

KS L 9107에 의한 태양열 취득률(SHGC) 측정장치 개발 및 평가

Development and Evaluation of an Apparatus to Measure the Solar Heat Gain Coefficient of a Fenestration System According to KS L 9107

김태중(Tae-Jung Kim)^{1,3}, 최현중(Hyun-Jung Choi)^{1*}, 강제식(Jae-Sick Kang)¹, 박준석(Jun-Seok Park)²

¹한국건설기술연구원 그린빌딩연구실, ²한양대학교 건축공학과, ³한양대학교 대학원 건축환경공학과

¹Korea Institute of Civil and Building Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

²Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

³Department of Sustainable Architectural Engineering, graduate school of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received August 5, 2014; revision received September 11, 2014; Accepted: September 17, 2014)

Abstract Recently, multiple glazing units, frames, complex fenestration systems, and windows with shading devices have been developed to save cooling energy in buildings. However, very little work has been conducted on developing a direct experimental test method of the solar heat gain coefficient(SHGC) for new fenestration techniques. This study aims to develop and evaluate a test apparatus to measure the SHGC, according to the KS L 9107 test method. The performance of the solar simulator was class A, B, and A, for spectral match, non-uniformity, and instability irradiance, respectively. The differences between the measured and calculated SHGC values were found to range between 0.001 and 0.011, and for all test specimens they agreed within 4%. These results establish the validity of the test apparatus. This system is thus expected to be useful in assessing the energy performance for various types of fenestration.

Key words KS L 9107, SHGC(태양열 취득률), Fenestration(창호), Cooling energy (냉방에너지), Test method(시험법)

* Corresponding author, E-mail: mingineu@kict.re.kr

기호설명

A : 면적 [m^2]
 I : 조사강도 [W/m^2]
 U : 열관류율 [$W/(m^2 \cdot K)$]
 Φ : 열량 [W]
 θ : 온도 [$^{\circ}C$]
 τ_s : 태양열 취득률 [-]

하첨자

ni : 실내측
 ne : 실외측
 $solar$: 일사
 sp : 시험체
 c : 냉각판
 f : 팬
 h : 히터
 p : 둘레벽
 $gain$: 태양열 취득
 $total$: 총 취득
 N : 일사가 없는 조건

$ref(\lambda)$: 기준 스펙트럼의 특정 파장대역

$meas(\lambda)$: 측정 스펙트럼의 특정 파장대역

1. 서 론

우리나라의 고온다습한 여름철 기후 특성과 지구온난화 등으로 인하여 냉방에너지의 수요와 소비는 증가하고 있다.⁽¹⁾ 특히, 건물 부문은 커튼월과 같이 창면적비의 증가로 인하여 냉방부하의 증가와 냉방기기 사용에 따른 냉방에너지 소비가 크게 증가하고 있는 실정이다. 이러한 측면에서 건물 외피 투과체를 통한 SHGC(태양열 취득률)는 창호의 냉난방 에너지 성능평가, 건물의 냉난방 부하 추정을 위한 지표로써 사용되며, 건물 에너지 소비에 직접적인 영향을 미친다.^(2,3)

Hwang et al.⁽⁴⁾에 따르면, 커튼월 구조나 창면적비가 큰 오피스건물에서 냉난방에너지 및 조명에너지에 영향을 미치는 주요 인자의 중요도는 SHGC, U-value, VTL 순으로 보고하고 있으며, Chou and Chang⁽⁵⁾는 고온다습한 싱가포르 기후 특성에서 창호의 SHGC는 건물 전

체 냉방부하에 약 25%의 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 또한, Reilly and Hawthorne⁽⁶⁾는 아열대성 기후지역인 Miami에서 창호를 통한 SHGC는 건물 냉방에너지에 약 37%의 영향을 미치는 것으로 추정하고 있다. 이러한 측면에서, 창호를 통한 건물 냉방에너지 절감을 위해 고기능성 유리 및 다양한 형태의 차양장치가 개발되고 있으며, 수학적 계산방법을 기반으로 한 시뮬레이션 평가법이 선행되고 있다. 그러나 건물 에너지 설계 기준, 창 세트에너지효율등급 제도 운영 등 정부의 강력한 건물 에너지 절약 정책이 강화되면서, 고성능 유리 및 고단열 프레임, 차양장치, 스마트 유리 등으로 구성된 융복합 기술이 적용되고 있다. 특히, 차양장치의 경우 슬랫의 형태, 각도, 색상, 재질 등의 요소를 변화시켜 다양한 기술개발이 진행됨에 따라 선행 계산법만으로는 SHGC의 평가가 어려운 실정이다.⁽⁸⁾

Klems et al.⁽⁷⁾에 따르면 선행 시뮬레이션 평가법은 신재료로 구성되는 건물 외피 투과체의 투과율, 반사율 등 다양한 광학적 특성에 따른 경계 조건 설정이 거의 불가능한 것으로 보고 있다. 또한, Mrainoski et al.⁽⁸⁾은 차양장치와 같이 다양한 형태로 개발되고 있는 요소 기술을 시뮬레이션 평가법만으로 정량적인 SHGC를 평가하는데 한계가 있는 것으로 보고하고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 건물 외피 투과체를 통해 실내로 유입되는 태양열 취득열량을 실험적으로 측정할 수 있는 시험법과 측정장치의 개발에 관한 연구들이 진행되고 있다. 선행 연구⁽⁹⁻¹⁴⁾에 따르면, SHGC를 실험적으로 산정하는 시험법은 1) 선행 시뮬레이션 평가법의 다양한 경계 조건 설정이 어려운 융복합 창호 시스템의 평가, 2) Thermochromic 유리, Building Integrated Photovoltaic System(BIPV) Semi-transparent photovoltaic(STPV)와 같이 선택적으로 스펙트럼 파장을 조절하는 신기술, 신제품의 평가, 3) 선행 시뮬레이션 평

가 결과의 검증을 위해서 시험법에 대한 필요성을 언급하고 있다.

