



고온에 노출된 창호 프레임의 기계적 성질에 관한 연구

Mechanical Properties of Window Frames Exposed to High Temperatures

이병훈* · 권영진**

Lee, Byeong-Heun*, and Kwon, Young-Jin**

Abstract

This study aimed to examine the risks from window frames installed in the opening of an outer wall when exposed to high temperatures and to secure the DB through tests on the thermal and tensile strength characteristics of different materials. Al6063-T5 was tested up to 600 °C at intervals of 100 °C. Changes in the thermal properties and decreases in the tensile strength occurred rapidly at 400 °C. The tensile strength was measured as 84.41 MPa, i.e., 34.1% of that at room temperature at 600 °C (the maximum test temperature). In the case of polyvinyl chloride, tests were conducted up to 70 °C at intervals of 10 °C. The thermal characteristics were found to be constant and did not significantly affect the increase in temperature. However, the increase in temperature and decrease in tensile strength were found to be proportional. In the case of the tensile strength, a tensile strength of 14.98 MPa (45% of room temperature) was measured at 70 °C (the maximum test temperature).

Key words : Building Fire Safety, Window Frame, Mechanical Property, Al6063-T5, PVC

요 지

본 연구는 외벽 개구부에 설치되는 창호 프레임이 고온에 노출되었을 때 위험성을 검토하기 위한 목적으로 재료별 열적 성질 및 인장강도 특성에 대한 시험을 거쳐 DB 확보를 목적으로 한다. 100 °C 간격으로 최대 600 °C까지 시험을 실시한 Al6063-T5의 경우 400 °C를 기준으로 열적 성질의 변화와 인장강도의 하락이 급격하게 발생하는 것으로 나타났으며 인장강도는 최대 시험온도인 600 °C에서 상온 대비 약 34.1% 수준인 84.41 MPa로 측정되었다. PVC의 경우 10 °C 간격으로 최대 70 °C까지 시험을 실시했으며, 열적 성질은 온도의 상승에 큰 영향 없이 일정한 것으로 나타났다. 다만, 온도의 상승과 인장강도의 하락이 비례하는 것으로 나타났으며, 인장강도의 경우 최대 시험온도인 70 °C에서 상온 대비 45% 수준인 14.98 MPa의 인장강도가 측정되었다.

핵심용어 : 건축물 화재안전, 창호 프레임, 기계적 성질, Al6063-T5, PVC

1. 서 론

화재가 구획공간 내부에서 외부로 확대되기 위해서는 실내 공간에서 발생한 화재가 외부로 분출되는 일종의 통로가 반드시 존재할 수밖에 없으며 건축물의 구조를 고려하면 창호가 화재 확대 통로로 사용될 위험성이 존재한다(Min and Lee, 2012; Shin, 2018; Kweon and Kang, 2020).

특히, 2010년 부산 주상복합화재, 2015년 의정부 화재 등과 같이 창문의 탈락 이후 화염이 외부로 분출되며 화재가 대형화 된 사례가 다수 존재한다.

특히, Lee et al. (2019)과 Lee et al. (2021)은 창호가 벽과 분리되는 시점에서 열기류가 외부로 분출되는 것을 검증하기 위한 실험을 통해 창호의 최소 비차열 성능이 외부로의 화재 확산을 방지하고 있으며 창호의 비차열 성능을 확보하기

*교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 박사후연구원(Tel: +82-31-369-0530, Fax: +82-31-369-0540, E-mail: bhlee@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Researcher, Fire Research Institute of KICT

**정회원, 호서대학교 소방방재학과 교수

Member, Professor, Department of Fire & Disaster Prevention, Hoseo University

위해서는 유리와는 별개로 창호 프레임의 방화성능이 요구된다고 주장한 바 있다(Lee et al., 2019; Lee et al., 2021).

다만, 창호 프레임을 대상으로 하는 성능평가의 경우 일반적인 건축 재료와는 다르게 직육면체로 가공하기 어려운 부분이 있기 때문에 기존의 시편시험기준을 활용하기 적합하지 않아 KS F 2845와 같은 실 규모 화재시험 기준을 적용하는 방안 이외에는 평가가 어려운 상황이다.

이에 대한 대책으로 구조부재의 온도상승을 바탕으로 한 위험성 평가 방법을 고려할 수 있다.

구조부재의 온도상승에 대한 기계적 성질의 변화와 해석의 경우 강재를 중심으로 한 내화설계에서 주로 활용되고 있다. 이 때 평가는 열해석 프로그램을 통해 이뤄지고 있으며 현행 성능기반 내화설계의 실용화 기반 구축 역시 이러한 기초적 데이터를 확보하는 것에 주력하고 있다(Kwon, 2007; Kim et al., 2018).

