KIGAS Vol. 26, No. 3, pp 27~37, 2022
(Journal of the Korean Institute of Gas)
https://doi.org/10.7842/kigas.2022.26.3.27

이소시아네이트 관능기 매개인자에 의한 화재 특성의 실험적 연구

이재걸*, · 한경호** · 조형원* · †윤도영*****
*광운대학교 화학공학과 박사과정, **광운기술, ***광운대학교 화학공학과 교수
(2022년 4월 25일 접수, 2022년 5월 26일 수정, 2022년 5월 27일 채택)

Experimental Study of Fire Characteristics by Isocyanate Functional Parameter

Jae-Geol Lee* · Kyoung-Ho Han* · Hyung-Won Jo · †Do-Young Yoon
Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea
**Gwangwoon Tech Co.,Ltd., Gyeonggi-do 18255, Korea*
(Received April 25, 2022; Revised May 26, 2022; Accepted May 27, 2022)

요 약

최근 ESS(전기저장장치)의 보급이 늘어나면서 ESS에 의한 지속적인 화재발생으로 인명 및 재산의 피해 또한 급증하고 있다. ESS에 활용되는 우레탄 샌드위치 패널에 제조에 있어 난연 성능의 향상이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 연질 폴리우레탄 폼의 난연 특성을 구현하고자 제품의 물성을 변화시키는 이소시아네이트 관능기 파라미터의 변화로 인한 제품의 조직 치밀도가 화재성능에 미치는 영향을 연구하였다. 우레탄 조직의 치밀도를 변화시켜가며 제품을 제작하여 연소성능 시험, 가스유해성 시험, 연기밀도 시험을 진행하였다. 그 결과 총 방출열량은 이소시아네이트 관능기 그룹이 높은 경우 성능이 우수하고, 최대 열 방출율과는 상관이 없는 것을 확인하였다. 이소시아네이트 관능기 그룹의 값이 2.7이상에서 형상의 붕괴를 방지할 수 있었다. 가스유해성 시험에서는 이소시아네이트 관능기 그룹이 상대적으로 높아 조직이 치밀하면서 탄화 막 형성이 용이한 Char시스템용 난연제가 추가적으로 투입되어야 성능이 상승하였고, 연기밀도 시험에서는 이소시아네이트 관능기 그룹의 값이 2.75이상에서 성능이 증가되는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구의 결과로 기존에 사용되던 저렴한 우레탄 샌드위치 패널을 대체할 난연제 개발에 기반을 마련할 수 있을 것으로 생각된다.

Abstract - With the recent increase in the spread of ESS (Electric Storage System), the damage to human life and property is also rapidly increasing due to continuous fires caused by ESS. In the manufacture of urethane sandwich panels used in ESS, it is necessary to improve the flame retardant performance. In this study, in order to realize the flame retardant properties of flexible polyurethane foam, the effect of the tissue density of the product due to the change of the isocyanate functional group parameter that changes the physical properties of the product on the fire performance was studied. The product was manufactured by changing the density of the urethane structure, and combustion performance tests, gas toxicity tests, and smoke density tests were performed.

As a result, it was confirmed that the total amount of heat released had excellent performance when the isocyanate functional group was high, and had no correlation with the maximum heat release rate. When the value of the isocyanate functional group was 2.7 or more, the collapse of the shape could be prevented. In the gas hazard test, the performance was increased when the isocyanate functional group was relatively high, so a flame retardant for the Char system, which had a dense structure and easy to form a carbonized film, was added. confirmed to be. Therefore, as a result of this study, it is thought that it will be possible to lay the foundation for the development of a flame retardant to replace the cheap urethane sandwich panel used in the past.

Key words : ESS, isocyanate, combustion performance test, gas toxicity test of building finishing materials, smoke density test

†Corresponding author:yoondy@kw.ac.kr
Copyright ⓒ 2022 by The Korean Institute of Gas

1. 서 론

ESS의 지속적인 화재 발생으로 인명 및 재산의 피해가 급증하고 있다. 국내에서는 현재까지 총 7건의 ESS관련 화재사고가 발생하였으며, 일본이나 미국, 유럽도 우리나라보다 먼저 ESS와 관련된 화재사고를 경험하였다. 이와같은 이유로 소방청은 “전기저장시설의 화재안전기준(NFSC 607)”[1] 제12조(방화구획)「건축물의 다른 부분과 방화구획 해야 한다. 다만, 배터리실 외의 장소와 옥외형 전기저장장치 설비는 방화구획 하지 않을 수 있다」라는 규정에 따라 아직도 가격이 저렴한 우레탄 샌드위치 패널을 의무적으로 내화구조를 설치하지 않는 장소에 빈번하게 사용하고 있다.

