

사무소 건축물에서 다이내믹 윈도우의 에너지 성능 분석

Analysis of Energy Performance for Dynamic Windows on Office Buildings

박 루(Yool Park)[†], 박경순(Kyung-Soon Park)

동의대학교 건축설비공학과

Department of Building Systems Engineering, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

(Received August 21, 2014; revision received August 28, 2014; Accepted: August 29, 2014)

Abstract Low solar gain glazing should be applied on windows in order to reduce the solar radiation load. In a country where a cooling and a heating load coexist throughout the year, such as in Korea, a high solar gain glazing is need to reduce the heating load, but a low solar gain glazing should be applied to reduce the cooling load. Recently, dynamic windows have been developed for which the solar shading performance switches according to the amount of solar radiation flowing into the indoor space through the glazing, and these have been used in building to solve such problems. The purpose of this research is to analyze the energy performance of the electrochromic glazing for dynamic windows that has been extensively commercialized for office buildings in Incheon and Ulsan through an energy simulation implemented in the eQUEST program

Key words Electrochromic window(일렉트로크로믹 유리창), Window-wall-ratio(창면적비), Annual energy consumption(연간 에너지 소비), Office building(사무소 건축물)

[†] Corresponding author, E-mail: pyool@deu.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대 건축에서 유리창은 재실자들에게 시각적 쾌적성 및 건축물의 외부 미관을 향상시킬 뿐만 아니라 겨울철 일사취득에 의해 난방부하를 감소시킬 수 있다는 장점으로 건축물에 널리 적용되고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 기후온난화의 가속화에 따라 유리창을 통한 냉방부하가 증가하고 있다. 유리창에서 발생하는 냉방부하는 크게 실내외 온도차에 의한 관류부하와 일사부하로 구성되며, 이 중 일사부하가 대부분을 차지하고 있다. 유리창의 일사부하를 감소시키기 위해서는 일사취득계수(SHGC)가 낮은 유리를 적용하면 되지만, 국내외 같이 연중 냉난방부하가 공존하는 경우에는 난방부하를 저감시키기 위해서는 일사취득계수가 높은 유리창이 요구되며, 반대로 냉방부하를 감소시키기 위해서는 일사취득계수가 낮은 유리창을 적용해야 하는 이중적 성격을 지니고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 단일 유리창에 유입되는 일사량에 따라 일사차폐 성능이 변화하는 다이내믹 윈도우(dynamic window)에 대한 기술개발이 국내외적으로 활발히 진행되고 있지만, 국내의 경우 이러한 유리창의 에너지 성능에 대

한 연구가 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 다이내믹 윈도우 중 현재 가장 많이 상용화 되고 있는 일렉트로크로믹 유리창(electrochromic window)에 대한 에너지 성능을 사무소 건축물을 중심으로 eQUEST 프로그램을 통해 분석하고자 한다.

1.2 국내외 관련 연구현황

Joshua⁽¹⁾는 RESFEN 프로그램을 사용하여 일반유리창(double clear, high·low solar low-e, high·low solar triple)와 다이내믹 유리창 등에 대한 에너지 성능 분석을 통해 다이내믹 유리창은 창이 없는 경우보다 에너지 소비가 적었으며, Boston과 같은 난방위주의 지역에서는 삼중창에 비해 연간 1~2% 적게 에너지를 사용하였지만, Sacramento와 같은 복합 기후지역에서는 low-e 유리보다 불리함을 언급하였다. Assimakopoulos⁽²⁾는 일렉트로크로믹 유리창을 대상으로 6가지 조절방안별 에너지 소비량 분석을 통해 실내조도 또는 남향의 총일사량 기반 on-off 조절방식을 최상의 안으로 도출하였다. 이승복⁽³⁾의 연구에 의하면 냉방부하의 경우 유리의 종류에는 영향이 적지만 난방부하는 영향이 크며, 총부하 측면에서 에너지 절약을 위해서는 low-e 유리의 사용이 필요함을 언급하였다. 김효중⁽⁴⁾은 SHGC가 상(0.7 이상),

