의하여 금속의 손실을 적게 하면서도 건조공정의 폭발위험 없이 페리튬일차전지를 안정화시킬 수 있었으며, 이는 페리튬일차전지 재활용 공정의 경제성을 향상시키는데 크게 기여하리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/환경부의 21C 프론티어연구개발사업인 자원재활용기술개발사업단으로부터 연구비를 지원받아 수행된 “폐전지로부터 유기금속회수 및 기능성소재 제조 실용화 기술개발”에서 얻어진 연구결과의 일부입니다. 연구비를 지원해 주신 관계자에게 감사 드립니다.

참고문헌

1. 백운기, 박수문, 2004: “전기화학”, 제2판, p. 344, 청문각, 서울, 대한민국
2. 손정수 등, 2005: “페리튬일차전지의 자원화를 위한 안정적 해체”, 한국자원리사이클링학회 학술발표대회, pp. 62-67, (사)한국자원리사이클링학회, 2005년 5월.

3. 손정수 등, 2006: “페리튬일차전지의 물리적 처리공정 연구”, 한국폐기물학회 학술연구발표회, pp. 364-367, (사) 한국폐기물학회, 2006년 5월.

4. Pistoia, G., Wiaux, J.-P., and Wolsky, S. P., 2001: “Used Battery Collection and Recycling(Miller, D. G. and McLaughlin, W.), “Recycling the Lithium Battery”, pp. 263-294, Elsevier, London, UK.

5. Sohn *et al.*, 2007: “Dismantlement of Spent Lithium Primary Batteries for Recycling”, International Symposium on Mineral and Materials Processing, pp. 151-156, KSGE, KIRR, and KIGAM, 2007년 4월, Daejeon, Korea.



柳 庚 權

- 1995 한양대학교 자원공학과 학사
- 1997 한양대학교 자원공학과 석사
- 2003 일본 홋카이도대학교 환경자원공학 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재 연구부 선임연구원



金 明 和

- 2006 한밭대학교 재료공학과 학사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재 연구부 근무

申 宣 明

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원
- 본 학회지 제 10권 제 6호 참조

梁 東 滄

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원
- 본 학회지 제 8권 제 5호 참조



姜 眞 求

- 2002 동아대학교 자원공학과 학사
- 2004 동아대학교 자원공학과 석사
- 현재 과학기술연합대학원대학교 자원순환공학 박사과정 재학중



孫 廷 秀

- 1985 서울대학교 자원공학과 학사
- 1987 서울대학교 자원공학과 석사
- 1992 서울대학교 자원공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재 연구부 금속회수연구실 실장