

2차원 정상상태 전열해석을 통한 교육시설의 알루미늄 창호 열관류율 평가에 관한 연구

박동소^{1*}

¹한서대학교 건축학과

A Study on the Evaluation of Thermal Transmittance Performance of Aluminum Alloy Window Frame of Educational Facility considering 2 Dimensional Steady-state Heat Transfer

Tong-So Park^{1*}

¹Department of Architectural Engineering, Hanseo University

요 약 본 연구에서는 대학 캠퍼스의 기존 교육시설에 설치된 알루미늄 합금 창호의 2차원 정상상태 전열해석을 통한 열관류율(U-value) 평가를 수행하였다. 교육시설의 주요 창호 재료로 적용된 알루미늄은 열전도율이 175 kcal/m²h℃ 정도로 플라스틱 소재의 창틀과 비교할 때, 매우 불리하여 기존 교육시설에 설치된 알루미늄 창호는 열교를 통한 열손실의 주요인으로 지적되고 있다. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 충남 서산시지방에 위치한 대학건물의 알루미늄 알로이 합금 창호의 열관류율 평가에 관한 연구를 수행하여 다음의 해석 결과를 도출하였다.

- (1) 2차원 정상상태 전열해석을 위한 경계조건은 국토해양부고시 건축물 에너지절약설계기준의 남부지방 냉난방장치의 용량계산을 위한 설계 외기는 기준과 실내온도 기준을 적용하여 여름철 실내 27℃, 실외 31.3℃, 겨울철 실내 21.0℃, 실외 -9.6℃ 로 설정하고 시뮬레이션을 통한 해석 결과 열관류율은 알루미늄 합금 창호 U= 9.631 W/m²K, 복층유리 U= 2.382 W/m²K로 여름철과 겨울철 동일한 해석 결과치가 산출되었다.
- (2) 열관류율 해석결과를 「건축물의 에너지절약설계기준」의 열교차단재가 적용되지 않은 금속계 창호의 단열성능 중 일반 복층창 단열성능기준인 U=4.0 W/m²K와 비교할 때, 알루미늄 창틀을 통하여 225%의 열손실이 발생됨을 보여 주고 있다.

Abstract This study focused to evaluate thermal transmittance(U-value) performance of sliding type of aluminum alloy window frame(AAWF) with double glazing(DG) and glazing spacer and that without thermal breaker in winter and summer season by two dimensional steady state heat transfer analysis. The AAWF was installed to an existing educational facilities in Seosan area which is the southern region of the Korean Peninsula. Analysis of 2D steady-state heat transfer was performed through the use of BISCO as calculation and simulation program. U-value and temperature factors were calculated. The results are as followed. First, the isotherm simulation shows that AAWF with double glazing have serious differences from recently proposed window thermal performance standards such as Insulation Performance of Windows and Doors of Building Energy Saving Design Standards and the results of calculation of thermal transmittance performance of AAWF and DG are U=9.631 W/m²K, U=2.382 W/m²K respectively during winter and summer season. Second, the results of analysis of heat transfer analysis, calculated by simulation, shows that 225% of heat is lost comparing with thermal performance standards U=4.0 W/m²K of general double glazing among those standards on AAWF without thermal breaker.

Key Words : 2 Dimensional, Steady-state, Heat Transfer Analysis, Aluminum Alloy Window Frame, Thermal Transmittance Evaluation

*교신저자 : 박동소(tongso@hanseo.ac.kr)

접수일 11년 09월 01일

수정일 (1차 11년 10월 26일, 2차 11년 11월 02일)