본 연구에서는 국토교통부에서 법으로 정한 “건축자재등 품질인정 및 관리기준”[2]의 제25조(난연재료의 성능기준)에 따른 실험과 한국전력공사의 구매규격 ES-8030-0001 연소방지제[3]에 따라 연기밀도를 추가 실험하였다. 선행연구로서 “화재현황 및 현장조사를 통한 ESS의 화재 위험성 연구”[4]에서 화재의 원인은 전기적 요인과 열적 요인에 의해 아크와 내부 압력상승에 의한 폭발 형태를 보이고 있고 야외에 설치되어 축열이 쉬운 컨테이너나 우레탄 재질 조립식패널 구조물에서 화재가 발생 된 것으로 연구가 보고되어, 이를 해결하고자 본 연구에서는 “난연제 종류에 따른 연질 폴리우레탄 폼의 난연 특성에 대한 연구”[5]와 “난연제 및 난연 수지 연구 동향”[6]의 결과를 참조하여 연구하였다.

종래의 연구들은 대부분 난연제 종류에 따른 특성 변화를 연구하였으나, 본 연구에서는 선행 연구들에서 부족하게 진행되었던 제품의 물성을 변화시키는 이소시아네이트(isocyanate) 관능기 매개인자(functionality parameter)의 변화로 제품의 조직 치밀도가 화재 성능에 미치는 영향을 연구하고자 한다. 우레탄의 선형 결합구조를 방해하는 불순물인 난연제 사이사이로 높은 관능기 매개인자(functionality parameter)의 이소시아네이트가 선형 결합구조인 우레탄을 격자 결합구조로 유도함으로써 조직을 치밀하게 하여 화재에 대한 저항성 또한 증가하는 것을 확인하려고 한다.

따라서 본 연구의 결과들은 ESS 구조물을 비롯한 다양한 전기화재 건설물에 적용될 수 잇는 난연소재의 개발 및 그 화재 저항 특성의 기초자료 구성에 있어 초석이 될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실 험

2.1 재료

본 연구에서 사용된 주요 재료는 폴리올(Polyol), 1,4-부타디올(1.4-Butadiol) 그리고 이소시아네이트(Isocyanate)이며, 각각 ㈜바스프, ㈜코리아피티지 그리고 금호미쓰이화학 제품을 사용하였다. 제조사에서 제공하는 분자량은 폴리올은 1000g/gmole 그리고 1.4-부타디올은 90g/gmole 이었다. 경화제인 이소시아네이트의 경우 NCO %를 구한후, 조성별 분자량을 각각 환산하였다.

$$NCO\% = \frac{N,C,O\ atomic\ weight \times Functional\ group}{Molecular\ weight} \times 100 \quad (1)$$

Table 1. Material properties

Material type / Material data			Molecular weight	NCO %	Specific gravity	Functional group
Polyol - BASF			1,000	-	-	2
1,4-Butadiol – Korea PTG			90	-	-	2
APP - LANXESS			-	-	-	-
Expanded Graphite (EG) - LANXESS			-	-	-	-
Isocyanate (MDI)	PI	KUMHO MITSUI CHEMICALS CORP	250	33.6	1.23～1.25	2
	M-200		354~378	30.0～32.0	1.23～1.25	2.7
	SR-3001C		366~378	30.5～31.5	1.23～1.25	2.75
	SR-500		373~399	30.5～31.5	1.23～1.25	2.8~2.9

$$\text{Molecular weight} = \frac{\text{N,C,O atomic weight} \times \text{Functional group}}{\text{NCO\%}} \times 100 \quad (2)$$

여기서, 폴리올은 범용적으로 사용되는 관능기(-OH)가 2개인 디올을 적용하였고 이소시아네이트는 4,4-디페닐메탄디이소시아네이트를 F값이 2～3 범위 내에서 적용하였다. 투입되는 난연제는 보편적으로 사용되고 탄화 막 형성이 유리한 Ammonium Polyphosphate (APP)와 무기 팽창계 난연제로서 차열성을 높여주는 팽창흑연을 사용하였으며 조직의 분자량을 높이기 위해 쇄 연장제로 1.4-Butanediol를 적용하였다. 이를 정리하면, 표 1 그리고 표 2와 같다.

실험재료의 원활한 중합반응을 위해 OH : NCO의 비율을 1 : 1.05로 하였고 Isocyanate는 Monomeric MDI (PI)의 경우 제조사 공급 제원을 적용하였으나 나머지의 경우 제조사의 제원이 정수가 아닌 범위로 제공되어 살펴본 결과 Polymeric MDI는 4,4-diphenylmethane diisocyante(MDI)의 단량체와 이들의 이량체, 삼량체, 사량체 이상의 Oligomer가 혼합된 것이 혼용되어 제조사의 공급 제원이 정수가 아닌 범위로 표기되어 F값과 NCO%는 최대치를 적용하였다.

2.2 시료조성

실험재료의 투입량을 계산하기 위해 다음의 식 (3)을 적용하였으며 Table 4, Table 5와 같이 계산된 Isocyanate를 다른 실험재료와 같이 Table 3에 정리하였다.

