

국내 유통 경질 폴리우레탄 폼에 대한 냉동 컨테이너의 적용 및 표준화

이준혁¹, 주아람², 박용근², 김수진³, 이순홍^{2*}

¹ 한양대학교 화학공학과, flower@hanyang.ac.kr

² 안양대학교 환경공학과, leesh@anyang.ac.kr

³ 한국기계전기전자시험연구원, sjsj929@ktc.re.kr

The Standardization and Applicability for Thermally Insulated Containers of Rigid Polyurethane Foams distributed in South Korea

Joon-Hyuk Lee¹, A-Ram Joo², Yong-Geun Park², Su-Jin Kim³
and Soon-Hong Lee^{2*}

1 Department of Chemical Engineering, Hanyang University

2 Department of Environmental and Energy Engineering, Anyang University

3 Chemical Analysis Centre, Korea Testing Certification

(2017-9-9 접수; 2017-11-8 수정; 2017-11-9 채택)

요 약

본 연구에서는 국내 유통 경질 폴리우레탄 폼 10종과 폴리올, MDI, TCPP, 멜라민을 토대로 발포한 자체개발 폼 1종을 대상으로 냉동 컨테이너 용도에 부합하는 표준을 기준하였다. 등급별 인증규격 정립을 위해 난연성, 열전도율, 압축강도, 굴곡강도, 흡수율의 5대 항목을 2종으로 분류하였으며 그에 따른 시제품 시험결과는 각각 0.022 W/m·K, V-0, 0.35 MPa, 0.11 MPa, 1.31 g/100cm로 나타났다. 시제품의 경우 굴곡강도와 흡수율 부문에서 등급 외 판정이 도출되었으나, 이는 냉동 컨테이너용 표준규격이 고시되어 관련 산업계의 연구개발이 이루어진다면 어렵지 않게 달성할 수 있을 것으로 보인다.

키워드: 경질 폴리우레탄 폼, 인화성, 열전도율, 압축강도, 굴곡강도, 흡수량

* Correspondence to: Soon-Hong Lee, Tel.: +82-31-467-0965 E-mail: leesh@anyang.ac.kr

ABSTRACT

Rigid polyurethane foam on thermally insulated containers is discussed with respect to the need of standardization. 10 samples of rigid polyurethane foam were bought from the domestic market and we mixed 1 sample with following main components; polyol, MDI(Methylene diphenyl diisocyanate), TCPP(Tris (chloroisopropyl) phosphate) and melamine. 5 selected evaluation list including thermal conductivity, flammability, absorption, compressive and flexural strength were grouped into 2 classes. The mean values of market samples with aforementioned evaluation list were 0.022 W/m·K, V-0, 0.35 MPa, 0.11 MPa, 1.31 g/100cm³ and the samples failed to reach 2 evaluation list. However, we believe that the addressed problem could be solved with new approach of research and development which targeted on the revised rating standard.

Key words: Rigid polyurethane foam, Flammability, Thermal conductivity, Compressive strength, Flexural strength, Absorption

1. 서론

폴리우레탄은 알콜과 이소시아네이트 간 중합반응에 의해 이루어지는 우레탄 결합의 고분자 화합물을 지칭하며, 시중에서는 폼(foam) 형태의 발포체 또는 스프레이형으로 유통되고 있다. 이 중 경질 폴리우레탄 폼은 타 단열재 대비 우수한 방수성, 단열성, 난연성, 가공성, 접착성 등으로 인해 주로 건축용 단열재나 충전재에 적용되고 있다[1]. 경질 폴리우레탄 폼이 적용되는 분야는 표 1과 같으며, 국내에서는 녹색건축물 조성 지원법의 개정에 따라 2017년 1월부터 시행된 제로에너지건축물(ZEB, Zero Energy Building) 인증제도로 인해 건축용 단열재에 대한 수요가 증대될 것으로 전망된다[2].