게재확정일 11년 11월 10일

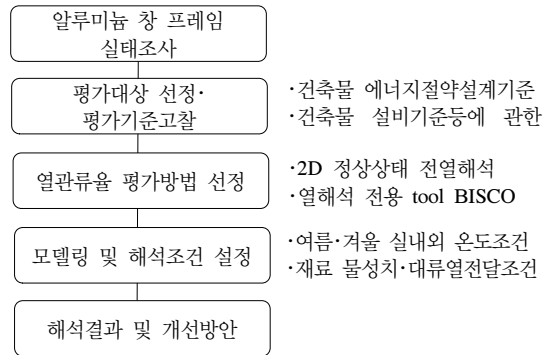
1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축물의 단열성능은 국토해양부의 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」에 따르면 지역별 건축물부위의 열관류율(Thermal Transmittance, U-value) 중에서 거실의 외벽이 외기에 직접 면하는 경우 열관류율을 $U=0.36 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 이하로 할 것을 개정하고 있다[1]. 이는 이전의 2002년 기준인 열관류율 $U=0.47 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 과 비교할 때, U-value가 0.11 정도 강화된 것이다[2,3]. 이는 건축물 부위의 열관류율 기준을 대폭 강화하여 건축물의 에너지 손실을 방지하는 한편, 에너지 효율을 높임으로써 우리 사회가 직면한 에너지 환경이 이전 보다 긴박함을 반증하는 것이다. 건물의 에너지 효율을 높임으로써 온실가스를 저감하고자하는 이러한 움직임은 창호 에너지 효율 등급제 등과 같은 건물부문의 단열관련 법령이 이전보다 강화되고 있으며, 이러한 정책적 변화는 향후 건물부문의 에너지 저감에 상당한 실효를 거둘 것으로 전망되고 있다. 본 연구의 목적은 대학 캠퍼스의 기존 교육시설에 설치된 알루미늄 합금 창틀의 열관류율을 2차원 정상상태 전열해석을 통하여 파악하고 향후 교육시설 뿐 아니라 다양한 용도의 기존 건물에 적용된 금속제 창틀의 단열 성능 향상을 위한 방안을 수립하는데 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 대학 캠퍼스의 기존 교육시설에 적용된 알루미늄 합금 창호의 단열성능이 매우 취약함을 인식하고 일차적으로 실태파악을 위하여 조사범위를 충남 서산 지방에 위치한 H대학의 교내 교육시설 중에서 2003년 완공된 강의실 및 교수연구실 등의 용도로 사용되고 있는 A건물을 대상으로 선정하였다. 이와 함께 평가기준은 국내 「건축물 에너지절약설계기준」의 창 및 문의 단열성능, 표면열전달저항, 공기층의 열저항, 냉난방장치의 용량계산을 위한 설계 외기온, 실내온도를 적용하였다. 이를 기초로 2차원 정상상태 전열해석은 열전달 해석 소프트웨어인 BISCO ver. 9.0w를 이용하여 알루미늄 창호의 U-value와 열등온선도(isotherm)를 산출하였다. 본 연구의 진행은 아래의 그림 1과 같은 방법으로 수행하였다.



[그림 1] 연구의 흐름도
[Fig. 1] Flow chart

2. 알루미늄 창 열성능 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 개요

일반적으로 알루미늄은 가격이 저렴하고 경량이라는 장점으로 건축 내외장재 뿐 아니라 창문의 창틀 재료로 널리 사용되고 있으나, 한편으로 알루미늄은 열전도율이 $175 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ 정도로 플라스틱($0.14 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) 등과 같은 소재에 비하여 열전도율이 매우 높은 편이다[4,5]. 본 연구에서 열성능을 해석하고자 하는 알루미늄 알로이(Aluminum Alloy) 창호는 그림 2와 같이 상부는 고정창으로 이루어졌고, 하부에 슬라이딩 타입의 창이 설치되어 있다. 본 연구에서 평가하고자 하는 슬라이딩 타입 창호의 규격은 두께 1.25, mm, 71.4 mm×71.4 mm 압출성형 알루미늄 합금제 각파이프로 제작·조립되었다. 파이프의 내부는 그림 3, 4와 같이 열교차단재가 설치되지 않은 내부가 개방된 구조로 되어있다. 복층유리의 제원은 소다유리+건조공기층+소다유리 5mm+6mm+5mm로 구성되어 있다.

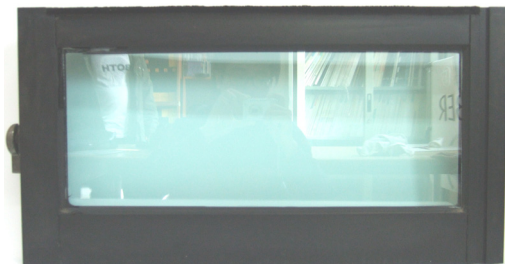
국토해양부 고시 제 2010-1031호 「건축물의 에너지절약설계기준 개정안」은 제3조 용어의 정의 9항 너목에서 창 및 문의 열관류율값을 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 [별표 4]의 지역별 건축물 부위의 열관류율표(2010.11.5 개정)를 통하여 규정하고 있다[2,3]. 이 규정에서는 창 및 문의 열관류율 값으로 유리와 창틀을 포함한 평균 열관류율을 의미하여 외기에 직접 면하는 공동주택 이외의 용도에는 중부지역 $2.40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 이하(남부지역 $2.70 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 제주도 $3.40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)로 정하고 있다[2].

