기술해설

제로에너지빌딩 구현을 위한 고성능 건물 외피의 기술 동향

이정호 · 신승호 〈삼성물산 건설부문 친환경에너지연구소〉

1. 에너지 저감형 건축의 필요성

기후변화와 온실가스 저감이라는 글로벌 이슈는 친환경과 에너지 절감에 대한 관심을 증가시키고 있다. 현 정부도 '저탄소 녹색성장' 국가전략을 수립하고 추진계획을 체계화 하는 등 본격적인 노력에 나서고 있고, 건축분야에서도 지속가능형(Sustainable) 건축과 에너지효율 기술에 대한 실질적인 도입과 개선에 대한 시도가 진행 중이다. 태양광, 풍력 발전과 같은 재생에너지뿐 아니라 건축의 패시브디자인(Passive design), 공조, 전력, 조명, 자동제어 등의 각 요소별 시스템에서도 건물 에너지를 줄이기 위한 기술개발이 진행 중이다.

부문별 에너지 사용량 실태를 보면 건물에서의 증가가 두드러진다. 전 세계 에너지 사용량의 약 1/3이 건물에서 소비되고 있고 비교적 많은 통계가 확보된 미국 에너지성(Department of Energy)의 자료를 인용하면 자국 내에서 소비되는 총에너지 사용량 중 건물(주거와 상업용)에서 약 39[%]의 에너지가 소비되고 있다. 이중에서 전기는 71[%], 가스는 54[%]가 사용되고 있다. 산업과 교통에서 각각 33[%], 28[%] 소비되고 있다. 증가추세를 보면 주거와 상업용 건물에서 각각 1.7[%], 2.5[%], 산업에서 0.7[%], 교통에서 1.4[%]로 건물에서의 소비량이 상대적으로 증가 추세가 높은 것으로 나타나고 있다. 이는 인구 증가, 상업 및 서비스업의 증가, 건축물의 대형화, 초고층화, 정보 통신의 발달 등 여러 가지 요인에 따른 현상으로 판단되며, 향후 건물의 에너지 절감 문제는 경제와 산업에도 영향을 미치며 국가간 중요한 이슈로 부각될 전망이다. 실제로 미국은 2020년에 제로에너지주택을 2025년에는 제로에너지 빌딩을 일반화시킬 예정이다. 영국은 2016년부터 자국의 주택을 전부 제로에너지주택으로 보급하겠다고 선언하고 있다. 우리나라도 그린홈, 그린빌딩의 구현을 위한 제도와 시범 사업이 추진 중이다.

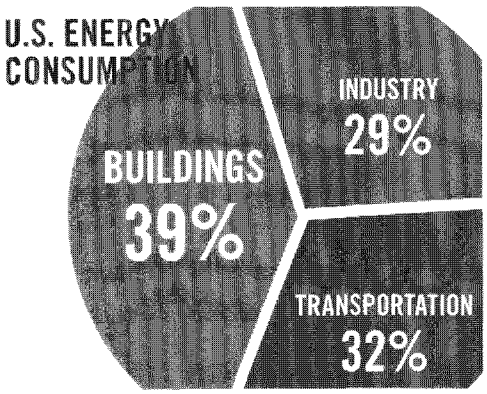


그림 1. 부문별 에너지 사용량 비율

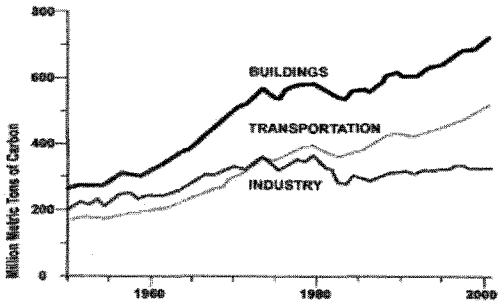


그림 2. 에너지 사용량 증가율

이와 같이 건물 에너지 저감이라는 주제에 대한 공감을 바탕으로 저에너지 건물을 구현하기 위한 고성능 건물 외피(High performance building facade)에 대한 소개와 적용사례를 통해 향후 건축, 전기, 기계 등 각 부문과 발주처, 설계사, 엔지니어링 회사, 시공사 각 사별 업무 전 과정의 통합에 대한 중요성을 공유하고자 한다.