Table 2. Molecular weight by Eq. (1) and (2)

Isocyanate type		Molecular Weight by Eq. 2	NCO %	Molecular weight
SR-500	(F:2.9)	(42 × F(2.9) / 31.5) × 100 = 386.66	31.5	386
SR-3001C	(F:2.75)	(42 × F(2.75) / 31.5) × 100 = 366.66	31.5	366
M-200	(F:2.7)	(42 × F(2.7) / 32) × 100 = 354.37	32	354
PI (F:2)		(42 × F(2) / 33.6) × 100 = 250	33.6	250

Table 3. Experimental material composition ratio

Specimen No	Polyol (g)	1.4BD (g)	APP (g)	EG (g)	product name	Isocyanate wt(g)
①	100	1	100	15	SR-500	31
②	100	1	100	15	SR-3001C	31
③	100	1	100	15	M-200	30.53
④	100	1	100	15	PI	29.13

Table 4. Total equivalent of OH functional groups

Equivalent material	wt (g)	Equivalent	Input equivalent	Total equivalent
Polyol	100g	Equivalent = 1000 / 2 = 500 Input equivalent : 100g / 500 = 0.2	0.2	0.222
1,4-Butadiol	1g	Equivalent = 90 / 2 = 45 Input equivalent : 1g / 45 = 0.022	0.022	

Table 5. Total equivalent of NCO functional groups

Material	Input wt	Isocyanate wt (g)
PI	Equivalent = 250 / 2 = 12 Input equivalent / 125 = 0.222 Input wt = 0.222 × 125 × 1.05 = 29.135	29.13g
M-200	Equivalent = 354 / 2.7 = 131.11 Input equivalent / 131 = 0.222 Input wt = 0.222 × 131 × 1.05 = 30.53	30.53g
SR-3001C	Equivalent = 366 / 2.75 = 133 Input equivalent / 133 = 0.222 Input wt = 0.222 × 133 × 1.05 = 31	31.00g
SR-500	Equivalent = 386 / 2.9 = 133 Input equivalent / 131 = 0.222 Input wt = 0.222 × 133 × 1.05 = 31	31.00g

Table 6. KS F ISO 5660-1

Item	Reference
Total heat released	The total amount of heat released for 5 minutes after starting heating should be 8MJ/m2 or less
Maximum heat release rate	The maximum heat release rate for 5 minutes must not exceed 200kW/㎡ for more than 10 consecutive seconds.
Shape and thickness reduction	After heating for 5 minutes, there shall be no fire-damaging cracks (meaning deformation where the test specimen is cracked and the bottom is visible), holes (meaning deformation where the bottom is visible from the surface), and melting (meaning the test specimen is melted and the bottom is visible) and some melting and shrinkage shall not exceed 20% of the thickness of the test specimen.

$$\text{Eqivalent} = \frac{\text{Molecular weight}}{\text{Functional group}} \quad (3)$$

본 연구에서는 폴리올(100g), 쇄 연장제 1.4BD(1g), 난연제 APP (100g), 팽창흑연(15g)을 실험재료에 같은 중량을 투입하여 사용하였다.

2.3 실험방법

시험 방법으로는 국토교통부의 “건축자재등 품질 인정 및 관리기준”[2]에서 정한 “한국산업표준 KS F ISO 5660-1[연소성능시험-열 방출, 연기 발생, 질량 감소율-제1부 : 열 방출률(콘칼로리미터법)]”[7]과 “한국산업표준 KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법) 중 가스유해성 시험”[8]을 적용하였다. 한국산업표준 KS F ISO 5660-1의 주요 항목과 기준은 표 6에 정리하였다. 한편, 추가적으로 한국전력공사의 구매규격 ES-8030-0001 연소방지제[3]중 인명 대피를 위해 연기의 발생량을 측정하는 방법으로 ASTM E 662 연기밀도[9]를 적용하여 비교 평가하였다.

(1) 연소성능시험

난연제의 연소성능을 측정하기 위해 “한국산업표준 KS F ISO 5660-1[연소성능시험-열 방출, 연기 발생, 질량 감소율-제1부 : 열 방출률(콘칼로리미터법)]”을 사용하여 실험을 진행하였다. 연소성능시험은 “순연소열은 연소하는 데 필요로 하는 산소의 양에 비례한다”는 점에 기초하며 시험편을 $0kW/m^2$에서 $100kW/m^2$ 범위의 복사열에 노출시켜 대기 조건에서 연소시켜 산소 농도와 배출 가스 유량을 측정하여 실시하였다. 장치의 구성은 Fig. 1과 같다.

(2) 건축물 마감 재료의 가스유해성 시험

난연제의 가스유해성을 측정하기 위해 “한국산업표준 KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법) 중 가스유해성 시험”을 사용하여 시험을 진행하였다. 가스유해성 시험은 시험체를 부열원으로