건축용 단열재의 경우, 국내 표준규격인 KS M 3809를 모태로 하는 14종의 인용규격이 정립되어 있다. 그러나 상온(23±2 °C) 하 용도에 적용되는 건축용

단열재와 달리, 외부 기상조건이나 주변온도 등에 따라 내부온도가 -29 °C ~ +57 °C까지 변화하는 냉동 컨테이너에 적용되는 단열재에 대한 규격은 별도 정립이 되어있지 않은 실정이다[3]. 따라서 본 연구에서는 건축용 단열재 대비 미정립되어 있는 냉동 컨테이너용 단열재에 대한 표준연구를 수행함으로써, 항만 내 에너지 절감 및 적재화물에 대한 상품성 보존에 기여하고자 한다.

본 연구는 두 편의 동반논문으로 구성되어 있다. 제 1편에서는 선행표준연구를 통해 국내외 경질 폴리우레탄 폼에 대한 규격을 검토하고 이를 바탕으로 정립된 시기준(안)에 근거하여 자체발포한 경질 폴리우레탄 폼에 대한 시험항목 유효성을 판단하였다[4]. 제 2편인 본 논문에서는 국내 유통 경질 폴리우레탄 폼 10종과 자체개발 폼을 대상으로 제 1편에서 미정립한 등급별 인증기준(안) 규정 및 시험수치 유효성을 판단하였다.

표 1. 경질 폴리우레탄 폼의 산업계 적용예시

Type	Application
Building & construction	<ul style="list-style-type: none"> Insulator in house floors, walls, doors and roofs Furniture and bedding in cushions, mattress padding and cores
Transportation	<ul style="list-style-type: none"> Insulator in reefer container floors, walls and doors Car seats, bumpers, windows, doors and wheels
Electronic	<ul style="list-style-type: none"> Satellite dishes, underwater cables, printed circuit boards(PCBs) and packaging foams
Other uses	<ul style="list-style-type: none"> Ship molding, footwear, surgical drapes, wound dressings, polyurethane packaging foam(PPF) and more

2. 시험기준

제 1편에서 정립한 시기준(안)의 요약은 표 2와 같다. 선행논문에서 규정한 11가지 평가항목 중 등급별 인증규격(안) 정립을 위한 5대 항목인 난연성, 열전도율, 압축강도, 굴곡강도, 흡수율을 시험하였으며 이에 대한 선정근거는 다음과 같이 정리될 수 있다. 첫째, 화재로 발생하는 산업계 내 안전저해요인 조기차단을 위해 난연성 항목을 추가하였다. 표 3과 같이 국내 냉동 컨테이너 운송실적은 지속적 증

가추이를 보이고 있으며, 항내 계류선박에 화재가 전파되는 등의 2차피해 위험 또한 상존하고 있다. 국민안전처 국가화재정보시스템에 따르면, 매년 1,000건 가량의 창고화재가 발생하고 있으며 그에 따른 피해액은 연간 약 400억원에 이른다[5]. 그럼에도 불구하고, 선행논문에서 국내유통 경질 폴리우레탄 폼 단열재 10종의 홈페이지에 명시된 항목을 조사한 결과 난연성 항목은 대체적으로 누락되어 있었다. 따라서, 난연성 항목을 HF-1 또는 V-0에 기준한다면 화재의 형성 5단계(ignition, incipient, growth, steady state, decay) 중 2단계 초기대응에 기여

표 2. 냉동 컨테이너용 경질 폴리우레탄 폼에 대한 주요 평가항목

Evaluation List	Unit	Revised standard
Thermal conductivity	W/m · K	below 0.022
Apparent density	kg/m ³	more than 50
Compressive strength	Mpa	more than 0.35 (-40℃)
Flexural strength	Mpa	more than 0.35 (-40℃)
Absorption	g/100cm ³	below 1.0
Dimensional stability	%	0±0.8 (80℃, -40℃)
Flammability	-	HF-1 or V-0
Adhesive strength	Mpa	more than 15
Antimicrobial properties	%	more than 99.9
T-VOC emissions	mg/m ³ h	below 0.1
Formaldehyde emissions	mg/m ³ h	below 0.01
6 Hazardous materials	mg/kg	detection limit*

* Each detection limit of 6 hazardous materials is Cd(below 1 mg/kg), Pb(below 10 mg/kg), Hg(below 0.1 mg/kg), Cr⁶⁺ (below 0.1 mg/kg), As(below 10 mg/kg) and Cr(below 10 mg/kg)

할 수 있을 것으로 기대된다[6].

