

# 외피 친환경 성능평가 I: 이중외피

김덕우\*, 박철수\*\*

\*성균관대학교 대학원 건축공학과(headwt@hanmail.net),

\*\*성균관대학교 건축공학과(cheolspark@skku.ac.kr)

## Performance Assessment of Building Envelopes I: Double Skin Facade

Kim, Deuk-Woo\*, Park, Cheol-Soo\*\*

\*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, SungKyunKwan University(headwt@hanmail.net),

\*\*Dept. of Architectural Engineering, SungKyunKwan University(cheolspark@skku.ac.kr)

### Abstract

Many countries have been interested in sustainable development of buildings for environmental preservation. Thus it is significant to assess building envelopes in terms of CO<sub>2</sub> emissions owing to Kyoto Protocol. In this paper, a Double Skin Facade(DSF) installed in a general office building was assessed by CO<sub>2</sub> emissions(one of the performance-based assessment). To predict CO<sub>2</sub> emissions caused by the building energy consumption, the dynamic simulation program(EnergyPlus) and CO<sub>2</sub> emission factor was used. Because DSF has various airflow regimes, pre-simulation runs were conducted to decide proximate optimal airflow regimes depending on seasonal variation. It is shown that the DSF can achieve 17.1-36.5% of annual energy savings

Keywords : 이중외피(Double skin facade), CO<sub>2</sub> 배출량(Carbon dioxide emission), 에너지플러스(EnergyPlus), 성능평가(Performance assessment)

### 1. 서론

최근 세계 각국에서 지구 환경에 대한 관심이 높아지고, 친환경 건물의 보급 확대를 위하여 친환경 인증 프로그램을 도입하고 있다. 현재 사용되는 대부분의 친환경 인증 프로그램은 지시적 접근(prescriptive approach)에 가깝다. 지시적 접근이란 '무엇이 어떤 방법으로 되어야 함'을, 즉 '목표'를 이루기 위한 '수단'과 '방법'을 규정한다(Stein et al, 2006). 지시적 접근은 간편하므로 LEED-NC(미국),

CASBEE(일본), GBTool2005(캐나다), KGBC(한국), BREEAM(영국) 등 많은 국가에서 사용하고 있다. 그러나 이러한 지시적 접근은 달성하고자 하는 '목표(에너지 절약형 건물, 저탄소 건물 등)'에 관한 것이 아니라, 목적을 달성하기 위한 '수단'과 '방법'을 기술하므로, 객관적인 평가가 될 수 없는 단점이 있으며, 창의적 대안의 유도에 오히려 제약이 된다(박철수, 2006). 따라서 이와 같은 문제점을 극복하기 위해, 성능 중심 접근(performance-based approach)이 제시되고 있다(Foliente et al, 1998). 성능 중심의 접근

접수일자 : 2000년 00월 00일, 심사완료일자: 2000년 00월 00일

교신일자 : 박철수(cheolspark@skku.ac.kr)

은 달성해야 할 ‘목표’를 기술하므로, 합리적/객관적이며, 건축가와 설비 엔지니어의 창의성이 건물설계에 쉽게 반영된다. 최근 전 세계적으로 CO<sub>2</sub> 배출량으로 건물의 친환경 성능을 평가하려는 움직임이 있으며, 이는 상술한 ‘평점 중심의 방법(LEED, BREAM, KGBC)’보다 좀 더 성능중심의 평가방법이라 할 수 있다. 그리고 기후변화협약에서 교토의정서로 진행되는 일련의 세계적 흐름은 위의 성능 평가 방법을 뒷받침하고 있다.

건물 에너지 소비량은 국가 전체 에너지의 1/3에 해당되며 이 중 운영단계(Operation)의 건물 에너지(조명, 환기, 난방, 냉방 등) 및 CO<sub>2</sub> 배출량은 ‘재료생산과 시공’에 소요되는 CO<sub>2</sub> 배출량의 22-45배(DOE Buildings energy data book)<sup>1)</sup>에 달한다. 따라서 본 연구에서는 적용 가능한 건물 외피(이중외피)의 친환경성을 평가함에 있어, 운영단계에서 배출되는 CO<sub>2</sub> 배출량으로 외피의 성능을 평가하고자 한다.

건물의 에너지 소비량을 예측하기 위해서, 미국 DOE(Department Of Energy)에서 개발한 EnergyPlus3.0을 사용하였으며, 건물에 에너지에 미치는 이중외피의 영향만을 고려하고자, 외피의 영향을 받지 않는 내주부 부하를 제외하고, ‘외주부 부하’를 이용하여 친환경 성능을 평가하였다.