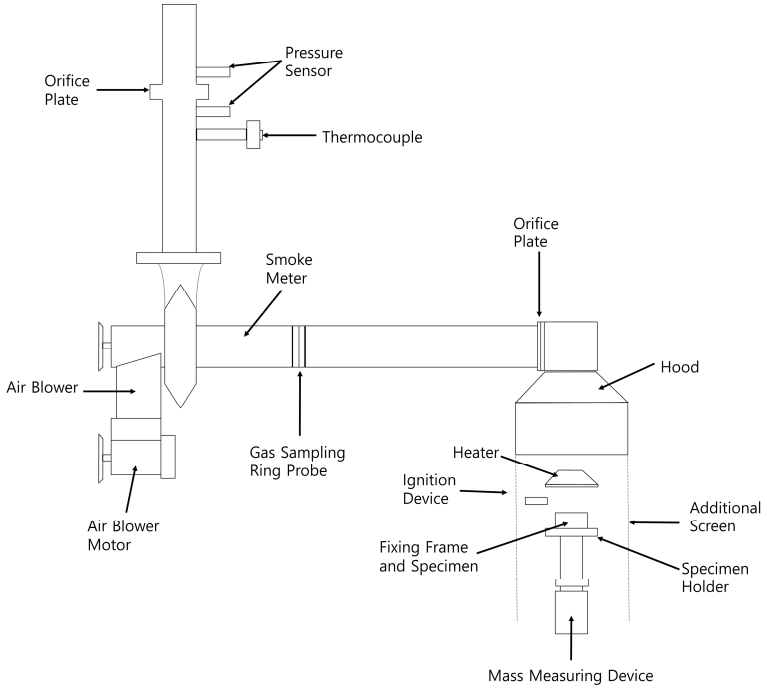


Fig. 1. Combustion performance test – Heat release, smoke generation, mass reduction rate-Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) (KS F ISO 5660-1 2018)

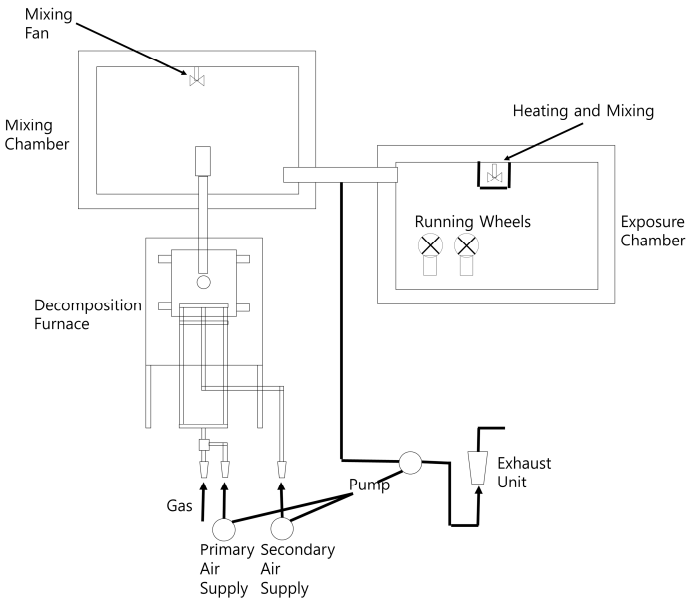


Fig. 2. Test method for gas toxicity of building finishing materials (KS F 2271. 2019).

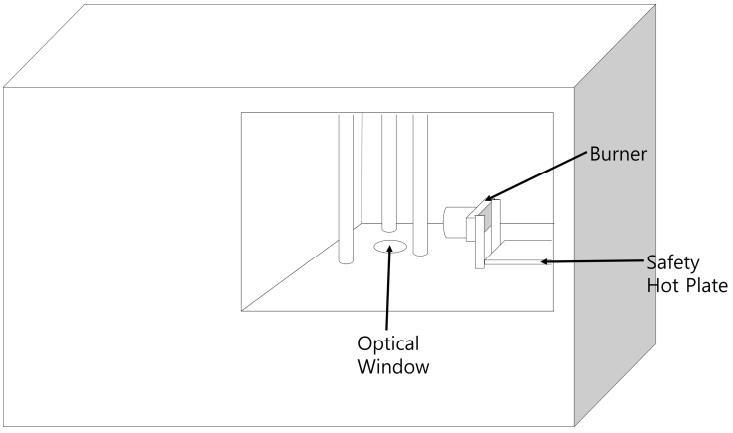


Fig. 3. Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials. (ASTM E 662, 2015).

3분간 가열하고, 주열원으로 3분간 재가열하고, 가열을 시작랑 때 피검 상자에 흰 쥐를 투입하여 행동을 정지하는 시간을 측정하여 실시하였다. 장치의 구성은 Fig. 2와 같다.

(3) 연기밀도 시험

난연제의 연기밀도를 측정하기 위해 ASTM E 662 연기밀도를 사용하여 시험을 진행하였다. 연기밀도 실험은 2.5W/㎠의 가열기에 의해 시험편에서 발생하는 연기를 측광계를 사용하여 연기의 발생에 따른 광전송을 측정하고, 이를 통해 연기밀도를 계산하여 실시하였다. 장치의 구성은 Fig.3과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연소 성능 시험 결과

제조된 시료에 대한 연소 성능시험[7]의 결과를 그림 4와 표 7에 정리하였다. 결과를 고찰하면 ①,②번 시료는 Isocyanate functional group이 2.9, 2.75이고 총 방출열량은 5.7 MJ/㎡, 6.7 MJ/㎡로서 기준값 8MJ/㎡ 이하를 충족하였으나 ③,④번 시료는 Isocyanate functional group가 2.7, 2이고 총 방출열량은 9 MJ/㎡, 10.5 MJ/㎡로서 기준값에 충족하지 못하였다. 모든 시료에 폴리올과 난연제를 동일하게 투입하였는데도 결과는 Isocyanate functional group이 높은 경우 성능이 우수한 것을 볼 수 있다.