둘째, 탄소질감 및 전력감소로 대표되는 국내 정책방향에 근거하여 열전도율을 추가하였다. 국내 주택별 평균 전력 사용량은 2016년 기준 225 kWh이다[7]. 냉동 컨테이너의 평균 전력 사용량은 20 feet 기준 약 360 kWh로 추산되며, 이는 냉동 컨테이너 1개가 국내 주택 1가구보다 약 62.5 %의 전력을 더 소모하는 수치이다[8]. 항만산업의 전반적 침체에도 불구하고 국내 컨테이너 수송실적이 꾸준한 상승세를 보이고 있음을 인지할 때, 국내 31개 무역항 내 냉동 컨테이너 관리에 소모될 전력량 역시 비례증가할 것으로 보인다[9]. 유럽에서 단열성을 보장하는 에너지효율화로 연간 이산화탄소 약 5억 톤을 감축할 수 있다는 선행연구에 근거하였을 때, 현행 건축물 항목의 열전도율을 냉동 컨테이너에도 적용시킨다면 국내에서도 유의한 결과를 얻을 수 있으리라 기대된다[10].

셋째, 압축강도와 굴곡강도의 경우 하단과 같은 근거로 추가되었다. 밀도와 압축강도는 소재의 특성상 비례하므로 시험 편의성을 위해 압축강도만 포함하였다. 다만, 굴곡강도는 소재의 파과(破過) 및 모서리 체결방식으로 냉동 컨테이너에 적용되는 특성에 의해 압축강도와 분리하여 추가하였다. 마지막으로 흡수율의 경우, 냉동 컨테이너 내 수화물이 주로

표 3. 2012-2016 우리나라 컨테이너 운송실적

Year	Container transport capacity (R/T)	
2012	Total	370,700,733
	Domestic	47,730,749
	Foreign	322,969,984
2013	Total	391,387,003
	Domestic	50,196,587
	Foreign	341,190,416
2014	Total	418,201,479
	Domestic	50,994,241
	Foreign	367,207,238
2015	Total	429,628,092
	Domestic	50,594,462
	Foreign	379,033,630
2016	Total	437,063,390
	Domestic	57,284,110
	Foreign	379,779,280

온도·수분 민감성인 의약품, 냉동식품, 화학품인 점을 인지하여 추가하였다[11~12]. 상기에서 언급된 등급별 인증규격 항목들은 기존 KS M 3809에도 명기되어 있는 부분을 차용하였다[13]. 이는 기존 KS M 3809에 기준하여 시험환경이 선 조성된 산업계의 표준 호환성을 유지하기 위함이다. 다만, 본 연구의 냉동 컨테이너용 경질 폴리우레탄 폼 등급표에서는 시험편의성 및 혼선방지를 위해 표 4

표 4. KS M 3809에 규정되어 있는 경질 폴리우레탄 폼 분류 등급표

Classification			Appearance	Density
Insulating panel	Class 1	1	· Panel with no attached surface layers	high
		2		intermediate
		3		low
	Class 2	1	· Sandwich panel with attached surface layers	high
		2		intermediate
		3		low
Insulating tubular	Class 1	1	· Cylindrical type	high
		2		intermediate
	Class 2	3		low

에 나타난 것과 같은 기존 4종 12호를 2종 6호로 축소하였다.

3. 시험방법

경질 폴리우레탄 폼에 대한 난연성 평가는 KS M 3809의 “연소시간 120초 이하 및 연소길이 60 mm 이하일 것”을 따른다. 본 연구에서는 보다 정량화된 표현 및 국제기준에 부합하는 난연성 기준을 충족시키기 위해 추가적으로 UL94 및 KS M ISO 9772 시험방법을 추가적용하여 평가를 진행하였다[14~15]. 이에 대한 단위등급은 HF 또는 V로 표현하며, 연소테스트 시험장치 모식도는 그림 1과 같다.