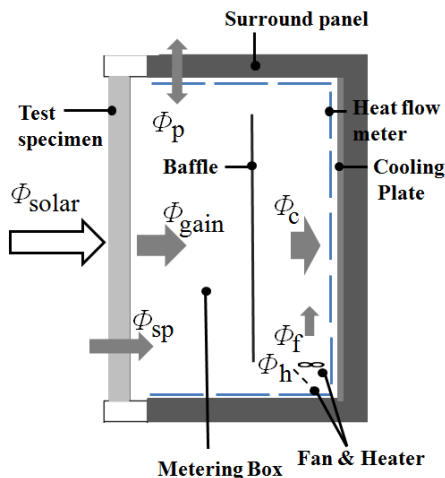
선행연구⁽⁹⁻¹⁴⁾에서와 같이 실험적 측정방법에 의한 SHGC의 평가기술은 전 세계적으로 다양한 형태의 측정장치와 시험방법이 개발됨에 따라 국제표준(ISO), 국가표준으로 정립되지 못하고 있는 실정이었다. 이에, 국내외에서는 SHGC 측정장치 및 시험방법에 대한 표준화가 진행 중이며, 한국은 2014년 5월 KS L 9107,⁽¹⁵⁾ “솔라 시뮬레이터에 의한 태양열 취득률 측정 시험방법”의 국가표준(KS)을 제정하였다. 또한, SHGC 시험방법에 대한 국제표준(ISO) 제정을 위해서 2013년 9월 ISO/TC163/SC1/WG17이 구축되었으며, 현재 인공광원을 이용한 SHGC 평가방법으로써 ISO/WD 19467,⁽¹⁶⁾ “Thermal performance of windows and door-Determination solar heat gain coefficient using solar simulator”를 개발하고 있다.

이에 본 연구에서는 KS L 9107의 시험방법에 따라 솔라 시뮬레이터를 이용한 SHGC 측정장치를 개발하고 평가 하였으며, 복층 유리를 대상으로 실험과 시뮬레이션의 결과 비교를 통해 측정장치의 타당성을 검증하고자 한다.

2. KS L 9107에 의한 SHGC 시험

2.1 KS L 9107 시험원리

KS L 9107 시험법은 솔라 시뮬레이터에 의한 창호 및 유리의 태양열 취득률 측정에 필요한 시험방법에 대해 규정한다. 적용범위는 건물에서 태양열 유입을 조절하기 위한 기능성 유리 및 블라인드, 스크린 등 차양장치가 부착된 창 및 문과 반투명 패널, 창 유리용 필름이 설치되어 있는 창호를 포함하고 있다.



- Φ_{total} : Heat flow rate due to solar heat gain with thermal transmission [W]
- I_{solar} : Density of heat flow rate of incident solar radiation [W/m^2]
- Φ_{solar} : Heat flow rate due to solar radiation [W]
- Φ_{sp} : Heat flow rate through the test specimen due to thermal transmission with solar radiation [W]
- Φ_c : Heat flow rate removed by the cooling plate [W]
- Φ_f : Heat flow rate supplied by fan [W]
- Φ_h : Heat flow rate supplied by heater [W]
- Φ_p : Heat flow rate through the surround panel [W]

Fig. 1 Principle of KS 9107 test method.

시험체의 광학특성에 따른 SHGC 측정원리는 Fig. 1에서 나타내며, ISO 15099⁽¹⁷⁾의 계산원리를 기반으로 한다. 태양열 취득률(τ_s)은 일사 조건에서 시험체 통과 후 실내로 전달되는 총 취득열량(Φ_{total} , 태양열 취득열량+관류열량)과 실내외 온도차에 의해 실내로 전달되는 관류열량(Φ_{sp}), 시험체 면에 수직으로 입사되는 일사열량(Φ_{solar})으로 결정된다. 일사에 의해 실내로 전달되는 순수 태양열 취득열량(Φ_{gain})은 시험체 통과 후 실내로 전달되는 총 취득열량(Φ_{total})과 관류열량(Φ_{sp})의 차로써 결정되며, 일사열량(Φ_{solar})은 시험체 앞면에 설치되는 일사계에 의해 결정된다. 태양열 취득률(τ_s)은 시험체 면에 수직으로 입사되는 일사열량(Φ_{solar})과 시험체 통과 후 실내로 전달되는 태양열 취득열량(Φ_{gain})의 비율로 식(1)에 따라 구한다.

$$SHGC = \tau_s = \frac{\Phi_{total} - \Phi_{sp}}{\Phi_{solar}} = \frac{\Phi_{gain}}{\Phi_{solar}} \quad (1)$$

시험체 면에 수직으로 입사되는 일사열량(Φ_{solar})은 식(2)에 따라 구한다.

$$\Phi_{solar} = I_{solar} \times A_{sp} \quad (2)$$

시험체 통과 후 순수하게 실내로 전달되는 태양열 취득열량(Φ_{gain})은 식(3)에 따라 구한다.

$$\Phi_{gain} = (\Phi_c - \Phi_f - \Phi_h \pm \Phi_p) - \Phi_{sp} \quad (3)$$

실내외 온도차에 의해 전달되는 관류열량(Φ_{sp})은 식(4)에 따라 구하며, 일사가 없는 조건에서 시험체의 열관류율(U_N)은 KS F 2278에 따른다.

$$\Phi_{sp} = U_N \times A_{sp} \times (\theta_{ne} - \theta_{ni}) \quad (4)$$

2.2 KS L 9107 측정장치

KS L 9107에서 규정하고 있는 SHGC 측정장치는 인공 광원을 이용한 솔라 시뮬레이터, 실내외 환경 조건의 모사가 가능한 환경챔버와 열량수집상자로 구성되며, 그밖에 실내외 표면 열전달률을 조절할 수 있는 기류발생장치를 포함한다. Fig. 2와 같이 솔라 시뮬레이터에서 조사된 빛은 실외 온도, 표면 열전달률을 모사한 환경챔버를 지나 시험체 통과 후 실내 환경 조건을 모사한 열량수집상자로 유입되며, 이때 시험체 광학특성에 따라 변화되는 태양열 취득 열량을 측정한다.

