

자동차 폐유리 분말을 이용한 팽창유리 소화약제의 제조

Manufacturing of Extinguishing Powder of Expanded Glass from Recycling Automotive Glass Powder

전덕우^{1*} · 박정호² · 이용권³Duk-Woo Jeon^{1*} · Jung-Ho Park² · Yong-Kwon Lee³

(Received November 28, 2022 / Revised December 8, 2022 / Accepted December 8, 2022)

In this study, we secured a technology for manufacturing expanded glass of uniform quality by using general tempered glass, that is, window glass, among automotive glass that is scrapped, and verified whether the manufactured expanded glass can be used for lithium battery fire suppression.

The process of manufacturing expanded glass using waste glass is generally divided into Crushing → Milling → Granulation → Expansion → Cooling . With several trials and errors . It is obtained a yield of 0.5 ϕ mm to 2 ϕ mm spherical particles of 80 % or more.

By comparing the surface analysis and physical properties, a more suitable sample was selected as a fire extinguishing agent for lithium batteries, and it was confirmed that the result of the adaptability test for lithium battery fire was satisfactory.

키워드 : 폐차, 자동차유리, 소화약제, 팽창유리, 리튬배터리 화재, 발포

Keywords : Waste automobile, Automototive glass, Extinguishing powder, Expanded glass, Lithium battery fire, Expansion

1. 서론

현대 사회의 소비산업 증가에 따라 유리를 비롯한 폐기물이 급증하고 있으며, 우리나라의 경우 폐유리는 매년 약 9~15만톤 정도가 매립 등으로 최종 처리되고 있는 실정이다. 이러한 상황속에서 미국, 일본 및 EU를 중심으로 폐유리에 대한 다양한 재활용 기술 개발이 이루어 지고 있다. 특히 독일의 경우 폐유리를 활용하여 팽창유리를 개발하여 금속화재 및 리튬 배터리 화재 진압용 소화약제로 특화 시켜, 전 세계 시장을 상대로 공급에 나서고 있다. 독일의 경우 일반 병유리나 판유리 폐기물을 사용하여 팽창유리를 개발하였으나, 유리의 상태나 종류 및 색상을 구분하지 않고 재활용하여 일관성 있는 품질을 얻기가 쉽지 않다. 이러한 점에 착안하여 본 연구에서는 자동차 폐차 과정에서 발생하는 폐유리를 재활

용하여 독일에서 생산되는 팽창유리와 동등 이상의 품질을 갖는 제품을 개발하는 것이 목적이다.

자동차 유리와 같은 특정 용도의 스마트 유리의 경우 병유리나 일반 판유리와는 다르게 고도의 기능성 유리로서 일정한 성분과 색상을 유지하고 있어, 자동차 폐유리를 재활용하는 경우 일정한 품질유지와 관리가 용이한 측면이 있다(Lee 2005).

일반적으로 자동차에 사용되는 유리는 접합유리와 강화유리 및 열선 유리로 구분되며, 통상 앞 유리는 접합유리, 윈도우용 유리와 뒷 유리는 강화유리를 사용한다. 접합유리는 안전을 고려하여 판유리 사이에 충격용 합성수지를 삽입하여 강도를 유지하며 파손시 유리가 비산되지 않도록 하여 탑승자의 피해를 최소화 시키는 기능을 가지고 있다. 강화유리는 3~4 mm 두께의 판유리를 열처리 하여 성형한 제품으로서 일반 판유리보다 3~4배의 강도

* Corresponding author E-mail: dwchun@insun.com

¹강원대학교 대학원 지역건설공학과 박사과정 수료 (Kangwon National University, Kangwon-do, 24341, Korea)

²인선모터스 대표이사 (C.E.O of INSUN MOTORS Ltd, Korea)

³한국화재소방학회 회원 (Member, Korea Institute of Fire Science & Engineering, Korea)

를 가지고 있으며 파손시 파편이 작고 날카롭지 않아 탑승자의 피해를 최소화 시킨다. 후면유리에는 주로 성에를 제거하기 위해 은을 주 원료로 한 실버페이스트 열선을 결합한 강화유리가 사용되고 있다.