중(0.7 미만~0.5 이상), 하(0.5 미만)의 특성을 가진 이중 및 삼중 로이유리창에 대한 냉난방에너지를 평가하여 냉방 위주의 에너지 소비 패턴을 가지고 있는 사무소 건물의 경우 냉방에너지 소비량을 절감시키기 위해서는 SHGC가 낮은 로이창호를 적용해야 하며, 난방 시에는 SHGC가 커질수록 에너지 소비는 감소하는 반면 냉방의 경우에는 증가한다고 언급하였다. 유호천⁽⁵⁾의 연구결과에 따르면 사무소 건물에 low-e 유리를 적용할 경우 냉방부하는 감소하지만 난방부하의 증가로 인해 일반유리에 비해 전체적으로 부하량은 오히려 증가하는 것으로 나타났으며, 창면적비의 증가에 따라 냉난방부하는 상승하지만 조명부하의 증가로 인해 전체 에너지는 창면적비 50%에서 최소가 됨을 언급하였다. 박률⁽⁶⁾은 유리창의 SHGC가 에너지 소비에 미치는 영향을 검토하여 U-factor의 변화보다는 SHGC의 변화에 따른 에너지 소비량의 차이가 보다 많기에 국내의 창에 대한 에너지 절약 기준에 SHGC가 함께 반영되어야 함을 제안하였다. 정수희⁽⁷⁾는 일반복층·로이복층·삼중로이유리창에 대한 단열성능 및 차폐계수 변화에 따른 연간 냉난방 에너지요구량의 특성 분석을 통해 건물의 각 향에 적합한 유리의 열관류율 및 차폐계수 조합을 통해 에너지 절감을 유도해야 함을 지적하였다. 윤용상⁽⁸⁾은 창면적비, 창유리의 성능 및 내부 발열조건에 따른 커튼월 사무소 건물의 에너지요구량 분포 특성을 분석하고, 이에 관한 상관관계를 종합적으로 평가하였다.

이상과 같이 국내의 경우 창호의 종류에 따라 그들이 에너지 소비에 미치는 영향에 대해서는 다양하게 검토하였으나, 다이내믹 윈도우의 에너지 성능에 대한 연구가 전무한 실정이다.

2. 다이내믹 윈도우 고찰

유리창의 에너지 성능을 향상시키기 위해 개발된 대표적 기술로는 유리의 표면에 저방사 필름을 부착하여 장파장 영역의 복사열을 반사시키는 로이 유리(low-e glass), 이중창 사이에 실리카 에어로젤(silica aerogel)을 주입하여 전도 및 대류 열전달 현상을 억제하는 투명 단열창(aerogel glazing), 로이 유리의 아래위 가장자리에 전극(electrode)을 부착시켜 유리창 부분을 발열토록 하여 가시광선은 통과시키고 겨울철 외부의 차가운 열은 차단하는 전기창(electric glazing)⁽⁹⁾이 있는데, 이들 유리창은 일사량에 따라 일사차폐 성능이 변화하지 않는 단점이 있다.

이에 반해 다이내믹 윈도우는 태양복사나 투과율을 자유롭게 조절할 수 있는 지능형 창문(smart window)으로 구동 또는 전환 방식에 따라 수동형과 능동형으로 구분할 수 있다. 수동형 방식은 광량이나 온도와 같은 주변 조건에 즉각적으로 반응하는 방식이며, 능동형은 거주

자의 기호나 냉난방 필요에 따라 조절되는 방식이다. 수동형 방식으로는 빛의 강도에 따라 투명도가 변화하는 포토크로믹(photochromic), 온도에 따라 투명도가 변화는 서모크로믹(thermochromic)이 있고, 전기적으로 투명도를 제어하는 능동형으로는 액정(liquid crystal display), 광분산 입자(dispersed particle)과 일렉트로크로믹(electrochromic)을 들 수 있다.⁽¹⁰⁾ 이 중 일렉트로크로믹 유리창은 현재 가장 상용화되고 있으며, 건축물에 적용되고 있다. 이 유리창은 짧은 시간 안에 빛 투과율을 10~80% 범위 내에서 조절 가능하며, 이에 따른 태양열취득을 제어할 수 있다. 일반적으로 이 유리창은 자연상태에서는 색을 띠게 되며, 이온들이 전달됨에 따라 투명해지게 된다. 1~3 V 정도의 낮은 전압으로 전달되는 이온의 수를 조절함으로써 투과율을 지속적으로 변화시킬 수 있다. 전원을 끄게 되면 그 상태의 투과율을 유지하게 되며, 전압을 반대로 가하면 원래상태로 복귀하게 된다.^(9,10)