2.2.1 솔라 시뮬레이터

솔라 시뮬레이터는 Fig. 3의 측정점 A에서 여름조건 500 W/m², 겨울조건 300 W/m²의 유효 조사강도를 구현할 수 있어야 한다. 또한, Table 1의 KS C IEC 60904-9⁽¹⁸⁾에서 규정하는 표준 태양광 스펙트럼 분포(A.M 1.5, Global)와의 정합 B 등급, 불균일성 B 등급, 불안정성 B 등급 이상을 만족하여야 하며, 스펙트럼 정합비는 KS C IEC 60904-3⁽¹⁹⁾에서 정의하는 Table 2의 표준 태양광 스펙트럼 분포에 따른다.

2.2.2 환경챔버 및 열량수집상자

환경챔버는 실외 환경조건을 모사할 수 있도록 Fig. 3의 온도 측정점에서 여름조건 30±1℃, 15±3 W/(m²·K), 겨울조건 0±1℃, 20±3 W/(m²·K)의 온도 조건과 표면 열전달률의 구현이 가능해야 한다. 또한, 실외 공간 구현을 위해 설치되는 광도입창(Optical window)은 KS L 2514⁽²⁰⁾의 시험방법에 따라 투과율 90% 이상의 맑은 유리로 해야 한다. 열량수집상자는 실내 환경조건을 모사할 수 있도록 Fig. 3의 온도 측정점에서 여름조건 25±1℃, 9±3 W/(m²·K), 겨울조건 20±1℃, 9±3 W/(m²·K)의 온도 조건과 표면 열전달률의 구현이 가능해야 한다.

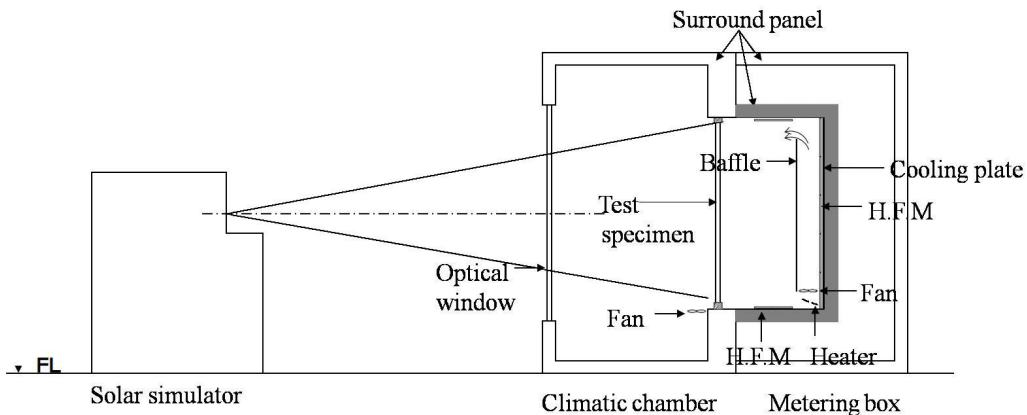


Fig. 2 Construction for apparatus.

Table 1 Definition of solar simulator classifications

Class	Spectral match	Non-uniformity	Instability
A	0.75~1.25	2%	2%
B	06~1.4	5%	5%
C	0.4~2.0	10%	10%

Table 2 Global reference solar spectral irradiance distribution

	Wavelength range [nm]	Percentage of total irradiance in the wavelength range [%]
1	400~500	18.4
2	500~600	19.9
3	600~700	18.4
4	700~800	14.9
5	800~900	12.5
6	900~1100	15.9

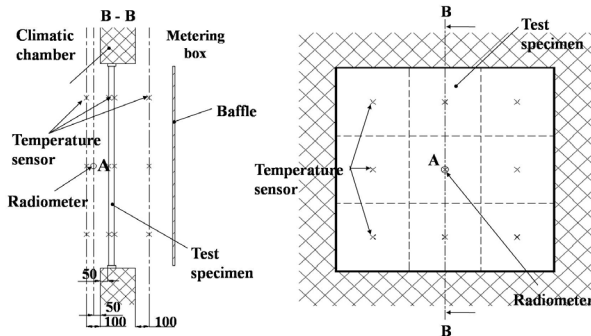


Fig. 3 Metering location of temperature and solar radiation.

또한, 태양열 취득열량의 제거와 측정이 가능하도록 냉각판을 설치하고, 냉각판 표면에 흡수율 0.9 이상의 열류계를 설치한다. 환경챔버와 열량수집상자 사이의 개구부는 1,500 mm×1,500 mm 이상으로 하고, 둘레벽

은 열저항 4.0(m²·K)/W 이상의 단열된 구조로 한다.

