

# 2022 추계자원연합학술대회 및 제8회 광해방지 국제심포지엄

2022. 11. 2.-11. 4. / 강원도 하이원 그랜드호텔

		11. 2.		11. 3.								
		광해방지 국제 심포지엄	추계자원연합학술대회									
			일반세션					특별세션				
ROOM		컨벤션홀 KW (5층)	컨벤션홀 KW (5층)	컨벤션홀 L (5층)	사파이어 (5층)	루비 (5층)	에메랄드 (5층)	스페이드 (6층)	하트 (6층)	다이아몬드 (6층)		
10:00	10:30	개회식	개회식									
10:30	11:30	기조강연	기조강연									
11:30	12:00		한국자원공학회 정기총회 (11:30~12:00)									
12:00	13:30	중식										
13:30	14:00	세션발표	한국석유공학회 정기총회 (13:30~14:00)	한국암반공학회 정기총회 (13:30~14:00)								
14:00	14:15		석유가스개발 Ⅰ	일암논문상 수상발표 (14:00~14:30)	광물자원개발 및 신재생 에너지	자원활용소재 Ⅰ	지구물리 및 물리탐사 Ⅰ	광업전주기 광해관리 (14:00~17:20)  break (15:40~16:00)	고준위방사성 폐기물 심층처분과 지구과학적 조사 (15:00~17:20)	스마트 자원개발 융합인력양성 R&D 발표회 (14:30~16:30)		
14:15	14:30			암반공학 Ⅰ								
14:30	14:45											
14:45	15:00											
15:00	15:15											
15:15	15:30		break									
15:30	16:00		석유가스개발 Ⅱ	암반공학 Ⅱ	자원경제 정책	자원활용소재 Ⅱ	지구물리 및 물리탐사 Ⅱ					
16:00	16:15											
16:15	16:30											
16:30	16:45											
16:45	17:00											
17:00	17:15											
17:15	17:30											
17:30	17:45											
18:00		-	간담회(그랜드볼룸 4F)									

		11. 4.						
		추계자원연합학술대회						
		일반세션		특별세션				
ROOM		사파이어 (5층)	루비 (5층)	에메랄드 (5층)	스페이드 I (6층)	스페이드 III (6층)	하트 (6층)	다이아몬드 (6층)
9:30	9:45	CCUS I	응용지질 및 환경지구화학 I	『미래 핵심원료자원 확보를 위한 자원특화대학』 공동 단기강좌 (10:00~13:00)	비전동오일 친환경 고효율 생산기술 (10:00~13:00)	2022년 지질자원데이터 활용 및 인공지능 경진대회 수상자 초청 발표 (10:00~12:00)	한반도 동남권 심부복합지구물리 모니터링 시스템 (TELLUS) 구축 사례 (10:00~12:00)	스마트 마인딩 전문 인력 양성 컨소시엄 연구 성과 발표 (10:00~12:00)
9:45	10:00							
10:00	10:15							
10:15	10:30							
10:30	10:45							
10:45	11:00	break						
11:00	11:15	CCUS II	응용지질 및 환경지구화학 II					
11:15	11:30							
11:30	11:45							
11:45	12:00							
12:00	13:00							

\*상기 일정은 행사장 상황에 따라 변경 될 수 있습니다.

No.	제목	저자	저자(소속)
PO-ME02	중간매질에 따른 폭약의 순폭도 변화 연구	<sup>1</sup> 김준하, <sup>2</sup> 정승원, <sup>1</sup> 이대원, <sup>1</sup> *김정규	<sup>1</sup> 전남대학교 <sup>2</sup> (주)한화/글로벌
PO-ME03	광산 안전·운영 통합관리 시스템	<sup>1</sup> *고광범	<sup>1</sup> 한국광해광업공단
PO-RE01	에너지 IoT 기반 실시간 신재생에너지 가상 프로슈머 비즈니스 모델	<sup>1</sup> *박상욱	<sup>1</sup> 강원대학교