3. 다이내믹 윈도우 에너지 성능 분석

3.1 시뮬레이션 기준 설정

본 연구에 적용된 사무소 건물은 국내 사무소 건축물의 현황 자료⁽¹¹⁻¹²⁾를 바탕으로 Table 1과 같이 선정하였다. 기준층 바닥면적은 900 m², 15층으로서 정남향을 기준으로 창면적비는 30%, 50% 및 70%로 세분화하였으며, 장단변비는 1:1로 설정하였다. 면적당 조명부하는 17 W/m², 기기발열은 15 W/m²⁽¹³⁾로 설정하였다. 시스템 운전시간은 평일 08:00~18:00까지로, 기타 일은 정지토록 하여 eQUEST에 의한 에너지 소비량을 추정 시에 적용하였다. 또한 건축물의 에너지 소비는 기후조건에 따라 차이를 보일 수 있기에 냉난방도일을 기준으로 국내에서 난방과 냉방이 대체로 우세하며, 현재 국제적으로 공인된 TMY2 기상자료⁽¹⁴⁾가 있는 인천과 울산을 대표도시로 선정하였다.

Table 1 Summary of modeling conditions for simulation

Parameter	Condition
Typical floor area	900 m ² (30 m×30 m)
Building and ceiling height	3.8 m and 3 m
Aspect ratio	1:1
Fenestration distribution	Equal distribution on all four orientations by 30%, 50%, 70%
Infiltration	0.6 ACH
HVAC system	Variable Air Volume
Part-load performance	Part-load curves for DOE2
Thermostat settings	Heating : 20°C, cooling : 26°C
Internal loads	0.1 person/m ² +17 W/m ² (lighting)+15 W/m ² (equipment)

Table 2 Properties of alternative glazing

No.	U-factor (W/m ² · K)	SHGC	Description
#1	2.61	0.62	Dbl bronze
#2	2.56	0.45	Dbl grey
#3	2.47	0.63	Dbl low-e, e = 0.1
#4	2.38	0.44	Dbl low-e, e = 0.4
#5	2.43	0.63/0.17*	Dbl electrochromic
#6	2.33	0.44/0.16*	Dbl electrochromic

* SHGC of switched glazing.

본 연구에서 설정한 대안 유리는 Table 2와 같다. #1~#4 유리는 일렉트로크로믹 유리창의 에너지 성능을 명확히 파악하기 위해 DOE⁽¹⁵⁾에서 제공하고 있는 #5와 #6의 electrochromic glazing의 U-factor와 SHGC를 기준으로 이들 값과 유사하면서 현재 국내에서 가장 많이 적용되고 있는 #1, #3과 #2, #4와 같은 칼라복층유리와 low-e 복층유리를 각각 선정하였다. 프레임은 vinyl을 동일하게 적용하였다. eQUEST에서 일렉트로크로믹 유리창에 대한 시뮬레이션 시 switch control은 총일사량(TOT-SOL-TR)을 기준으로 하였으며, 가동기간은 4월 1일~11월 30일로 하였다. switch되는 최저, 최고 일사량은 eQUEST 프로그램의 경우 63.0 W/m²(20 Btu/h · ft²)~315.4 W/m²(100 Btu/h · ft²) 범위에서 설정할 수 있기에 Fig. 1과 같이 인천과 울산의 총일사량 현황을 검토하여 일렉트로크로믹 유리창에 의한 에너지 절감을 가능한 유도하고자 63.0 W/m²(20 Btu/h · ft²)과 157.7 W/m²(50 Btu/h · ft²)로 각각 설정하였다.