3. SHGC 측정장치 개발

SHGC 측정장치는 한국건설기술연구원 내에 구축되었으며, 고기능성 유리, 고효율 창호, 다양한 형태의 차양장치, 창 유리용 필름 등의 측정이 가능하도록 Fig. 2와 같이 설계 되었다. SHGC 측정장치는 일사가 없는 조건에서 온도차에 의한 U-value의 측정과 일사 조건에서의 SHGC 측정이 가능하며, 1,500 mm×1,500 mm Full scale 창호의 측정이 가능하다. 창호를 통한 손실열량과 태양열 취득열량은 열류계를 통해 측정하며, 동시에 냉각판에 의해 취득 열량을 제거하는 방식으로 설계 되었다. Fig. 4는 SHGC 측정장치의 전경을 나타낸다.

3.1 솔라 시뮬레이터

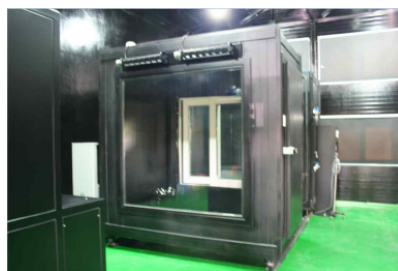
인공광원을 적용한 솔라 시뮬레이터는 표준 태양광 스펙트럼 분포의 구현, 조사강도의 균일성, 조사강도의 안정성이 확보 되어야 하며, 성능 기준은 Table 1과 같이 평가 항목에 따라 A, B, C 등급으로 분류된다.

Kurayama⁽²¹⁾의 연구결과에 따르면, 제논램프는 표준 태양광 스펙트럼과 유사한 분포 특성을 나타내며, 수명이 다 할 때까지 변화가 적고 안정된 광원의 조사가 가능한 것으로 보고하고 있다. 이에, 본 연구에서는 선행 연구결과에 따라 솔라 시뮬레이터의 인공광원으로써 쏘아크타입의 제논 램프(7 Kw×4 EA, Osram)를 적용 하였으며, Fig. 5는 솔라 시뮬레이터의 구성도를 나타낸다. 솔라 시뮬레이터는 제논 램프(Xenon lamp) 반사갓(Reflector), A.M 1.5 필터(Air Mass 1.5 filter), 1차 거울(1st mirror), 2차 거울(2nd mirror), 플라이아이렌즈(Fly eye lens)로 구성된다.

솔라 시뮬레이터 하단의 제논램프에서 조사된 빛은 직접 또는 반사갓에 의해 반사되며, A.M 1.5 필터 통과 후 1차 거울과 2차 거울에서 반사되어 플라이아이렌즈에 도달하게 된다. 플라이아이렌즈는 조사된 빛을 시



(a) Solar simulator



(b) Climatic chamber



(c) Metering box

Fig. 4 Pictures of KICT's SHGC measurement apparatus.

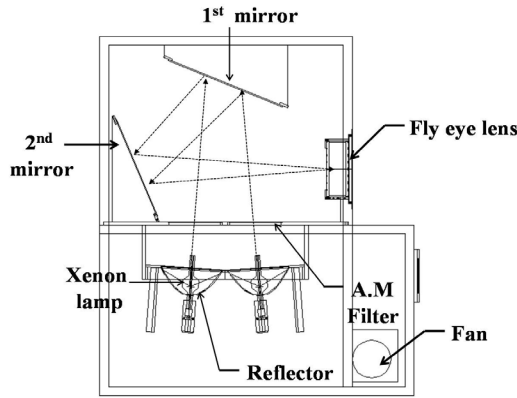


Fig. 5 Schematics of the solar simulator.

험체 면에서 균일하게 분포시키기 위한 광학 렌즈로써 수십개의 작은 셀로 구성된다.

3.1.1 스펙트럼 분포

솔라 시뮬레이터에서 조사된 빛은 광도입창 통과 후 시험체에 도달함에 따라 광도입창 설치 유무에 따른 솔라 시뮬레이터의 스펙트럼 분포와 조사강도의 변화 특성을 파악하기 위해 광도입창 전면과 시험체 전면에서 스펙트럼 분포를 측정하였다. 광도입창 통과 전 후의 스펙트럼 분포는 Fig. 6과 같이 동일한 분포 특성을 나타냄에 따라 스펙트럼 변화에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 광도입창 통과 전 후의 조사강도 변화는 1,183 W/m², 718 W/m²으로 측정되어 광도입창 통과 후 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 KS C IEC 60904-3에서 정의하고 있는 표준 태양광스펙트럼 분포와 솔라 시뮬레이터의 스펙트럼 분포 특성을 나타낸다. 측정결과, 800~900 nm 파장대역에서 제논램프 특유의 스펙트럼 분포 특성은 A.M 1.5 필터에 의해 완전히 없어지지 않는 것으로 나타났다. Table 2와 같이 스펙트럼 정합비의 판정기준은 400 nm~1,100 nm 파장대역을 정의하고 있으며, 6파장 간격으로 나누고 있다. 각 파장대역에서의 스펙트럼 불일치의 계산은 KS IEC 60904-7,⁽²²⁾ “태양전지 소자-제7부: 태양전지 소자의 시험에서 발생된 스펙트럼 불일치 오차 계산”에 따라 식(5)를 통해 구할 수 있다.

$$MM = \frac{\int I_{ref}(\lambda)}{\int I_{meas}(\lambda)} \quad (5)$$

Table 3은 식(5)에 따라 계산된 파장대역별 스펙트럼 정합을 나타낸다. 스펙트럼 정합은 800 nm~900 nm에서 최대 1.23, 700 nm~800 nm에서 최소 0.82를 나타냈으며, Table 1에 따라 A 등급으로 판정되었다.