자동차 유리는 자동차 중량의 약 3 %를 차지하고 있으며, 승용차의 경우 평균 30 kg 내외의 유리가 포함되어 있다. 현재 자동차의 폐유리는 효과적으로 재활용할 수 있는 기술의 부재 및 낮은 경제성으로 ASR 형태로 파쇄되어 소각 및 매립되는 실정이다. 접합유리는 중간에 부착되어 있는 PVB 필름을 박리해야하고, 뒷유리는 실버페이스트를 분리해야하는 어려움이 있어 이를 효과적으로 처리하기 위한 전처리 및 고 온도화 기술개발이 필요하다 (Ministry of Land Infrastructure and Transport 2017).

본 연구에서는 폐차 처리되는 자동차 유리 중 일반 강화유리 즉 윈도우용 유리를 사용함으로써 전처리 공정을 줄이고 Pilot 설비의 효율적인 운영을 통해 균일한 품질의 팽창유리 제조 기술을 확보하고, 제조된 팽창유리가 리튬배터리 화재 진압용으로서 목표 물성치에 도달하는지 여부와 리튬배터리 화재에 적응성 있는지 여부를 화재 및 소화시험을 통해 검증하고자 한다. 향후 자동차 폐유리의 활용도를 높이기 위해서는 본 연구에서 사용된 강화유리 뿐 아니라 접합유리의 경우도 발표가 가능하도록 다음 단계의 연구가 더 필요하다.

2. 자동차 폐유리를 활용한 팽창유리 제조

2.1 선행기술 현황 및 과제

전 세계적으로 폐유리의 재활용 방안에 대한 연구가 진행되어 팽창유리를 비롯하여, 연마제, 시멘트 콘크리트등 여러 가지 방안들이 제안된바 있으며 그 중 품질, 경제성, 환경 안전성, 및 시장성 등 여러 가지 평가 지표에서 팽창유리로 재활용하는 것이 가장 바람직한 것으로 인식되고 있다.

팽창유리는 열전도도 및 팽창계수가 다른 단열재에 비해 매우 낮고, 내열, 내산, 내알칼리성이 우수하여 주로 고온 단열재와 경량골재등 토건이나 건축 자재로 많이 사용되어 밀도와 무게의 최소화 주력해 왔다.

기존 기술을 활용한 토 · 건자재용 팽창유리의 물리적 특성은 밀도 0.17~0.21 g/cm³, 흡수율 0.2~1.5 %, 열전도도 0.048~0.06 kcal/h · m · °C, 압축강도 2~4 N/mm² 으로 생산되고 있다(Kim et al, 2005; Yoon et al, 2015; Kim and Lee 2013; Jeon and Kim 2017).

본 연구에서는 선행 기술을 활용한 기존 제품보다 부가가치가 높은 활용 방안을 강구하기 위해 독일 P사 제품을 벤치 마킹하여, 근래에 핫 이슈가 되고 있는 리튬배터리 화재의 진압에 적응성 있는 소화약제로 활용 가능한 팽창유리 제조에 대한 연구를 진행하였다. 독일 P사 제품의 물성치는 밀도 0.4 g/cm³, 흡수율 0.5 %, 기공율 85 %, 압축강도 1.5 N/mm² 이다.

2.2 시제품의 조성

벤치 마킹한 독일 P사 제품은 국내 수입되어 리튬배터리 화재의 소화약제로 사용되고 있으며, P사가 제공하는 기술자료를 바탕으로 제품의 성능과 물성치가 유사한 결과가 나올 수 있는 시제품을 제조하는 것이 필요하며 이 과정과 연구를 통해 제조 공정을 최적화하고 소화약제로 사용가능한 물성치와 성능을 확보하는 것이 목적이다.

일반적으로 ABC 급 화재(일반화재, 유류화재 및 전기화재)의 경우에는 소화약제에 대한 성능기준이 있으나 금속화재나 리튬배터리 화재(D 급 화재)의 경우에는 성능기준이 없어 P사 제품의 사양을 비교 기준으로 하였다.

시제품에서 사용된 폐유리는 폐자동차의 윈도우 유리를 수거하여 부차물등을 제거한 후 파쇄하여 미분쇄 하였다. 폐유리를 성분 분석한 결과 SiO₂ 69.3 %, CaO 8.99 %, Na₂O 14.6 %의 순으로 유리의 원료 물질인 규산 성분으로 이루어진 것으로 확인되었으며, 환경유해성 인자인 As, Se, Pb, Cd는 검출되지 않았다. 상세한 성분 분석표는 Table 1 과 같다.