### 자원경제정책 (Energy Economics & Policy)

No.	제목	저자	저자(소속)
PO-EP01	에너지자원가격에서의 단일요인 확률과정모형과 2요인 확률과정모형의 예측력 비교분석	<sup>1</sup> *박재영	<sup>1</sup> 서울대학교
PO-EP02	지역별(미국, 유럽, 아시아) 천연가스 및 원유가격의 동조화 분석	<sup>1</sup> *김관섭, <sup>1</sup> 고상현, <sup>2</sup> 김세령, <sup>1</sup> 최재욱	<sup>1</sup> 서울대학교 <sup>2</sup> 고려대학교
PO-EP03	코로나 신규 확진자수 증가가 가정용 전기 소비량에 미치는 영향 분석	<sup>1</sup> 윤지유, <sup>2</sup> 정재호, <sup>2</sup> *김관섭	<sup>1</sup> 숙명여자대학교 <sup>2</sup> 서울대학교
PO-EP04	해상풍력 경매제도 구성요소 및 해외동향 분석	<sup>1</sup> *이지현	<sup>1</sup> 서울대학교

### 자원활용소재 (Mineral & Materials Processing)

No.	제목	저자	저자(소속)
PO-MP01	시멘트 공정 내 Calciner의 입자거동해석 연구	<sup>1</sup> 서준형, <sup>1</sup> 김영진, <sup>1</sup> 최문관, <sup>1</sup> 조계홍, <sup>1</sup> *조진상	<sup>1</sup> 한국석회석신소재연구소
PO-MP02	해수담수화 농축수 및 전지폐액 내 리튬회수를 위한 분리막 기술 연구 동향	<sup>1</sup> 박현수, <sup>1</sup> 강승민, <sup>1</sup> *김현중	<sup>1</sup> 한양대학교
PO-MP03	페리튬이온배터리 양극 및 음극 활물질 분리를 위한 전처리 연구 동향	<sup>1</sup> 홍길상, <sup>1</sup> 박현수, <sup>1</sup> Allan Gomez-Flores, <sup>1</sup> Sadia Ilyas, <sup>2</sup> 이준섭, <sup>1</sup> *김현중	<sup>1</sup> 한양대학교 <sup>2</sup> 한국광해광업공단
PO-MP04	알루미늄 분말을 이용한 코발트와 니켈 세멘테이션 효율 개선을 위한 전자매개체의 활용	<sup>1,2</sup> *최상현, <sup>2</sup> 전상희, <sup>2</sup> 박일환, <sup>2</sup> Mayumi Ito, <sup>2</sup> Naoki Hiroyoshi	<sup>1</sup> 포항산업과학연구원 <sup>2</sup> 홋카이도대학교
PO-MP05	결정질 실리콘 태양광 폐패널 내 유용금속 회수를 위한 기초 특성 분석	<sup>1</sup> 최소원, <sup>1</sup> 진수현, <sup>1</sup> Sadia Ilyas, <sup>1</sup> Humma Cheema, <sup>1</sup> *김현중	<sup>1</sup> 한양대학교
PO-MP06	폐금속자원에서의 용매추출을 통한 세륨 회수 연구	<sup>1</sup> Sadia Ilyas, <sup>1</sup> 최소원, <sup>1</sup> *김현중	<sup>1</sup> 한양대학교
PO-MP07	폐 플라스틱 열분해 공정 잔사물의 순환자원화를 위한 활용 방안 고찰	<sup>1</sup> 이원재, <sup>1</sup> *이채구, <sup>1</sup> 김원범, <sup>1</sup> 이재운, <sup>1</sup> 최재진	<sup>1</sup> (주)골든엔지니어링
PO-MP08	바이오차 처리를 통한 중금속 오염 토양 환경 개선 및 자생 식물 생육 평가	<sup>1</sup> 김한나, <sup>1</sup> 지효경, <sup>1</sup> 석영주, <sup>1</sup> 신수경, <sup>1</sup> *박진희	<sup>1</sup> 충북대학교
PO-MP09	품질시험을 통한 산림 골재의 특성 평가	<sup>1</sup> 윤선영, <sup>1</sup> 정우철, <sup>1</sup> 서준형, <sup>1</sup> 김양수, <sup>1</sup> 이승한, <sup>1</sup> *최문관	<sup>1</sup> 한국석회석신소재연구소

# 페리튬이온배터리 양극 및 음극 활물질 분리를 위한 전처리 연구 동향

홍길상<sup>1)</sup>, 박현수<sup>1)</sup>, Allan Gomez-Flores<sup>1)</sup>, Sadia Ilyas<sup>1)</sup>, 이준섭<sup>2)</sup>, 김현중<sup>1)\*</sup>