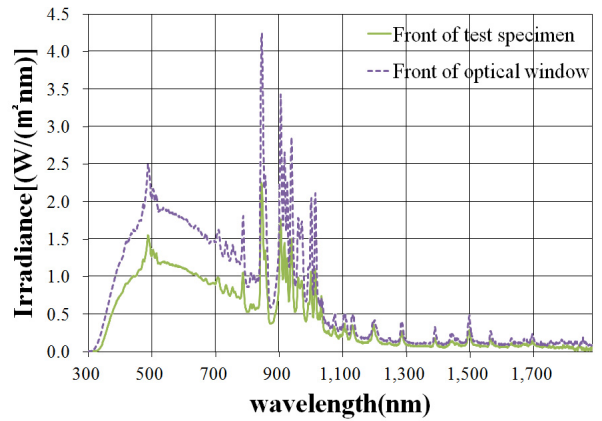


Fig. 6 Spectrum distribution due to measurement location.

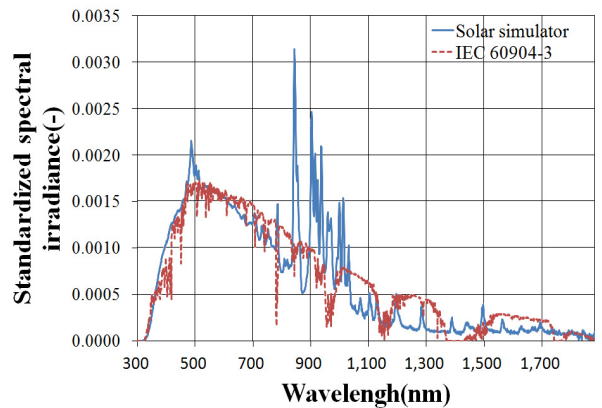


Fig. 7 Comparison of solar simulator spectrum and standard AM 1.5 spectrum.

Table 3 Result of spectrum match

Wavelength range [nm]	Solar simulator [%]	IEC Spectrum [%]	Spectrum match [-]	Class
400~500	19.4	18.4	1.06	A
500~600	19.0	19.9	0.96	A
600~700	15.9	18.4	0.87	A
700~800	12.2	14.9	0.82	A
800~900	15.4	12.5	1.23	A
900~1100	17.9	15.9	1.12	A

3.1.2 조사강도의 불균일성

조사강도의 불균일성은 시험체 면을 통해 유입되는 일사열량을 산출하는데 있어 중요한 성능 기준을 나타낸다. 따라서 조사강도의 불균일성을 확보하기 위해 유효 조사면적은 1,900 mm×1,600 mm으로 설계 하였다. 조사강도의 불균일성은 KS L 9107에서 규정하고 있는

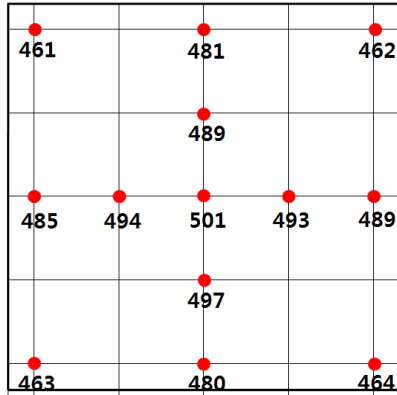


Fig. 8 Solar irradiance distribution on a specimen plan.

1.500 mm×1,500 mm의 표준 시험체를 대상으로 평가하였으며, 500 W/m²의 유효 조사강도를 유지하기 위해 솔라 시뮬레이터는 130 A의 전류로 설정하였다.

조사강도의 불균일성은 시험체를 중형으로 각각 5 분할하고 그 중심에서 측정하였으며, 측정결과의 산출은 KS C IEC 60904-9에서 정의하고 있는 식(6)을 통해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{불균일성(\%)} \\ & = \frac{\text{최대조사강도} - \text{최소조사강도}}{\text{최대조사강도} + \text{최소조사강도}} \times 100\% \end{aligned} \quad (6)$$

시험체 면에서의 조사강도 분포는 중앙에서 가장자리로 이동하면서 낮아지는 경향을 나타냈으며, Fig. 8과 같이 최대 501 W/m², 최소 461 W/m²의 분포를 나타냈다. 식(6)에 따른 조사강도의 불균일성 편차는 4.16% 측정되었으며, Table 1에 따라 B 등급으로 판정되었다.

3.1.3 조사강도의 불안정성

솔라 시뮬레이터의 제논램프는 각각의 발라스터(Ballaster)에서 정전류 제어되며, 최대 200 A까지 Dimming이 가능하다. 측정 시간 동안 4개의 램프는 동일한 전류로 제어 시켰으며, 솔라 시뮬레이터 작동 후 약 1시간 경과 시점부터 안정화 상태를 나타냈다. 조사강도의 불안정성은 KS C IEC 60904-9에서 정의하고 있는 식(7)에 따라 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{불안정성(\%)} \\ & = \frac{\text{최대조사강도} - \text{최소조사강도}}{\text{최대조사강도} + \text{최소조사강도}} \times 100\% \end{aligned} \quad (7)$$

솔라 시뮬레이터의 조사강도의 측정은 Fig 2의 측정점 A에서 일사계를 설치하여 측정하였다. Fig. 9는 솔라

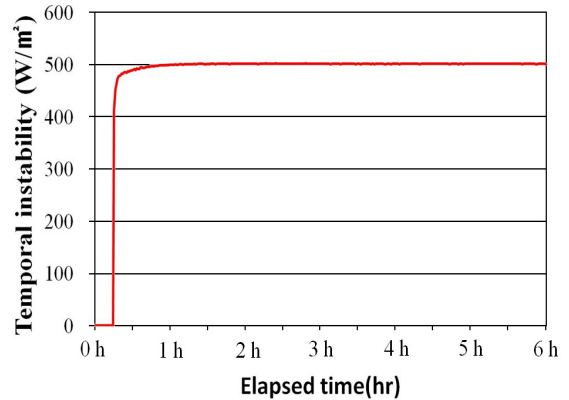


Fig. 9 Solar irradiance variation on a specimen plan.