2. 건물 내 조명부하와 자연광 도입 현황

건물에서 사용되는 에너지를 부문별로 살펴보면 다음과 같다. 건물에서 39[%]의 에너지를 소비하고 있으며, 약 절반인 18[%]가 상업용 건물이다. 이 중 난방, 냉방, 그리고 조명 부하가 약 57[%]를 차지하고 있으며 이 세 가지 부하에 가장 큰 영향을 미치는 요소가 건물의 외피, 즉 파사드(facade)이다.

그림 3은 건물 용도별 전력 사용량을 사용되는 부하에 따라 비율로 표기한 것이다. 내용을 요약하면 아래 표와 같다. 대부분의 상업용 건축에서 조명 부하는 전체 전력 사용량의 약 1/3 이상을 차지하며 용도에 따라 50[%] 이상을 점유하기도 한다. 공조부하와 합하면 전체 전력부하의 약 2/3 이상을 차지하고 있으며 한 가지 반드시 인지하고 가야 할 점은 냉방이나 난방은 온도를 제어하여 사용량을 조절하지만 조명은 대부분의 경우 제어가 되지 않고 있는 현실이다. 실제로 주변에서 조명이 제어되고 있는 사례를 본 적은 드물 것이다.

표 1. 건물 용도별 조명과 냉난방 전력 사용량 비율
〈출처〉 Energy Information Administration, 2003 CBECS, 2008 발행

분 류	오피스	교육(학교)	병원, 클리닉	유통시설
조 명	39[%]	30[%]	42[%]	42[%]
냉난방 및 환기	27[%]	46[%]	33[%]	32[%]

	Total Electricity Consumption (billion kWh)											
	Total	Space Heating	Cooling	Ventilation	Water Heating	Lighting	Cooking	Refrigeration	Office Equipment	Computers	Other	% from lighting
Principal Building Activity												
Education	109	4	22	24	3	33	(*)	5	1	9	6	30%
Food Sales	61	2	4	2	Q	14	1	35	1	1	3	23%
Food Service	63	3	8	7	3	12	4	20	(*)	1	4	19%
Health Care	73	2	10	12	1	31	(*)	2	1	3	11	42%
Inpatient	52	1	7	11	1	22	(*)	1	1	2	6	42%
Outpatient	20	1	3	1	(*)	8	(*)	1	(*)	1	4	40%
Lodging	69	4	7	4	3	36	1	3	Q	2	7	52%
Mercantile	215	17	32	20	11	90	1	14	2	3	24	42%
Retail (Other Than Mall)	62	2	7	5	1	33	(*)	6	1	1	6	53%
Enclosed and Strip Malls	153	15	25	15	11	58	1	8	2	2	18	38%
Office	211	10	30	18	2	82	(*)	10	9	22	27	39%
Public Assembly	49	1	10	18	(*)	8	(*)	3	Q	1	7	16%
Public Order and Safety	17	1	2	3	1	5	(*)	1	(*)	(*)	3	29%
Religious Worship	18	1	3	2	(*)	5	(*)	2	(*)	(*)	5	28%
Service	44	2	4	7	(*)	18	Q	3	(*)	1	8	41%
Warehouse and Storage	72	1	4	6	1	39	Q	10	1	1	9	54%
Other	39	1	5	3	Q	17	Q	3	Q	1	6	44%
Vacant	4	(*)	(*)	(*)	Q	1	Q	(*)	Q	(*)	2	25%