하지만, 이러한 검증이 이뤄지기 위해서는 국내에서 사용되는 창호 프레임 재료에 대한 기계적 성질을 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 창호 프레임의 파괴에 영향을 미치는 기초 데이터를 얻기 위해 고온에 노출된 창호 프레임의 열적 성질 측정과 더불어 온도 상승에 따른 프레임의 인장강도 저하에 대한 데이터 확보를 목적으로 한다.

2. 재료의 온도별 열적 성질

2.1 시험 개요 및 방법

시험 대상은 창호 프레임의 종류에 따라 구분되었으며, 국내 사용 비율이 높은 PVC와 알루미늄(Al6063-T5) 두 가지를 대상으로 시험을 실시했다.

온도에 따른 재료의 인장강도는 재료가 가지고 있는 열전도율, 비열, 밀도 등의 특성에 영향을 받는다. 따라서, 고온 조건에서 실시한 재료의 온도별 열특성에 대한 시험을 진행했으며, 시험조건은 Table 1과 같다.

열전도도/열확산 계수의 경우 LFA (Laser Flash Method)

방법을 이용했으며 해당 방법은 정상상태(Steady State)에서 비접촉식 측정 방법인 섬광법(Flash Method)을 이용해 접촉 저항 없이 열확산 계수를 단시간에 측정해 데이터 취득이 용이하고 시편의 크기가 비교적 작아도 된다는 장점을 가진다.

원리는 물질의 일정 온도에서 시간의 경과에 따라 열이 전달되는 열확산도(Thermal Diffusivity)가 열전도율과 비열, 밀도와의 상관관계가 있다는 전제하에 이뤄진다(ASTM E 1461, 2022). 시편의 조건은 Fig. 1과 같다.

비열은 DSC (Differential Scanning Calorimetry) 방법을 이용해 측정했다. 비열은 1 g의 중량을 가진 물체의 온도를 1 °C 높이기 위해 필요한 열량을 의미한다. 따라서 해당 방법은 특정 온도에서 시료 물질과 기준 물질에 흘러 들어가는 열량의 차이를 비교해 이를 온도의 함수로 나타낸다(KS M ISO

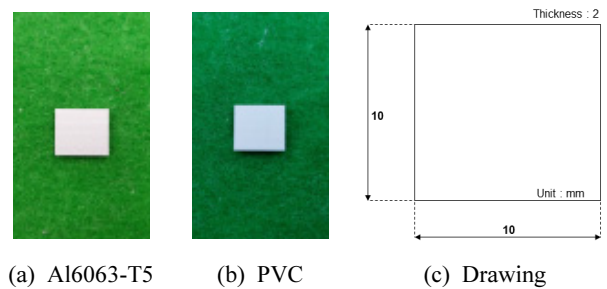


Fig. 1. Thermal Conductivity/Specific Heat Test Specimen

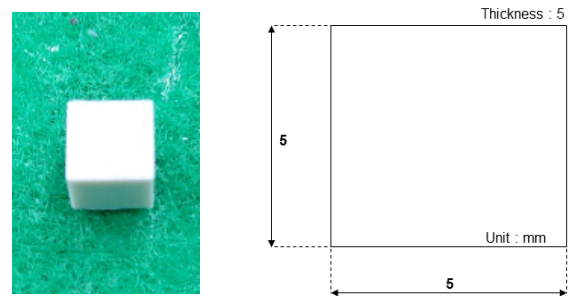


Fig. 2. Thermal Expansion Test Specimen (PVC)

Table 1. Thermal Characteristics Test Overview

Division	Thermal Conductivity/ Thermal Diffusion Coefficient	Specific Heat	Coefficient of Thermal Expansion
Relevant Test Criteria	ASTM E 1461 (Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method)	KS M ISO 11357-4 (Differential Scanning Calorimetry)	KS M ISO 11359-2 (Determination of Coefficient of Linear Thermal Expansion and Glass Transition Temperature)
Measuring Instrument	NETZSCH Geraetebau GmbH (LFA447)	Perkin elmer (DSC8000)	(Al6063-T5) NETZSCH (TMA 402 F3) (PVC) TA Instruments (Q400)
Temp.	Al6063-T5	100~600 °C, Δ100 °C	
	PVC	40~70 °C, Δ10 °C	

11359-2, 2022). 시편 조건은 Fig. 2와 같다.