시뮬레이터 작동 후 시간경과에 따른 조사강도의 변화를 나타내며, 안정화 시점에서 최대 502.5 W/m², 최소 500.9 W/m²의 범위에서 변동하는 것으로 측정되었다. 조사강도의 불안정성은 식(7)에 따라 0.16%의 편차를 나타냈으며, Table 1에 따라 A 등급으로 판정되었다.

3.2 환경챔버

환경챔버는 Table 4의 시험조건을 만족하기 위해, -10 ~ 40℃(±0.2℃)의 온도 범위에서 정밀 제어가 가능하며, 습도 제어는 고려하지 않았다. 환경챔버의 광도입창은 KS L 9107에서 규정하고 있는 투과율 90% 이상의 단판 유리를 설치하였다. 외기측 표면 열전달률의 설정은 풍속 조절이 가능한 에어컨 2대를 설치하였으며, 표면 열전달률 20 W/(m²·K)를 설정하기 위한 풍속을 유지 시켰다. Fig. 10은 환경챔버의 전경을 나타낸다.



Fig. 10 Pictures of climatic chamber.

3.3 열량수집상자

시험체를 통해 열량수집상자로 유입된 태양열 취득 열량은 전면부에 설치되어 있는 집열관 즉, 냉각관을 통해 모두 제거되며, 냉수 공급을 위한 냉각장치를 설치하였다. 제거열량은 열량계(MT 600, Emerson)를 통해 실시간으로 제거열량의 모니터링이 가능하며, 유량계와 유·출입구 온도 센서(T-type thermo couple, Omega)를 Fig. 11과 같이 설치하여 제거열량을 산출하였다. 또한, 정밀한 제거열량을 측정하기 위해 냉각판 표면에 열류계(25ea, ETO)를 설치하였으며, 측정결과는 냉각판에서 산출된 제거열량과 비교가 가능하다. 열량수집상자의 운영은 냉각판의 냉수온도를 Table 4의 실내 온도보다 낮게 설정하였으며, 실내온도 유지에 필요한 열량은 히터의 PID 제어를 통해 공급 한다. 열량수집상자는 유·출입 열량을 최소화하기 위해 이중챔버로 구성되었다. 이중챔버의 내측과 외측의 둘레벽은 우레탄 판넬 100 T로 제작하였으며, 둘레벽 사이 공기층은 우레탄 폼으로 충진 하였다. 둘레벽을 통한 유·출입 열량은 내부측 4면에 열류계(12ea, ETO)를 설치하여 측정하였다. 또한, 열량수집상자 내의 균일한 온도분포와 실내측 표면 열전달률을 설정하기 위해 Baffle과 라인 팬을 설치하였으며, 표면 열전달률 9 W/m²·K를 설정하기 위한 풍속을 유지 시켰다.

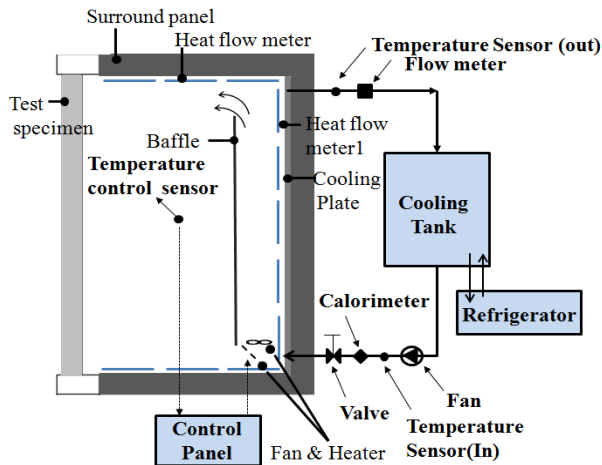


Fig. 11 Schematics of metering box.

4. 복층유리의 SHGC 평가

SHGC 측정장치의 타당성 검증을 위해 복층유리를 대상으로 KS L 9107의 하계 시험조건에 따라 실험을 진행 하였다. 측정결과는 ISO 15099의 해석 알고리즘을 기반으로 하고 있는 미국의 LBNL에서 개발한 Window 7.2, Optic 6.0 프로그램을 사용하여 측정 결과와 비교하였으며, 경계 조건은 Table 4와 동일하게 설정 하였다.

4.1 복층유리의 샘플 특성

Table 5는 복층유리 샘플의 특성을 나타낸다. 복층유리 샘플은 1,500 mm×1,500 mm의 동일한 크기로 제작 되었으며, Type 2와 Type 3은 Low-E 코팅면의 위치 변화에 따른 SHGC의 영향을 평가하기 위해 2면과 3면에 코팅 위치를 변화시켰다. 시뮬레이션 해석 결과, 복층유리의 SHGC는 0.242~0.793의 분포를 나타냈다.

