

리튬 資源 現況[†]

† 全 雄 · 韓基天 · 金畿永 · 金起弘

浦項產業科學研究院

Current Status of Lithium Resources[†]

† Uong Chon, Gichun Han, Kiyoung Kim and Ki Hong Kim

Research Institute of Industrial Science and Technology

요 약

리튬 이온 배터리가 빠르게 차세대 전기차의 핵심 기술이 되어감에 따라 리튬 자원에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 고에서는 리튬 매장량, 리튬 생산 및 수요 현황을 살펴보고 리튬의 회수 기술에 대해 간략히 소개하고자 한다.

주제어 : 리튬, 수요, 공급, 회수, 매장량

Abstract

There is more increasing interest in lithium resources as lithium ion batteries are rapidly becoming the technology of choice for the next generation of Electric Vehicles. In this paper, current status on lithium reserve base, lithium supply and demand is reviewed, and technology for lithium recovery is briefly introduced.

Key Words : Lithium, demand, supply, recovery, reserve

1. 서 론

기후변화와 관련하여 친환경 녹색성장을 지향하면서 산업구조가 급격히 변화하고 있다. 자동차 산업도 예외가 아니라서 생산 시스템을 친환경적으로 전환함은 물론 경량화 소재를 채용하여 연료 소비를 줄이는 등 기후변화에 대응하기 위한 노력에 집중하고 있다. 특히, 전기 자동차의 제조는 자동차 업계는 물론 국가적으로도 기후변화에 대응하기 위한 핵심 전략 중 하나이다.

전기 자동차의 부품 중 배터리는 핵심 부품 중 하나이며 리튬은 배터리의 주요 물질로서 그 수요가 증가함에 따라 각국은 다각적으로 리튬 자원을 확보하기 위해 노력하고 있다. 이차전지는 사용함에 따라 고용체가 발생해 짐차 용량이 감소하는 메모리 효과의 단점이 있으나 양극재로 리튬화합물이 사용되는 리튬 이온 배터리

는 이러한 메모리 효과가 미미해 극판의 손실이 적어 장수명화가 가능하기 때문이다.

리튬은 가벼운 금속원소로서 지각에 미량 존재하는 희소금속 중 하나로 염수에서 75%, 광석에서 25% 생산되고 있다. 2008년 전세계 리튬소비량은 약 22,000톤으로 세라믹, 전지, 윤활유, 알루미늄 합금 등에 사용되고 있는데, 향후 전기차 생산량이 급증할 경우 2020년에는 약 10배 이상 증가할 것으로 예상되고 있다. 리튬수급 전문가들의 시나리오는 다양하지만 2020년을 기준으로 모건스탠리 900만대, 월리엄타힐 4,000만대, Global Insight 4,000만대의 전기 자동차 생산을 전망하고 있어 약 40만톤(Li 기준)의 리튬이 소요될 것으로 추정되고 있다. 그러나 리튬의 공급측면에서 보면 전략 광물을 포함하여 대부분의 광물처럼 리튬도 지역편중이 매우 심하다. 특히 염수의 70% 이상이 아르헨티나, 칠레 등 남미 4개국에 편중되어 있다.

리튬은 국내에서 전략광물은 아니지만 우리나라는 리튬을 전량 수입하고 있기 때문에 향후 전기 자동차 수

[†] 2010년 4월 20일 접수, 2010년 5월 17일 1차수정

2010년 6월 1일 수리

* E-mail: uongchon@rist.re.kr

요 증가에 따라 리튬 수요량이 급격히 증가될 것이 예상됨으로 국내 자동차 산업을 포함한 리튬 산업의 경쟁력 확보를 위해 리튬 자원의 현황과 리튬을 회수하는 주요 공정을 분석하고자 한다.

2. 리튬 자원 분포 현황

리튬의 지각 중 함유량은 20 ppm 정도로 지각을 구성하는 원소 중 28번째로 많은 원소이다. 리튬은 주로 광석, 해수, 염수에서 채취가능하며 해수가 리튬 함유량이 가장 많으나 용존된 리튬농도가 0.18 ppm으로 매우 낮아 주로 염수 및 광석으로부터 리튬이 추출, 생산되고 있다.