최대 열 방출율은 모두 10초 이상 연속으로 200kW/㎡ 를 초과하지 않는 것으로 관찰되어 최대 열 방출율과는 상관이 없는 것을 볼 수 있으며 형상 및 두께감소는 Isocyanate functional group이 높은 경우 투입된 팽창하는 난연제와 결합하는 난연제, 그리고 치밀한 조직이 상승작용을 통해 탄화 막이 단단하게 형성되나 Isocyanate functional group가 낮은 경우 탄화 막이 상대적으로 덜 단단하고 두께가 더 증가하였으며 ①,②, ③번은 형상의 붕괴가 진행되지 않았으나 ④번의 경우 시료가 일부 녹으면서 형상이 붕괴되는 것을 관찰하였는데 적어도 ③번 시료와 같이 Isocyanate Functional group의 값이 2.7 이상 되어야 형상의 붕괴를 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 시료에 우레탄의 화재에 대한 붕괴를 적게 하고자 실험체의 단면을 파형 구조를 주었고 파형강판과 같이 하중에 대한 내구성도 확인할 수 있었다.

KS F ISO 5660-1방법에 의한 연소 성능 시험 결과를 고찰하여 보면 난연재의 영향으로 소재가 팽창되어 차열성을 가지고 오는 것을 확인하였으나 탄화되면서 난연제의 과도한 팽창으로 조직이 느슨해지고 실험 장비의 복사열이 시료의 심부까지 전달되어 지속적인 연소 진행으로 실험 기준값을 초과하는 경향을 볼 수 있고 Isocyanate Functional group이 2.75 이상의 경우 성능증가에 긍정적인 역할을 수행하는 것으로 판단된다.

3.2 가스유해성 시험 결과

건축물 마감재료의 가스유해성 시험[8] 결과를 그림 5 와 표 8에 정리하였다. 그림과 표에 나타나 있는 바와 같이 한국산업표준 KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법) 중 가스유해성 시험 결과 모든 시험에 있어 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 하는데 ①번 시료를 제외한 모든 시료가 기준치를 넘지 못하였다.

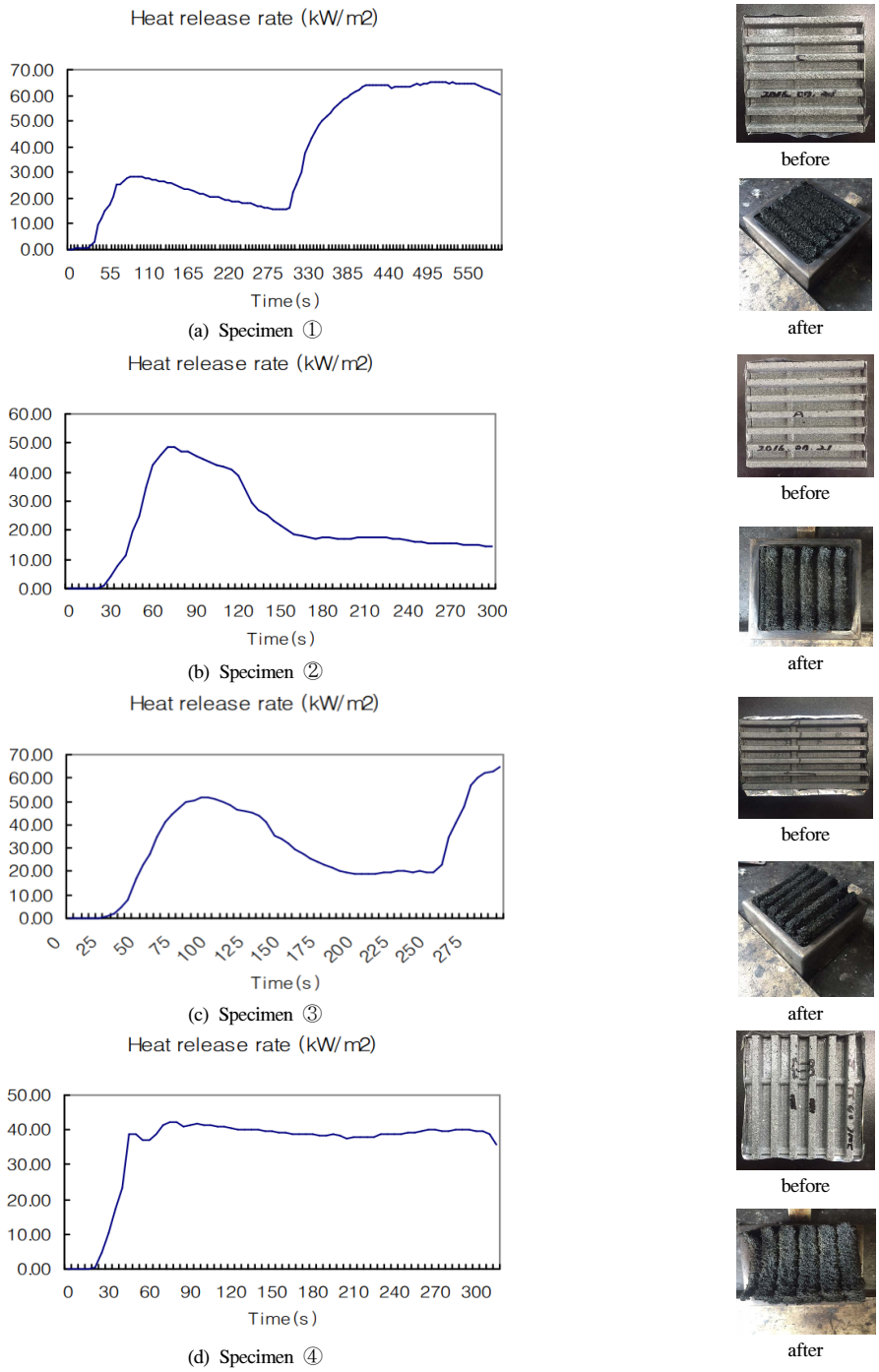
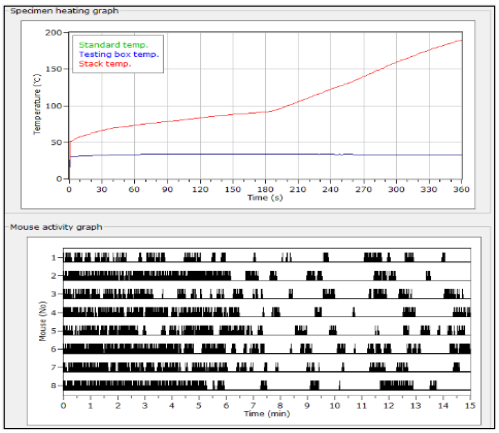