## A Research Trend on the Pretreatment Process for Spent Lithium Ion Battery Recycling

Gilsang Hong<sup>1)</sup>, Hyun-Su Park<sup>1)</sup>, Allan Gomez-Flores<sup>1)</sup>, Sadia Ilyas<sup>1)</sup>, JUNSEOP LEE<sup>2)</sup>, and Hyunjung Kim<sup>1)\*</sup>

오늘날 많은 국가들이 기후위기에 대응하고 지속가능한 사회를 구현하기 위해 탄소중립을 위해 노력하고 있다. 이에 탄소경제 산업의 내연기관차가 아니라 신재생에너지를 사용하는 전기차에 대한 관심 및 수요가 급증하고 있다. 전기차는 기존의 가솔린, 디젤, 가스 등의 원료가 아닌 충/방전이 가능한 리튬이온배터리와 같은 이차전지를 사용하고 있다. 전기차의 수요와 비례하여 리튬이온배터리의 수요도 증가하고 있으며, 향후 10년 뒤에는 엄청난 양의 이차전기가 필요할 것으로 예상된다. 안정적인 전기차 시장을 위해서는 원활한 배터리 공급이 필수적이기에 페리튬이온배터리의 재활용은 필수불가결한 실정이다.

양극, 음극, 전해질, 분리막으로 구성된 리튬이온배터리에는 리튬, 니켈, 코발트, 망간, 흑연 등의 유용한 물질들로 이루어져 있다. 기존에는 상대적으로 경제적 가치가 높은 유가금속을 회수하기 위한 건식 및 습식 제련 방식의 재활용이 진행되어오고 있으나 많은 에너지 소모와 강산을 사용하여 환경적, 경제적 단점이 존재하는 실정이다. 이에 많은 연구에서 화학적 구조를 분해하지 않고 구성성분을 직접 회수하는 직접 재활용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 직접재활용에서 양극 및 음극활물질의 분리를 위해 부유선별 공정이 주로 사용되고 있다.

부유선별 공정은 입자의 소수성 차이를 이용하여 기포에 부착하여 부유한 입자와 부착되지 못한 입자를 분리하는 공정으로 친수성 표면을 나타내는 양극활물질(리튬산화물)과 소수성 표면을 나타내는 음극활물질(흑연)을 분리하기 위해 사용되었다. 그러나 페리튬이온전지에는 PVDF와 같은 유기바인더 및 SEI(Solid Electrolyte Interphase)와 같은 불순물이 존재하여 두 물질의 분리가 쉽지 않은 것으로 알려져 있다. 이에 열처리, 초음파처리, 냉각분쇄 등의 다양한 전처리 공정이 불순물을 제거하기 위해 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 부유선별 공정을 통한 두 활물질 분리를 위해 필수적으로 요구되는 전처리 공정 연구에 대한 동향을 파악하였다.

## 사 사

본 연구는 2022년 산업통상자원부의 재원으로 한국광해광업공단(KOMIR) 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

\*Corresponding Author: kshjkim@hanyang.ac.kr

1) 한양대학교 자원환경공학과

2) 한국광해광업공단 연구기획팀



# A Research Trend on the Pretreatment for Spent Lithium Ion Battery Recycling

Gilsang Hong<sup>1</sup>, Hyun-Su Park<sup>1</sup>, Allan Gomez-Flores<sup>1</sup>, Sadia Ilyas<sup>1</sup>, JUNSEOP LEE<sup>2</sup>, and Hyunjung Kim<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Republic of Korea.