3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

상기의 조건들을 바탕으로 산출된 도시별, 창면적비별 연간 실내 냉난방 에너지 소비량은 Table 3과 같다. Fig. 2는 대안별 연간 실내 총에너지 소비량을 나타낸

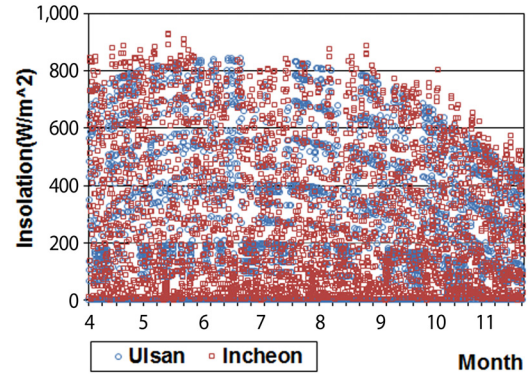


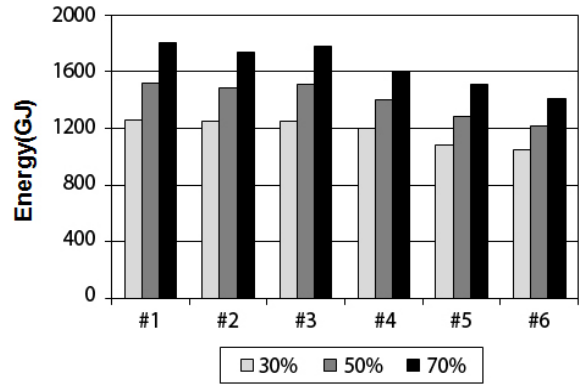
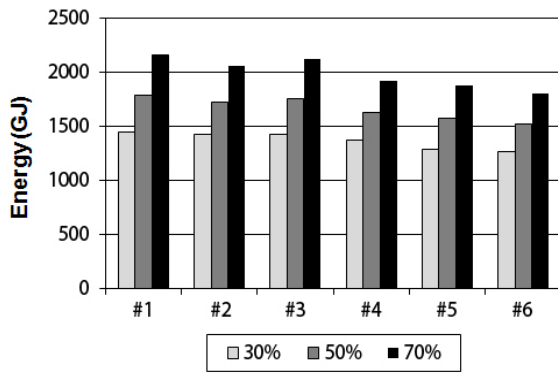
Fig. 1 Monthly insolation in two cities.

것으로 두 도시에서 창면적비가 증가할수록 에너지 소비도 함께 증가하였다. 인천보다 울산이 에너지 소비가 작게 나타났는데, 이는 Table 3에서와 같이 난방 에너지의 감소에 따른 결과로 판단된다. 또한 3개의 창면적비 모두에서 #1 > #3 > #2 > #4 > #5 > #6 순으로 #1의 칼라복층유리와 #6의 일렉트로크로믹 유리창이 각각 최고, 최저의 에너지 소비 특성을 보였다. #3의 로이복층유리가 #2의 칼라복층유리보다 에너지 소비가 많은 것은 Table 2에서와 같이 U-factor가 유사한 반면 #3의 유리가 상대적으로 SHGC가 높기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3은 현재 건축물에서 가장 널리 적용되고 있는 #1의 유리창 대비 #2~#6 대안별 에너지 절감비율을 나타낸 것으로, 창면적비가 증가할수록 두 지역에서 동일하게 에너지 절감율이 높게 형성되었다. 특히, #5와 #6의 일렉트로크로믹 유리창의 경우 인천에서 평균 12.1%와 14.5%, 울산에서는 15.2% 및 19.6% 정도 절감되는 것으로 나타났다. 또한 electrochromic 유리창 다음으로 에너지 소비가 적은 #4의 로이복층유리창과 대비하면 #5 및 #6 유리창은 인천의 경우 평균 4.0%와 6.7%, 울산의 경우 7.9%, 12.7% 정도 에너지 절감적인 특성을 보였다.

Table 3 Annual space cooling and heating energy in two cities(Unit : GJ)