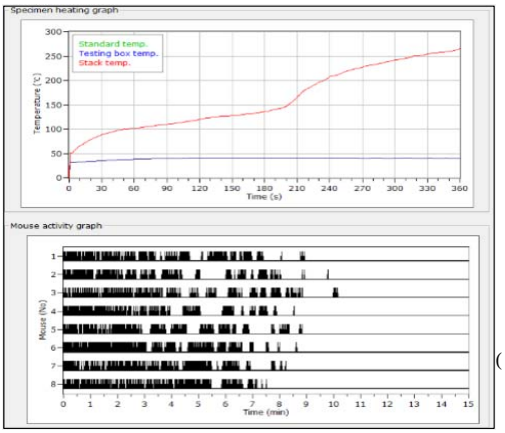
Fig. 4. Results of combustion performance test - Heat relese, smoke generation, mass reduction rate – Part 1 : Heat release rate (cone calorimeter method, KS F ISO 5660-1).

Table 7. KS F ISO 5660-1 result

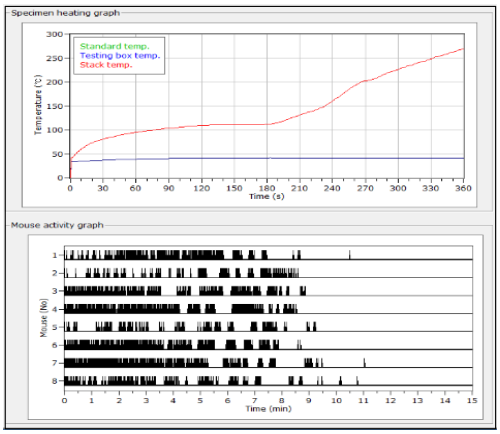
Specimen	Total heat released	Maximum heat release rate	Shape and thickness reduction		
①	5.7 MJ/㎡	30～65kw	No cracks.	12mm increase	No melting
②	6.7 MJ/㎡	50kw	No cracks.	12.5mm increase	No melting
③	9 MJ/㎡	50～65kw	No cracks.	12.8mm increase	No melting
④	10.5 MJ/㎡	40kw	No cracks.	13mm increase	some melting



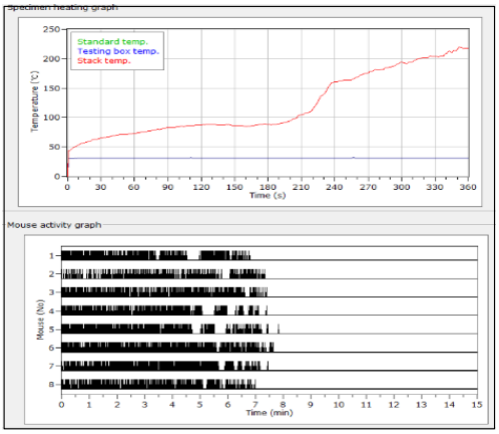
(a) Specimen ①



(c) Specimen ③



(b) Specimen ②



(d) Specimen ④

Fig. 5. Results of test method for gas toxicity of building finishing materials (KS F 2271).

KS F ISO 5660-1 연소 성능 시험은 시료를 수평으로 하고 수직으로 복사열을 가하기 때문에 용융되지 않으면 형상의 붕괴를 피할 수 있으나 KS F 2271 가스 유해성 시험은 시료를 수직 배치하고 하부에 화염을 인가하는것으로서 상대적으로 시료의 붕괴가 용이하다.