Table 5 Characteristic of double glazing

Type	Outer pane	Gap	Inner pane	Calculation SHGC
Type 1	Clear 3 mm	12 mm (Air)	Clear 3 mm	0.793
Type 2	Low-E 3 mm	12 mm (Air)	Clear 3 mm	0.675
Type 2'	Clear 3 mm	12 mm (Air)	Low-E 3 mm	0.743
Type 3	Low-E 3 mm	12 mm (Air)	Clear 3 mm	0.597
Type 3'	Clear 3 mm	12 mm (Air)	Low-E 3 mm	0.664
Type 4	Low-E 6 mm	12 mm (Argon)	Clear 6 mm	0.242
Type 5	Low-E 6 mm	12 mm (Argon)	Clear 6 mm	0.417
Type 6	Low-E 6 mm	12 mm (Argon)	Clear 6 mm	0.623

Table 4 Test conditions of KS L 9107

Element	Temperature [°C]		Surface coefficient of heat transfer [W/(m ² ·K)]		Density of heat flow rate of incident solar radiation [W/m ²]	
	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer
Climatic chamber	0(±1)	30(±1)	20(±3)	15(±3)	300	500
Metering box	20(±1)	25(±1)	9(±3)	9(±3)		

4.2 복층유리의 SHGC 측정결과

측정 기간 동안 솔라 시뮬레이터의 조사강도는 $500.9 \text{ W/m}^2 \sim 501.5 \text{ W/m}^2$ 범위에서 측정 되었으며, 환경챔버와 열량수집상자의 온도 분포는 Table 4의 시험조건을 $\pm 1^\circ\text{C}$ 이내에서 만족하는 것으로 나타났다. 각 측정 요소 간의 상관관계를 파악하기 위해 냉수 온도와 실내 팬 풍속은 모든 측정 조건에서 일정하게 유지하였다. Table 6과 같이 복층유리의 광학적 특성에 따라 태양열 취득열량과 히터의 공급열량이 변화되는 것으로 나타났다. 두레벽에서의 유출입 열량의 변화는 거의 없는 것으로 측정되었다. 관류열량은 복층유리의 U-value에 따라 차이를 나타내고 있으며, Type 1의 Clear 유리에서 가장 많은 관류열량을 나타냈다. 뚜렷한 상관관계를 나타내는 태양열 취득열량과 히터의 공급열량은 SHGC 성능이 낮아질수록 태양열 취득열량은 감소하는 경향을 나타냈으며, 히터의 공급열량은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 동일한 냉수온도 설정 조건에서, 시험체의 광학특성에 따른 태양열 취득열량의 감소는 실내설정온도를 유지하기 위해 더 많은 히터의 공급열량이 필요한 것을 나타낸다.

따라서 SHGC 측정장치를 구축함에 있어 열류계의 민감도, 냉각판의 정밀도, 히터의 안정성은 매우 중요한 요인으로 판단된다. 하계 시험조건에서 복층유리를 대상으로 수행한 SHGC의 측정결과와 해석결과는 0.001

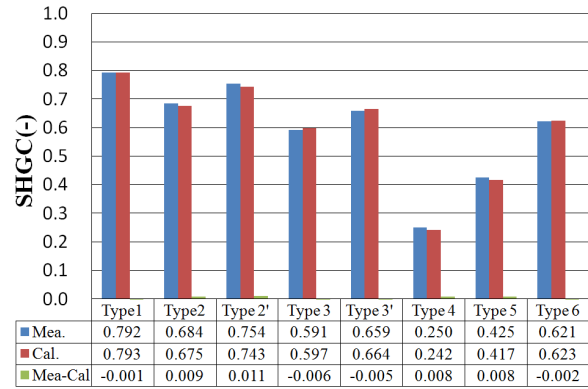


Fig. 12 Comparison of measurement and calculation results.

~ 0.011 의 편차 범위를 나타냈으며, Type 2' 샘플에서 가장 많은 차이를 나타냈다. Fig. 12에서 알 수 있듯이 측정결과와 해석결과 사이에 특이한 경향성은 보이지 않았으며, 0.13~3.31%의 범위에서 일치함을 나타내 측정결과와의 타당성을 검증하였다.

5 결론

본 연구에서는 KS L 9107 시험방법에 따라 SHGC 측정장치를 개발하고 평가하였으며, 하계 시험 조건에서

Table 6 Results of detailed elements

Element	Type 1	Type 2		Type 3		Type 4	Type 5	Type 6
	Clear	Low-E+ CL	CL+ Low-E	Low-E+ CL	CL+ Low-E	Low-E+ CL	Low-E+ CL	Low-E+ CL
I_s [W/m ²]	501.5	501.1	500.9	501.3	501.2	501.4	501.5	501.2
Φ_{solar} [W]	1128.4	1127.5	1127.0	1127.9	1127.7	1128.2	1128.4	1127.7
Φ_{gain} [W]	894.0	771.3	849.5	666.2	743.5	282.0	470.5	700.8
Φ_c [W]	995.2	869.1	935.9	773.5	838.7	413.3	591.9	799.9
Φ_f [W]	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
Φ_h [W]	35.1	49.3	38.1	61.2	49.9	94.8	73.5	55.8
Φ_p [W]	14.5	13.3	13.5	13.1	13.1	10.1	12.9	13.0
Φ_{sp} [W]	41.1	24.8	24.4	22.7	21.9	16.1	15.7	20.0
U_N [W/(m ² · K)]	2.88	1.90	1.90	1.80	1.80	1.38	1.37	1.74
A_{sp} [m ²]	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
θ_{ne} [°C]	30.9	30.5	30.5	30.4	30.3	30.2	30.2	30.2
θ_{ni} [°C]	24.6	24.7	24.8	24.8	24.9	25.0	25.1	25.1
SHGC[Mea]	0.792	0.684	0.754	0.591	0.659	0.250	0.425	0.621
SHGC[Cal]	0.793	0.675	0.743	0.597	0.664	0.242	0.417	0.623

복층유리를 대상으로 실험과 시뮬레이션 결과를 비교함으로써 타당성을 검증 하였다. 본 연구를 통해 도출한 결론은 다음과 같다.