열팽창계수의 경우 TMA (Thermal Mechanical Analysis) 방법을 이용했다. 모든 물질은 열을 받으면 온도가 증가하며 이에 비례해 체적이 증가하며, 열팽창계수는 물체의 온도가

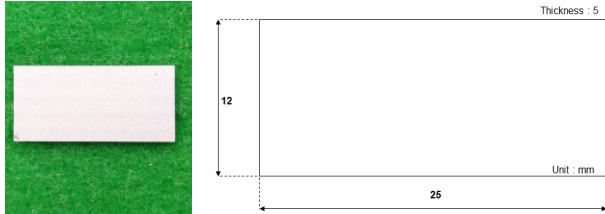


Fig. 3. Thermal Expansion Test Specimen (Al6063-T5)

1 °C 증가했을 때 특정한 방향으로 늘어난 길이로 정의된다.

TMA 측정법은 0에 가까운 하중에서부터 수 Newton의 하중을 가하여 시료의 팽창(Expansion)과 수축(Shrinkage)을 측정한다.

측정시그널은 변위측정 자기센서(Linear Variable Differential Transformer)를 사용하게 되는데 유리전이(Glass Transition) 전후의 팽창 과정 등에 대해 알 수 있다(KS M ISO 11357-4, 2021).

시편 조건은 Fig. 3과 같다. 목표 온도를 선정하기 위해 사전에 재료의 용융점을 확인하여 재료가 강성을 잃는 온도를 측정하고 이를 바탕으로 조건을 설정하였다.

알루미늄의 경우 약 630 °C 지점에서 용융이 일어났기 때문에 목표온도는 100 °C에서 600 °C까지 100 °C간격으로

Table 2. Result of Test

Division	Specimen #	Temp. (°C)	Thermal Conductivity (W/mK)	Coefficient of Thermal Diffusion (mm ² /s)	Specific Heat (J/gK)	Coefficient of Thermal Expansion (1/K)	Density (25.0 °C) (g/cm ³)
PVC	#1	40	0.272	0.174	0.971	6.354E-05	1.605
		50	0.277	0.173	1.001	6.303E-05	
		60	0.282	0.169	1.041	6.262E-05	
		70	0.282	0.165	1.066	6.246E-05	
	#2	40	0.276	0.175	0.976	6.589E-05	1.609
		50	0.280	0.173	1.004	6.721E-05	
		60	0.287	0.171	1.043	6.823E-05	
		70	0.290	0.168	1.073	7.110E-05	
	#3	40	0.288	0.181	0.984	6.631E-05	1.612
		50	0.289	0.177	1.013	5.773E-05	
		60	0.299	0.177	1.050	6.012E-05	
		70	0.293	0.168	1.079	6.545E-05	
Al6063-T5	#1	100	117.774	45.940	0.958	2.147E-05	2.676
		200	110.783	41.275	1.003	2.350E-05	
		300	114.788	40.507	1.059	2.451E-05	
		400	215.510	72.163	1.116	2.525E-05	
		500	217.776	68.445	1.189	2.640E-05	
		600	191.704	62.396	1.148	2.735E-05	
	#2	100	98.467	38.584	0.954	2.091E-05	2.675
		200	93.880	35.060	1.001	2.332E-05	
		300	96.766	34.224	1.057	2.464E-05	
		400	191.091	63.668	1.122	2.571E-05	
		500	188.223	61.346	1.147	2.697E-05	
		600	169.907	56.710	1.120	2.825E-05	
	#3	100	99.850	39.427	0.946	2.121E-05	2.677
		200	95.179	35.769	0.994	2.358E-05	
		300	100.092	35.508	1.053	2.488E-05	
		400	201.961	67.001	1.126	2.580E-05	
		500	204.901	64.537	1.186	2.699E-05	
		600	182.207	59.911	1.136	2.829E-05	

측정했다. PVC의 경우 80 °C 지점에서 재료의 강성을 잃는 것으로 나타났기 때문에 40 °C에서 70 °C까지 10 °C 간격으로 측정을 진행했다. 온도별로 3회씩 측정을 실시했다.

2.2 시험 결과

시편의 온도별 시험 결과는 Table 2와 같다. 시험결과를 살펴보면 각 재료별 특징이 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있다.

각 재료별 용융점에 의해 가열 온도는 상이하지만 시작 온도를 기준으로 용융점까지 일정 지점마다 온도를 상승시키는 과정에서 나타나는 열전도도 및 열확산 계수의 변동에 차이가 있다.