한편, 「건축물의 에너지절약설계기준」은 창 및 문의 단열성능에 관한 기준으로 창 및 문의 종류에 따라 창틀 및 문틀의 종류별 열관류율을 규정하고 있으며, 열교차단재가 적용되지 않은 금속제 복층창의 열관류율은 복층유리

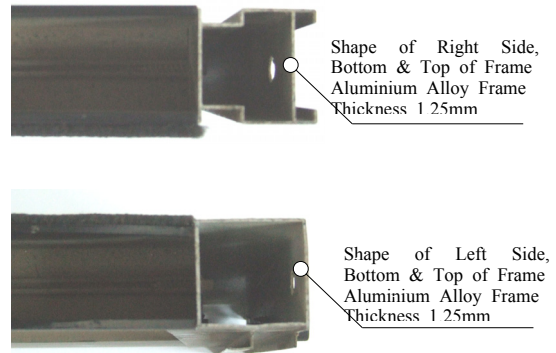
의 공기층 두께에 따라 $U=3.6\sim 4.0\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 규정하고 있다[2]. 또한 위의 기준은 열관류율 계산에 적용되는 실내 및 실외측 표면 열전달저항값을 제시하고 있고, 이와 함께 열관류율 계산에 적용하는 중공층(cavity)의 두께에 따른 열저항값($\text{m}^2\cdot\text{K/W}$)을 규정하고 있다. 또한 동 기준은 국내의 기후특성에 따른 지역별 냉난방설비의 용량 계산을 위한 설계 외기온과, 건축물의 용도별 실내온습도 기준을 정하고 있다[2]. 여기에 창호의 열관류율 계산법이 신설되어 단창, 이중창, 단층유리, 복층유리의 계산법이 제시되어 표면열전달저항, 창호 공기층의 열저항, 플라스틱 소재 프레임의 열관류율, 알루미늄 간격재의 선형 열관류율값이 규정되어 있다. 본 연구에서는 이와 같은 기준을 근거로 알루미늄 합금 창호의 2차원 정상상태 전 열해석을 수행하였다.



[그림 2] 평가대상 슬라이딩 타입 알루미늄 합금 창호 적용 현황
[Fig. 2] Shape of Sliding Type Aluminum Alloy Window



[그림 3] 알루미늄 합금 창호 상세
[Fig. 3] Detail of Aluminum Window



[그림 4] 알루미늄 합금 창호 좌우측, 상하부 단면 형상 및 두께
[Fig. 4] Detailed Properties of Window Section

2.2 경계조건의 설정 및 시뮬레이션

해석대상의 알루미늄 합금 창호는 유리 및 알루미늄 프레임의 혼합소재로 구성되어 유리 이외에 알루미늄 프레임을 통한 대류열전달을 포함한 전열현상을 해석하기 위해 PHYSIBEL의 2차원 정상상태 전열해석 프로그램인 BISCO version 9.0w를 이용하였다. BISCO에서는 알루미늄 창틀 부위와 유리를 포함한 경계영역으로 구분하고 2차원 유한요소법을 이용하여 해석한다. 수식(1)은 유리, 알루미늄 프레임, 경계영역에 대한 각각의 열관류율과 면적을 계산하여 합산하는 산출식이며, 수식(2)는 건축물의 에너지절약설계기준에서 제시하고 있는 복층유리의 열관류율 U_g 를 해석하는 산출식이다. 본 연구에서는 BISCO의 2차원 정상상태 전열해석 알고리즘에 따라 알루미늄 창호의 열성능을 해석하고, 입력자료는 기본적으로 건물 요소의 열전달 기준인 EN ISO 6946, 창, 문 등의 열성능 기준 EN ISO 10077-2를 인용하였다[6-8]. 국내 기준으로는 표 1부터 표 5까지 「건축물의 에너지 절약 설계기준」과 알루미늄 및 알루미늄 합금 압출 형재(KS D 6579)[9,10]에 관한 기준을 고려하여 알루미늄 창틀의 열관류율을 비롯 제반 열성능을 해석하였다.

$$U_{total} = \frac{(U_{glazing} \times A_{glazing}) + (U_{frame} \times A_{frame}) + (U_{edge} \times A_{edge})}{A_{total}} \quad (1)$$