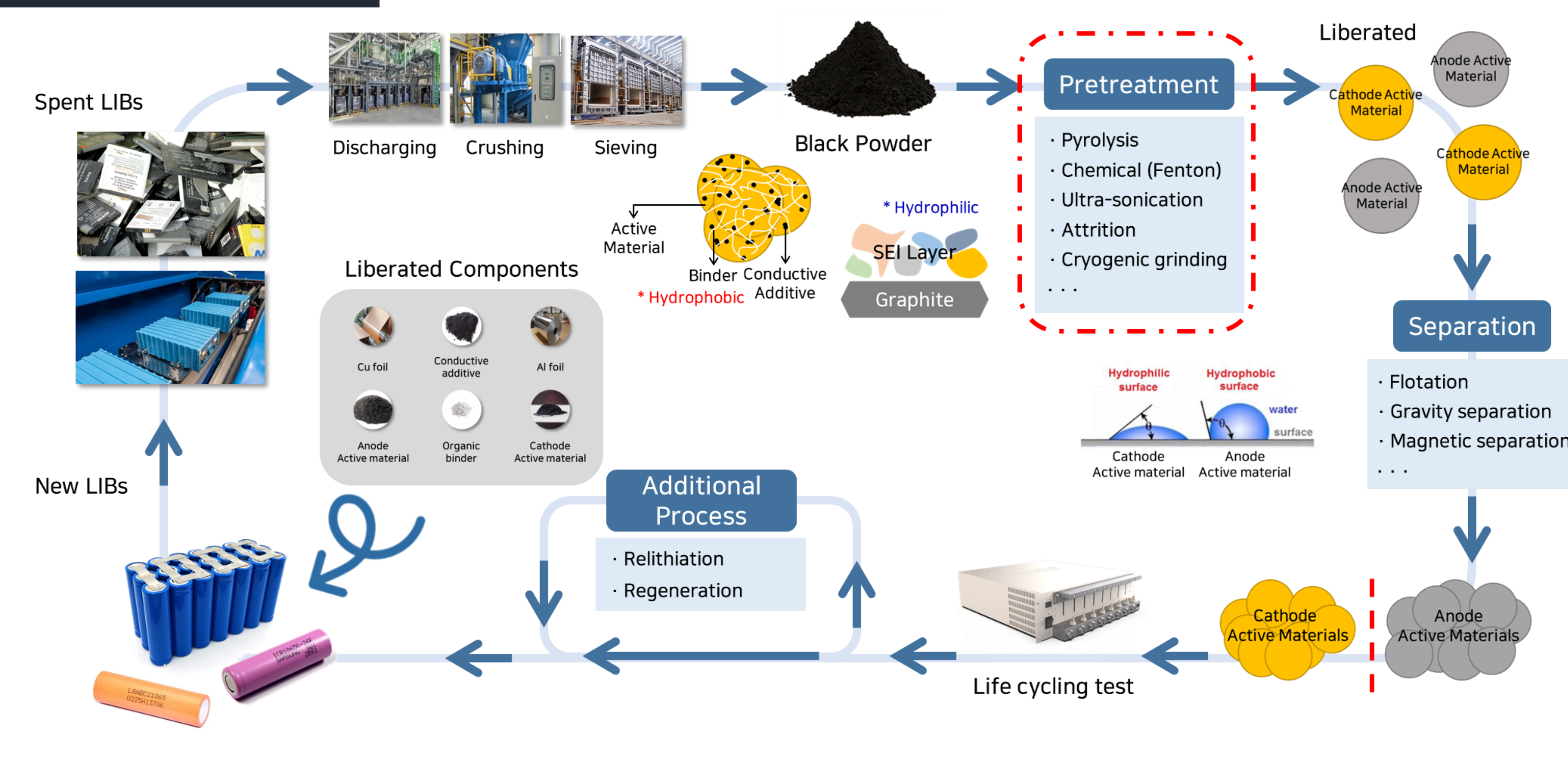
<sup>2</sup>Technology Planning Team, Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corp., Wonju, Gangwon-do 26464, Republic of Korea.

\* Corresponding author: E-mail address [kshjkim@hanyang.ac.kr](mailto:kshjkim@hanyang.ac.kr) (H. Kim)