PVC의 경우 Fig. 4와 같이 열전도도가 온도에 따라 수치적으로 10% 내외의 변화가 존재하지만 어느 정도 일정한 수치를 보인 반면, 알루미늄 시편의 경우 Fig. 5와 같이 특정 온도에 도달하면 열전도도 및 열확산계수가 크게 변동해 상온 기준 2배에 가까운 증가를 보인다. 이것은 자기적 성질이 변화하는 온도에서 열용량이 크게 변화하는 금속 특성에 의한 것으로 사료 된다. 하지만 열전도도의 급격한 변화는 재료가 가지고 있는 용융점과 별개로 강도의 저하와 관련된 가능성이 있다. 따라서 고온에 노출되었을 때 직접적인 강도 저하가 발생하는지 검토가 필요할 것으로 판단된다.

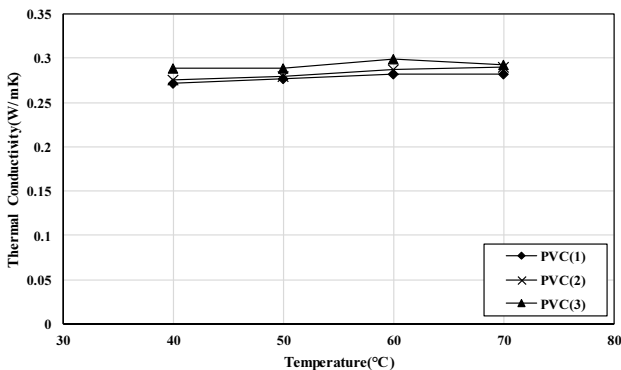


Fig. 4. Thermal Conductivity (PVC)

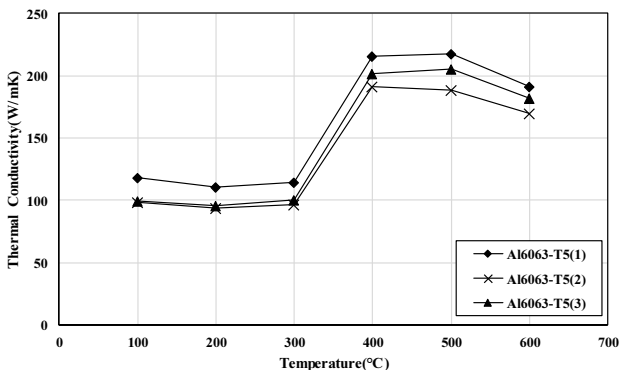


Fig. 5. Thermal Conductivity (Al6063-T5)

3. 온도에 따른 인장 시험

3.1 시험 개요 및 방법

인장시험은 상온 인장시험과 고온 인장시험으로 구분해 진행했다. 상온 시험의 경우 ASTM의 금속재 인장시험 방법과 KS 기준인 플라스틱 인장시험 방법을 참조했다(KS M ISO 527-1, 2018; ASTM E8/E8M-21, 2022). 고온 시험의 경우 ASTM의 고온 인장시험 방법을 참조했다(ASTM E21-20, 2020).

재료를 가열하기 위한 고온 챔버는 최대 1,000 °C까지 승온이 가능한 장비를 활용했으며, 100 kN 용량의 만능재료 시험기와 시험편의 변형을 측정하기 위한 장치와 더불어 연신율계를 사용했다(Fig. 6).

또한, 시편의 내부까지 균일한 온도로 가열되도록 20분 이상의 유지시간을 가졌다.

이를 정밀하게 측정하기 위해 스테인리스 타이틀을 이용해 고정시킨 열전대를 통해 시편의 표면 온도가 목표 온도에 도달하였는지 Fig. 7과 같이 확인했으며, 시험 전 시편의 모습은 PVC 상온 시편은 Fig. 8, 고온 시편은 Fig. 9와 같다.

가열조건은 열적 성질 시험과 동일한 조건으로 진행했으며, 시험속도는 처음부터 끝까지 1 mm/min 또는 5 mm/min으로 실시했다.