- (1) KS C IEC 60904-9에 따른 솔라 시뮬레이터의 성능은 스펙트럼 정합 A 등급, 조사강도의 불균일성 B 등급, 조사강도의 불균일성 A 등급으로 KS L 9107에서 규정하는 기준을 만족하는 것으로 나타났다.
- (2) 복층유리의 SHGC 측정기간 동안 시험환경은 KS L 9107에서 규정하는 시험조건을 만족하였으며, 시험체 광학특성에 따른 실내 태양열 취득열량의 증가와 감소는 실내 설정온도를 유지하기 위한 히터의 공급열량 변화로 나타남에 따라 뚜렷한 상관관계를 나타낸다.
- (3) 이는 SHGC를 결정함에 있어, 태양열 취득열량과 히터의 공급열량 산정이 측정 결과에 많은 영향을 미침을 알 수 있으며, 열류계의 민감도, 냉각판의(온도센서, 유량계)정밀도, 히터의 안정성은 SHGC 측정장치 구축에서 매우 중요한 요인으로 판단된다.
- (4) 복층유리를 대상으로 한 SHGC의 측정결과와 시뮬레이션 결과는 0.001~0.011의 차이를 나타냈으며, 0.13~3.31%의 편차 범위에서 일치함을 나타내 측정결과의 타당성을 검증하였다

본 연구를 통해 개발된 SHGC 측정장치는 태양에너지의 유입 각도, 환경 조건 등 특정 환경 조건인 표준화 관점에서 다양한 기술로써 진화하고 있는 태양열 조절 기술과 이를 융복합 한 창호시스템의 정량적인 비교 평가가 가능할 것으로 판단된다. 향후 고기능성 유리, 다양한 형태의 차양장치, 창 유리용 필름, 신기술 창호 시스템 평가에 대한 지속적인 연구를 수행할 예정이며, 실제 태양광원 및 태양에너지의 유입 각도 변화에 따른 비교 평가가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2014년도 산업통상자원부 표준기술력향상사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No.10042502).

References

- 1. Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2011, Energy consumption survey Report.
- 2. Collins, M. R. and Harrison, S. J., 1999, Calorimetric measurement of the inward-Flowing fraction of absorbed solar radiation in venetian blind, ASHRAE Transactions, pp. 1022-1030.
- 3. Thomas, T. and Yogi, G., 2001, Effect of tilt angle

- and temperature difference on solar heat gain coefficient measurement of fenestration system, ASHARAE Transactions, pp. 684-690.
- 4. Hwang, W. J., Shin, J. G., and Choi, W. K., 2011, A study on correlation between building energy and glazing performance in office buildings-focused in U-value, SHGC, VLT, Proceedings of the SAREK 2011 Summer Conference, pp. 923-926.
- 5. Chou, S. K. and Chang, W. L., 1997, Large building cooling load and energy use estimation, International Journal of Energy Research Vol. 21, No. 2, pp. 169-183.
- 6. Reilly, S. and Hawthorne, W., 1998, The impact windows on residential energy use, ASHRAE Transactions, Vol. 104, No. 2, pp. 791-798.
- 7. Klems, J. H. and Warner, J. L., 1985, A new method for predicting the solar heat gain of complex fenestration system, Energy and Buildings, Vol. 8, pp. 165-173.
- 8. Marinoski, D. L., Güths, S., and Lamberts, R., 2012, Development of a calorimeter for determination of the solar factor of architectural glass and fenestrations, Building and Environment, Vol. 47, pp. 232-242.
- 9. Chen, F., Wittkopf, S. K., Poh Khai Ng, and Hui D., 2012, Solar heat gain coefficient measurement of semi-transparent photovoltaic modules with indoor calorimetric hot box and solar simulator, Energy and Buildings, Vol. 53, pp. 74-84.
- 10. Lim, J. H. and Song, S. Y., 2010, Evaluation on the solar heat gain coefficient installed in internal shading device by experiments according to the NFRC, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 30, No. 3, pp. 47-54.
- 11. Hakan, H. and Bertil, F., 1999, A new solar simulation facility for calorimetric measurement on window and shading devices, Proceedings, the 5th symposium on building physics in the nordic countries, Goteborg, Sweden, pp. 1-8.
- 12. Yoon, J. H., Yoon, H. K., Yu, C. K., Kwak, H. Y., Lee, E. J., and Choi, Y., 1997, Development of solar calorimeter to measure window solar heat gain performance, Proceedings of the SAREK '1997 Summer Conference, pp. 648-653.
- 13. Harrison, S. J. and Collins, M. R., 1999, Queen's University solar calorimeter-Design, calibration, and operating procedure, Proceedings, Presented at Solar Energy Society of Canada Conference, Edmonton, Canada.

14. Kim, T. J., Kang, J. S., Choi, G. S., Park, J. S., and Kim, H. W., 2013, A study on the test method for the determination of solar heat gain coefficient product using solar simulator, Proceedings of the SAREK 2013 Summer Conference, pp. 130-133.
15. KS L 9107, 2014, Testing method for the determination of solar heat gain coefficient of fenestration product using solar simulator.
16. ISO/TC163/WG17, 2014, Thermal performance of windows and door-Determination solar heat gain coefficient using solar simulator.
17. ISO 15099, 2003, Thermal performance of windows, doors and shading devices-Detailed calculations.
18. KS C IEC 60904-9, 2010, Photovoltaic devices-Part 9 : Solar simulator performance requirements.
19. KS C IEC 60904-3, 2010, Photovoltaic devices-Part 3 : Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data.
20. KS L 2514, 2011, Testing method on transmittance and emittance of heat glasses and evaluation of solar heat gain coefficient.
21. Chiharu, K., 2006, Development of a measurement system for SHGC and U-value, Journal of Environment, AIJ, Vol. 604, pp. 15-22.
22. KS C IEC 60904-7, 2010, Photovoltaic devices-Part 7 : Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices.