

오피스텔 모델건물의 생애주기비용 분석에 의한 다층유리창 경제성 비교

Comparison on the Economical Efficiency of the Multiple Glazed Windows According to Life Cycle Costing of an Officetel Model Building

정근주*
Jung, Gun-joo

Abstract

The purpose of this study was to suggest ways on reducing the cooling and heating energy cost of the officetel building with the multiple glazing windows according to Life Cycle Costing. This study consisted of an hour-by-hour energy simulation program and further data from the EnergyPlus V1-2-2 to the four pane type windows that were applied with 2 low-e polyester film and krypton gas to the officetel model building. It was determined that the four panes type windows that had 2 low-e polyester film and krypton gas applied to, them showed a cooling and heating cost reduction over traditional double glazed windows that were filled with air. According to this study, as well as the information from chart 4.5 and the LCC it was determined that the present value of the four panes of windows that had 2 low-e polyester film and krypton gas applied to them showed a 11.4% reduction in heating and cooling in comparison to the traditional double glazed windows that were filled with air.

Keywords : Cooling and Heating Energy Cost, Energy Conservation, Multiple Window, Low-e film, Inert gas

주요어 : 냉난방 에너지비용, 에너지절약, 다층유리창, 로이필름, 비활성기체

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

고층 건물 외피(Envelope)의 현대적 설계형태는 조망 확보·하중 경감·현대적 외관 등의 설계개념에 따라 '전면(全面)유리창커튼월' 구조가 일반적이라 할 수 있는데, 이러한 유리창커튼월 구조는 콘크리트 등의 불투명 벽체보다 열성능이 낮아 건물 냉난방용 에너지를 증가시키는 요인으로 알려져 있다. 근래의 다수 도심지 오피스텔은 대지이용률 증대 등과 관련하여 고층화되고 있고, 이의 외피에는 고층건물 설계개념에 의하여 '전면유리창 커튼월' 구조가 널리 적용되고 있다. 그런 한편 이 건물의 커튼월에는 재래의 공기주입 복층유리창이 그대로 적용되고 있어 냉난방 에너지부하 증대를 피할 수 없는 실정인데, 이러한 점을 개선하기 위해서는 열성능이 양호한 유리창의 설계반영이 요구된다고 할 수 있다.

1990년대 초에 개발된 로이코팅(Low-e Coating)은 일사차단과 실내 장파장 재 반사 기능을 가지고 있어 유리창을 통한 냉난방에너지 손실을 줄일 수 있는 기술인데, 근래에 경량의 폴리에스테르 필름 소재에도 적용할 수 있게 되었다. 한편 다층유리창의 레이어 사이에 아르

곤, 크립톤, 크세논과 같은 비활성기체를 주입하여 단열 성능을 개선한 기술도 실용화 되었다. 최근 해외의 유리창 제조사¹⁾는 이러한 유리창 열성능 개선기술을 바탕으로 양면에 판유리로 창문의 구조적 강도를 유지하고 그 사이에 1, 2점의 로이폴리에스테르 필름을 끼운 다음 각 레이어 사이에 크립톤을 주입한 경량의 3중, 4중 유리창을 개발, 시판하게 되었다.

이러한 경량의 3중, 4중 유리창을 오피스텔 등 유리창이 넓은 건물에 적용한다면 외피의 고정하중 증가를 줄이면서 커튼월의 일사차단 및 열저항 성능을 개선시킬 수 있을 것으로 보인다. 반면 이의 높은 초기투자비용은 적용을 기피케 하는 요인이므로 생애비용분석을 통한 효과 분석이 요구된다고 할 수 있다. 한편 국내에는 아직 이러한 3중, 4중 유리창의 적용사례를 찾아보기 어려움으로 생애주기비용 분석에 필요한 연간 냉난방 에너지소모량 추정은 에너지시뮬레이션에 의존할 수밖에 없는 실정이다.

이에 본 연구는 오피스텔 모델건물에 단판 및 복층, 3중, 4중 다층유리창을 적용하고 연간 냉난방 에너지부하 시뮬레이션을 수행한 다음 각종 다층유리창의 생애주기비용(Life Cycle Cost)을 비교 분석하고자 한다.

*정회원(주저자), 부경대 건축학부 강사, 공학박사

1) Euro-American Glazing Company, Heat mirror Technology, <http://www.eagfacades.com/>, 2006.1

2. 연구의 방법과 범위

1) 연구의 방법과 순서

- (1) 비교대상 유리창의 선정
- (2) 해석모델 건물의 설정
- (3) 유리창별 연간 냉난방에너지 시물레이션
- (4) 유리창별 연간 냉난방에너지 비용 산정
- (5) 유리창별 제작비용 산정
- (6) 유리창별 운영에너지비용 현가(PV) 산정
- (7) 생애비용 비교분석

2) 연구의 범위

본 연구의 범위는 아래의 <표 1>과 같다.

표 1. 연구의 범위

항 목	연구의 범위
비교대상 유리창	단판유리창 복층유리창 Low-e 필름 적용 3중 유리창 Low-e 필름 적용 4중 유리창 (각종 유리창별 공기, 아르곤, 크립톤, 크세논 주입)
해석모델건물	25층, 150세대, 개별 냉방기 및 보일러, 도심 오피스텔
연간 냉난방에너지 시물레이션	1) 냉난방기간 동안 24시간 전부하 2) 2003년도 서울 시각별 기상파일 적용 3) EnergyPlusV1.2.2 프로그램 이용
현가(PV) 산정 기초자료	1) 수명주기 : 20년(리모델링 주기) 2) 초기투자비 : 유리창 제작비 3) 운영비 : 냉난방에너지비 4) 이자율 : 시중금리 5) 에너지가 상승률 : 과거 10년간

II. 연구 동향 및 유리창 열성능 기술 고찰

1. 연구 동향

1) 국내 연구 동향

최근 국내의 유리창 열성능과 관련된 연구 동향을 고찰한 결과 ‘커튼월 시스템의 구조체 단열성능 개선’에 관한 연구²⁾, ‘이중외피(Double Skin) 구조의 열 환경, 빛 환경, 냉방부하 성능’에 관한 연구³⁾, ‘시각적 쾌적성을 위한 창호의 적정 투과율’에 관한 연구⁴⁾ 외 다수의 연구 결과가 발표되고 있어 이 분야의 연구 관심도는 높다고 할 수 있다. 그러나 본 연구의 주제인 3중, 4중 유리창의 경제성분석 관련된 국내 연구는 아직 없는 것으로 조사되었다.