그림 3. 건물 용도별 전력 사용량 〈출처〉 Energy Information Administration, 2003 CBECS, 2008 발행

Prerequisites and Credits	
Sustainable Sites	Credit 8 Light Pollution Reduction
Energy & Atmosphere	Prerequisite 1 Fundamental Commissioning
	Prerequisite 2 Minimum Energy Performance
	Credit 1 Optimize Energy Performance
	Credit 3 Enhanced Commissioning
	Credit 5 Measurement and Verification
Materials & Resources	Credit 4 Recycled Content
	Credit 6 Rapidly Renewable Materials
Indoor Environmental Quality	Credit 6.1 Controllability of Systems–Lighting
	Credits 8.1 Daylight and 8.2 Views

그림 4. LEED 인증 조명 관련 평가 항목들

조명 제어 전략	에너지 절감율
공간별 조도 레벨 설정	20%
센서를 활용한 자동 점/소등	10%
자연광을 실내로 유입하여 실내 조도 보완	20%
사용자 여부에 따른 개별 점/소등	5%
하루 중 특정시간 소등	5%
합 계	60%

그림 5. 조명 제어 전략별 에너지 절감률
(적용 대상별 비율 다를 수 있음)

조명은 냉난방 부하와 더불어 큰 비중을 차지하고 있으며 이미 제어가 되고 있는 공조시스템과 비교할 경우 향후 에너지를 절감할 수 있는 잠재력이 크다. 조명부하는 외부의 자연광을 실내로 활용하거나 센서를 활용하는 등 프로젝트에 따라 다양한 전략을 활용하여 최대 70[%]이상 절감이 가능하다. 또한 최근 건축은 다양한 외관과 투명성을 증대시키는 목적으로 유리외피의 사용이 증가하고 있으며, 건물 내 최대한 자연광을 도입하여 활용하고자 하는 추세이다. 국제적으로는 미국의 LEED나 일본의 CASBEE 같은 친환경 건물 인증 제도에 주광 이용에 대한 항목을 도입하여 실제적인 자연에너지를 적용시키는 방향으로 진행되고 있으며 이는 모두 조명 부하를 줄이는 데 충분한 동기가 되고 있다. 실제로 LEED 3.0 버전에서 조명과 관련된 항목이 약 10개로 전체 110점 중 39점(약 35[%])에 해당된다.

3. 고성능 건물 외피

유리(Glazing)와 외피(Facade)는 건물 성능에 막대한 영향을 미친다. 건물의 외피는 인간의 피부와 같은 역할을 하며 외부 환경에 따라 반응하여 최적으로 제어가 이루어지는 것을 고성능 건물 외피(High performance building facade)라고 한다. 1차적으로 최대 냉난방 부하에 영향을 미치며, 2차적으로는 자연채광을 도입하여 조명 부하에 영향을 미친다. 특히 건물 연간 에너지 사용을 결정하는 요인이기 때문에 하절기 최대 부하 예측과 냉방 시스템 용량에도 영향을 미친다. 또한 건물 내 다른 요소들보다도 디자인 측면에서 중요한 요소이며, 재실자의 선호도, 만족도, 실내 쾌적감 등에 영향을 끼치므로 외피 설계를 하는 것은 이러한 모든 영향을 고려하여 결정하야 하는 복잡한 과정이다.

외피 설계는 건물의 전체 생애(Life-cycle)에 걸쳐 고성능 건물로 만들기 위해 근본적인 영향을 미치는 외피, 조명, 설비 시스템 간의 시너지를 동시에 고려해야 한다. 이러한 통합 시스템은 대부분의 상업용 건물에서 에너지 수요를 줄이는 주요한 역할을 하며 제로에너지건물 구현을 가능하게 할 것이다. 본 장에서는 미국의 버클리국립연구소에서 연구한 고성능 건물 외피의 개념을 소개하고자 한다. 〈출처〉 lowenergyfacades.lbl.gov