## Abstract

Today, most countries are working towards carbon neutrality in order to respond to the climate crisis and realize a sustainable society. Interest and demand for electric vehicles (EVs) that use renewable energy rather than internal combustion engine vehicles in the carbon economy industry are rapidly increasing. EVs use secondary batteries such as lithium ion batteries (LIBs) that can be charged/discharged instead of conventional fuels such as gasoline, diesel, and gas. The demand for LIBs is also increasing in proportion to the demand for EVs, and it is expected that a huge amount of secondary batteries will be needed in the next 10 years. Recycling of spent LIBs is essential because a stable supply of batteries is essential for a stable EV market. A LIB composed of cathode, anode, electrolyte, and separator is made of useful materials such as lithium, nickel, cobalt, manganese, and graphite. Conventionally, recycling using pyrometallurgical and hydrometallurgical methods to recover valuable metal with relatively high economic value has been conducted, but there are environmental and economic disadvantages such as considerable use of energy and strong acids. Therefore, in many studies, research on direct recycling, which directly recovers components without decomposing the chemical structure, is being actively conducted. Froth flotation is mainly used for the separation of cathode and anode materials in direct recycling. Flotation is a process of separating particles able to attach to air bubbles and float from particles unable to attach by using the difference in hydrophobicity of particles. The cathode active material (lithium oxide) has a hydrophilic surface and the anode active material (graphite) has a hydrophobic surface; thus, they can be separated through flotation. However, it is known that the separation of the two materials is not easy due to the presence of impurities such as organic binders (PVDF) and SEI (Solid Electrolyte Interphase). Accordingly, various pretreatment processes such as pyrolysis treatment, chemical treatment, ultra-sonication, and cryogenic grinding are used to remove impurities. Therefore, in this study we have identified the trend of pretreatment research, which is essential for the separation of two active materials through the flotation.

## Introduction



## Reference

- He, Y., et al. (2017). Recovery of LiCoO<sub>2</sub> and graphite from spent lithium-ion batteries by Fenton reagent-assisted flotation. *Journal of cleaner production*, 143, 319-325.
- Yu, J., et al. (2017). Effect of the secondary product of semi-solid phase Fenton on the flotability of electrode material from spent lithium-ion battery. *Powder Technology*, 315, 139-146
- Zhang, G., et al. (2018). Pyrolysis-ultrasonic-assisted flotation technology for recovering graphite and LiCoO<sub>2</sub> from spent lithium-ion batteries. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(8), 10896-10904.
- Zhang, G., et al. (2019). A sustainable process for the recovery of anode and cathode materials derived from spent lithium-ion batteries. *Sustainability*, 11(8), 2363.
- Zhang, G., et al. (2019). Application of mechanical crushing combined with pyrolysis-enhanced flotation technology to recover graphite and LiCoO<sub>2</sub> from spent lithium-ion batteries. *Journal of cleaner production*, 231, 1418-1427.
- Liu, J., et al. (2020). Recovery of LiCoO<sub>2</sub> and graphite from spent lithium-ion batteries by cryogenic grinding and froth flotation. *Minerals Engineering*, 148, 106223.
- Zhang, G., et al. (2020). Removal of organics by pyrolysis for enhancing liberation and flotation behavior of electrode materials derived from spent lithium-ion batteries. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(5), 2205-2214.
- Zhan, R., et al. (2020). Significance of a solid electrolyte interphase on separation of anode and cathode materials from spent Li-ion batteries by froth flotation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(1), 531-540.
- Zhu, X., et al. (2021). A novel pulsed pneumatic separation with variable-diameter structure and its application in the recycling spent lithium-ion batteries. *Waste Management*, 131, 20-30.
- Vanderbruggen, A., et al. (2022). Improving separation efficiency in end-of-life lithium-ion batteries flotation using attrition pre-treatment. *Minerals*, 12(1), 72.

## Pretreatment

### Chemical treatment (Fenton reagent)

- Electrode materials recovered from spent LIBs were soaked in the Fenton reagent with the purpose of removing the organic layer to get the original surface of lithium oxide and graphite.
- Fe<sup>+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ratio and liquid-solid ratio have significant influence on the experiment results.
- After Fenton treatment, the newborn surface are wrapped with an inorganic layer (Fe(OH)<sub>3</sub>)  
→ Additional acid treatment (HCl) is required
- ※ Fenton reagent (Fe<sup>+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) : FeSO<sub>4</sub> (0.1 mol/L) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0.1 mol/L)

### Pyrolysis treatment

- The pyrolysis process is carried out mainly in nitrogen atmosphere in various furnaces (e.g. tube, box, and muffle furnace). It is important to set the optimum temperature, and optimum conditions are usually observed between 400 and 600 °C. In addition, the holding time at the highest temperature may affect the removal of organic binder. After the pyrolysis process, additional pretreatment processes were combined to increase the efficiency.