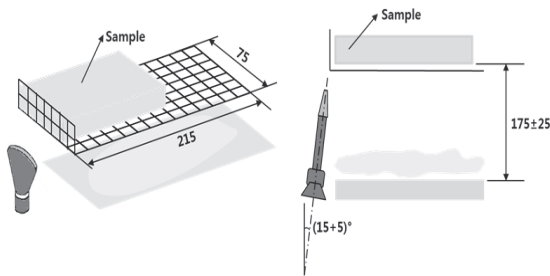


그림 1. 수평 연소 테스트 시험장치 모식도

열전도율 시험은 KS L 9016에 규정된 평판열류계법에 따른 열류계를 이용하여 열저항을 측정하였으며, 세부 시험방법은 다음과 같다[16]. 열판과 시험체의 치수 및 두께에 따라 시험체 표면의 온도 측정 개수는 상이하며, 이는 표준규격에 규정되어 있다. 따라서 시험체 외곽의 열손실을 최소화할 수 있도록 주변을 단열하거나 항온조를 사용하여 온도를 조절한 후, 시험체의 양면에 10 °C 이상의 온도차를 부여한다. 시험체가 정상 상태에 도달한 것을 확인하기 위해 10~30분 간격으로 열류계의 출력 및 시

험체의 표면 온도를 측정한다. 열류계의 출력이 30분 당 2 % 이상 변화하지 않고, 시험체의 표면 온도가 30분당 1 % 이상 변화하지 않으면 정상 상태에 도달한 것으로 판단하고 측정을 종료하여 열전도율을 산출하여 W/m·K 단위로 유효 숫자 2자리로 표시한다.

굴곡강도와 압축강도의 경우, 현행 국내 평가규격에서는 저온온도조건이 누락되어 있는 관계로 Hot-press machine을 이용하여 제작한 직육면체의 시편을 저온챔버를 활용하여 -40 °C의 온도조건을 조성한 뒤, 만능재료시험기(UTM)을 사용하여 저온 하굴곡 및 압축강도를 평가한다. 굴곡강도의 시험은 KS M ISO 1209-1,-2에 규정된 경질 발포 플라스틱의 굽힘시험에 의거하여 진행하였다[17-18]. 굽힘시험의 원리는 두 지점에서 지지된 시험편에 가압봉을 이용하여 지점 중앙에 위치한 시험편에 일정한 속도로 수직으로 하중을 가하여 파괴 시의 하중을 측정하는 것이다. 이에 따른 세부 시험방법은 다음과 같다. 시험편의 너비 이상의 길이를 가진 지지봉을 평행으로 설치한 후 (10±2) mm/min의 속도로 가압봉을 수직 하강시킨 후 시험편이 파괴된 지점의 파괴 하중을 기록한다. 파괴 하중을 시험편의 파괴 단면적으로 나누어 굴곡강도를 산출하여 N/cm² 또는 MPa 단위로 표시한다. 압축강도의 시험은 KS M ISO 844에 규정된 경질 발포 플라스틱의 압축 시험을 따라 진행하였다[19]. 압축시험의 원리는 직사각형 시험편의 한 면에 축 방향으로 압축 하중을 가한 후 시험편이 지지하는 최대 응력 값을 도출하여 압축강도를 계산한다. 세부 시험방법은 다음과 같다. 시험편을 압축 시험기의 판 사이에 두고 시험편과 판의 중심을 일치시킨다. 이동판을 일정한 속도로 이동시키며 시험편을 압축하는데, 이 때 이동판의 이동 속도는 압축 이전 시험편 두께의 10 %/min에 가깝도록 설정한다. 시험편 초기 두께의 85 %가 감소할 때 까지 압축하며 시험 중 도달하는 최대 하

중과 최대 응력 값을 기록하고 최대 하중을 시험편의 단면적으로 나누어 압축강도를 산출하여 N/cm^2 또는 MPa 단위로 표시한다.

흡수율의 경우, KS M 3809에 규정된 것과 같이 전·후 무게를 고려한 무게법에 의한 실험 및 계산법으로 평가하였으며, 세부 시험방법은 다음과 같다. 시험편을 규격에 정의된 치수로 잘라 (23 ± 3) °C의 맑은 물에 10초간 담근 후 연직에서 30° 기울인 철망에 놓고 30초간 방치시킨다. 이 때 시험편의 무게를 0.01 g의 정밀도로 측정하여 이를 기준무게로 설정한다. 이 후 다시 맑은 물에 24시간 동안 담근 후 동일한 방법으로 무게를 측정한다. 흡수율은 실험 이후 측정된 무게에서 기준무게를 뺀 값을 기록한다.