리튬은 주로 페그마타이트 광상에 수반되어 산출되며, 주요 리튬 광물은 Amblygonite $[(Li,Na)Al(PO_4)(F,OH)]$, Li 함량 3.5~4.4%, Eucryptite $[LiAlSiO_4]$, Li 함량 2.5~3.0%, Lepidolite [리티아운모, $K(Li,Al)_3(Si, Al)_4O_{10}(F,OH)_2$, Li 함량 1.7~2.2%], Petalite $[Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 8SiO_2]$, $LiAlSi_4O_{10}$, Li 함량 1.6~2.1%, Spodumene [리티아휘석, $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$, $LiAlSi_2O_6$, Li 함량 1.35~3.5%] 등으로 리티아휘석 매장량이 가장 많다. 리튬을 포함하는 광석은 주로 중국, 짐바브웨, 브라질 등에 분포하며 매장량은 약 760만톤으로 추정되고 있다.

육상염수, 온천염수, 유전염수 등 리튬이 용존되어 있는 염수는 1,880만톤으로 추정하고 있으며, 이 중 육상염수가 94%인 약 1,770만톤으로 염수 중 대부분을 차지하고 있다. 리튬 용존량이 높은 육상염수(소금호수)는

칠레의 Atacama, Ascotan, 볼리비아의 Uyuni, Empexa, 아르헨티나의 Hombre Muerto, Del Rincon 등 리튬 용존 염수의 70% 이상이 칠레, 아르헨티나, 볼리비아 등 남미 4개국에 부존하고 있으며, 리튬 용존량은 186 mg/L~1,570 mg/L인 것으로 보고되고 있다. 그 밖에 리튬점토 200만톤, 자다르석 약 80만톤으로 추정되고 있다.

Fig. 1은 리튬 자원을 보유한 국가를 나타낸 것으로 볼리비아, 칠레, 아르헨티나, 브라질, 중국, 미국, 캐나다, 호주 등이 주요 리튬 매장국들이다. 볼리비아가 전체 추정매장량의 35.9%로 가장 많고, 칠레가 19.95%, 중국 17.95%, 아르헨티나, 13.3%, 브라질 6.05%이다. 볼리비아, 아르헨티나, 칠레, 브라질 등 남미 지역 국가들이 리튬 추정매장량의 75% 이상을 보유하고 있어 일부 국가에 리튬 자원이 편중되어 있음을 알 수 있다.

3. 리튬 수요 및 생산 현황

광석으로부터 리튬 생산은 총 리튬생산의 23.4%로 '08년 기준 25,474톤(LCE, Lithium Carbonate Equivalent)이 생산되었으며, 주로 호주 퍼스, 캐나다 버닉 레이크 등에서 이루어지고 있으며 회수된 리튬은 주로 도자기나 frit의 원료 또는 탄산리튬으로 전환되어 산업에서 사용되고 있다. 염수로부터의 리튬 생산은 총 리튬생산의 76.3%를 차지하고 있으며('08년 LCE 82,042톤)으로 칠레, 아르헨티나 등 남미 국가에서 주로 생산되고 있다.

Fig. 2는 리튬의 주요 생산국을 나타낸 것으로 칠레,

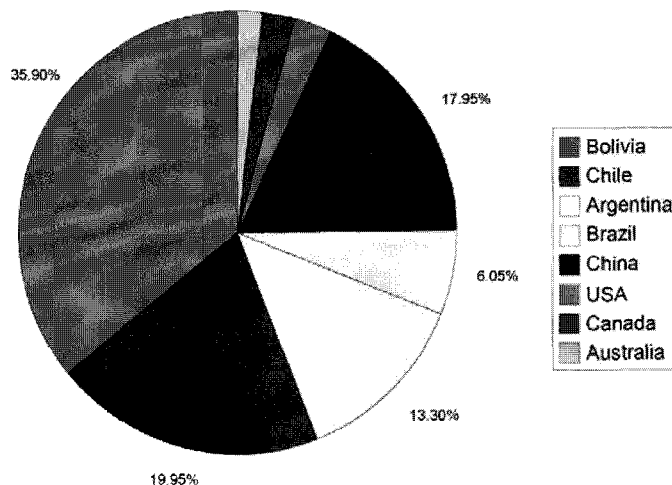


Fig. 1. Global lithium reserve base.