U_{total} : 창호 열관류율 ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 $U_{glazing}$: Glazing 열관류율 ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 U_{frame} : 알루미늄 프레임 열관류율 ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 U_{edge} : Edge 열관류율 ($\text{W/m}^2\text{K}$)

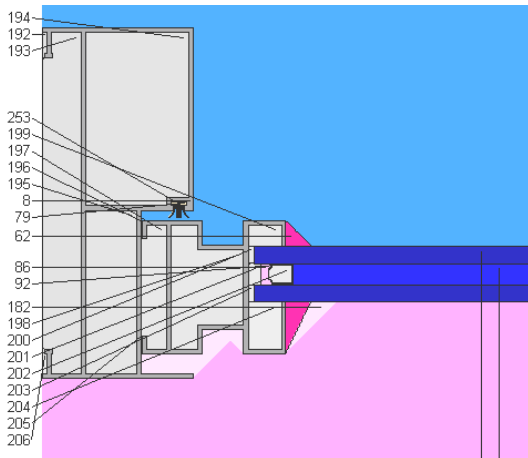
$A_{glazing}$: Glazing 면적(m^2)
 A_{frame} : 알루미늄 합금 프레임 면적(m^2)
 A_{edge} : Edge 면적(m^2)
 A_{total} : 창 전체면적(m^2)

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_{sj} + R_{si}} \quad (2)$$

R_{si} : 실내 표면열전달저항
 λ_j : 유리 또는 재료의 열전도율
 d_j : 유리판 또는 재료의 두께
 R_{se} : 실외 표면열전달저항
 R_{sj} : 실외 표면열전달저항

[표 1] 알루미늄 합금 창호 구성 재료별 물성치자료
 [Table 1] Input Data of Window Elements Property

Col.	Material	열전달율 λ [W/mK]	비 고
8	Aluminum	160.000	• 건축물의 에너지 절약 설계 기준 [별표 4],[별표 5], 부록 A, B, C, D, E • EN ISO 10077-2: Thermal Performance of Windows, Doors and Shutters. • EN ISO 6946: Thermal Transmittances of Building Components and Elements.
18	Soda lime	1.000	
28	Insulation	0.035	
79	Mohair sweep	0.140	
86	Polysulfide	0.400	
92	Butyl hot melt	0.240	
102	Silicome pure	0.350	
104	Silica gel	0.130	



[그림 5] 알루미늄 창프레임 단면 및 주요재료 구성
 [Fig. 5] Section of Window & Elements List

[표 2] 여름·겨울철 실내의 경계조건 및 재료규격
 [Table 2] Boundary Conditions & Materials

구분	경계조건		Width [m]		비고
	실온 (°C)	외기온 (°C)			
여름	26~28	31.1	창호	0.0714	• 실온: 건축물 에너지 절약 설계기준의 학교(교실)의 냉·난방장치 용량계산을 위한 실내 온·습도 기준, 외기온 냉·난방장치 용량계산을 위한 설계 외기온·습도 기준의 서산지방 냉·난방 온도 적용
			유리	0.1900	
겨울	20~22	- 9.6	창호	0.0714	
			유리	0.1900	

[표 3] 실내의 표면열전달저항
 [Table 3] Surface Thermal Transfer Resistance

구분	실내열전달저항 R_{si} m^2K/W	실외 열전달저항 R_{se} m^2K/W
수직·수평각 60도 이상	0.13	0.04
수평·수평각 60도 미만	0.1	0.04

[표 4] 창호 공기층의 열저항
 [Table 4] Thermal Resistance of Cavities

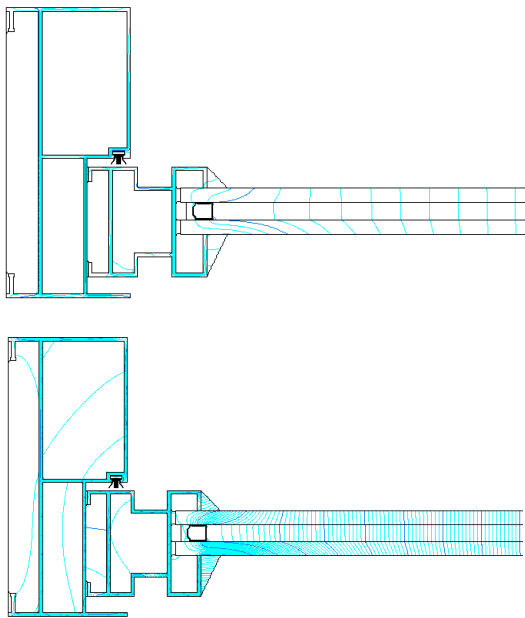
공기층 두께 mm	열저항 R_s m^2K/W				
	일반 방사율을 가진 한 면에 코팅된 것				코팅되지 않은 것 (0.8초과)
	0.1이하	0.1초과-0.2이하	0.2초과-0.4이하	0.4초과-0.8이하	
6-9이하	0.211	0.191	0.163	0.132	0.127
9초과-12이하	0.299	0.259	0.211	0.162	0.154
12초과-14이하	0.377	0.316	0.247	0.182	0.173
15초과-50이하	0.447	0.364	0.276	0.197	0.186
50초과	0.406	0.336	0.260	0.189	0.179