2) 해외 문헌 고찰

- 2) 석호태, 광현철, 정지나, 송승영, 커튼월 외피시스템 벽체부의 전 열특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 21권 10호, 2005.10, p.255~264
- 3) 김광호, 김병선, 소규모 유리외피 사무소 빌딩 사례를 통한 온열 환경과 냉방부하 저감방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 21권 8호, 2005.8, p.187~196
- 4) 김병수, 임오연, 시각적 쾌적성과 에너지 성능분석에 의한 오피스 창호의 적정 투과율 선정, 대한건축학회 논문집 계획계 21권 3호, 2005.3, p.107~115

미 에너지성(DOE)의 보고서 DOE/EE-0173 ‘Spectrally Selective Glazing’⁵⁾은 자국 내의 여러 도시별 Low-e 유리창의 복사선 선택투과에 의한 냉난방에너지 절감효과를 분석해 놓고는 있으나 3중, 4중 유리창에 비활성기체를 주입한 신기술 유리창에 대한 비교는 아직 제시하지 않고 있는 것으로 조사되었다.

2. 유리창 열성능 개선 기술

1) Low-e 필름 적용기술

유리창의 Low-emissivity(Low-e)코팅은 실내 입사 복사선의 선택투과를 통하여 탈색현상 예방, 냉난방부하 저감, 열쾌적도 개선⁶⁾ 등의 효과를 얻을 수 있는 기술로서 1990년대 초에 개발되었다.

Low-e코팅은 원자크기의 수백 밖에 되지 않는 은(Silver) 또는 금속 산화물(Metal Oxide)이 샌드위치 형태로 유리 또는 폴리에스테르 소재의 양면 또는 한 면에 입혀진 것으로 적외선과 자외선을 가시광선보다 적게 투과시키는 특성을 가지고 있으며, 이의 생산 공정은 온라인코팅과 오프라인코팅으로 대별된다⁷⁻⁹⁾.

2) 비활성기체 주입기술

아르곤, 크립톤, 크세논 등의 비활성기체는 공기보다 열전도율이 낮으므로 이들을 다중 유리창의 공간에 주입한 다면 유리창의 열저항을 높일 수 있을 것이다. 반면 이들 기체는 대기 중 농도가 희박하므로 추출하는 데에는 많은 비용이 소요된다.

<표 2>는 비활성기체의 물성¹⁰⁾ 및 단가¹¹⁾를 나타낸다.

3) 유리창 다층화

근래에 유리창의 열성능 개선을 위하여 판유리로만 제

표 2. 비활성기체의 물성 및 단가

명칭	분자식	열전도율 (W/mK)	대기 농도 (PPM)	비중 (Air=1)	단가 (원/l)
Air	N2,O2	0.02700	-	1.000	-
Helium	He	0.14250	5.240	0.138	-
Neon	Ne	0.04570	18.210	0.692	-
Argon	Ar	0.01635	9340.000	1.380	5.5
Krypton	Kr	0.00795	1.140	2.890	551.3
Xenon	Xe	0.00575	0.087	4.610	5,513.0

5) DOE, Federal Technology Alert, http://www.eere.energy.gov/femp/pdfs/FTA_Glazings.pdf, 2006.03

6) Low-e코팅 유리창은 동계에 실내에서 발생한 장파장(Long Wave)을 실내로 재 반사함으로써 유리창을 통한 열손실을 줄이는 한편, 유리창 근처의 Cold Draft 현상을 감소시켜 재실자의 열쾌적을 개선할 수 있는 기술로 알려져 있다.

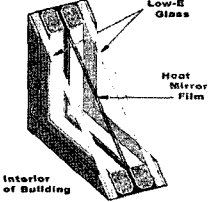
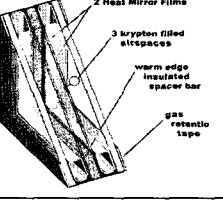
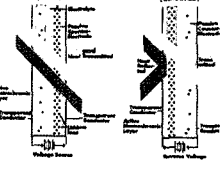
7) Glass on web, Glass manual, <http://www.glassonweb.com/glassmanual/topics/index/lowe.htm>, 2006.1

8) Glass on web, Articles, Pyrolytic or Vacuum Coated Glass, <http://www.glassonweb.com/articles/article/180/>, 2006.1

9) National Glass Com, Reflected Coated Glass, <http://www.nationalglass.com.au/products/03/03.html>, 2006.1

10) Wikipedia web com, http://en.wikipedia.org/wiki/Noble_gas, 2006.01

표 3. 유리창 열성능 개선 기술의 종류

명칭	유리창 구조	열성능 개선 원리
단판	-	-
복층	-	- 1켜 공기층 단열 이용
3중	-	- 2켜의 공기층 단열 이용 (창문하중 증가 문제점)
경량 3중 구조 ¹³⁾		- 양면의 Low-e 유리 사이에 Low-e 폴리에스테르 필름을 끼워 경량화 한 가운데 일사 차단 성능 개선 - 2켜의 공기층 단열 이용
경량 4중 구조 ¹³⁾		- 양면의 판유리 사이에 2겹의 Low-e 폴리에스테르 필름을 끼워 경량화 한 가운데 일사 차단 성능 개선 - 3켜의 크립톤 단열 이용
Switchable Glazing ¹⁴⁾ (비교제외)		- Lithium-ion 전기반응 광 투과특성을 이용, 동계(왼쪽그림)에는 적외선을 흡수하고, 하계(오른쪽그림) 적외선을 반사하여 일반 Low-e 피막이 지닌 동계일사 차단에 따른 난방부하 증가를 해소

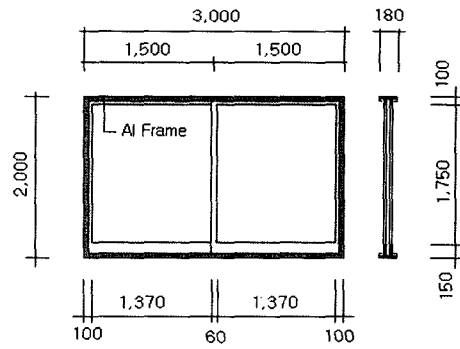


그림 1. 시뮬레이션용 기본 창틀 구조

판, 복층 유리창(투명유리) 및 3중, 4중 구조 유리창을 비교분석 대상으로 하였는데, 3중 및 4중 유리창에는 투명유리만으로 구성된 것과 Low-e필름을 적용 한 것(4중에는 2겹 적용), 복층·3중·4중 유리창에 공기·아르곤·크립톤·크세논을 각각 주입한 것을 더하여 총 15종의 샘플유리창을 선정하였다. 그리고 적용 창틀은 <그림 1>과 같이 간단 구조로 하였다.¹⁵⁾

또한 각종 비교 대상 유리창의 단순 열성능 비교를 위하여 WINDOWS를¹⁶⁾ 이용, 각각의 열관류율(U-value)을 산정하였다. <표 4>는 본 연구의 비교대상 유리창의 종류 및 열관류율을 나타낸다.