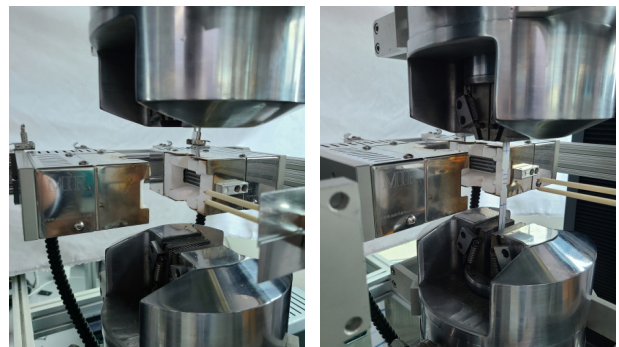


Fig. 6. High Temperature Tensile Testing Machine

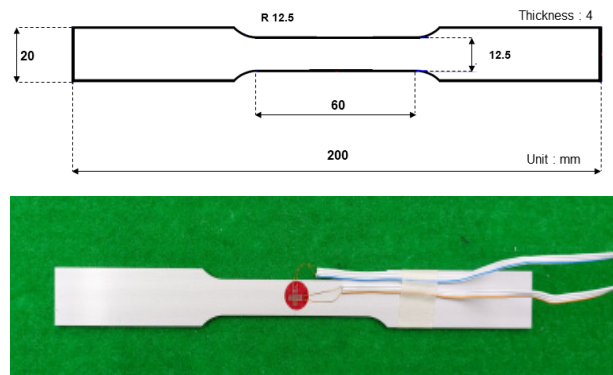


Fig. 7. Room-Temperature Tensile Specimen (Al6063-T5)

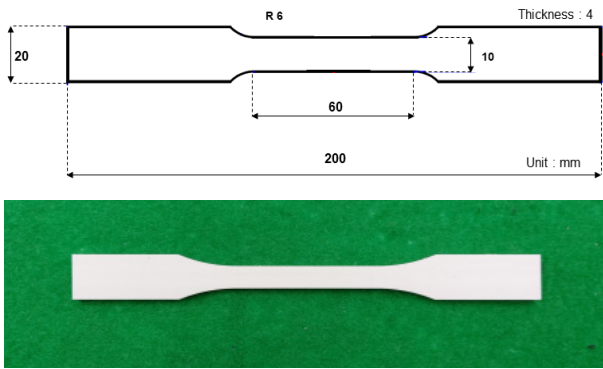


Fig. 8. Tensile Specimen (PVC)

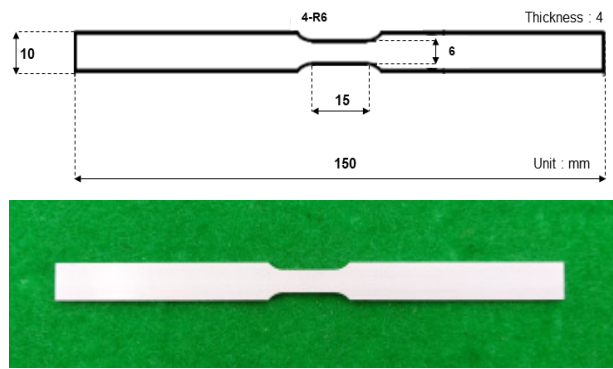
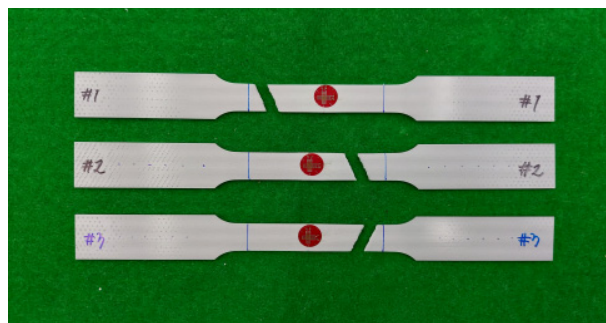


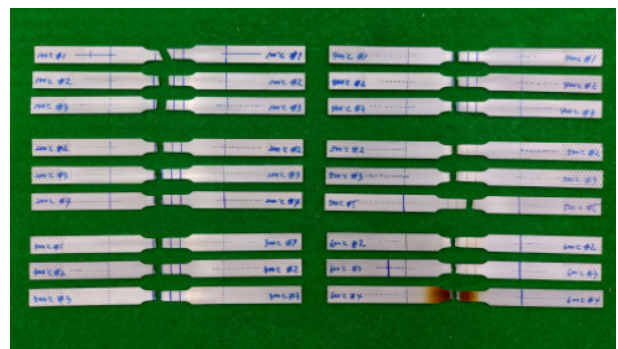
Fig. 9. High-Temperature Tensile Specimen (Al6063-T5)

Table 3. Overview of Test

Division		Al6063-T5		PVC	
Code		ASTM E8/E8M	ASTM E21-20	KS M ISO 527-1	
Test Speed (Crosshead Speed)		1 mm/min		5 mm/min	
Sampling Rate		20 Hz			
Test Environment		(25 ± 10) °C, (50 ± 25)% R.H.			
Temperature		Room Temperature	100~600 °C	Room Temperature	40~70 °C
Size (± 3%)	W	12.50 cm	6.0 cm	10 cm	
	D	1.1 cm	1.1 cm	4 cm	



(a) Room-Temperature Tensile Specimen



(b) High-Temperature Tensile Specimen

Fig. 10. End of the Examination (Al6063-T5)

다만 Al6063-T5는 항복점이 없는 곡선형태가 나와 항복 강도와 항복점을 구할 수 없어 0.2% offset법을 통해 0.2%의 영구 변형률이 발생하는 지점을 항복점으로 산정했다.