수직으로 세워져 탄화된 ①번 시료의 경우 견고하게 탄화된 상태로 있고 연기도 상대적으로 적게 발생 된 반면 ②,③,④번 시료의 경우 양의 차이가 있지만 순차

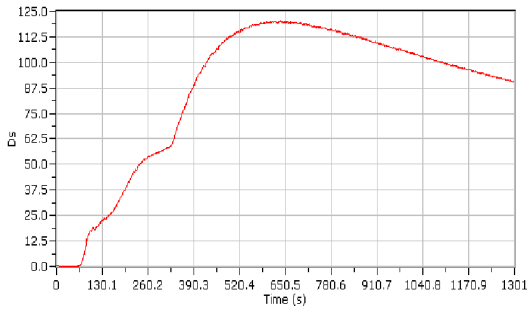
적으로 형상 붕괴가 일부 진행되면서 연기가 지속적으로 발생되었다.

우레탄이 탄화 시 질소산화물인 HCN이 다량으로 발생되는데 ①번 시료와 같이 초기에만 탄화된 경우는 연기가 발생된 후 탄화 막으로 인해 더 이상 화염이 침투되지 못해 기준값을 충족하지만 나머지 실험재료는 형상이 일부 조금씩 붕괴되면서 다시 탄화 막이 형성되기 까지 지속적으로 HCN가스 및 흄이 발생되어 실험용 쥐의 생존에 악 영향을 주는 것으로 확인된다.

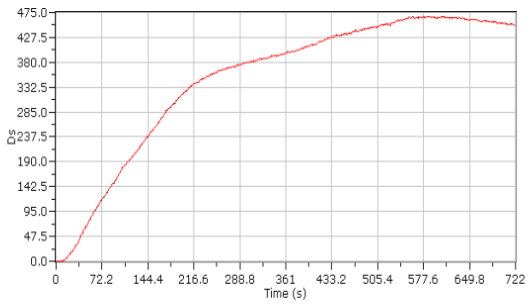
이로 인해 Isocyanate Functional group이 상대적으로 높아 조직이 치밀하면서 탄화 막 형성이 용이한 Char시스템용 난연제가 추가적으로 투입되어야 좋은

Table 8. KS F 2271 result

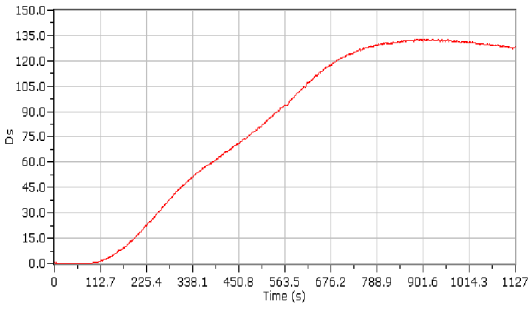
Specimen No	Average quiescent time (rat)	Observation
①	13 minutes 54 seconds	Smoke is generated initially and slowly decreases
②	8 minutes 32 seconds	Early smoke generation and maintenance
③	8 minutes 03 seconds	Early smoke generation and maintenance
④	7 minutes 02 seconds	As the carbonization film continues to collapse, smoke generation increases



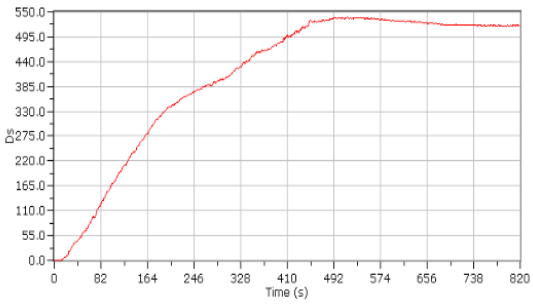
(a) Specimen ①



(c) Specimen ③



(b) Specimen ②



(d) Specimen ④

Fig. 6. Results of standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials (ASTM E 662).

Table 9. ASTM E 662 result

Result / No	Running time (sec)	Maximum smoke density	Observation
①	1300	120	Smoke is generated initially and slowly decreases
②	1127	132	Early smoke generation and maintenance
③	820	468	Early smoke generation and maintenance
④	722	537	As the carbonization film continues to collapse, smoke generation increases

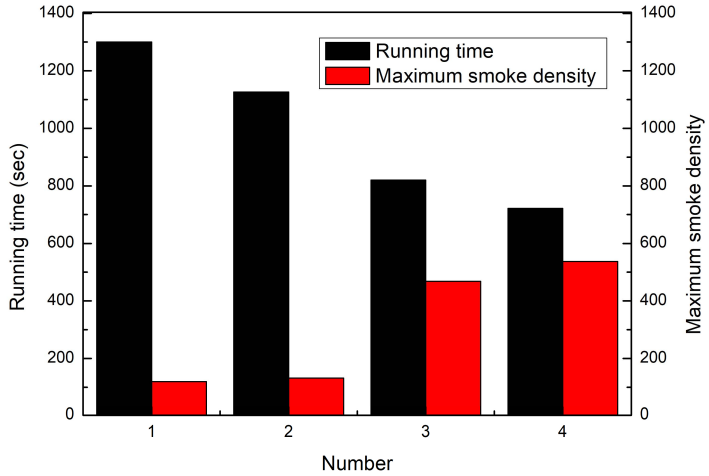


Fig. 7. Comparison of standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials.(ASTM E 662)

성능을 나타낼 수 있는 것으로 판단된다.