등급별 인증기준(안) 및 시험수치 유효성 확립을 위해, 시험편은 국내 시중에서 유통되고 있는 건축용 경질 폴리우레탄 폼 10종을 구매하였다. 시중 경질 폴리우레탄 폼 이외에도, 등급별 인증기준(안)의 1종1호 항목을 준수하기 위해 표 5와 같은 조성으로 합성 및 발포한 냉동 컨테이너용 경질 폴리우레탄 폼 시험 5개 중 시험 결과값이 가장 뛰어난 1개를 추가적으로 반영하였다.

표 5. 자체시험 경질 폴리우레탄 폼의 조성

Mixing ratio (Unit: g)	
Polyol I	24.7
Polyol II	117
MDI	17
Catalyst - DMEA, 33LV, Silicon	6.2
TCPP	65
Melamine	13
H ₂ O	4.3
Total	247.2
Reaction conditions	
Closed mold, Room temp 23 °C	
Stirring speed: 400 r/min	

4. 시험결과

등급별 인증기준(안) 5대 항목에 대한 시험결과는 표 6 및 그림 2과 같다. 국토교통부고시 제2014-141호에서 규정하고 있는 경질 우레탄폼에 대한 열전도율은 $0.034 W/m \cdot K$ 이하이다[20]. 국내에서 시판되고 있는 10종의 경질 폴리우레탄 폼은 건축용 KS규격에 기준하여 생산되고 있기 때문에 $0.019 \sim 0.024 W/m \cdot K$ 범주의 열전도율이 도출되었다. 상기결과는 제 1편에서 규정한 규격에 적용하더라도 근사구간 내의 결과값으로, 향후 조성비 변경을 통해 무난히 기준치를 달성할 수 있을 것으로 보인다. 난연성의 경우 시제품 모두 최고등급을 달성하였는데, 이는 인계 난연제 합성 및 폴리우레탄 폼에 대한 적용연구가 성숙기에 도달한 것에 기인한 것으로 판단된다[21-24].

Kim 등의 선행연구에 따르면, 폴리우레탄 폼은 상온과 저온에서 다른 물성변화를 보인다[25]. 저온에서는 우레탄 결합이 단단해져 압축강도가 상대적으로 증가하며, 탄성은 분자 상호 간 움직임의 감소로 인한 고분자 취성파괴로 오히려 감소한다. 건축용 기준에 근거하였음에도 시제품 압축강도와 굴곡강도의 평균이 각각 0.35 MPa, 0.11 MPa를 기록한 것은 선행연구 결과에 부합되는 것으로 보인다. 압축강도와 굴곡강도 간 유의성은 없는 것으로 보이는데, 이 역시 저온부 가교도 증가로 인한 사슬의 유연성 저하에 근거한 것으로 판단된다. 흡수율은 일반적으로 공기 내 습기로 인한 침투로 대개 자연증발되어 단열성능에는 큰 영향을 미치지 못하나, 지속적으로 해동이 반복되는 냉동 컨테이너라는 특수조건 하에서는 단열성능에 직접적 영향을 미칠 수 있다[26~28]. 시제품의 경우, 상온 건축환경에 근거한 관계로 평균 $1.31 g/100cm^3$ 의 흡수율을 보였다. 선행논문에서 규정한 $1.0 g/100cm^3$ 이하를 달성

표 6. 대상시편에 대한 열전도율, 난연성, 흡수량 시험결과

Sample List	Thermal conductivity (W/m · K)	Flammability	Absorption (g/100cm ³)
No. 1	0.023	V-0	1.5
No. 2	0.024	V-0	1.6
No. 3	0.020	V-0	1.3
No. 4	0.023	V-0	1.5
No. 5	0.022	V-0	1.0
No. 6	0.023	V-0	1.0
No. 7	0.021	V-0	1.3
No. 8	0.019	V-0	1.2
No. 9	0.023	V-0	1.5
No. 10	0.023	V-0	1.2
Comparison Sample	0.022	V-0	0.9

하려면, 시제품 제작의 전 과정에서 대기 중 수분침투로 유발되는 가수분해를 막기 위한 별도의 건조공정이 추가되어야 할 것으로 보인다. 본 연구의 등급별 인증기준(안)을 위해 냉동 컨테이너용에 목표하여 제조한 자체시편의 경우, 선행논문에서 규정한

규격을 가까스로 달성하였다. 냉동 컨테이너용 표준규격이 고시되어 관련 산업계의 연구개발이 이루어진다면 자체시편 이상의 수치를 어렵지 않게 달성할 수 있을 것으로 보인다.