시험은 각 온도 조건별로 3회씩 실시하였으며 이외의 조건은 Table 3과 같다.

3.2 알루미늄 시편 시험결과

온도별 시험 후 모습은 Fig. 10과 같으며, 온도별 시험 결과는 Fig. 11과 같다.

상온 시험결과 인장강도는 252.36~255.86 MPa로 측정되었

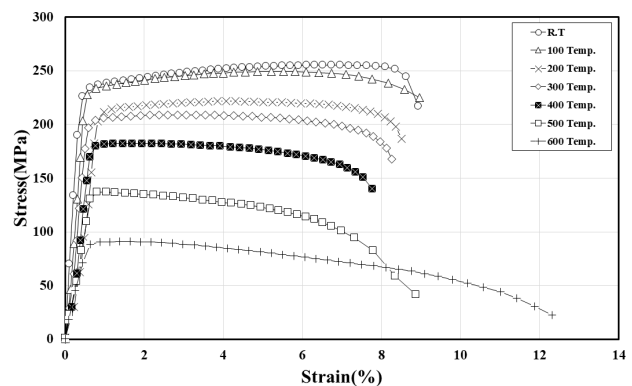


Fig. 11. Result of Tensile Test (Al6063-T5)

다. 고온 시험결과 100 °C로 가열한 시편의 경우 248.64~255.41 MPa로 상온과 거의 유사한 강도가 측정되었다.

200 °C에서 측정한 결과는 221.87~234.35 MPa로 상온 대비 약 87.9~91.5%의 인장강도로 측정되었다. 300 °C도 200 °C와 거의 유사한 209.23~214.56 MPa의 강도가 측정되었다.

Table 4. Tensile Test Results of Al6063-T5

Temp.	Division			
	Specimen #	Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)	0.2% offset Yield Strength (MPa)
Room Temp.	1	9.05	255.86	233.73
	2	9.59	252.36	230.71
	3	8.97	255.28	232.72
	Average	9.20	254.50	232.39
	Std. Dev.	0.34	1.88	1.53
100 °C	1	12.87	255.41	235.58
	2	10.31	248.64	230.82
	3	9.46	249.48	231.70
	Average	10.88	251.18	232.70
	Std. Dev.	1.78	3.69	2.53
200 °C	1	9.91	234.35	223.54
	2	8.91	228.97	219.29
	3	8.52	221.87	212.58
	Average	9.11	228.40	218.47
	Std. Dev.	0.72	6.26	5.53
300 °C	1	8.73	211.40	205.50
	2	7.90	214.56	207.55
	3	8.30	209.23	202.98
	Average	8.31	211.73	205.35
	Std. Dev.	0.42	2.68	2.29
400 °C	1	7.81	187.91	185.78
	2	7.90	181.67	180.45
	3	8.30	182.56	181.64
	Average	8.00	184.05	182.62
	Std. Dev.	0.26	3.38	2.80
500 °C	1	5.36	122.73	121.06
	2	4.91	126.78	125.86
	3	9.27	137.08	136.92
	Average	6.51	128.86	127.95
	Std. Dev.	2.40	7.39	8.14
600 °C	1	7.30	78.88	75.53
	2	8.09	90.45	88.02
	3	12.73	91.21	89.69
	Average	9.37	86.85	84.41
	Std. Dev.	2.93	6.91	7.74

400 °C부터 강도가 급격하게 저하되는 것이 관찰되는데 상온 대비 71.9~74.2%의 강도에 해당하는 181.67~187.91 MPa로 측정된다.

이후 500 °C에서는 122.73~137.08 MPa로 상온 대비 48.6~53.5% 수준의 강도가 측정되었으며 600 °C에서는 78.88~91.21 MPa로 31.2~35.6% 수준의 인장강도가 측정되어 고온에 노출될수록 강도가 저하되는 모습을 보였다.

시험 결과 Al6063-T5의 경우 용융점에 가까워질수록 재료의 인장강도가 하락하는 모습을 보였으나 강도 하락이 가속화되는 구간은 400 °C의 온도에 노출된 시점부터 발생했다.