작된 3중 구조의 다층유리창이 개발 되었지만 건물 외피의 고정하중 증가의 문제점이 있었다. 최근 Low-e 코팅 폴리에스테르 필름을 삽입하여 고정하중 증가 문제점과 일사투과, 열저항 성능 등을 개선한 3중, 4중 유리창이 개발·시판되기에 이르렀다. 한편 전지이온반응을 통하여 복사선 투과 특성을 용도에 맞게 변화시킬 수 있는 Switchable 유리창이 소개되고는 있으나 본 연구의 비교 대상에는 제외하였다¹²⁾.

<표 3>은 유리창 열성능 개선 기술의 종류를 나타내고 있다.

3. 비교 대상 유리창의 선정

본 연구는 유리창 구조의 열성능 비교를 목적으로 단

표 4. 비교대상 유리창의 종류와 열관류율

구분	기 호	유리창 구조 (6t: 6 투명판유리, 4t: 4 투명판유리, 1f: 0.076 Low-e 폴리에스테르필름, 8G: 8 기체)	로이 필름	주입기체	U-value (W/K)
단판	S(6)	6t	×	-	5.785
복층	Air(6,6)	6t+8G+6t	×	Air	2.896
	Arg(6,6)	6t+8G+6t	×	Ar	2.669
	Kry(6,6)	6t+8G+6t	×	Kr	2.439
	Xen(6,6)	6t+8G+6t	×	Xe	2.405
3중	Air(6,4,6)	6t+8G+4t+8G+6t	×	Air	1.969
	Air(6,f,6)	6t+8G+1f+8G+6t	1겹	Air	1.483
	Arg(6,f,6)	6t+8G+1f+8G+6t	1겹	Ar	1.179
	Kry(6,f,6)	6t+8G+1f+8G+6t	1겹	Kr	0.867
	Xen(6,f,6)	6t+8G+1f+8G+6t	1겹	Xe	0.812
4중	Air(6,4,4,6)	6t+8G+4t+8G+4t+8G+6t	×	Air	1.490
	Air(6,f,f,6)	6t+8G+1f+8G+1f+8G+6t	2겹	Air	1.001
	Arg(6,f,f,6)	6t+8G+1f+8G+1f+8G+6t	2겹	Ar	0.758
	Kry(6,f,f,6)	6t+8G+1f+8G+1f+8G+6t	2겹	Kr	0.488
Xen(6,f,f,6)	6t+8G+1f+8G+1f+8G+6t	2겹	Xe	0.424	
합계	15종				

11) Argon : 종합물가정보, (사)한국물가정보, 2006.1
Krypton, Xenon : Unite State Glass Magazine Web site, http://www.usglassmag.com/Door_and_Window_Maker/Backissues/MayJune03/krypton.htm, Minneapolis Oxygen Company, Krypton Introduce, <http://www.mplos2.com/krypton.html>, 2006.1

※국내에는 Krypton, Xenon 제조사가 없어 북미의 시장가격을 참조, 수입비용을 고려하여 현지가격의 1.5배를 적용하였다.

12) Switchable 유리창의 생산, 가격, 시공 공법, 운전방법 등에 관한 상세한 정보를 접할 수 없어 본 연구의 비교대상에서는 제외하였다. 이의 열성능 및 LCC에 관한 후속 연구가 필요하다고 사료된다.

13) Euro-American Glazing Company, Heat mirror Technology, <http://www.eagfacades.com/>, 2006.1

14) Advanced Window Technology, Green Building International Council, <http://ca.greenbuilding/>, 2006.1

15) 창틀은 여러 형태가 있으나 시뮬레이션 변수의 입력 편의상 그림과 같이 간단 구조로 입력하였다.

16) Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Building Technologies Department, <http://windows.lbl.gov/software/window/window.html>, 2006.1

III. 연간 냉난방용 에너지시물레이션

1. 해석모델 건물의 설정¹⁷⁾

해석모델 건물은 세대 당 40평 내외의 도심 오피스텔로 RC조, 지상 25층, 150세대, 연면적 21,000(m²), 개별 PAC 및 가스보일러를 갖춘 1개 동으로 설정하였다. 이의 외벽은 알미늄 복합패널 3 mm, 강판 샌드위치패널 50 mm, 경량ALC블록 150 mm, 석고보드 10 t 2겹으로 설정하였다.

그리고 실내 열취득변수로 세대 당 실내 재실자 5명, 냉장고 1 kW, TV 0.5 kW 2대, 조명부하 25 W/m², 컴퓨터 부하 0.2 kW 2대를 입력¹⁸⁾하였는데, 이러한 해석모델에 관한 제반 제원은 최근 건립되고 있는 S오피스텔의 평면과 입면을 참조하였다.

본 연구 해석모델 오피스텔의 건축개요는 <표 5>, 외관은 <그림 2>, 기준층 평면도는 <그림 3>과 같다.

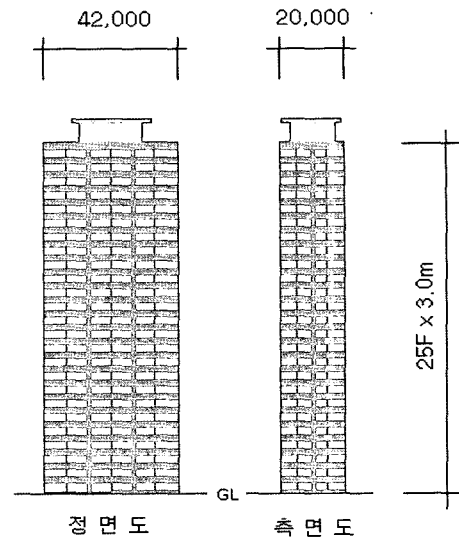


그림 2. 해석모델의 외관

표 5. 해석모델 오피스텔의 건물개요

건물 위치	서울 도심
위도 / 경도	37°34' / 126°58'
해발높이	60.0 m
건축면적 / 연면적	840 / 21,000

2. 에너지시물레이션 프로그램 및 입력자료

비교대상 각종 유리창의 연간 냉난방부하 시물레이션은 EnergyPlus(V.1.2.2)프로그램을 이용하였다¹⁹⁾. 이 프로그램은 미에너지성에서 DOE-II와 BLAST를 기반으로 업그레이드한 것으로 유리창의 적외선과 자외선 차단, 실내 장파장 반사 등의 열성능을 상세하게 해석할 수 있

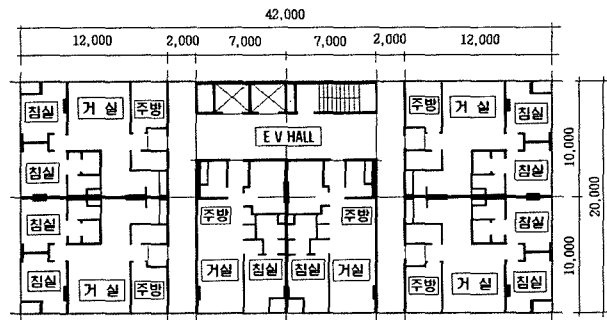


그림 3. 해석모델 오피스텔의 기준층 평면도

17) 로이필름 적용 다층유리창은 기존의 로이유리와 다르게 1, 2겹의 레이어를 더 가지고 있음에 따라 일사차단 기능뿐만 아니라 높은 단열성능을 지니고 있다. 알려진 바와 같이 로이코팅의 복사선 선택투과 기능은 하계의 주간 냉방부하 저감에 효과적인 반면 동계의 주간 난방부하 저감에는 역효과를 나타낸다 할 수 있다. 그리고 유리창의 단열성능은 동계의 주간 난방부하 저감에 효과적이지만 기온차가 큰 야간에 더 효과적이라 할 수 있다. 한편 일반적으로 사무소건물이 주간에 주로 냉난방을 요하는 반면 오피스텔 등의 주거 겸용 건물은 주야간에 걸쳐 냉난방을 요한다 할 수 있다. 이에 따라 본 연구는 로이필름 적용 다층유리창의 주, 야간 냉난방부하 저감효과를 동시에 알아볼 수 있는 ‘오피스텔’을 해석모델로 선택하였다. 다만 좌우의 측벽이 콘크리트 벽체로 된 일반 공동주택은 전면(全面)이 유리창 커튼월로 설계된 본 연구 해석모델보다 유리창 변수 변화에 따른 냉난방부하 변화폭이 작게 나타날 것이므로 본 연구 냉난방 부하해석 결과 인식에 주의하여야 할 것으로 사료된다.

18) 실내 열취득변수들의 Running Schedule 및 Fraction에 관한 데이터를 획득할 수 없었으므로 오피스텔의 주거패턴을 고려하여 다음과 같이 Schedule 및 Fraction을 입력하였다. 『실내재실자: 24시간 100%, 냉장고: 24시간 30%, TV: 6시간(18:00-24:00) 100%, 컴퓨터: 6시간(18:00-24:00) 100%, 조명부하: 6시간(18:00-24:00) 20%(25W/m²×100m²/Unit×0.2=500W/Unit).』

19) US Department of Energy, EnergyPlus V1-2-2, <http://www.eere.energy.gov/>, 2005.02

는 것으로 확인되었다.²⁰⁾ 한편 현재 EnergyPlus를 지원할 수 있는 ‘시각별 서울 표준기상데이터 파일’이 없는 것으로 조사되어, 부득이 본 연구는 2003년 서울 기상과일을 이용하였다.²¹⁾

공조설비 용량계산을 위한 설계기준일 자료는 국내의 공조설비설계조건(TAC 2.5%)으로 입력하였으며, 불투명재료는 해석모델 설계도서에 의하였다. 해석모델 건물의 방위는 방위별 건물의 에너지소모가 낮다고 알려진 정남향으로 입력하여 가장 낮은 공조부하 변위를 적용하였으며, 기타 변수들은 해석모델 건물의 설계도에 의하였다.

<표 6>은 에너지시물레이션 프로그램에 입력한 각종 자료를 나타낸다.

3. 에너지시물레이션 출력 분석

1) 시물레이션 출력 검증

본 연구 Air(6,6)모델의 냉난방열원 출력 에너지원단위

20) Documentation of Reference to the EnergyPlus, DOE, 2005.02
21) SQUARE ONE ECOTECH WeatherData, Seoul South Korea Weather Data, ewa file, <http://www.sql.com/downloads/weather.html>, 2006.1

표 6. 에너지시물레이션 입력 자료

입력 항목	입력된 변수	변수 출처
판유리 일사 투과율	0.775	WINDOWS5
판유리 일사 반사율	0.071	WINDOWS5
판유리 열전도율	0.900W/mK	WINDOWS5
Low-e 필름 일사 투과율	0.140	WINDOWS5
Low-e 필름 일사 반사율	0.440	WINDOWS5
Low-e 필름 Emissivity	0.330	WINDOWS5
Low-e 필름 열전도율	0.196W/mK	WINDOWS5
다층유리창 8 공간 기체	Air, Argon, Krypton, Xenon	문헌검색
면체입력	데카르트 기하학	Default
환기량	0.00944/sec-p	
냉방조건	26 / RH 55%	
난방조건	22 / RH 45%	
시물레이션 스케줄	24Hr/냉난방기간	
System & Plant Factor	1.3	Default
COP of PAC	3.0	Default
Efficiency of Gas boiler	0.8	Default

는 국내 공동주택 에너지원단위²²⁾보다 13.6% 높게 나타났다. 이는 모델 건물의 높은 창문비율, 커튼월 외피구조 등 부하 상승요인과 서울기상파일 사용²³⁾에 의한 차이로 볼 수 있는데, 이러한 점들을 고려해 볼 때 본 연구의 에너지시물레이션 결과는 유리창별 생애주기비용 분석에 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

<표 7>은 Air(6,6) 해석모델의 연간 난방열원 에너지원단위 비교결과를 나타낸다.

2) 연간 난방열원 에너지부하 분석

일반적인 난방기간으로 볼 수 있는 6월 11일부터 9월 18일까지의 비교대상 유리창별 해석모델의 연간 난방열원 에너지부하를 시물레이션하고²⁴⁾ 출력을 비교하였다.

Air(6,6)을 기준하여 Air(6,f,6)의 난방부하는 89.4% 수준으로 나타났고, Air(6,f,f,6)의 난방부하는 86.6% 수준

표 7. 시물레이션 출력 에너지원단위 비교

Air(6,6) 해석모델 연간 난방 열원부하 시물레이션 결과			문헌자료의 공동주택 에너지원단위 (Mcal/year)
난방열원 (Mcal/year)	난방열원 (Mcal/year)	에너지원단위 (Mcal/year)	
924,488	5,927,288	326	287

22) 홍성희, 장문석, 박효순, 양관섭, 공동주택의 에너지소비원단위 설정 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 17권 12호, 2001.12.

23) 기존 연구의 공동주택 에너지 원단위는 남부지역을 포함한 전국평균치인데 비하여 본 연구의 모델건물 에너지원단위는 서울기상파일에 의한 수치이므로, 외기조건 등의 차에 의하여 본 연구 모델의 에너지원단위가 다소 높은 것으로 볼 수 있다.

24) 연간 난방열원부하는 시스템 및 플랜트 변수 30%, COP 3.0, 기타 송풍기 기기부하 등이 입력된 수치이다.

으로 나타났는데, 이러한 점은 로이필름의 난방부하 저감효과라고 할 수 있다. 한편 비활성기체 주입유리창의 부하는 공기주입유리창보다 미세하게 높거나 낮은 양상을 보이고 있는데²⁵⁾, 이로서 다층유리창 주입 비활성기체의 난방부하 저감 영향은 미미하다고 할 수 있다.

2) 연간 난방열원 에너지부하 분석

일반적인 난방기간으로 볼 수 있는 11월 11일부터 4월 5일까지의 비교대상 유리창별 연간 난방열원 에너지부하²⁶⁾를 시물레이션하고 출력을 비교하였다.

Air(6,f,6) 및 Air(6,f,f,6)의 난방부하는 Air(6,4,6) 및 Air(6,4,4,6)보다 각각 3.8%, 4.9%높게 나타났는데, 이는 로이필름이 실내 일사취득을 저해하여 나타난 것으로 볼 수 있다. 한편 크립톤과 크세논을 주입한 다층유리창은 공기주입 유리창보다 5~7% 난방부하 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 그리고 비활성기체 주입 3, 4중 다층유리창은 Air(6,6)에 비하여 9~10% 난방부하 저감효과가 있는 것으로 나타났는데, 이는 로이필름이 실내 일사취득을 저해하더라도 심야 기온 급강하 시간대 열손실 저감 효과가 높음에 기인하는 것으로 판단된다.

다음의 <표 8>, <그림 4>, <그림 5>는 유리창별 해석 모델의 연간 냉난방 열원부하, 난방부하, 난방부하 시물레이션 결과를 나타낸다.

표 8. 연간 냉난방 열원기 소요 에너지량

대상 유리창	난방열원 전력소모량 (kwh/year)	비율 (%)	난방열원 가스소모량 (N/year)	비율 (%)
S(6)	1,097,144	102.1	727,958	122.8
Air(6,6)	1,074,986	100.0	592,729	100.0
Arg(6,6)	1,075,230	100.0	579,901	97.8
Kry(6,6)	1,078,451	100.3	565,269	95.4
Xen(6,6)	1,079,954	100.5	560,990	94.7
Air(6,4,6)	1,046,156	97.3	554,887	93.6
Air(6,f,6)	961,268	89.4	577,433	97.4
Arg(6,f,6)	962,412	89.5	562,493	94.9
Kry(6,f,6)	963,689	89.7	543,422	91.7
Xen(6,f,6)	964,586	89.7	537,042	90.6
Air(6,4,4,6)	1,019,980	94.9	536,614	90.5
Air(6,f,f,6)	930,986	86.6	565,534	95.4
Arg(6,f,f,6)	931,014	86.6	552,584	93.2
Kry(6,f,f,6)	929,995	86.5	539,381	91.0
Xen(6,f,f,6)	928,551	86.4	534,990	90.3

25) 일반적으로 최대부하 계산에서 외피의 열관류율이 낮아지면 냉난방부하도 낮아진다고 할 수 있다. 그러나 위의 <표 8>에서 Arg·Kry·Xen주입 다층유리창의 난방열원부하가 공기주입 다층유리창에 비하여 미세한 증가 양상을 나타내고 있고, <그림 4>에서 단층유리창의 난방부하가 복층유리창보다 낮은 경우도 있다. 시각별 난방부하 변화추이를 고찰한 결과, 이는 난방 설정온도보다 외기온도가 낮은 새벽 시간대에 아르곤 등 비활성기체가 건물 냉각현상을 감소시키는 것에 기인하는 것으로 분석되었다.

26) 연간 난방열원부하는 시스템 및 플랜트 변수 30%, 보일러 연소 효율 80%가 입력된 수치이다.

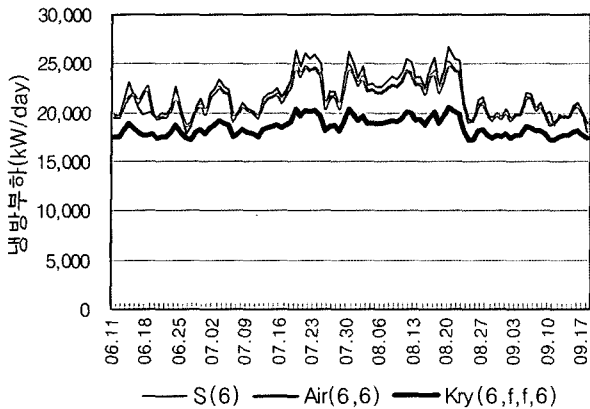


그림 4. 연간 냉방부하 시뮬레이션 결과

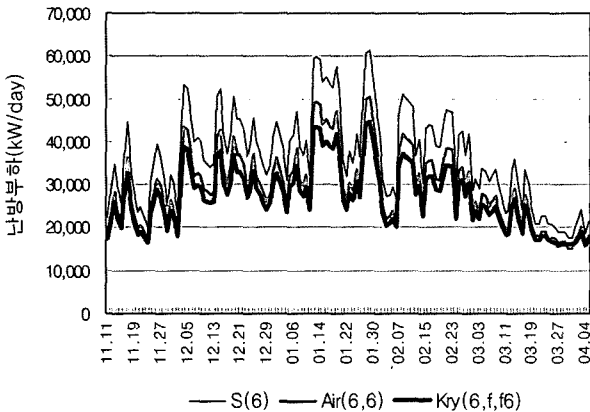


그림 5. 연간 난방부하 시뮬레이션 결과

IV. 생애주기비용 분석

1. 생애주기비용 분석 범위설정

본 연구는 현가(PV; Present value)법에 따랐으며, 건물의 생애주기는 20년²⁷⁾으로 하였다. 생애주기 변수 가운데 할인율은 현재의 평균 시중금리를 참조하였으며, 물가상승률은 과거 10년간 평균 에너지가상승률²⁸⁾을 참조하였다. 일반적으로 건물의 유리창 수선비는 그리 많지 않음에 따라 유리창의 유지관리비용은 고려치 않았으며, 유리창은 재이용이 가능한 재료로 보아 폐기비용도 고려치 않았다.

경과 연수별 연간 냉난방용 에너지비용(Running cost) 현가산정은 다음의 식 (1)에 따랐다.

$$PVn = Ec \cdot \{ (1+e)^{-n} / (1+i)^{-n-1} \} \quad (1)$$

여기서 PVn: n연차 기간에너지비용 현가
Ec: 기간에너지비용(현재 시점)

27) 주거건물의 일반적인 리모델링 주기를 참조하였음.
28) 모델건물의 전력 대 가스 에너지비용에 기초하여 각각 에너지의 상승률을 대입, 평균에너지가 상승률을 산정하였다.

표 9. 유리창별 제조가격

구분	판유리	Low-e	창틀 부재	조립 노임	주입 기체	주입 노임	단가 합계	전체가격 (S;6,300)	비율 (%)
단위	(천원)							(백만원)	
S(6)	9.220	-	17.576	3.000	-	-	29.796	188	57.3
Air(6,6)	18.440	-	27.576	6.000	-	-	52.016	328	100.0
Arg(6,6)	18.440	-	27.576	6.000	0.099	3.000	55.115	347	106.0
Kry(6,6)	18.440	-	27.576	6.000	9.924	3.000	64.940	409	124.9
Xen(6,6)	18.440	-	27.576	6.000	99.234	3.000	154.250	972	296.5
Air(6,4,6)	24.440	-	40.280	7.000	-	-	71.720	452	137.9
Air(6,f,6)	18.440	17.169	40.280	7.000	-	-	82.889	522	159.4
Arg(6,f,6)	24.440	17.169	40.280	7.000	0.198	6.000	95.087	599	182.8
Kry(6,f,6)	18.440	17.169	40.280	7.000	19.848	6.000	108.737	685	209.1
Xen(6,f,6)	24.440	17.169	40.280	7.000	198.468	6.000	293.357	1,848	564.0
Air(6,4,4,6)	30.440	-	52.984	8.000	-	-	91.424	576	175.8
Air(6,f,6)	18.440	34.338	52.984	8.000	-	-	113.762	717	218.7
Arg(6,f,6)	18.440	34.338	52.984	8.000	0.297	9.000	123.059	775	236.6
Kry(6,f,6)	18.440	34.338	52.984	8.000	29.772	9.000	152.534	961	293.2
Xen(6,f,6)	18.440	34.338	52.984	8.000	297.702	9.000	420.464	2,649	808.3

e : 전력 및 유가 평균상승률
i : 연간 할인율
n : 경과 연수

2. 초기투자비 산정

초기투자비는 유리창별 제조비용만을 고려하였는데, 유리창별 부재 및 조립 인건비를 조사하여 제조가격을 산정하였다²⁹⁻³²⁾. 유리창의 제조비용에 가장 큰 변수는 주입 기체인 것으로 나타났고 그 다음으로 로이필름인 것으로 나타났다.

<표 9>는 비교대상 유리창의 제조가격을 나타낸다.

3. 운영 에너지비용 산정

1) 연간 냉방전력 및 도시가스 비용 산정

<표 8>의 연간 냉방용 전력소모량에 전력단가³³⁾를 연산하여 유리창별 기간 냉방전력비용을 산정하였다. 전력 단가는 월 전력소모량을 200(kW/월)로 추정하여 810(원/kW)을 일괄 적용하였다.

<표 3.5>의 연간 난방용 도시가스소모량에 도시가스단가³⁴⁾를 연산하여 유리창별 연간 난방용 도시가스비용을

29) (사)한국물가정보, <http://www.kpi.or.kr/>, 2006.2 (판유리, 아르곤, 창틀부재 단가 참조)

30) S유리공업사, 2006.2 (조립 인건비, 가스주입 인건비 단가 참조)

31) Real Goods Company in US, <http://www.realgoods.com/>, 2006.2 (Low-e 필름의 단가는 수입비용을 고려하여 북미지역 공표 가격 1.5배를 적용함)

32) Minneapolis Oxygen Company, Krypton Introduce, <http://www.mplos2.com/krypton.html>, 2006.2 (크립톤(551.3원/l)과 크세논(5,513원/l)의 구매 단가는 현재 북미의 시판가격인데, 본 연구는 수입비용을 고려하여 이의 1.5배를 적용함)

33) 한국전력 사이버지점, <http://www.kepco.co.kr/cyber/>, 2006.2

34) (사)한국물가정보, <http://www.kpi.or.kr/>, 2006.2

표 10. 연간 냉난방용 에너지 비용

구분	연간 냉방 전력비용 (백만원/년)	연간 난방용 도시가스비용 (백만원/년)	합 계 (백만원/년)	비율 (%)
S(6)	889	314	1,203	106.8
Air(6,6)	871	256	1,127	100.0
Arg(6,6)	871	250	1,121	99.5
Kry(6,6)	874	244	1,117	99.2
Xen(6,6)	875	242	1,117	99.1
Air(6,4,6)	847	239	1,087	96.5
Air(6,f,6)	779	249	1,028	91.2
Arg(6,f,6)	780	243	1,022	90.7
Kry(6,f,6)	781	235	1,015	90.1
Xen(6,f,6)	781	232	1,013	89.9
Air(6,4,4,6)	826	232	1,058	93.9
Air(6,f,f,6)	754	244	998	88.6
Arg(6,f,f,6)	754	238	993	88.1
Kry(6,f,f,6)	753	233	986	87.5
Xen(6,f,f,6)	752	231	983	87.3

산정하였다. 도시가스 단가는 539.41(원/m³)를 일괄 적용하였다.

<표 10>은 유리창별 모델건물의 연간 냉난방용 에너지비용을 나타낸다.

2) 경과 연수별 연간 냉난방용 에너지비용 현황

경과 연수별 연간 냉난방용 에너지비용 현가 산정 기간은 20년으로 하였고³⁵⁾, 에너지가상승률은 모델건물의 평균 전력 대 도시가스 부담비율과 과거 10년간의 석유류³⁶⁾ 및 전력요금³⁷⁾ 평균 상승률을 대입하였다.

<표 11>은 과거 10년간 전력 및 석유류의 에너지가상승률을 나타낸다.

<표 12>는 본 연구의 현가 산정에 대입한 에너지가상승률을 나타낸다. 그리고 할인율을 현재 시중 금리를 입력하였다³⁸⁾.

이러한 운영 에너지비용 현가 산정에 필요한 각종 자료를 위 식 (1)에 대입하여 20년간의 운영 에너지비용

표 11. 과거 10년간 에너지가 상승률

년도	95	96	97	98	99	03	04	05	10년 총상승률 (%)	연평균 상승률 (%)
전기요금	0.0	5.9	6.5	5.3	4.0	-1.5	0.0	0.0	20.2	2.02
원유가 (\$/B)	17.2	-	-	-	-	-	-	51.06	196.86	19.69

35) 본 연구는 일반적인 주거건물의 리모델링 주기를 20년으로 보고, 이를 건물의 생애주기로 정하였다.

36) 외교통상부, 최근경제동향, <http://www.mofat.go.kr/>, 2006.2

37) 한국에너지경제연구원, 에너지db, <http://www.keei.re.kr/>, 2006.2

38) 본 연구 운영에너지비 현가 산정의 할인율은 일반 시중 금리 6.5(%/년)를 입력하였다.

표 12. 현가산정 에너지가 상승률

에너지종류	모델건물 평균 냉난방소요 에너지 구성비(%)	연평균 상승률 (%)	에너지가 상승률 변환치(%)
(산식)	A	B	C=A*B
석유류	83.68	19.69	16.47
전력요금	16.32	2.02	0.33
연구적용수치	-	-	16.80

표 13. 유리창별 LCC20

구분	초기투자비 (PV백만원)	20년간 운영에너지비 (PV백만원)	LCC (PV백만원)	비율 (%)
S(6)	188	68,452	68,640	106.5
Air(6,6)	328	64,109	64,437	100.0
Arg(6,6)	347	63,805	64,152	99.6
Kry(6,6)	409	63,595	64,004	99.3
Xen(6,6)	972	63,559	64,531	100.1
Air(6,4,6)	452	61,851	62,303	96.7
Air(6,f,6)	522	58,492	59,014	91.6
Arg(6,f,6)	599	58,177	58,776	91.2
Kry(6,f,6)	685	57,768	58,453	90.7
Xen(6,f,6)	1,848	57,653	59,501	92.3
Air(6,4,4,6)	576	60,196	60,772	94.3
Air(6,f,f,6)	717	56,803	57,520	89.3
Arg(6,f,f,6)	775	56,487	57,262	88.9
Kry(6,f,f,6)	961	56,116	57,077	88.6
Xen(6,f,f,6)	2,649	55,941	58,590	90.9

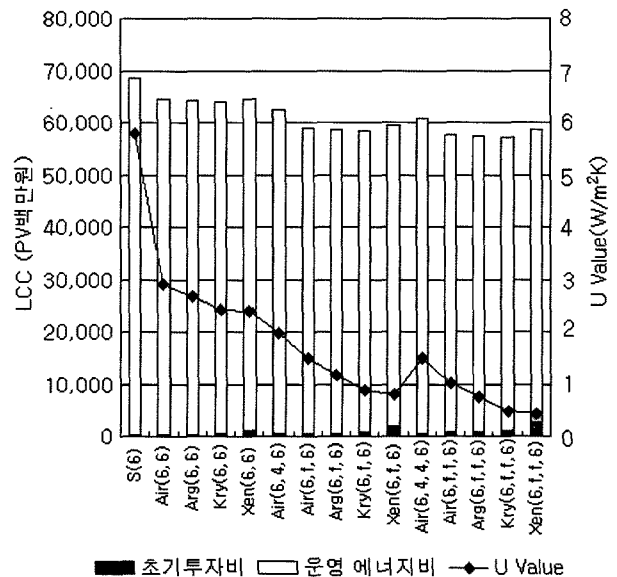


그림 6. 비교대상 유리창별 LCC20

현가를 산정하였으며, <표 9>의 초기투자비를 더하여 생애비용은 산정하였다. 다음의 <표 13>, <그림 6>은 본 연구의 비교대상인 유리창별 20년간 생애주기비용을 나타낸다.

한편 20년간의 운영비 현가를 산정한 결과 연수가 경

과될수록 급한 상승곡선을 보였는데, 이는 에너지가 상승률이 할인을 상승률보다 높기 때문이다.

4. 생애주기비용 분석

1) 다층유리창 주입 비활성기체의 LCC 영향

각종 비교 대상 유리창의 초기투자비와 운영에너지비용 현가를 합산한 후 생애주기비용을 분석하였다.

각종 비활성기체 주입 다층유리창의 LCC는 공기주입 다층유리창과 비교하여 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 첫째, 비활성기체 주입 다층유리창들이 공기주입 다층유리창에 비하여 2~5%의 난방부하 저감을 이끌었음에도 불구하고 냉방부하는 저감하지 못하였기 때문이며 둘째, 에너지 원단위 당 전력비 단가가 도시가스 단가보다 훨씬 높기 때문으로 판단된다. 이로서 복층유리창에 비활성기체를 주입하는 것만으로는 LCC 저감에 많은 변화를 주지 못할 것으로 보인다.

2) 로이필름 적용 LCC 영향

로이필름을 적용한 3중 유리창 구조인 Air(6,f,6), Arg(6,f,6), Kry(6,f,6)은 Air(6,6)에 비하여 9% 내외의 LCC 저감율을 보이고 있고, 4중 유리창 구조인 Air(6,f,f,6), Arg(6,f,f,6)은 Air(6,6)에 비하여 10% 내외의 LCC 저감율을 보이고 있다. 특히 Kry(6,f,f,6)은 대상 유리창 가운데 가장 낮은 LCC를 나타내었는데, Air(6,6)에 비하여 11.4%의 저감율을 보였다. 이는 다층유리창에 적용된 Low-e필름의 일사차단 및 단열성능 향상에 의한 냉난방부하 저감에 따른 것으로 볼 수 있다. 그러므로 Low-e 필름을 적용한 삼중, 사중유리창을 오피스텔에 적용할 경우 9~11% 가량의 LCC 저감효과를 볼 수 있을 것으로 사료된다.

한편 크세논을 주입한 다층유리창은 높은 초기투자비에 의하여 공기, 아르곤, 크립톤을 주입한 유리창보다 약 2% 높은 LCC를 나타내었다.

3) 유리창 열관류율의 LCC 영향

앞의 <표 4>에서와 같이 Kry(6,f,f,6)의 열관류율은 Air(6,6)과 비교하여 많은 차이를 보이고 있다. 그럼에도 Kry(6,f,f,6)의 LCC 저감율은 Air(6,6)에 비하여 11.4%로 나타났는데, 이는 비투과성 외피를 통한 열손실·기기부하·환기부하·조명부하·인체부하 등 여타의 변수에 의한 냉난방부하 비율이 높기 때문이라 판단된다.

V. 결 론

오피스텔 모델의 냉난방부하 시뮬레이션과 생애주기비용 분석에 의한 다층유리창의 경제성 비교에 관한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) WINDOW5 프로그램에 의하여 산정된 비교대상 유리창의 열관류율(W/m^2K)은 S(6) 5.785, Air(6,6) 2.896, Kry(6,f,6) 0.867, Kry(6,f,f,6) 0.488로 나타났다. 이러한 점은 오피스텔과 같이 창면적비가 높은 건물의 외피 열

성능 개선에 있어서 3중, 4중 다층유리창이 우수한 대안임을 나타낸다고 할 수 있다.

(2) 해석모델별 연간 냉난방 열원부하 시뮬레이션 출력에 의하면, Kry(6,f,6)과 Kry(6,f,f,6)은 Air(6,6)에 비하여 연간 냉방열원부하 저감율이 10.4%, 13.5%로 나타났고, 연간 난방열원부하 저감율이 8.3%, 9.0%로 나타났다. 이에 따라 로이필름과 크립톤을 적용한 3중, 4중 다층유리창을 오피스텔 외피에 설치한다면 연간 10% 내외의 냉난방에너지 절감효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 유리창별 제작비를 비교한 결과 Air(6,6)를 기준으로 Kry(6,f,6)은 2배, Kry(6,f,f,6)은 3배 정도 수준이지만 유리창의 제작비는 20년간 건물 운영에너지비용(현가)의 2%내외였으므로 전체 LCC에 미치는 영향은 미미하다 할 수 있다. 유리창별 연간 운영에너지 비용을 비교한 결과 Kry(6,f,6)과 Kry(6,f,f,6)은 Air(6,6)에 비하여 각각 9.9%, 12.5%의 저감율을 나타내었다. Kry(6,f,6)과 Kry(6,f,f,6)의 LCC20은 Air(6,6)에 비하여 각각 9.3%, 11.4% 낮게 나타났으므로 로이필름과 크립톤을 적용한 3중, 4중 다층유리창을 오피스텔에 설치할 경우 10%내외의 경제적 이익을 얻을 수 있을 것으로 보이며, 최근의 에너지가격 급등 추세를 감안한다면 이보다 다소 높은 경제적 이익을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

(4) 크세논을 주입한 다층유리창은 우수한 열저항 성능에도 불구하고 높은 초기투자비에 의하여 아르곤과 크립톤 주입 다층 유리창보다 약 2% 높은 LCC를 보이고 있는데, 이는 생애주기비용 측면에서 크세논이 아르곤과 크립톤보다 덜 경제임을 나타내고 있다.

마지막으로 본 연구는 전력냉방과 가스난방을 하는 서울지역 정남향 오피스텔 모델의 에너지시뮬레이션에 의하였으므로 3중, 4중 유리창을 실제 건물 적용할 경우의 생애주기비용 저감효과는 본 연구의 결과와 오차가 있을 수 있다. 이에 따라 향후 실제 건물의 사례연구를 통하여 보다 정밀한 신기술 다층유리창 생애주기비용분석 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 석호태·곽현철·정지나·송승영(2005.10), 커튼월 외피시스템 벽체부의 전열특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 21권 10호.
2. 김광호·김병선(2005.8), 소규모 유리외피 사무소 빌딩 사례를 통한 온열환경과 냉방부하 저감방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 21권 8호.
3. 김병수·임오연(2005.3), 시각적 쾌적성과 에너지 성능분석에 의한 오피스 창호의 적정 투과율 선정, 대한건축학회 논문집 계획계 21권 3호.
4. 홍성희·장문석·박효순·양관섭(2001.12), 공동주택의 에너지소비원단위 설정 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 17권 12호.
5. Glass on web, Glass manual, <http://www.glassonweb.com>

- /glassmanual/topics/index/lowe.htm, 2006.1
6. Glass on web, Articles, Pyrolitic or Vacuum Coated Glass, <http://www.glassonweb.com/articles/article/180/>, 2006.1
 7. National Glass Com, Reflected Coated Glass, <http://www.nationalglass.com.au/products/03/03.html>, 2006.1
 8. Wikipedia web com, http://en.wikipedia.org/wiki/Noble_gas, 2006.01
 9. Minneapolis Oxygen Company, Krypton Introduce, <http://www.mplos2.com/krypton.html>, 2006.1
 10. Euro-American Glazing Company, Heat mirror Technology, <http://www.eagfacades.com/>, 2006.1
 11. Advanced Window Technology, Green Building International Council, <http://ca.greenbuilding/>, 2006.1
 12. Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Building Technologies Department, <http://windows.lbl.gov/software/window/window.html>, 2006.1
 13. US Department of energy, EnergyPlus V1-2-2, <http://www.eere.energy.gov/>, 2005.02
 14. SQUARE ONE ECOTECH WeatherData, Seoul South Korea Weather Data, ewa file, <http://www.sql.com/downloads/weather.html>, 2006.1

(接受: 2006. 2. 20)