### Pyrolysis + Ultra-sonication

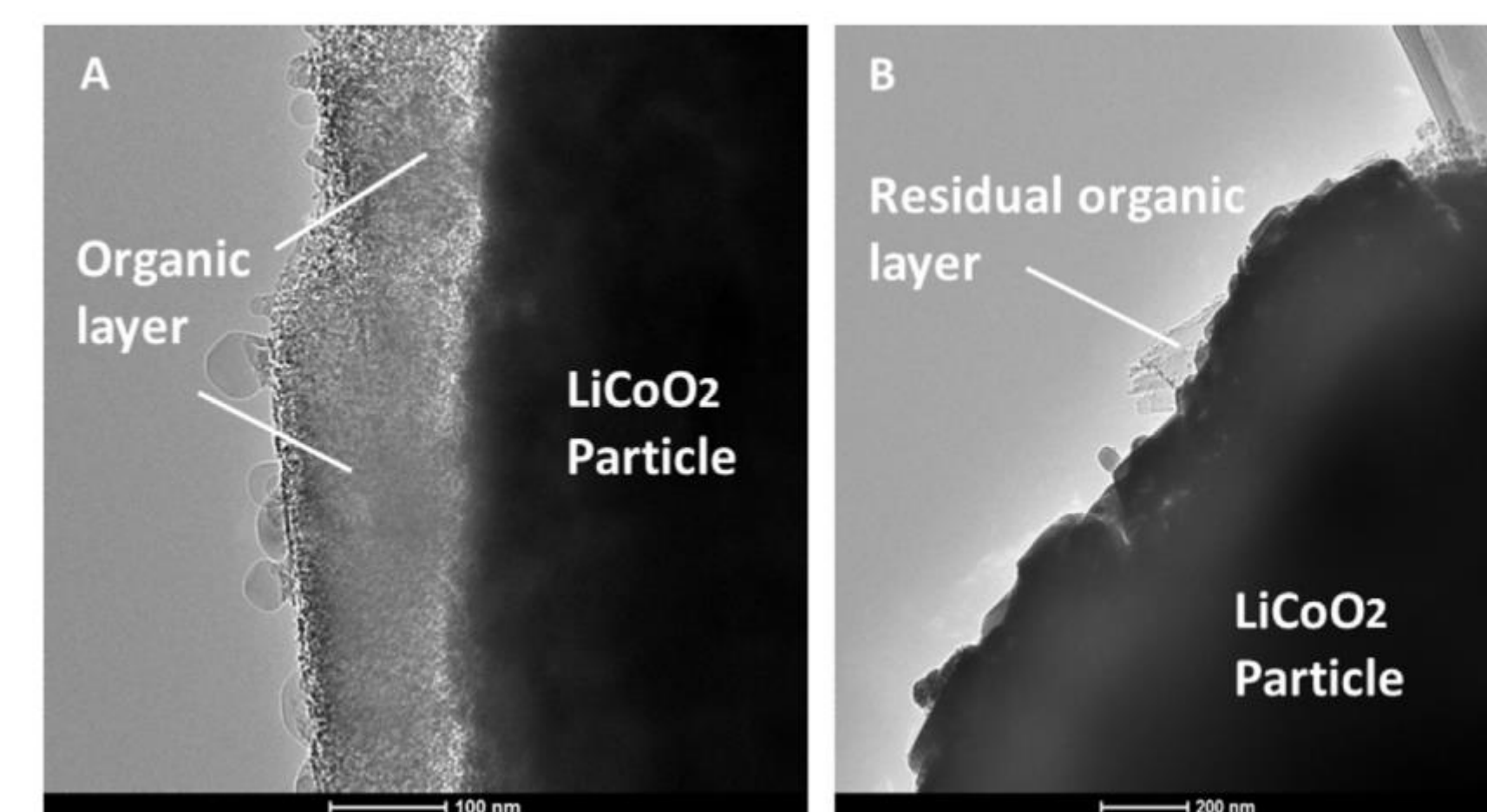
- After pyrolysis, electrode material was treated by ultrasound at S/L ratio of 1:10 g/mL with 25 kHz and 800 W for 2h to remove pyrolytic residues.
- After ultra-sonication treatment, the flotation efficiency of electrode materials was clearly improved.