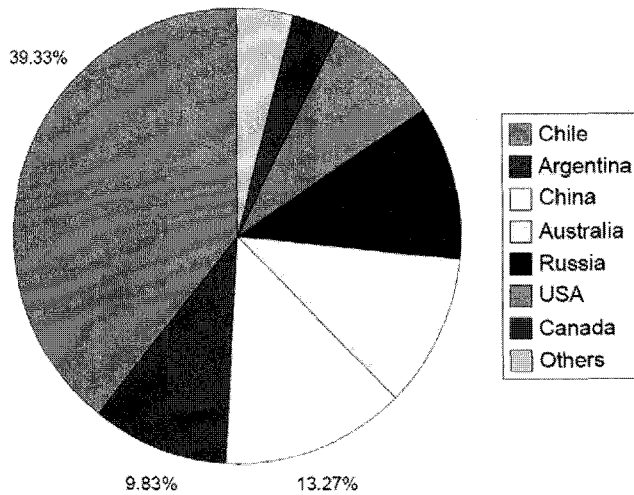


Fig. 2. Global lithium production (Metal equivalent).

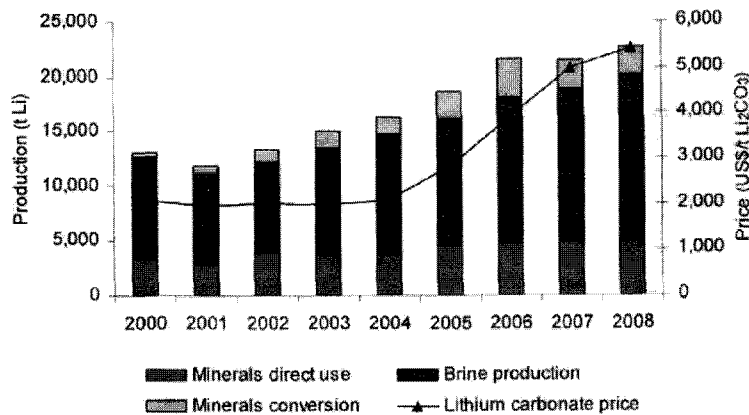


Fig. 3. Lithium production and price.

아르헨티나, 중국, 호주, 러시아, 미국, 캐나다 등으로 칠레가 39.33%로 가장 많이 생산하고 있으며, 중국, 러시아, 아르헨티나 순으로 생산하고 있다.

Fig. 3은 리튬의 생산량과 리튬가격의 추이를 나타낸 것이다. 2002년 이후로 리튬 생산량은 지속적으로 증가하고 있으며, 염수로부터의 생산량의 증가폭이 커지고 있음을 알 수 있다. 리튬 가격은 2000년에 약 \$2,000에서 2004년까지 가격이 유지되었으나 2004년 이후에 가격이 급격히 높아져 2008년에는 \$5,500까지 높아졌는데, 이러한 리튬 가격의 상승은 전기자동차 생산에 따른 리튬 배터리의 수요 증가에 기인하는 것으로 사료된다.

리튬의 최근 수요현황은 원광과 정광 형태로 15%, 유리나 요업 산업에 사용되어지는 탄산리튬 31%, 알루

미늄 생산에 사용되는 탄산리튬 16%, 윤활유에 사용되는 수산화리튬 20%, 리튬 금속으로 5% 등으로 나타나고 있다. 리튬의 용도별 점유율을 보면 배터리의 원료가 27%로 가장 높고, 그리스 12%, 유리 8%, frits 9% 순이며, 기타 의약품, 알루미늄, 폴리머 등에 사용되고 있다. 리튬의 용도별 판매 현황에서 순도와 부가 가치 부분을 고려하면 점차 리튬의 가격 및 가치가 증가하고 다양화되는 경향을 보이는데, 예를 들면 폴리머 또는 의약품의 점유율은 8%이나 총 리튬 판매액의 약 30%를 차지하고 있어 향후 리튬의 고부가가치 수요가 증대될 것으로 예상된다.

특히, 리튬은 온실가스, 친환경 등이 강조되고 있는 시점에 전기차, 배터리 등 환경적인 면과 기능 및 효율

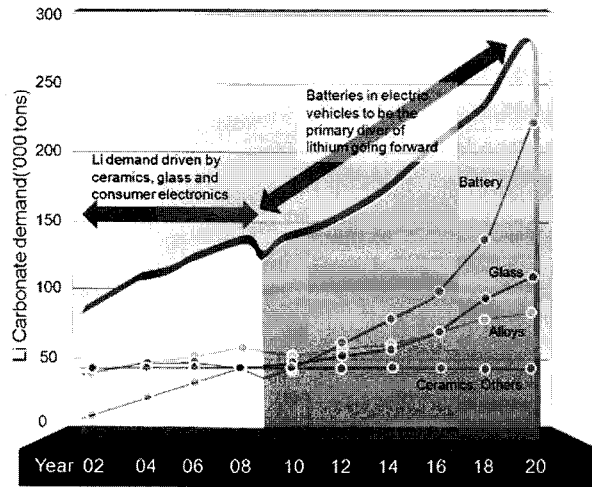


Fig. 4. Lithium forecast demand.

적인 면에서 효과적이기 때문에 그 수요가 급증할 것으로 예상되며, 특히 EV, HEV, PHEV 등 전기차의 수요가 급증할 것으로 전망되고 있다. Fig. 4는 연도별 리튬의 주요 용도에 따른 수요량을 나타낸 것이다. 2009년까지는 세라믹, 유리 등 전통적인 리튬 수요 분야의 증가가 두드러진 반면 2009년 이후의 리튬 수요는 전기차에 소요되는 배터리가 리튬 수요를 급격히 증가시키는 견인차 역할을 하여 2020년에는 약 270만톤의 리튬(Li₂CO₃ 기준) 수요가 발생할 것으로 예상되고 있다.

4. 리튬 회수 기술

4.1. 광석으로부터의 리튬 회수 기술

페그마타이트 광상으로부터 리튬의 회수는 호주, 브라질, 짐바브웨 등에서는 주로 노천 채굴로 이루어지며 중국이나 캐나다는 갱내 채굴이 이루어지고 있다. 주로 자원 처리 기술인 파쇄, 중액 선별, 분쇄, 분급, 부유선별 등이 적용되어 리튬 광물의 품위를 높인다. 매장량이 가장 많은 스포듀민으로부터 리튬의 회수는 1940년대부터 Lithium Corporation of America(LCA)에서 황산 배소 침출 공정(acid-roast process)이 사용되었다. Fig. 5는 이 공정을 간략히 나타낸 것이다. 먼저 스포듀민을 1,050~1,150°C로 배소시킴으로써 α-스포듀민에서 β-스포듀민으로 전환시킨다. α-스포듀민은 산에 쉽게 용해되지 않지만, β-스포듀민은 산에 쉽게 녹기 때문이다. 배소된 정광을 냉각시킨 후 분쇄하여 황산을 가하여 슬

러리를 만든 후 다시 약 200~250°C로 가열한다. 이 슬러리에 물을 가하여 Li₂SO₄ 용액을 만든 후 석회석을 넣어 철과 알루미늄을 제거한 후 여과하며 석회와 소다회를 첨가하여 칼슘과 마그네슘을 제거한다. 그 후 황산으로 중화한 후 증발시켜 200~250g/L Li₂SO₄까지 농축시킨다. 다시 소다회를 첨가하고 90~100°C로 가열하여 Li₂CO₃를 침전시킨다. 회수된 Li₂CO₃에 잔류하는 Na₂SO₄는 세정된 후 증발시켜 부산물로 발생된다.

또 다른 방법은 limestone 또는 lime-roast process로 광물로부터 리튬 화합물을 생산하는 방법이다. 주로 LiOH를 생산하는 데 사용되며, 스포듀민을 석회와 함께 1,030~1,040°C에서 배소하여 β-스포듀민을 형성시킨 후 dicalcium silicate와 lithium oxide를 형성시킨다. 그 후 냉각, 분쇄하여 뜨거운 물을 첨가하여 lithium hydroxide 용액을 제조한다. 이 때, dicalcium silicate는 침전하여 제거되며 lithium hydroxide 용액을 증발시켜 농축시킨다. 농축됨에 따라 lithium hydroxide monohydrate 슬러리가 만들어지는데 증기를 사용하여 건조시켜 lithium hydroxide monohydrate를 제조하거나 진공 건조하여 lithium hydroxide를 제조한다.

광석으로부터의 리튬 회수는 염수로부터의 리튬 회수에 비해 처리공정이 많고 산 및 알칼리 사용량이 많아 1톤의 Li₂CO₃를 생산하기 위해 \$6,400의 비용이 소요되는 것으로 알려져 있다.