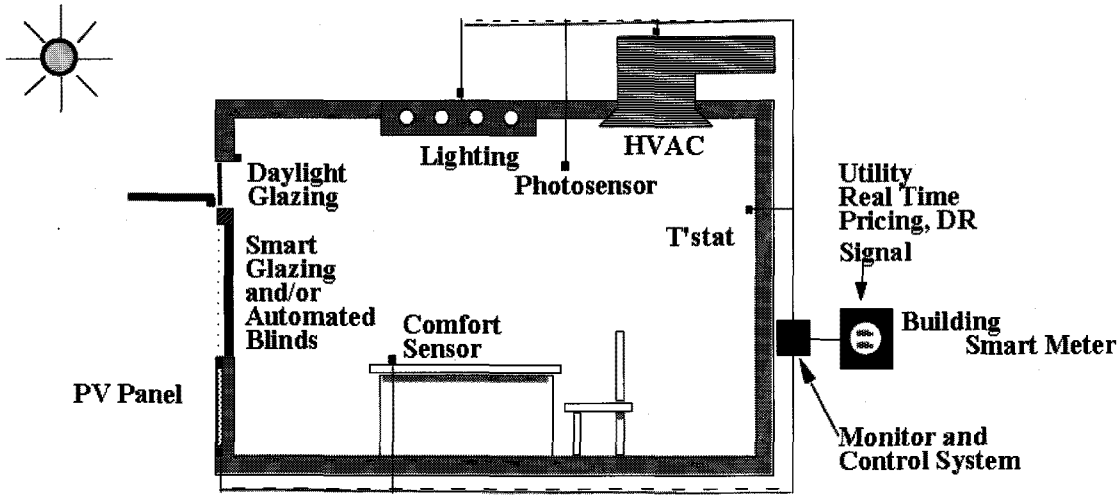


그림 6. Intelligent facade 개념도 〈출처〉 Steve selkowitz, BTU, LBNL

개념 1. 자연채광과 일사열 취득간의 최적 지점 찾기

외피, 조명, 공조 시스템은 ASHRAE 스탠더드의 자료를 바탕으로 회기 분석과 상호 교환(trade-off)이 이루어지는 관계이다. 이러한 상호 교환(trade-off) 시너지 관계는 단순하며 춥거나 더운 지역에 있는 모든 상업용 건축물에 적용이 가능하다.

1) 창면적이나 일사 투과율을 줄이면 냉방 에너지를 줄일 수 있다
2) 창면적이나 자연광의 유입을 늘리면 조명에너지와 이로 인한 열 발생을 줄일 수 있다.

개념 2. 불쾌글레어를 제거하면서 자연광을 최대한 실내로 유입

지금까지 창가에 위치한 사람들은 직달 일사에 의한 열적 불쾌감이나 과도한 눈부심으로 인한 시각적 불편을 없애기 위해 쉐이드를 내리고 있다. 일반적으로 쉐이드가 내려지면 실내로 유입되는 자연광과 조망은 차단되고 이로 인해 인공조명에 더욱 의존하게 만든다. 일단 쉐이드가 한번 내려지면 맑은 날이나 흐린 날이든 무관하게 지속되는 경향이 있다.

효율적인 자연채광 이용의 개념은 실내 음영의 대비를 줄여 전반적인 실내 밝기의 균형을 맞춰 편안한 시환경을 만들어 주는 것이다. 고성능 외피와 복합될 경우 자연광을 도입해 실내 밝기를 쾌적한 범위로 유지하면서 인공조명 사용을 최소화하여 주는 것이다.

기본적으로 작업면으로 도달하는 직달 일사는 차단되어야 한다. 직사광이 쾌적감에 영향을 미치는 시기를 분석하고, 외부광과 조망을 최대로 하면서 태양을 차단할 수 있는 쉐이드 방안을 선택해야 한다. 눈부심을 유발하는 불쾌글레어(discomfort glare)는 재실자의 시선에 따라 다르기 때문에 정량화하기가 어렵고 이를 예측하기 위한 모델 개발 연구도 많이 이루어지지 않았다. 더욱이 창에서 발생하는 불쾌글레어는 작업자의 모니터에서 발생하는 것보다 덜 중요하게 인식되기 때문에 컴퓨터가 있는 환경에서는 좀 더 세심한 고려가 필요하다.

개념 3. 외주부의 냉난방 부하 제거하기

외피를 중립화(Neutralize)시켜 추가적인 난방이나 냉방이 필요치 않도록 만드는 개념이다. 이를 구현하기 위한 방법은 창면적을 제한하거나 창과 프레임

의 열관류율(U-factor)을 낮추는 방법을 통해 가능하다. 단열성능이 우수한(High-R) 유리와 프레임은 실내 표면의 복사 온도를 낮추어 실내에서 사람이 느끼는 열적인 불편함을 줄어들게 만든다.

개념 4. 저에너지 냉방

저에너지 냉방은 일반적인 냉동기 시스템에 의한 에너지 사용량을 줄이거나 아예 사용하지 않게 만든다. 바닥취출공조(Under floor air distribution) 시스템, 복사 냉방, 자연 환기 등은 모두 실내 쾌적한 조건을 유지하기 위해 외피의 열적 부하를 신경 써야 한다. 개념 1에서 언급한 바와 같이 외피 열 부하를 줄이는 방안도 자연채광과 냉방 사이에 상호 교환(trade-off)이 필요하다 점을 고려해야 한다. 겨울과 같은 난방이 필요한 시기에 태양복사를 완전히 차단하는 것은 조명과 난방 부하 모두를 증가시키는 결과를 가져오게 된다.

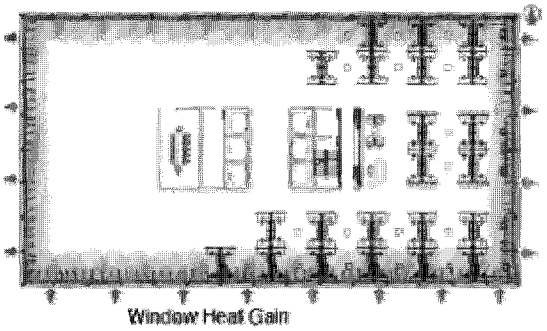
저에너지 전략은 직접적으로 외피, 즉 파사드(facade)와 직접적인 연관이 있다. 외기 온도가 적절하다면 낮 동안의 자연 환기는 냉방 부하를 저감시켜 줄 있다. 자동 유리를 사용하여 야간에 자연환기를 한다면 건물 예냉(pre-cool)이나 낮 동안 복사 냉방을 위해 축열을 위해 사용이 가능하다.

제로에너지빌딩 구현을 위한 방향

아래와 같은 단계를 통해 저에너지 또는 제로에너지 건물 구현이 가능하다.

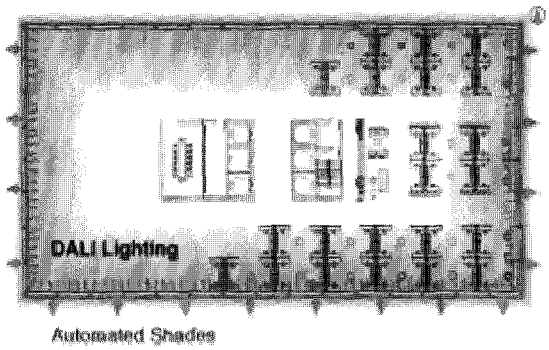
1단계 : 0[%] 에너지 저감

기존의 외피 디자인에서는 일사와 전도부하로 인한 공조부하 저감을 위해 자연광의 유입을 차단한다. 자연채광이 이루어지는 존(daylit zone)을 외주부 4.5[m]로 보며 내부 쉐이드를 수동으로 조절하게 되는데 이는 자연채광과 조망을 심각한 수준으로 줄이는 결과를 가져온다.