시제품의 조성 및 배합비는 Table 2 에서와 같이 2가지 sample 유형으로 반복적인 테스트를 실시하여 소화약제의 성능에 부합하는 성분비와 공정을 최적화 하였다.

Table 1. Composition analysis of automotive waste glass

Composition	Contents (%)	Method of analysis
SiO ₂	69.3	KS L 3316 : 2014
Al ₂ O ₃	1.10	KS L 3316 : 2014
Fe ₂ O ₃	0.78	KS L 3316 : 2014
CaO	8.99	KS L 3316 : 2014
MgO	3.92	KS L 3316 : 2014
K ₂ O	0.33	KS L 3316 : 2014
Na ₂ O	14.6	KS L 3316 : 2014
TiO ₂	0.04	KS L 3316 : 2014
SO ₃	0.21	KS L 3316 : 2014
MnO	0.01	KS L 3316 : 2014

Table 2. Recipe & mixing ratio of sample

Sample	Recipe & mixing ratio
Sample 1	Glass powder 90 wt.% + potassium silicate 8 wt.% + potassium carbonate 2 wt.%
Sample 2	Glass powder 88 wt.% + potassium silicate 9.5 wt.% + potassium nitrate 1.5 wt.% + sucrose 1.0 wt.%

Sample 1은 발포제로 탄산칼륨(Potassium Carbonate)을 사용하였고, Sample 2는 산화 환원제인 질산칼륨(Potassium Nitrate) 과 설키로스(Sucrose)를 발포제로 사용하여 기공율을 조절하였다.

2.3 시제품의 제조공정

페유리를 활용하여 팽창유리를 제조하는 공정은 크게 페유리 파쇄(Crushing) → 분쇄 (Milling)→ 구상화(Granulation) → 발포 (Expansion) → 냉각(Cooling)으로 구분하며 각 공정별로 해당되는 pilot 설비를 Table 3과 같이 구축하여 활용하였다.

Table 3. Pilot equipment of process

Process	Equipment	Description
Crushing	Hammer crusher	Rough crush 5 mm<
Milling	Ball mill	Powder under 200 mesh
Mixing	Mixer	Dry mixing
Granulation	Dish granulator	Wet granulation 0.5 ϕ mm~2 ϕ mm
Expansion	Rotary kiln	Heating furnace 1,500 $^{\circ}$ C
Cooling	Cooler	Air cooling
Screening	Vibrating screen	1 ~ 4 ϕ mm screening

페유리 분말 및 혼합물은 그 입도가 200 mesh 이하 일 때 혼합 및 구상화 작업이 원활하며 발포제 의 발포 작용이 균질하게 이루어지므로 미분쇄와 체가름을 반복적으로 수행하여 200 mesh 이하의 분말을 획득하여 사용하였다(Kim 2007; Lee et al. 2005). 페유리와 발포제등을 혼합은 혼합기에서 건식혼합을 통해 균일한 혼합이 이루어지도록 했으며 혼합된 분말은 Dish Granulator에 투입되어 스프레이에 의한 습식방식으로 구상화를 진행하였다. 구상화는 Dish Granulator의 회전 속도와 수분함량에 따라 구상화 입자 크기가 결정되었다. 구상화가 완료되면 체가름을 통해 0.5 ϕ mm~2 ϕ mm의 구형 입자를 선별한 후 이형제로 카올린을 2 wt.% 혼합하여 발포를 위해 Rotary Kiln에 투입하였다. 발포 품질은 Rotary Kiln의 회전속도와 설정온도에 따라 커다란 차이가 있어 수차례의 시행착오와 시험을 반복하여 최적의 결과를 도출하도록 하였다.