4.2. 염수로부터의 리튬 회수 기술

염수로부터의 리튬 추출은 주로 자연 증발에 의해 리

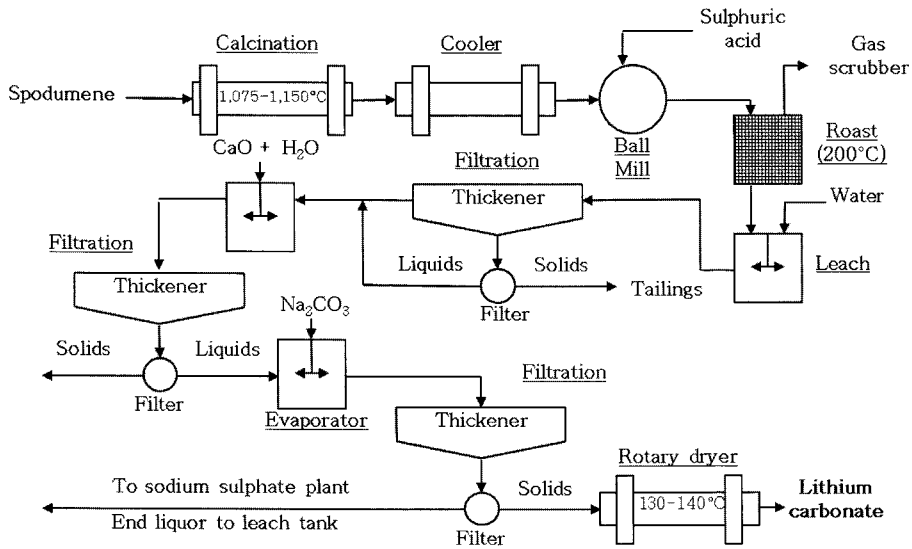


Fig. 5. Simplified flow sheet showing the production of lithium carbonate from spodumene by the acid-roast process.

튬을 농축시킨 후 Na_2CO_3 를 첨가하여 Li_2CO_3 형태로 리튬을 회수한다.

Fig. 6은 자연 증발에 의해 염수로부터 리튬을 회수하는 공정 중 하나를 나타낸 것으로 9개의 pond에서 리튬이 농축된다. 처음 3개의 pond에서 증발에 의해 염이 석출되며, 4번째 pond에서 lime을 첨가하여 gypsum을 침전시키고 5번째 pond에서 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 를 침전시킨다.

6번째 pond에서는 NaCl 과 KCl (sylvenite)를 침전시키고 7번째 pond에서 K_2SO_4 (glaserite)를 침전시킨다. 8번째와 9번째 pond에서 KCl 과 K_2SO_4 등 염을 모두 석출시킨다. 단계별로 염을 석출시킨 후 최종 염수는 약 6%의 리튬을 함유하며 Li_2CO_3 를 제조하기 위한 공장으로 이송된다. 이송된 리튬 용액은 소다회를 첨가하여 Ca 를 침전, 제거한 후 93°C 로 가열하여 다시 소다회와

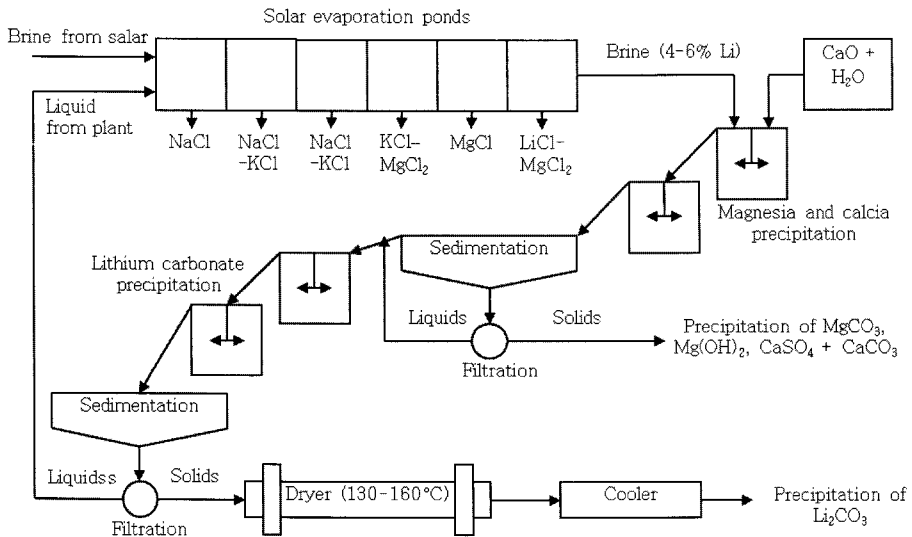


Fig. 6. Extraction and processing of brines from the Salar de Atacama, Chile by Nevada by SCL.