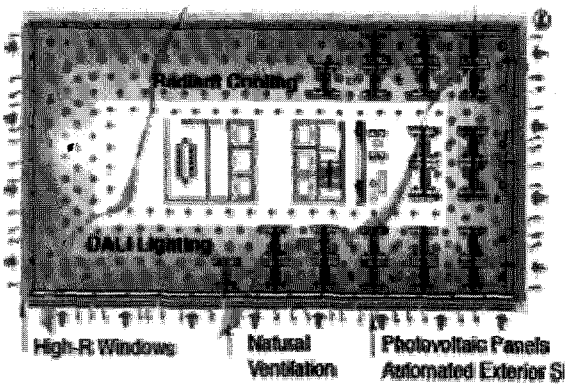
2단계 : 20[%] 에너지 저감(Integrated daylight solution)

조명 제어와 연동된 지능형(Intelligent) 또는 능동형(dynamic) 차양 시스템은 자연채광 존을 6~9[m]까지 확장시키며 빛과 열적인 균형을 실시간 능동적으로 균형을 맞추며 동시에 일사와 눈부심을 최소화 시킨다. 이러한 방법은 세부적인 공간계획이 같이 고려되어야 한다.



3단계 : 30~50[%] 에너지 저감(통합형 외피와 저에너지 냉방)

자연채광과 저에너지 냉방 전략을 통합할 경우 고성능 외피가 구현된다. 자연환기나 복사 냉방은 공조시스템의 용량을 줄이게 되고, 단열성능이 우수한 유리와 외부 환경에 자동으로 반응하는 능동형 차양 시설은 채광 효율을 극대화시키면서도 피크 부하기간 열적 부하를 줄이는 역할을 한다. 에너지 공급을 위해 건물일체형태양광발전(BIPV)의 사용이 권장된다.



4. 적용 사례

뉴욕 맨해튼의 New York Times 본사는 Renzo Piano가 설계한 52층 커튼월 빌딩으로, 연면적 143,639[㎡], 2007년 9월 준공되었다. 대중에게 열린 투명한 언론사라는 이미지에 맞게 건물은 가시율이 높은 Low-e 글라스로 마감된 정방형 초고층 오피스로 설계되었고 실제로 입면 중 유리비율은 약 76[%]에 해당된다. 여름철 과다한 일사로 인한 냉방부하의 증가가 예상되어 특별한 외피 디자인, 즉 고성능 외피가 적용되었다.

자연채광을 최대한 활용하기 위해 태양위치나 기상 변화 등 외부 조건에 반응하여 자동으로 쉐이드의 높이를 제어하는 시스템(Automated shade system)과 이에 따라 실내 조도를 일정하게 유지할 수 있도록 DALI (Digital Addressable Lighting Interface)시스템이 적용되었다. 또한 재실과 부재를 감지 센서를 적용하여 사용되지 않는 조명은 자동 소등되도록 하는 등 조명 부하를 최소화하기 2장에서 언급한 다양한 전략들이 사용되었다. 이러한 개념을 통합조명관리시스템(Total Light Management system)이라고 하며 요약하면 자연조명(주간에 태양으로부터 오는 직사광과 하늘에서 오는 천공광의 합)과 건물 내부의 인공조명간의 관리를 최적화(Optimizing)하여 조명 부하 절감과 실내 눈부심을 최소화한 쾌적한 시환경을 동시에 구현하는 방안이다.