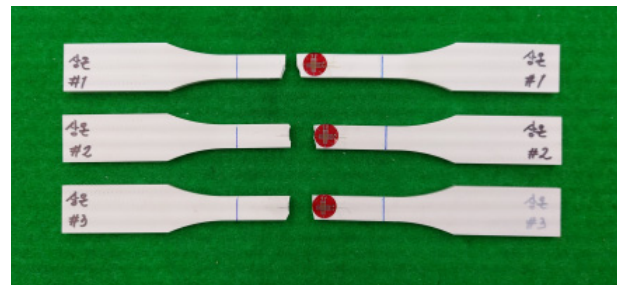
특히 인장강도와 항복강도가 어느 정도 차이를 보이고 있었으나 400 °C를 기준으로 항복강도와 인장강도가 거의 유사한 수치를 보이는 것을 보아 해당 온도를 기점으로 인장강도가 급격히 하락하는 것을 알 수 있다.

2장의 열적 성질 시험에서 열전도도 역시 400 °C부터 급격하게 상승하는 모습을 보였는데 고온에 노출된 재료의 팽창 등의 현상을 통해 유추할 수 있듯이 분자 간 결합이 약해지고 이로 인해 강도 저하가 가속화 되는 것으로 추정된다. 다만, 고온 조건일수록 연신율이 증가하는 경향은 특별히 발견되지 않았으며 약 10% 내외에서 파단이 일어나는 것으로 확인된다. 시험에 따른 변형률, 인장강도 및 항복강도 결과는 Table 4와 같다.

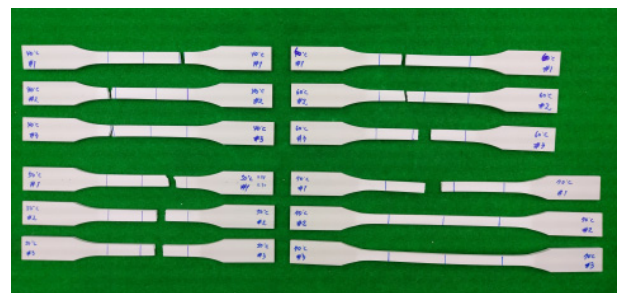
3.3 PVC 시편 시험결과

온도별 시험 후 모습은 Fig. 12와 같으며, 온도별 시험 결과는 Fig. 13과 같다.

PVC의 경우 상온에서 32.46~33.86 MPa의 강도가 측정되



(a) Room-Temperature Tensile Specimen



(b) High-Temperature Tensile Specimen

Fig. 12. End of the Examination (Al6063-T5)

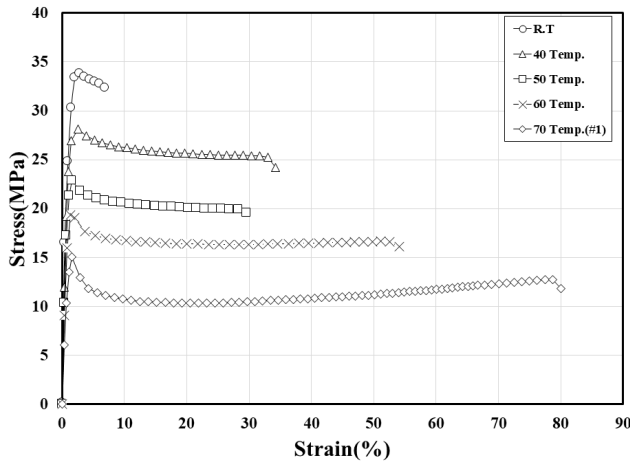


Fig. 13. End of the Examination (PVC)

Table 5. Tensile Test Results of Al6063-T5

Temp.	Division		
	Specimen #	Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)
Room Temp.	1	18.94	33.10
	2	7.25	33.86
	3	6.43	32.46
	Average	10.87	33.14
	Std. Dev.	7.00	0.70
40 °C	1	26.94	27.73
	2	28.07	26.82
	3	34.53	28.34
	Average	29.85	27.63
	Std. Dev.	4.09	0.76
50 °C	2	26.11	23.27
	3	27.94	23.87
	4	30.27	22.91
	Average	28.11	23.35
	Std. Dev.	2.09	0.48
60 °C	1	52.80	20.32
	2	54.55	19.56
	3	34.77	19.19
	Average	47.38	19.69
	Std. Dev.	10.95	0.57
70 °C	1	80.67	15.10
	2	-	14.87
	3	-	14.96
	Average	80.67	14.98
	Std. Dev.	-	0.11

었다. 이후 40 °C에서는 26.82~28.34 MPa로 상온대비 약 83% 수준으로 측정됐다.