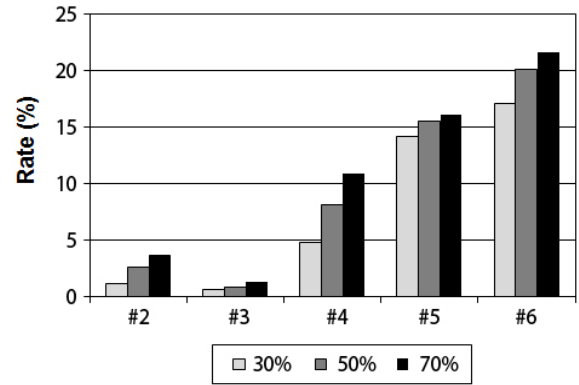
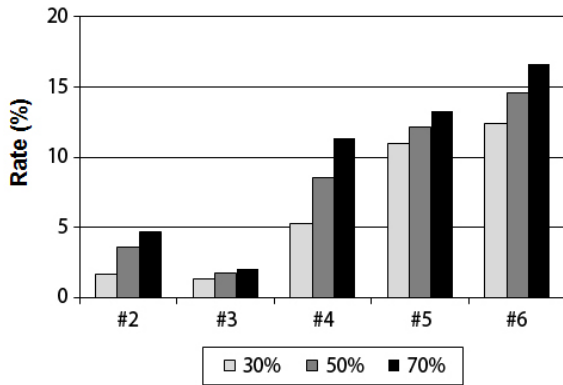
No.	Incheon						Ulsan					
	30%		50%		70%		30%		50%		70%	
	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating
#1	1,075.6	365.2	1,304.3	476.7	1,518.9	639.4	1,208.7	93.4	1,372.1	151.6	1,563.2	239.0
#2	983.4	433.5	1,153.8	562.7	1,330.0	727.8	1,127.0	120.2	1,293.6	190.2	1,449.4	286.6
#3	1,088.5	332.7	1,328.2	421.2	1,550.2	563.8	1,173.0	81.1	1,383.5	126.9	1,581.8	197.4
#4	948.5	415.9	1,099.9	528.8	1,255.2	657.9	1,089.1	112.4	1,228.5	170.7	1,358.3	247.0
#5	968.0	314.6	1,169.8	395.8	1,337.5	534.7	1,013.2	69.6	1,178.5	108.9	1,346.3	166.8
#6	897.9	364.9	1,065.1	455.8	1,218.9	581.4	959.2	86.6	1,085.4	132.4	1,221.0	190.9



(a) Incheon

(b) Ulsan

Fig. 2 Annual space total energy.



(a) Incheon

(b) Ulsan

Fig. 3 Energy saving rate against #1.

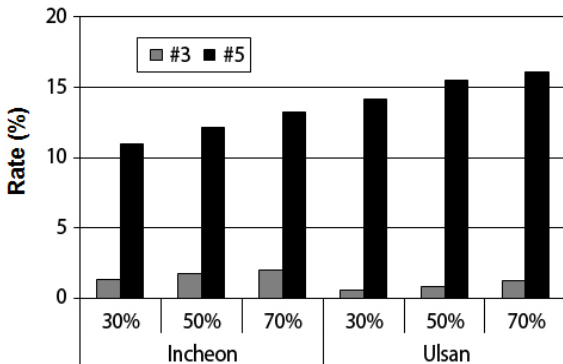


Fig. 4 Energy saving rate of #3 and #5 against #1.

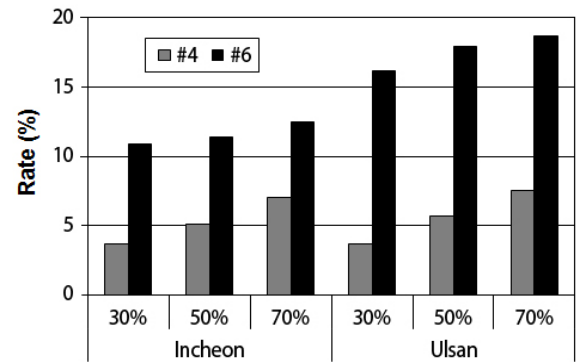


Fig. 5 Energy saving rate of #4 and #6 against #2.

Fig. 4는 #5 일렉트로크로믹 유리창의 U-factor와 SHGC와 유사한 #1과 #3 대안을 대상으로 #1 대비 에너지 절감율을 나타낸 것으로, 인천의 경우 #3과 #5는 #1에 비해 평균 1.8%와 12.1%, 울산의 경우는 0.9% 및 15.2%로 #5의 일렉트로크로믹 유리창이 가장 많이 절감됨을 알 수 있다. 또한 유사한 물리적 특성을 지니고 있는 #2,