2.4 시제품의 주요 공정 최적 조건

본 실험에서 발포유리 제조 공정에서 최종 결과물의 품질에 결정적인 역할을 하는 공정은 구상화(Granulation) 공정과 발포 (Expansion) 공정이다. 구상화 공정의 경우 0.5 ϕ mm~2 ϕ mm의 구형 입자를 80 % 이상의 수율을 얻기 위해 수차례의 시행착오를 거쳐 수분 20 %, Dish Granulator 의 회전 속도는 20 rpm,1 배치 당 가동 시간은 1시간으로 설정하는 것이 가장 적절하였다. 발포공정의 경우 0.5 ϕ mm~2 ϕ mm의 구상화된 분말을 Rotary Kiln에 투입하여 입자크기 1~4 ϕ mm가 80 % 이상의 수율을 얻기 위해서는 온도 830 $^{\circ}$ C, 회전속도 14.9 rpm 이 최적 조건이 되는 것을 수차례 실험을 통해 확인하고 각 조성에 대해 Sample 1과 Sample 2의 시제품을 제조하였다.

2.5 시제품의 특성 분석

본 실험에서는 발포제를 탄산칼륨 또는 질산 칼륨을 사용하였고, 페유리와 발포제의 배합량에 따라 기공의 형태,겉보기 비중, 표면적, 흡수율, 흡착율, 기공율 및 안전성 등을 분석하였다. 기공의 형태는 SEM 표면 분석을 통해 이루어 졌으며, 겉보기 비중, 흡수율, 흡착율 및 기공율은 표준 시험법에 따라 하였고 안전성은 8대 중금속 분석과 X-ray 회전 분석을 통해 결정화가 있는지 여부를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기공 형태의 분석

페유리의 발포는 여러 가지 요인에 의해 기공의 형태와 크기가 영향을 받을 수 있다. 그 중 가장 중요한 변수로는 발포제의 종류와 함유량에 따라 기공 형성이 매우 다르게 나타난다. 페유리 자체만으로는 기공 형성을 위한 가스 발생이 부족하므로 발포 유리를 제조할 때 첨가하는 발포제의 양에 따라 기공의 모양과 형태가 다르게 나타난다. 뿐만 아니라 Rotary Kiln의 온도와 회전 속도 또한 기공 형성에 큰 영향을 미치므로 온도의 경우 800 $^{\circ}$ C~850 $^{\circ}$ C 사이, 회전 속도는 3 rpm~15 rpm 로 변화시켜 가며 시제품을 제조하여 Sample1 과 Sample 2의 최적 결과물을 선택하였다. Fig. 1 2개의 Sample을 발포한 기공의 형태를 SEM 분석을 통해 나타낸다.

발포유리의 외형을 비교한 결과 구형상과 폐쇄형 기공 구조로 보았을 때 Sample 2가 독일 P사 제품의 물성치 와 근접하여 소화약제로 적합하며, Sample 1은 선행기술을 활용한 제품들과 물성치가 근접하여 건자재용으로 사용하는 것이 더 효과적이라고 판단하였다.

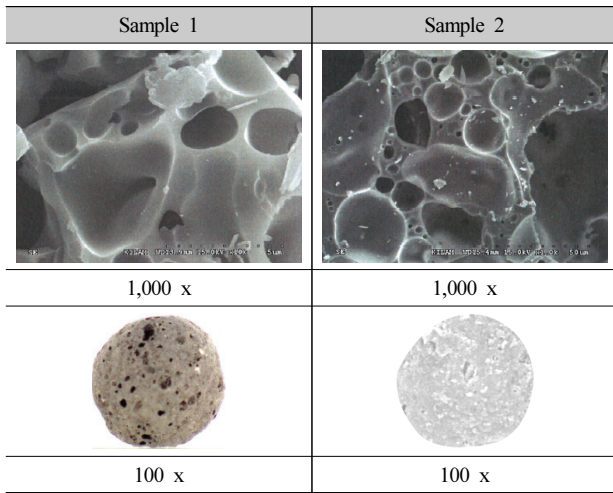


Fig. 1. SEM analysis results

3.2 물성치 분석

겉보기 비중은 소화기 분말약제의 기준 물성치중 하나로 규정하고 있으며 측정 방법은 소화약제의 시험방법에 따라 시행하였으며, 표면적은 BET(Brunauer, Emmett, Teller) 이론에 의해 측정하였으며, 기공율은 수은법에 의해 측정하여 Table 4에 각각의 물성치를 기록하였다. 발포제와 발포공정 조건에 따라 기공의 형태가 다르며 Sample 1의 겉보기 비중이 낮고 기공 면적이 넓으며 기공율이 높아 Sample 2 보다 더 가볍다. Sample 1을 소화약제로 사용하기에는 너무 가벼워 Sample 1보다는 Sample 2가 소화약제로서 적절한 것으로 판단되었다.

흡착율은 소수성과 유류 흡착율을 평가하기 위해 측정하였으며 배터리 누액의 흡착에 영향을 준다. Sample 1과 2는 비슷한 결과를 가지고 있다.

함수율과 압축강도는 소화약제로서는 중요한 인자는 아니지만 압축하중 하에서 팽창유리의 저항성을 분석하였으며, 함수율의 경우 장기 보관 시 수분을 다량 흡수하는 경우 총 중량에 영향을 미칠 수가 있다. Sample 2는 소화제로서 적당한 강도를 가지고 있다.

Table 4. Physical analysis

Description	Sample 1	Sample 2	Test method
Bulk density	0.15	0.4	KFI fire extinguisher test
Surface area (m ² /g)	0.25	0.12	KS L 18757
Porosity (%)	88	85	ASTM D 2734
Absorbency capacity (L/kg)	1.8	2	KS K 1600
Moisture contents (%)	0.5<	0.5<	ASTM D 6869
Crush strength (N/mm ²)	>1	>1.5	KS F 2541

3.3 환경 및 인체 안전성 분석

3.3.1 중금속 분석

Sample 1과 Sample 2의 8대 중금속 및 환경 호르몬 검출 시험을 하였으며 두 제품 모두 8대 중금속 및 환경 호르몬이 불검출되어 안전한 것으로 판단하였다.

3.3.2 불순 결정의 생성

초 미세입자인 수정결정(crystalline quartz)이나 석영결정(cristobalite) 즉 4 μm 이하의 분진이 폐포로 흡입되면 발암요인이 된다. 팽창유리의 원료나 제조 과정에서 이러한 SiO₂ 결정이 존재하는지 여부를 확인하였다.

통상의 경우 유리 제조 과정에서 결정화(Crystallization)가 생기면 결정(crystal)이 석출되어 투명성을 잃게 되는데 이것을 실투(devitrification)라고 한다. 이러한 결정(crystal)의 존재 여부는 X선 회절 분석에 의한다.

팽창유리에 사용되는 폐자동차의 판유리는 결정화나 실투가 있는 제품은 사용하지 않으므로, 원료가 되는 폐자동차 판유리의 분말은 결정화 성분이 존재하지 않는다.

유리분말과 바인더 및 팽창제를 혼합하여 구상화된 분말을 온도 800 °C~850 °C의 Rotary Kiln에서 10~15분간 발포하는 공정을 거치는 동안 크리스탈석 결정(cristobalite crystals)은 생성되지 않는다. 크리스탈석은 통상 1200 °C 이상에서 형성되며 더구나 Al₂O₃와 MgO 성분(Table 1 참고)은 결정화를 방해하는 성분으로 작용한다.

폐자동차 유리로부터 제조된 Sample 2는 결정화 입자를 포함하고 있지 않으며 미분쇄 과정에서도 초 미세입자는 존재하지 않는다. 아울러 Fig. 2 x선 회절 분석에서 보는 바와 같이 결정화 회절로 보이는 결과는 없다.

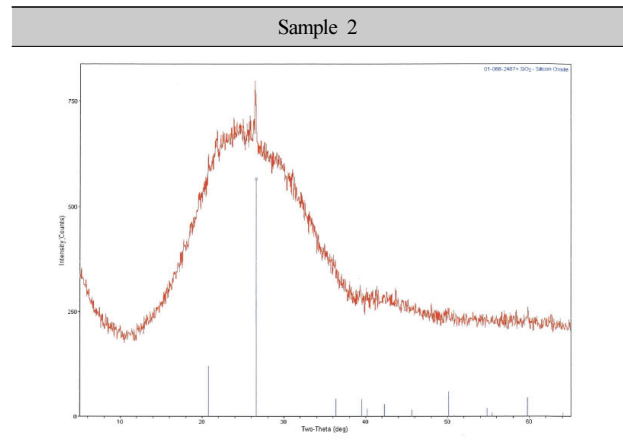


Fig. 2. X-ray diffraction analysis

따라서 폐자동차 판유리를 원료로 한 팽창유리는 8대 중금속과 환경 호르몬이 검출되지 않았으며 발암요인이 되는 결정화 입자도 존재하지 않아 인체에 무해한 것으로 판단된다.