[표 5] 알루미늄 간격재의 선형 열관류율
 [Table 5] Linear Thermal Transmittance of Spacer

프레임 종류	창호의 선형 열관류율 Ψ_g	
	일반복층, 삼중창	로이복층, 삼중창
나무, PVC	0.06	0.08
금속재(열교차단재적용)	0.08	0.11
금속재(열교차단재미적용)	0.02	0.05

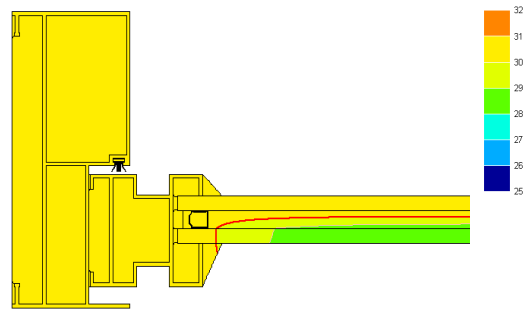
3. 알루미늄 창호 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 기존 교육시설에 설치된 알루미늄 합금 창호의 열성능을 여름철과 겨울철로 구분하여 해석하였다. 2차원 정상상태를 조건으로 전열해석 결과는 알루미늄 합금 창호와 복층유리의 열관류율 U -value는 각각 $U=9.631 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $U=2.382 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 산출되었다. 그림 6은 시뮬레이션 결과 산출된 알루미늄 창 프레임의 여름철 및 겨울철의 열류분포를 나타내며, 그림 7과 그림 8은 여름철과 겨울철의 Isotherm에 의한 열관류 분포를 보여주고 있다.

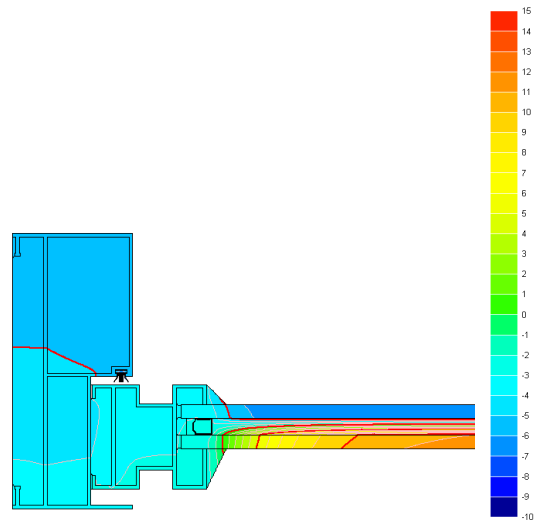


[그림 6] 알루미늄 창 프레임과 복층유리의 여름철(위), 겨울철(아래) 열류분포(Increment 0.1 W/m)
[Fig. 6] Thermal Flows of Window during Summer & Winter Season

산출된 U -value 결과치를 건축물의 에너지 절약설계 기준의 열교차단재가 설치되지 않은 금속제 복층유리창의 열관류율 $U=4.19 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 와 비교할 때, 알루미늄 창호에 적용된 복층유리의 단열성능은 기준에 도달하고 있으나, 알루미늄 합금 프레임의 단열성능은 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」의 지역별 건축물 부위 열관류율에서 규정한 남부지역 외기에 직접 면하는 공동주택 외용도건물의 창 단열성능 $U=2.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 에 부합되지 못하고 있다.