시제품 10종 및 자체시편의 시험결과에 따른 등급별 인증기준(안)은 2종6호로 표 7과 같다. 선행논문 제시기준 및 자체시편의 시험 결과값에 근거하여 1종1호를 규정하고 비례감가를 두어 2종3호를 하한선으로 규정하였다. 시제품 10종의 평균치는 열전도율, 난연성, 압축강도, 굴곡강도, 흡수율에 대해 각각 1종1호, 1종1호, 1종1호, 등급 외, 등급 외로 평가된다. 본 연구의 취지가 시판 폴리우레탄 폼 단열재의 기술수준을 반영한 등급별 인증기준(안)의 정립임을 인지하여, 등급 외로 분류된 두 항목에 대한 수치를 일부 하향조정하였다. 기존 KS M 3809에서는 외형 또는 밀도만 평가하여 적용부위의 판정이 난해했던 반면, 총 6가지의 등급으로 세분화된 본 등급별 인증기준(안)은 용도에 따른 맞춤형이 가능하다. 일례로 1종의 경우 냉동 컨테이너 내 화

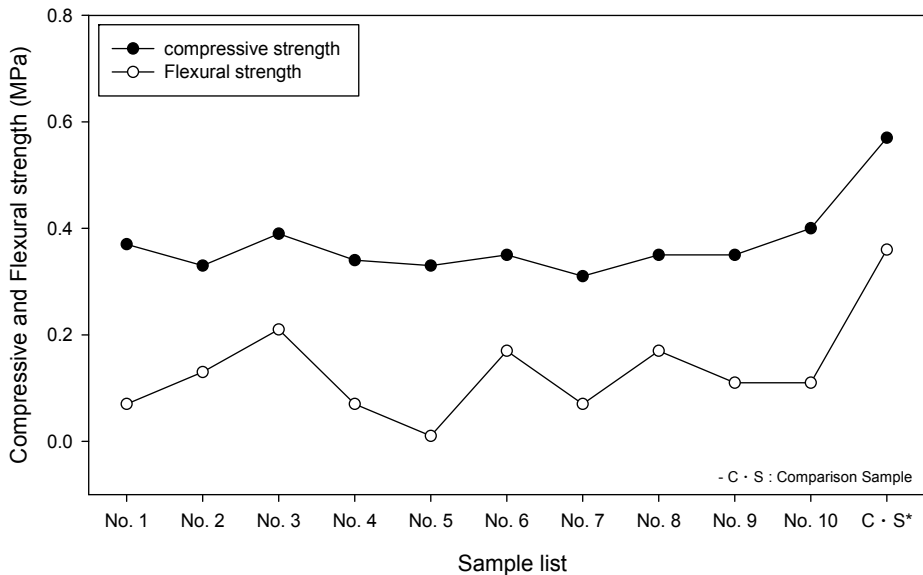
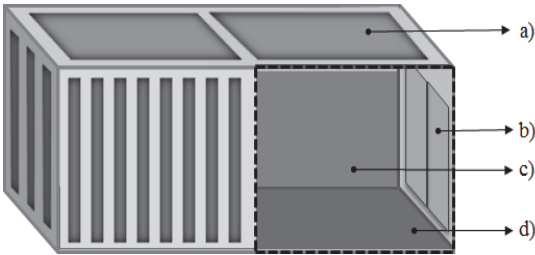


그림 2. 대상시편에 대한 압축강도, 굴곡강도 시험결과

표 7. 냉동 컨테이너용 경질 폴리우레탄 폼에 대한 등급별 인증규격(안)

Type		Thermal conductivity (W/m · K)	Flammability	Compressive strength (MPa, -40℃)	Flexural strength (MPa, -40℃)	Absorption (g/100cm ³)
1종	1호	below 0.022	HF-1 or V-0	more than 0.35	more than 0.35	below 1.0
	2호	below 0.022	HF-1 or V-0	more than 0.34	more than 0.33	below 1.0
	3호	below 0.022	HF-1 or V-0	more than 0.33	more than 0.31	below 1.0
2종	1호	below 0.023	HF-1 or V-0	more than 0.32	more than 0.29	below 1.1
	2호	below 0.023	HF-1 or V-0	more than 0.31	more than 0.27	below 1.1
	3호	below 0.023	HF-1 or V-0	more than 0.30	more than 0.25	below 1.1

물이 직접적으로 닿을 수 있는 바닥재 또는 벽에, 2종의 경우 지붕 또는 문에의 적용을 고려해 볼 수 있다. 등급에 따른 적용예시는 그림 3에 나타내었다.



a) 지붕면: 2종1~3호, b) 특수면: 2종1~3호,
c) 벽면: 1종1~3호, d) 바닥면: 1종1~3호

그림 3. 등급별 인증기준안에 근거한 냉동 컨테이너용 경질 폴리우레탄 폼 적용 모식도

5. 결론

본 연구는 두 편의 동반논문으로 이루어져 있다. 제 2편에서는 제 1편에서 규정한 시기준(안)의 평가항목 중 등급별 인증규격(안) 정립을 위한 5대 항

목을 난연성, 열전도율, 압축강도, 굴곡강도, 흡수율로 규정하였다. 이에 대한 시제품 10종 및 자체시편을 대상으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

5대 항목에 대한 시제품 10종의 평균값은 각각 0.022 W/m · K, V-0, 0.35 MPa, 0.11 MPa, 1.31 g/100cm³이며, 이는 2종6호에 대해 각각 1종1호, 1종1호, 1종1호, 등급 외, 등급 외로 평가되었다. 등급 외로 평가된 굴곡강도와 흡수율은 탄성력 회복 및 소수성(疏水性) 소재적용 등의 연구개발로 달성 가능할 것으로 판단된다.

상기 실험결과를 바탕으로, 등급별 인증기준(안) 2종6호의 수치를 1종1호부터 2종3호까지 비례감각식으로 제시하였다. 이는 형태 및 밀도만으로 차등화 된 KS M3809의 등급보다 세분화 된 기준이다. 나아가, 온도민감성 수화물 등의 화물이 직접적으로 개입하는 부분에는 상위등급을 적용하고 상대적으로 개입이 덜한 부분에는 하위등급을 적용하는 등의 예시를 추가적으로 제시하였다.

두 편의 동반논문에서 제시한 기준(안)은 냉동 컨테이너용 경질 폴리우레탄 폼에 대한 기준을 일찍이 확립하고 꾸준히 개정이 이루어지고 있는 미국과 중국보다 강화된 수치가 적용되어 있다. 따라서, 본