50 °C에서는 22.91~23.87 MPa로 상온대비 약 70% 수준의 강도가 측정되었으며, 60 °C에서는 19.19~20.32 MPa로 약 59% 수준이 측정되었다. 70 °C에서는 14.96~15.10 MPa로 약 45% 수준의 강도가 측정되었다. 다만, 70 °C 조건에서 3개 중 2개의 시료가 장비의 범위를 벗어날 때까지 늘어나고 파단이 발생하지 않아 시험이 종료되었다.

시험 결과에서 나타난 바와 같이 PVC의 경우 상온 시험에서부터 연신율이 평균 10.87%로 측정되어 Al6063-T5와 유사한 수준이었으나 온도의 상승과 같이 연신율의 증가가 발생했으며, 인장강도는 지속적으로 하락하는 모습을 보였다. 특히, 60 °C에 도달하는 시점부터 급격하게 연신율이 증가해 평균 47% 수준으로 측정되었다.

향후 재료별 특성에 대한 검토가 추가적으로 이뤄질 필요가 있으나 재료의 연신율 증가는 창호 프레임의 구조적 붕괴와도 밀접한 관계가 있을 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구는 고온에 노출된 창호 프레임의 기계적 특성에 관한 실험적 연구로서 다음과 같은 결론을 도출했다.

- 1) Al6063-T5 시편을 대상으로 20분간의 가열을 거쳐 열적 성질 및 고온 인장 시험을 실시한 결과 열전도도 및 열확산계수가 400 °C를 기준으로 급격하게 상승하는 것을 알 수 있었다. 특히 열전도도는 수치적으로 300 °C에 대비했을 때 약 2배 수준까지 상승하였다. 재료의 인장강도 역시 400 °C일 때 상온 기준 약 70% 수준으로 측정되었고 인장강도가 급격하게 하락하며 항복강도와 유사한 수치가 측정되었다.
- 2) PVC 시편을 대상으로 20분간의 가열을 거쳐 열적 성질 및 고온 인장 시험을 실시한 결과 열전도도 및 열확산계수는 온도의 상승에 큰 영향 없이 일정한 것으로 나타났다. 다만, 온도의 상승과 인장강도의 하락이 비례하는 것으로 나타났으며, 인장강도의 경우 최대 시험온도인 70 °C에서 상온 대비 45% 수준인 14.96 MPa의 인장강도가 측정되었다. 또한 70 °C 시험 3건 중 2건은 측정이 불가능 할 때 까지 늘어났다. 온도 상승에 따른 재료의 연신율 증가는 고온에 노출된 구조체가 원형을 유지하는 것에 영향을 미칠 것으로 추정된다. 따라서 향후 실규모 실험 및 시뮬레이션 검토를 통한 창호 탈락 요소에 대한 분석이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(RS-2022-00156237).

References

- ASTM E 1461. (2022). *Standard test method for thermal diffusivity by the flash method*.
- ASTM E21-20. (2020). *Standard test methods for elevated temperature tension tests of metallic materials*.
- ASTM E8/E8M-21. (2022). *Standard test methods for tension testing of metallic materials*.
- Kim, S.Y., Chu, D.S., Lee, H.D., and Shin, K.J. (2018). Mechanical properties of structural steel at elevated temperature. *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 30, No. 5, pp. 257-264.
- KS M ISO 11357-4. (2021). *Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part 4: Determination of specific heat capacity*.
- KS M ISO 11359-2. (2022). *Plastics - Thermomechanical analysis (TMA) - Part 2: Determination of coefficient of linear thermal expansion and glass transition temperature*.
- KS M ISO 527-1. (2018). *Plastics - Determination of tensile properties - Part 1: General principles*.
- Kweon, O.S., and Kang, H. (2020). An experimental study of vertical fire spread through openings in compartments. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 20, No. 3, pp. 81-87.
- Kwon, I.K. (2007). Derivation of the mechanical properties of structural steels at high temperatures. *J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 21, No. 3, pp. 47-55.
- Lee, B.H., Jin, S.H., Kim, H.W., and Kwon, Y.J. (2019). An experimental study on the fire risk assessment of windows by material. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 4, pp. 19-27.
- Lee, B.H., Kim, Y.S., Jin, S.H., and Kwon, Y.J. (2021). Experimental study on the fire risk assessment of windows by material (II). *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 21, No. 5, pp. 19-25.
- Min, S.H., and Lee, J.M. (2012). A study on concurrent fire appearance through openings. *J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 26, No. 2, pp. 90-96.
- Shin, Y.C. (2018). Standardization on the risk assessment method of the radiation heat flux from ejected flame in building fire. *Journal of Standards and Standardization*, Vol. 8, No. 3, pp. 41-53.

Received	May 12, 2023
Revised	May 12, 2023
Accepted	May 26, 2023