[그림 7] 알루미늄 창 프레임과 복층유리의 여름철 2D 정상전열에 의한 Isotherm 시뮬레이션 결과
[Fig. 7] Isotherm of Aluminum Framed Window & Double Glazing during Summer Season



[그림 8] 알루미늄 창 프레임과 복층유리의 겨울철 2D 정상전열에 의한 Isotherm 시뮬레이션 결과
[Fig. 8] Isotherm of Aluminum Window & Double Glazing during Winter Season

4. 연구결과

본 연구에서는 기존 건축물에 설치된 알루미늄 합금 창호의 2차원 정상상태 전열해석을 통한 열성능 평가를 수행하였다. 건축물의 주요 창호재료로 사용되고 있는 알루미늄은 알루미늄 고유의 물리적 특성에 따른 장점 뿐 아니라 가격이 비교적 저렴하여 다양한 형태의 창호재료로 활용되고 있으나, 열전도율이 $175 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}^\circ\text{C}$ 정도로 플라스틱 소재와 비교하여 매우 불리하다[4],[5].

이와 함께 일반용도의 건물을 비롯하여 교육시설, 상

업시설 등 기존 건물에 설치된 알루미늄 등의 금속제 창 프레임은 열교에 의한 열손실의 주요인으로 지적되고 있어 열손실 방지를 위한 적절한 대책 마련이 시급해 요청되고 있다. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 충남 서산시지방에 위치한 대학 캠퍼스의 교육시설에 적용된 알루미늄 합금 창 프레임의 열관류율 평가에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 해석 결과를 도출하였다.

(1) 2차원 정상상태 전열해석을 위한 경계조건은 국토해양부고시 「건축물의 에너지절약설계기준」의 냉난방장치 용량계산을 위한 설계 외기온 기준과 실내온도 기준의 남부지방을 적용하여 여름철 실내 27℃, 실외 31.3℃, 겨울철 실내기온 21.0℃, 실외기온 -9.6℃로 설정하고 해석한 결과, 열관류율은 알루미늄 합금 창틀에서 $U=9.631 \text{ W/m}^2\text{K}$, 복층유리 $U=2.382 \text{ W/m}^2\text{K}$ 로 여름철과 겨울철의 열관류율 값이 동일한 해석 결과치로 산출되었다.

(2) 산출된 열관류율 해석결과를 「건축물의 에너지절약설계기준」의 열교차단재가 적용되지 않은 금속제 창의 단열성능 중 일반 복층창의 단열 성능기준인 $U=4.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ 와 비교할 때, 알루미늄 창틀을 통하여 두 배가 넘는 225%의 열량이 손실됨을 보여 주고 있다.

위와 같은 연구결과는 외피에 대한 창면적 비율과 창문틀의 유리비율이 비교적 큰 교육시설에서 단열성능을 강화하기 위해서는 알루미늄 창틀에 관한 실태조사가 면밀히 이루어져야 하고, 이를 기초로 기존의 창틀에 손쉽게 적용이 가능한 윈드브레이커 등과 같은 적절한 열교차단재를 설치할 수 있는 방안마련이 시급히 요구되고 있다.

Doors and Shutters

- [7] EN ISO 10211, ISO 13788: Thermal Bridge Analysis: Heat Loss Calculation, Surface Condensation
- [8] EN ISO 6946: Thermal Transmittances of Building Components and Elements
- [9] KOALCO F-0003: Aluminum Alloy Window
- [10] KS D 6579: Aluminum & Aluminum Alloy Materials

박 동 소(Tong-So Park)

[정회원]



- 1988년 2월 : 단국대학교 건축공학과(공학사)
- 1995년 8월 : 연세대학교 대학원 건축공학과(공학석사)
- 1998년 8월 : 연세대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 건축학과 교수

<관심분야>
 건물에너지시스템, 도시환경

References

- [1] Building Regulation of Building Services, Code of Ministry of Land & Maritime, Vol. 306, 2010.11. 5
- [2] Building Regulation of Building Services, Code of Ministry of Land & Maritime, Vol. 2008-5 [Appendix 3] Insulation Performance of Window & Door.
- [3] Standard of Building Energy Saving Design, Code of Ministry of Land & Maritime, Vol. 2010-1031.
- [4] Park, Hyo-soon, et al, Insulation Performance Evaluation of the Aluminum and PVC Framed Double Glazing Window Systems with Low-e Coating and Insulation Spacer, Journal of AIK, Vol. 22 4, 210, 2006. 4
- [5] Huh, Jung-Ho, et al, Thermal Performance Improvement of Aluminum Frames, Proceedings of AIK Vol. 21 2, 2001. 10.
- [6] EN ISO 10077-2: Thermal Performance of Windows,