기준(안)이 국가표준정립의 기초자료로 활용된다면 후발주자인 우리나라의 제품 경쟁력 확보 및 수출에 기여할 수 있으리라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 한국산업기술평가관리원의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] Tang. Z, Maroto-Valer. M. M, Andrésen. J. M, Miller. J. W, Listemann. M. L, McDaniel. P. L & Furlan. W. R, "Thermal degradation behavior of rigid polyurethane foams prepared with different fire retardant concentrations and blowing agents," *Polymer*, vol. 43, No. 24, pp. 6471-6479, 2002.
- [2] Korea Mech. Const. Contractors Association, "Zero-energy building certification from January," 2017.
- [3] InterDry Thailand Co. Ltd, "A study on a few typical shipments and the effect on temperature and relative humidity," 2006.
- [4] J. H. Lee, Y. G. Park, A. R. Joo, Y. A. Jung & S. H. Lee, "A study on the standardization of the polyurethane soft foam for thermally insulated container," *KOSOS*, vol. 32, No. 1, pp. 108-114, 2017.
- [5] National Fire Data System, retrieved from http://www.nfds.go.kr/fr_pos_0401.jsf
- [6] Korea Electricity Power Corporation, retrieved from <http://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/H/C/CYHCHP00206.jsp>
- [7] Joglar. F, Mowrer. F & Modarres. M, "A probabilistic model for fire detection with applications," *Fire technology*, vol. 41, No. 3, pp. 151-172, 2005.
- [8] W. S. Kim & T. Y. Ha, "A study on the estimation of electricity to introduce ground power supply," *KMI*, vol. 4, No. 2, pp.166-186, 2009.
- [9] National Logistics Information Center, retrieved from <https://www.nlic.go.kr/nlic/ptsCntract0030.action>
- [10] EURIMA, retrieved from <https://www.scribd.com/document/38807403/Aim-High-Go-Low-Insulate>
- [11] Slobodchkov. N. A & Makarenko. M, "Problems of quality control during transportation of perishable goods," *Russian Journal of Logistics and Transport Management*, vol. 2, No. 2, pp. 42-48, 2015.
- [12] Aung. M. M & Chang. Y. S, "Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain," *Food Control*, vol. 40, pp. 198-207, 2014.
- [13] KS M 3809, "Thermal insulation material made of rigid urethane foam," Korean Standards Service Network, 2016.
- [14] UL Korea, retrieved from https://korea.ul.com/wp-content/uploads/sites/29/2014/08/UL_plastic.pdf
- [15] KS M ISO 9772, "Cellular plastics - Determination of horizontal burning characteristics of small specimens subjected to a small flame," Korean Standards Service Network, 2013.
- [16] KS L 9016, "Test methods for thermal transmission properties of thermal insulations," Korean Standards Service Network, 2012.
- [17] KS M ISO 1209-1, "Rigid cellular plastics - Determination of flexural properties - Part 1 : Basic bending test," Korean Standards Service Network, 2012.
- [18] KS M ISO 1209-2, "Rigid cellular plastics -

- Determination of flexural properties—Part 2 : Determination of flexural strength and apparent flexural modulus of elasticity,” Korean Standards Service Network, 2012.
- [19] KS M ISO 844, “Rigid cellular plastics—Determination of compression properties,” Korean Standards Service Network, 2012.
- [20] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, retrieved from <http://www.lawnb.com/data/Focuslawdata/lawnbfocusB00001272535.pdf>
- [21] Yang. R, Hu. W, Xu. L, Song. Y & Li. J, “Synthesis, mechanical properties and fire behaviors of rigid polyurethane foam with a reactive flame retardant containing phosphazene and phosphate,” *Polymer Degradation and Stability*, vol. 122, pp. 102-109, 2015.
- [22] Xi. W, Qian. L, Huang. Z, Cao. Y & Li. L, “Continuous flame-retardant actions of two phosphate esters with expandable graphite in rigid polyurethane foams,” *Polymer Degradation and Stability*, vol. 130, pp. 97-102, 2016.
- [23] Liu. C, Jin. X. L, Tian. Z. X & TIAN. H. H, “Synergistic effect of expandable graphite and thichloroethyl phosphate on flame-retardant properties of rigid polyurethane foams,” *Journal of Tianjin University of Technology*, vol. 30, No. 3, pp. 41-44, 2014.
- [24] K. Y. Kim, W. J. Seo, J. C. Lee, J. S. Seo & S. B. Kim, “The effect of phosphorus flame retardants on the flame retardancy of the rigid polyurethane,” *The Korean Industry of Gas*, vol. 17, No. 5, pp. 75-80, 2013
- [25] S. B. Kim & C. B. Kim, “Effect of Polyol Structure on the Physical Properties of Polyurethane Foam in Room and Cryogenic Temperature,” *The Korean Industry of Gas*, vol. 14, No. 3, pp. 21-25, 2010.
- [26] Wijesundera. N. E, Hawlader. M. N. A & Tan. Y. T, “Water vapour diffusion and condensation in fibrous insulations,” *International journal of heat and mass transfer*, vol. 32, No. 10, pp. 1865-1878, 1989.
- [27] Murata. K, “Heat and mass transfer with condensation in a fibrous insulation slab bounded on one side by a cold surface,” *International journal of heat and mass transfer*, vol. 38, No. 17, pp. 3253-3262, 1995.
- [28] ASTM International, retrieved from https://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/STP/SOURCE_PAGES/STP789.htm