#4 및 #6의 경우 #4와 #6 유리창은 #2에 비해 Fig. 5와 같이 인천에서는 평균 5.3%와 11.6%, 울산에서는 5.6%와 17.6%로 #6의 일렉트로크로믹 유리창이 가장 많은 절감 특성을 나타내었다. 아울러 일렉트로크로믹 유리창 간에는 #5에 비해 #6이 인천과 울산에서 평균적으로 2.8%와 5.2% 정도 절감되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 인천 및 울산에서 창면적비가 증가할수록 에너지 소비도 함께 증가하였으며, 인천보다 울산이 에너지를 적게 소비하였다. 또한 창면적비 30%, 50% 및 70% 모두에서 #1 > #3 > #2 > #4 > #5 > #6 순으로 #1의 칼라복층유리와 #6의 electrochromic 유리가 각각 최고, 최저의 에너지 소비 특성을 보였다.
- (2) #5와 #6의 일렉트로크로믹 유리창의 경우 #1에 비해 인천에서는 평균 12.1%와 14.5%, 울산에서는 15.2% 및 19.6% 절감되는 것으로 나타났다. 또한 electrochromic 유리창 다음으로 에너지 소비가 적은 #4의 로이복층유리창에 비해서도 #5 및 #6 유리창은 인천의 경우 평균 4.0%와 6.7%, 울산의 경우 7.9%, 12.7% 에너지 절약적인 것으로 나타났다. 아울러 #6 일렉트로크로믹의 경우 유사한 물리적 특성을 지닌 #2에 비해 인천 및 울산에서 평균적으로 11.6%와 17.6% 절감되는 것으로 나타났다.

그러나 연구 결과의 현장 적용성을 더욱 확보하기 위해서는 경제성 평가 및 일렉트로크로믹 유리창의 가시광선투과율 변화에 따른 조명에너지 성능 등에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2014학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(2014AA123).

References

1. Joshua, S. A., Dariush, K. A., and Yu, J. H., 2003, Future advanced windows for zero-energy homes, ASHRAE transactions Vol. 109, No. 2, pp. 871-882.
2. Assimakopoulos, M. M., Tasngrassoulis, A., Santamouris, M., and Guarracino, G., 2007, Comparing the energy performance of an electrochromic window under various control strategies, Building and Environment, Vol. 42, No. 8, pp. 2829-2834.
3. Leigh, S. B. and Won, J. S., 2004, An analysis of demand for environmental controls on different residential building types, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 10, pp. 960-968.
4. Kim, H. J., Park, J. S., Shin, U. C., and Yoon, J. H., 2008, Heating and cooling energy performance analysis of an office building according to SHGC level of the double and triple glazing with low-e coating, Proceedings of the KSES '2008 Autumn Conference, pp. 90-95.
5. Yoo, H. C., Oh, Y. H., and Park, S. K., 2005, The optimal window system of office buildings considering energy efficiency, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No. 4, pp. 53-60.
6. Park, Y. and Park, J. I., 2010, A study of energy use impacts by SHGCs of windows in detached house, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 4, pp. 189-196.
7. Jeong, S. H., Park, H. S., and Lee, B. Y., 2012, A study on analysis of energy consumption of detached house by U-value and SCs of window and building orientation, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 3, pp. 96-103.
8. Yoon, Y. S., Choi, W. K., and Sim, M. H., 2013, A study on the characteristics of the energy performance in curtain wall building-Focused on the glazing type, window to wall ratio and internal gains, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 7, pp. 255-263.
9. Lee, K. S., 2009, A guide to new technologies and energy performance, Kwangmoonkag, Seoul, pp. 139-149.
10. Jang, Y. C., 2007, High efficiency window improved heat insulations, Magazine of SAREK, Vol. 36, No. 8, pp. 19-25.
11. Jo, W. D., 1994, Development of checking program of architectural design for energy saving, KEMCO, pp. 57-67.
12. Seok, H. T. and Kim, K. W., 2001, Thermal performance evaluation of design parameters and development of load prediction equation of office buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 9, pp. 914-921.
13. Yoon, Y. S., Yoon, J. H., Choi, W. K., and Kwon, Y. C., 2012, A fundamental study on the optimal window applications according to the window ratio and SHGC in office buildings, Journal of KIAEBS, Vol. 6, No. 1, pp. 38-45.
14. U.S. Department of ENERGY, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energ-yplus/weather_data.cfm.
15. Lawrence berkeley national laboratory, 2006, DOE-2.2 manual Volume 4 : libraries and reports, California, pp. 22-25.