3.4 리튬배터리 화재 적응성 시험

3.4.1 화재시험 방법

적용기준은 UL 711 Rating and Fire Testing of Fire Extinguishers 및 MPA Dresden Test Report를 참고 하여 프로토콜을 작성하여 시험하였으며 화재 모형은 1,050 * 750 * 715 mm의 철제 박스로 하였으며, 연료(시료)는 리튬이온 배터리 900 g * 7개(합 6.3 kg, 160 Ah 3.7 V 완충전)를 1열 배열한 후 온도 센서 K 타입을 4곳에 설치하고 점화준비를 하였다. 준비된 연료에 가스 토치로 점화하고, 1차 열폭주가 진행된 다음에 제조된 Sample 2, 20리터를 화원 상부에 일시에 도포한 후 육안 및 설치된 온도 센서의 온도 변화를 기록 및 관찰하였다.

3.4.2 시험결과

Sample 2를 도포한 후 배터리의 열폭주는 계속 진행되었으나 화염은 외부로 분출되지 않았으며 다만 연기와 냄새는 소화약제 위로 누출되었다. 소화분말 투입 4시간 후 도포된 분말을 걷어내고 소화 상태를 육안 및 온도 계측데이터 Fig. 3로 확인하고 Fig. 4와 같이 소화가 정상적으로 이루어졌음을 확인 하였다.

4. 결론

본 연구에서 폐차 처리되는 자동차 유리 중 일반 강화유리 즉 원도우용 유리를 사용함으로써 전처리 공정을 줄이고 Pilot 설비의 효율적인 운영을 통해 균일한 품질의 팽창유리 제조 기술을 확보하고, 제조된 팽창유리가 리튬배터리 화재 진압용으로서 목표 물성치에 도달하는지 여부와 리튬배터리 화재에 적응성 있는지 여부를 화재 및 소화시험을 다음과 같이 결론을 얻었다.

1. 시제품 제조 공정에서 최종 결과물의 품질에 결정적인 역할을 하는 공정은 구상화(Granulation) 공정과 발포(Expansion) 공정이다. 구상화 공정의 경우 0.5 ϕ mm~2 ϕ mm의 구형 입자를 80% 이상의 수율을 얻기 위해 수차례의 시행착오를 거쳐 수분 20%, Dish Granulator의 회전 속도는 20 rpm, 1배치 당 가동 시간은 1시간으로 설정하는 것이 가장 적절하였다.
2. 발포 공정의 경우 0.5 ϕ mm~2 ϕ mm의 구상화된 분말을

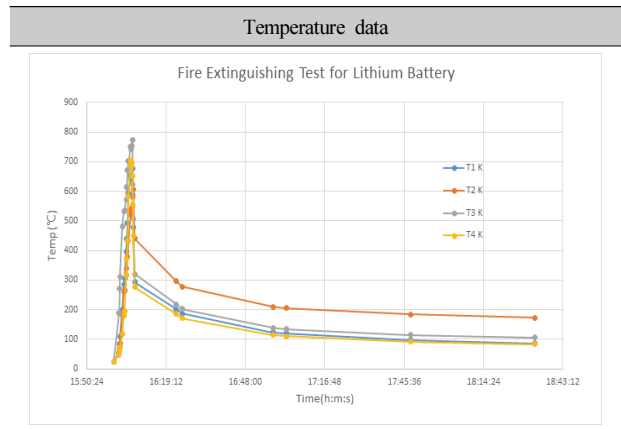


Fig. 3. Temperature data

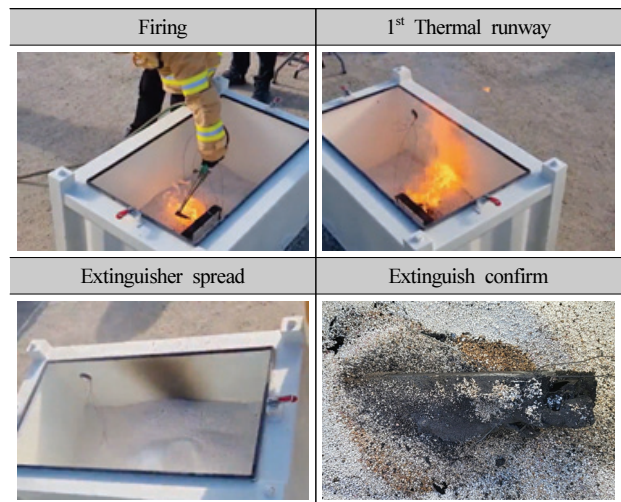


Fig. 4. Fire extinguishing test

Rotary Kiln에 투입하여 입자크기 1~4 ϕ mm가 80% 이상의 수율을 얻기 위해서는 온도 830 $^{\circ}$ C, 회전속도 14.9 rpm 이 최적 조건이 되는 것을 확인하였다.