### Pyrolysis + Attrition

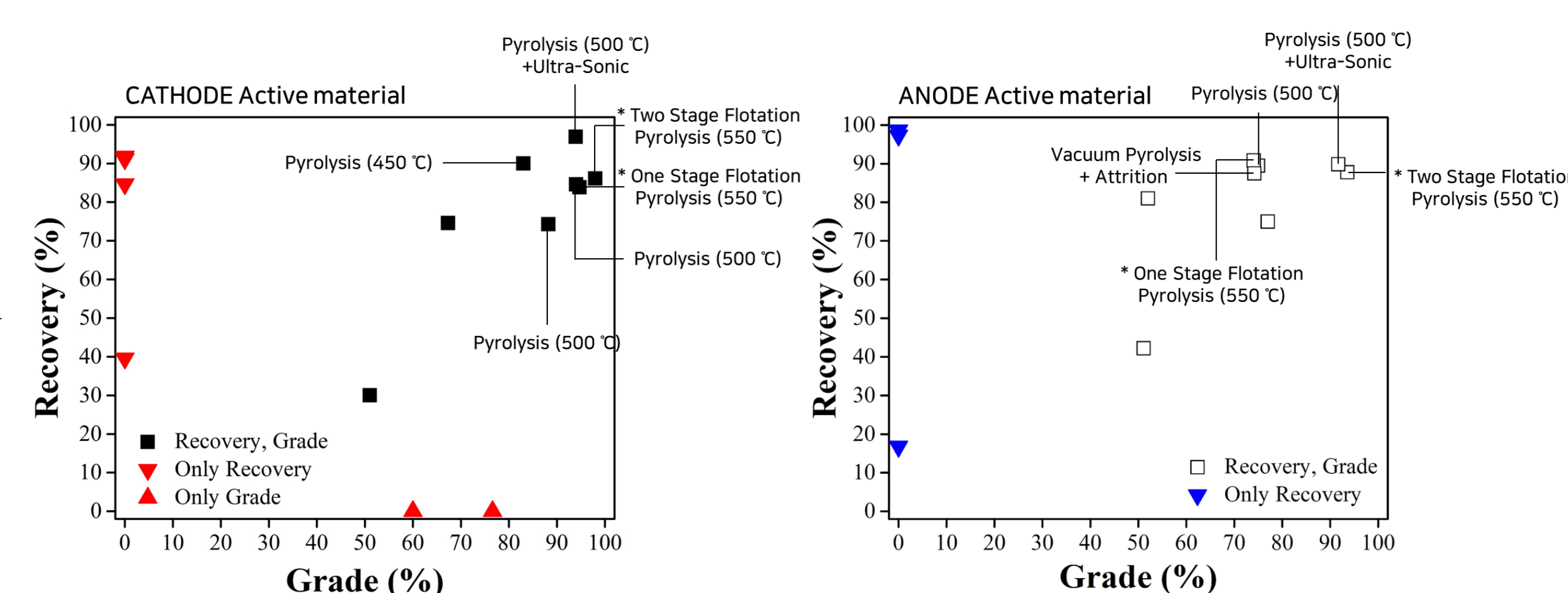
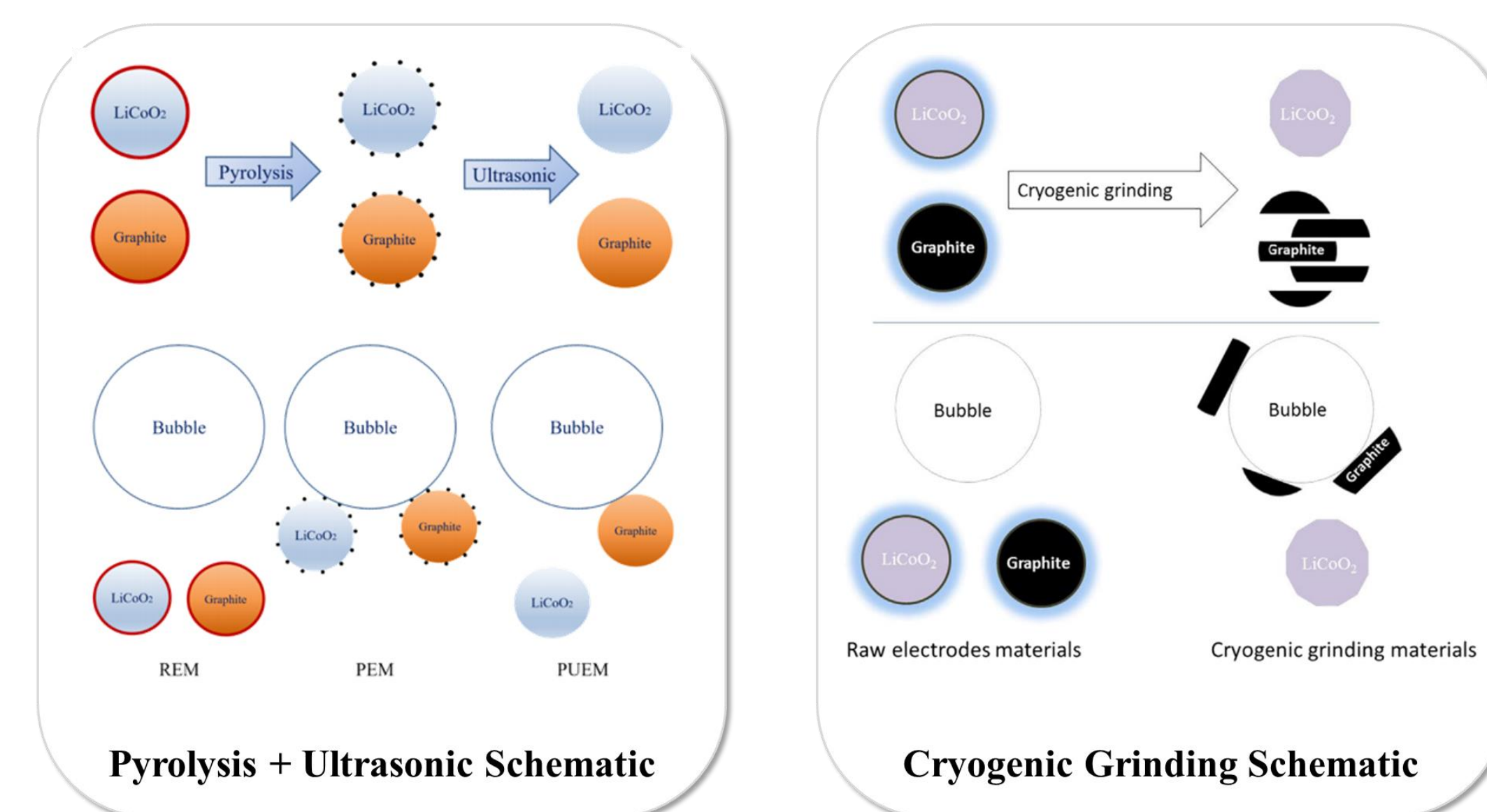
- A high shear (attrition) pretreatment is applied after pyrolysis treatment to remove residual coated binder to improve separation efficiency.
- By applying the attrition treatment, such unselective agglomerates were broken, and full wetting of lithium oxide in the pulp was promoted. And it cause the decrease of lithium oxide entrainment.

### Cryogenic grinding

- Cryogenic grinding process is a method in which the material is ground by mechanical grinding after embrittlement at low temperature. Cryogenic grinding test was conducted in a cryogenic ball mill. During the grinding process, chamber was cooled by liquid nitrogen.
- At the cryogenic grinding temperature, the organic binder become glassy and broke off from the surface of lithium oxide and graphite particles under an external force.



TEM images of lithium oxide surface before (A) and after (B) treatment



## Acknowledgment

This research was supported by the Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corp. (KOMIR)



# 2022 추계자원연합학술대회 및 제8회 광해방지 국제심포지엄

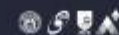
2022 Fall Joint Conference and  
the 8<sup>th</sup> International Symposium on Mine Reclamation

2022. 11. 2. - 11. 4.

강원도 하이원 그랜드호텔



S/P/O/N/S/O/R



서울특별시 강남구 테헤란로22길 22 한국과학기술원 신관 614호  
TEL 02-566-8744/9477 FAX 02-569-5134 E-mail ksmer@ksmer.or.kr

한국자원공학회 · 한국광해공학회 · 한국지질공학회 · 한국광해광업공단

© KSMER ALL RIGHTS RESERVED.

Powered by APUB