반응시켜 Li_2CO_3 를 제조한다. 일반적으로 염수내 Mg 등은 리튬을 회수하는 공정에서 함께 침전하기 때문에 염수 중 Mg/Li 비가 높을수록 리튬 회수에 불리한 것으로 보고되고 있다.

염수로부터의 리튬 회수는 자연 증발에 의해 단계별로 염을 석출시키며 리튬을 농축시키는 공정으로 염수에 따라 단계별 석출염 형태가 다소 다른 점을 제외하면 유사한 공정에 의해 리튬을 회수한다. 태양열을 이용하여 리튬을 농축하기 때문에 광석으로부터의 리튬 회수에 비해 에너지 비용이 낮으나 염수가 주로 고지대에 있기 때문에 리튬을 농축하는 데 1~2년의 기간이 소요되며, Li_2CO_3 1톤당 \$2,300의 비용이 소요되는 것으로 보고되고 있다. 그러나, 리튬 회수율이 25% 정도로 매우 낮기 때문에 회수율을 높이기 위한 공정 개발이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

리튬은 지역적으로 편중이 심한 자원 중 하나로 국내에는 거의 부존되어 있지 않은 자원이다. 전기 자동차 등 배터리 수요 급증이 명확한 상황에서 기술 개발을 통한 해외 리튬 자원을 확보하기 위한 노력이 필요한 시점이라고 할 수 있다. 특히, 우리나라는 2009년 기준 약 15,500톤 정도의 리튬을 소비하여 중국, 일본에 이어 세계 3위의 리튬 소비국이지만 전량 수입에 의존하고 있다.

배소 및 황산으로 침출하는 광석으로부터의 리튬 회수는 생산비용이 높으며, 자연 증발에 의한 염수로부터의 리튬 회수는 생산비용은 낮으나 회수율이 매우 낮은 단점을 가지고 있다. 특히, 염수 중 리튬 매장량 및 생산량이 광석보다 2배이상 높은 것을 감안한다면 염수로부터의 경제성 있는 리튬 회수 기술을 개발하는 것이 리튬 자원의 확보에 유리할 것이다. 증발비용을 고려하면 증발법에 기초한 기술은 생산비용이 낮은 기존의 자연 증발법에 의한 리튬 회수 공정과의 경쟁에서 우위를 가질 수 없을 것으로 생각된다. 따라서 리튬 회수를 위한 경제성 있는 신 기술의 확보가 필요하며 개발 기술을 기반으로 해외 리튬 개발에 참여함으로써 국내 부존되어 있지 않은 리튬 자원을 확보할 수 있을 것이다.

리튬 자원의 확보를 통해 전기 자동차 생산을 통한 국내 자동차 산업의 경쟁력을 제고시킬 수 있음은 물론 우리나라가 기후변화 대응과 친환경 산업을 선점할 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 생각한다.

참고문헌

1. The Economics of Lithium, Roskill, 2009.
2. Lithium: Extracting the Details on the Lithium Market, Credit Suisse, 2009.
3. The Trouble with Lithium : Implications of Future PHEV Production for Lithium Demand, William Tahil, 2007.
4. Lithium Resources, Magnum Venture Capital, 2010.

全 雄

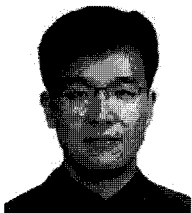
- 2002. 포항공과대학교 신소재공학 박사
- 현재 포항산업과학연구원 수석연구원

韓 基 天

- 2009. 서울대학교 공학박사
- 현재 포항산업과학연구원 연구원

金 畿 永

- 2007. 일본 Yamaguchi 대학교 공학박사
- 현재 포항산업과학연구원 책임연구원



金 起 弘

- 1982. 한양대학교 공학박사
- 현재 포항산업과학연구원 에너지자원연구본부장