3.3 연기밀도 시험 결과

시료의 연기밀도 시험 결과를 그림 6 과 표 9에 나타냈었다. 연기밀도 시험의 경우 ①,②는 20분 동안 400 이하의 수치를 보여 안정적이었고 ③,④는 20분이 되기 전에 최대 연기밀도에 도달하는 것으로 관찰되었다. 연기밀도 시험의 경우도 앞서 가스유해성 시험과 같이 시료의 크기는 상대적으로 작지만 시료를 수직으로 세우고 복사열과 화염을 동시에 가하는 시험으로서 형상이 붕괴되어 다시 탄화막을 만들기까지 지속적으로 연기가 발생하게 되는데, ①,②번 시료는 연기의 발생이 천천히 진행되어 20분간 진행하여도 최대 연기밀도가 150을 넘지 못하지만 ③,④번의 경우 탄화막의 형상이 붕괴되면서 지속적으로 연기가 발생하여 722초와 820초에서 각각 최대 연기밀도를 발생하였다.

앞서 가스유해성에서는 ②번 시료도 기준치에 부합하지 않았으나 연기밀도의 경우 시료가 보다 작고 가열강도 또한 상이하여 좋은 성능을 보인 것을 확인할 수 있으며 결과적으로 KS F ISO 5660-1방법에 의한 연소 성능 시험 결과와 같이 Isocyanate Functional group을 2.75이상 높은 값의 경우 성능 증가에 긍정적인 역할을 수행하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 ESS의 배터리실 외의 장소와 옥외형 전기저장장치에서 배터리 실외의 장소와 옥외형 전기저장장치 설비에서 우레탄 판넬을 사용하게 될 경우, 난연소재로 적합한 물성의 고분자 성형물의 도출하여, 양쪽에 철판과 충분하게 난연제를 사용하여도 중합반응에 의해 선형구조가 아닌 격자구조로 조직의 치밀성과 물성을 확보된 단열재를 사용할 수 있

는 가능성을 모색하였다. 높은 Isocyanate 작용기(functional group)을 적용하여 우레탄의 선형분자구조를 격자 분자구조로 하면 조직의 치밀성이 증가하여 화재 시 난연제와 상승작용을 통해 탄화물의 형상 붕괴를 최소화하여 목조 건축물 화재처럼 기둥의 표면은 탄화가 되어도 조직이 치밀한 목재 심부에서 탄화가 현저히 줄어드는 것 같은 효과를 거둘 수 있었다. 특히, 연소시험을 위해 팽창하는 난연제를 다량 사용할 경우 오히려 수직 화재의 경우 형상의 붕괴를 통해 시험과 다르게 화재 현장에서 단열재의 형상 붕괴로 인해 전체 샌드위치 패널이 붕괴할 수 있어 적절하게 사용되도록 하여야 할 것이다. 또한, 방화문과 같이 내부에 파형 또는 기타 형태의 화염확산 방지구조를 두면 실 화재에 더욱더 바람직할 것으로 고려된다.

감 사

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 국토교통기술 사업화지원 사업으로 시행중인 “폐 유기화합물 재활용을 이용하여 화재표시가 가능한 건축시설물 2시간급 내화채움구조 및 부속장치 개발”(과제번호 : 21TBIP-C160605-01)의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한, 2021년 환경부 환경공단 “통합환경관리인력 양성 사업”의 일부 지원이 있었음을 밝힙니다. 연구비지원에 감사드립니다.

REFERENCES

[1] 소방청, 전기저장시설의 화재안전기준(NFSC 607), (2022)
[2] 국토교통부, 건축자재등 품질인정 및 관리기준(국토교통부고시 제2022-84호), (2022)
[3] Technical Standards of KEPCO, Cable Heat Insulation Materials ES-8030-0001, (2016)
[4] KKwang-muk Park et al, “A Study on the Fire Risk of ESS through Fire Status and Field Investigation”, F*ire Science and Engineering,* 32(6), 91-99, (2018)
[5] Oh-deok Kwon et al, Effect of Flame Retardants on Flame Retardancy of Flexible Polyurethane Foam, Applied Chemistry for Engineering, 24(2), 208-213, (2013)
[6] Jang-bok Nam, Jin-hwan Choi, “Research Trends of Flame Retardant and Flame Retardant Resin”, *Polymer Science and Technology*, 20(1), 8-15, (2009)
[7] KS F ISO5660-1, Reaction-to-fire tests—Heat release, smoke production and mass loss rate—Part 1: Heat release rate(cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement), (2018)
[8] KS F 2271, Testing method for gas toxicity of finish materials of buildings, (2019)
[9] ASTM E 662, Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials (2015)