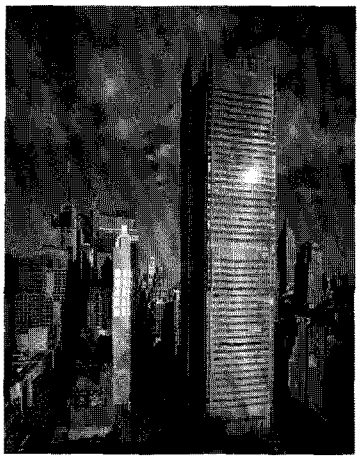


그림 7. 뉴욕타임즈본사 전경

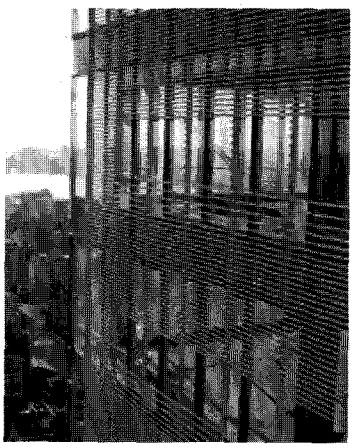


그림 8. 뉴욕타임즈 본사 외피 디자인

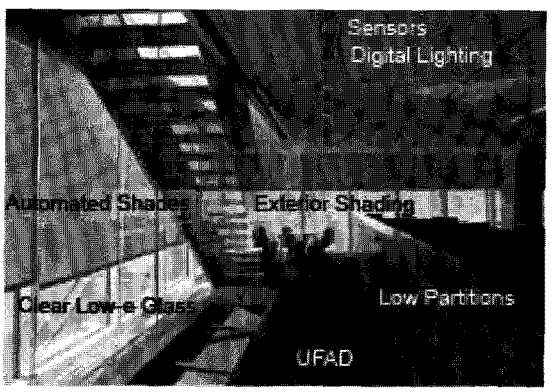


그림 9. 뉴욕타임즈 본사의 실내 전경. 고성능 외피를 위한 구성요소들

통합조명관리시스템을 도입하기 위해 필수적으로 외부의 자연광을 최적으로 활용(Daylight harvesting)해야 하며, 건물 외피에 적용된 자동 쉐이드 시스템의 목적은 다음과 같다.

1) 실내 유입되는 자연광을 최대화
2) 재실자의 외부와의 연계감 최대화
3) 직달 일사 유입을 차단, 냉방부하의 저감
4) 눈부심(Glare) 없는 실내 환경 조성
5) 공간별 용도에 맞도록 재실자로 하여금 수동 제어 제공
6) 특정입면에 대하여 동일한 쉐이드 높이의 균일한 제어

궁극적인 목표는 열적 또는 시각적으로 불쾌감을 유발하지 않는 이상 쉐이드를 가능한 한 오랜 시간 개방해 주는 것이다. 열적 쾌적감은 태양의 궤도를 추적해야 하고, 시각적 쾌적감은 창면 휘도를 관리해야 한다. 이 두 가지 요소에 대한 제어가 필요치 않을 경우 쉐이드를 올려 자연광의 유입을 최대화 시켜야 한다. 삼성물산 건설부문도 이러한 개념의 자동 쉐이드 제어 시스템 연구와 프로토타입 개발을 진행하고 있다.

준공 이후 2008년 6월부터 2009년 6월까지 1년 동안의 조명부하에 대한 전력사용량이 측정되었다. 자동 쉐이드 시스템은 95[%]이상 자동 제어가 유지되었고(실제로 수동으로 동작한 경우는 4.23[%], 수동 동작 비율이 높을수록 조명부하에도 영향), 통합조명관리시스템에 의해 조명전력밀도(Lighting power density)는 설계시 13.7[W/㎡]에서 4[W/㎡]로 약 70[%]의 부하 저감이 이루어졌다. 연간 약 30만 달러의 절감 효과이다. 한국과 미국의 전기료 차이 등 여러 요인들로 인해 직접적인 비교는 어렵지만 명확한 기준도 없는 투자회수기간만을 고집하는 국내 건설업 현실에 비해 새로운 시도와 성공적인 결과라 할 만하다. 발주처는 설계, 근무 환경, 기업 이미지, 임대율, 장기적 에너지 사용량 등 여러 가지를 고려하여 결정한 전략이었으며 중요한 것은 프로젝트의 전체적인 기술과 투자비 관점에서 고급 인테리어 마감재나 화장실, 주방의 시설 등 비용 저감이 가능한 부분을 최대한 줄이는 대신 고성능 외피를 위해 추가적인 공사비용의 증가 없이 적용하였다는 점이다.

5. 맺음말

지금까지 고성능 건물 외피 개념과 요소 기술, 적용 사례에 대해 살펴보았다. 크게 보면 두 가지 포인트로 요약된다. 첫 번째는 외부 일사나 온도에 반응(Responsive)한다는 개념이고, 둘째는 통합(integrated)기술이라는 점이다. 고성능 건물 외피는 건축 디자인, 인테리어, 조명, 공조, 자동제어 등 각 분야가 기능적으로 조화되고 운영상 최적화 되었을 때 시너지가 나타난다.

서두에 언급했던 에너지 저감에 대한 관심은 주로 정부 주도의 공공 프로젝트에 여러 형태의 제도로 나타나고 있다. 지자체 청사나 아파트를 대상으로 에너지효율 등급 기준의 강화, 창면적비율의 제한, 고효율 LED 광원의 사용, 신재생에너지 의무비율 확대 등과 같은 제도들이 시범적용, 시행 중이다. 하지만 실질적인 에너지 절감 효과에 대한 확인은 이루어지고 있는지, 검증절차는 제대로 갖추어졌는지 명확히 파악해 봐야 할 시점이다. 몇 가지 예를 들면 LED분야는 기술이 현재도 진행 중이고 태양광이나 풍력 발전은 개별 프로젝트에 적용할 때는 효용성에 한계를 갖고 있다. 실제적인 효과보다는 산업 육성 차원에서 또는 전시성으로 무분별하게 반영되고 있고 문제점도 야기되고 있는 실정이다.

또 한 가지 간과되고 있는 점은 인간에 대한 고려이다. 건물은 디자인, 효율성, 편의성 등 다양한 요소가 동시에 고려되어야 한다. 또한 재실자가 느끼는 만족도, 피로도와 같은 요소도 만족시켜야 함에도 불구하고 에너지 저감이라는 단일 목표에 집착되어 무리한 아이템의 적용이나 제도가 만들어지고 있다. 본 주제

인 고성능 외피와 관련하여 창면적비 제한은 시대에 역행하는 제도라고 밖에 볼 수 없다. 첫 번째 이유는 창면적 비율에 대한 기준이나 근거가 명확히 제시가 되었는가 하는 점이다. 수많은 종류의 건물 외장재가 있으며 특히 유리도 광학적, 열적으로 개선된 성능의 제품들이 개발되고 있다. 두 번째 이유는 제도만능주의식 발상이다. 문제를 조례나 법령으로 해결하려고 하는 점이다. 건물은 디자인과 성능이 사용자인 인간과 조화를 이루어져야 하며, 창면적비의 제한보다는 스마트한 제어와 효율적인 운영을 통해 에너지 절감 목표를 달성토록 하는 기술 개발이 초점을 맞추어야 한다. 에너지 효율만을 고려한다면 모든 건축물을 지하에 건립토록 해야 할 것이다.

건축은 현시대의 기술이 반영되어야 한다. 현대 건축물은 최신 소재, 디자인 트렌드, 사용자 편의성을 위한 IT 기술이 반영되어야 하며 전기, 기계 분야와 같은 다른 요소간의 상호적인 성능에 대한 통합적인 운영에 대한 개발도 필요하다. 단기적인 고려가 아닌 설계부터 준공, 사용 기간, 리노베이션까지 고려한 기술 제안이나 검토가 절실하다. 끝으로 지속가능한 미래의 건설 기술의 발전을 위해서 프로젝트의 수행 조직인 발주처에서 설계, 엔지니어링, 시공에 이르는 각 조직간에 유기적이고 통합적인 안목이 필요한 시점이다.

◇ 저 자 소 개 ◇

이정호(李正鎬)
1974년 5월 26일생. 1998년 한양대학교 건축공학과 졸업. 2000년 한양대 건축공학과 졸업(석사). 현재 삼성물산 건설부문 친환경에너지연구소 과장. 2010~2011년 한국조명전기설비학회 편수위원.
관심분야 : 조명 에너지 효율화, 자연채광형 파사드 설계, 지능형 외피 제어

신승호(辛承浩)
1958년 10월 10일생. 1982년 성균관대학교 기계공학과 졸업. 2000년 한양대학교 건축공학과 졸업(석사). 1982~1994년 삼우종합설계. 현재 삼성물산 건설부문 친환경에너지연구소 에너지 효율파트장.
관심분야 : 건축물의 공조 및 조명 에너지 저감 기술