3. 폐유리와 발포제의 배합량과 공정 조건에 따라 기공의 형태, 겉보기 비중, 표면적, 흡수율, 흡착율, 기공율을 확인한 결과 Sample 2가 소화약제로서 목표 물성치와 유사하였다.
4. 개발된 팽창유리를 고부가가치의 소화약제로 활용하기 위한 검증으로 리튬 배터리 화재의 적응성 시험결과 만족한 것으로 확인되었다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 2022년도 환경부의 녹색혁신기업 성장지원 프로그램 사업의 지원에 의해 수행되었기에 감사드립니다(NO. 20220003160005).

References

Jeon, B.H., Kim, J.G. (2017). Manufacture and applications of cellular glass for recycling waste glass, Proceedings of the Korean Society of Disaster Information Conference, The Korean Society of Disaster Information, 241–242.

Kim, H.J., Chang, P.K., Choi, C.H., Lee, S.W., Cho, H.Y. (2005). A study on the physical characteristics of foaming glass by recycling waste glass, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, **6(6)**, 473–477 [in Korean].

Kim, J.M., Lee, C.T. (2013). Preparation of foamed glass block from

recycled soda-lime-silicate glasses by chemical composition control, Applied Chemistry for Engineering, **24(4)**, 382–390 [in Korean].

Kim, S.S. (2007). Study of properties foaming glass from waste glass, Proceedings of the KAIS Fall Conference, The Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 126–128.

Lee, C.T. (2005). Physical and chemical properties of waste glass as feed materials for the production of foamed glass, Applied Chemistry for Engineering, **16(3)**, 440–448 [in Korean].

Lee, C.T., Lee, H.G., Um, E.H. (2005). Production of foamed glass by using hydrolysis of waste glass (II)-foaming process of hydrated glass, Applied Chemistry for Engineering, **16(6)**, 760–767 [in Korean].

Ministry of Land Infrastructure and Transport. (2017). Recycled Aggregate Quality Standard, Korea.

Yoon, J.H., Hong, M.H., Park, K.S., Park, J.L., Lee, C.G. (2015). Overview and recycling of waste automobile glass, Resources Recycling, **24(1)**, 51–57 [in Korean].

자동차 폐유리 분말을 이용한 팽창유리 소화약제의 제조

본 연구에서 폐차 처리되는 자동차 유리 중 일반 강화유리 즉 윈도우 유리를 사용하여 균일한 품질의 팽창유리 제조 기술을 확보하고, 제조된 팽창유리가 리튬배터리 화재 진압용으로서 활용이 가능한지 검증하였다.

폐유리를 활용하여 팽창유리를 제조하는 공정은 크게 폐유리 파쇄(Crushing) → 분쇄 (Milling) → 구상화(Granulation) → 발포(Expansion) → 냉각(Cooling)으로 구분하며, 최종으로 팽창유리의 입자크기 1~4 ϕ mm가 80 % 이상의 수율이 나오는 최적 조건을 얻기 위해 실험을 수차례 수행하였다.

폐유리와 발포제의 배합량과 공정 조건에 따라 기공의 형태, 겉보기 비중, 표면적, 흡수율, 흡착율, 기공율 및 안전성 등을 분석하였다. 기공의 형태는 SEM 표면 분석을 통해 이루어 졌으며, 겉보기 비중, 흡수율, 흡착율 및 기공율은 표준 시험법에 따라 하였고 안전성은 8대 중금속 분석과 X-ray 회절 분석을 통해 결정화가 있는지 여부를 확인하였다. 표면분석과 물성치를 비교하여 배터리용 소화약제로서 더 적합한 sample을 선정하여, 고부가가치의 활용이 가능한 리튬 배터리 화재의 적응성 시험결과 만족한 것으로 확인되었다.