## 2. 친환경 성능 평가 기준

### 2.1 평점(credit)으로 평가 방법

평점을 이용한 평가 방법은 사용하기 쉽고 방법과 절차를 명확하게 규정할 수 있는 장점이 있어, 많은 나라에서 사용하고 있다. 그러나 위 방법은 ‘목표’가 아닌 ‘수단’과 ‘방법’을 규정하므로, 평가 결과 값이 항상 건물의 친환경성과 비례하지 않는다(Keener, 2004). 따라서 LEED를 개발한 주체인 USGBC(U.S. Green Building Council)도 현재 이러

한 문제점을 인지하고 있으며, 이를 보완할 대책을 마련 중에 있다.

2.2 바닥면적당 에너지 사용량으로 평가  
 건물의 바닥면적당 연간 에너지 사용량(kWh/m<sup>2</sup>·yr)으로 건물의 친환경 성능을 평가하는 방법이다. 이 방법은 개념이 간단하고 이해하기 쉬운 장점이 있다. 하지만 건물에서 사용되는 에너지원은 다양하며 이에 따라 발생하는 오염정도 또한 다르므로(에너지원에 따라 CO<sub>2</sub> 배출량은 각각 다르다) 합리적인 평가방법이라 할 수 없다.

### 2.3 CO<sub>2</sub> 배출량으로 평가

CO<sub>2</sub> 배출량을 기준으로 건물의 친환경 성능을 평가하고자 하는 접근 방법이다. 운영단계에서 사용되는 에너지원의 CO<sub>2</sub> 배출계수를 이용하여 건물에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량을 계산할 수 있다. 일반 사무소 건물의 냉난방시, 일반적으로 전기와 도시가스가 주로 사용되므로(산업자원부, 1999; EIA 2003), 전기와 가스의 소비량을 CO<sub>2</sub>배출계수를 이용하여 CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산할 수 있다(전기: 0.424, 가스: 0.2 KgCO<sub>2</sub>/kWh)(김덕우 외, 2008a).

CO<sub>2</sub> 배출량을 이용한 평가방법은 앞에서 언급한 2가지 성능 평가 방법에 비해 객관적이며 성능 중심적이라고 볼 수 있다. 아울러, 본 연구에서는 이중외피를 적용함에 따른 경제적 이득을 계산하기 위해 정근주 외, (2008) 문헌을 참고하여 탄소세를 시뮬레이션 결과에 적용하였다. 위 문헌에서 국내의 탄소세 추정치는 범위로 주어져 있기 때문에, 본 연구에서는 미국의 탄소세를 적용하였다(28,901 원/ton·CO<sub>2</sub>)(정근주 외, 2008).

건물의 에너지 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량은 건물의 에너지 사용량과 CO<sub>2</sub> 배출계수의 곱으로 계산되며, 탄소세는 CO<sub>2</sub> 배출량과 해당 국가의 탄소세 수준의 곱으로 계산된다.

1) 미국의 Department Of Energy에서 조사하는 건물의 에너지 사용량 통계

### 3. 시뮬레이션 모델

EnergyPlus로 건물을 모델링하기 앞서 표준건물의 평면을 결정해야한다. 산업자원부(1999)에 따르면, 중부지방 52개 건물에 대한 평균 기준층 면적은  $1,147\text{m}^2$ (최소  $447\text{m}^2$ , 최대  $2,674\text{m}^2$ )이므로 표준건물의 크기를  $35\times 35\text{m}$ ( $1,225\text{m}^2$ )로 정하였다(그림 1). 건물 크기에 따른 외피 성능 분석을 위하여  $20\times 20\text{m}$ ( $400\text{m}^2$ ),  $50\times 50\text{m}$ ( $2,500\text{m}^2$ ) 크기의 기준층을 갖는 건물에 대해서도 추가로 시뮬레이션하였다. 그리고 모델의 창면적비는 40%로, 일반적인 사무소 건물의 창면적비인 약 31~55%(건설교통부, 1994)의 범위에 포함되도록 하였다.

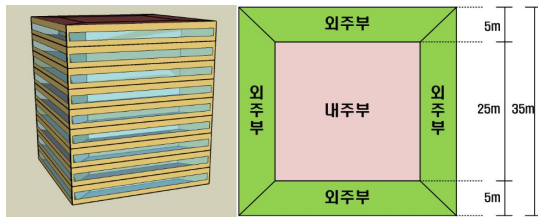


그림 1. 표준건물 3D 모델(좌), 평면(우)

내주부는 외기의 영향을 받지 않는 존이며, 외주부는 외기의 영향이 미치는 부분이다. 따라서, 건물의 외주부 부하로 외피 성능을 평가하는 것은 표준적이며 규범적인 접근이라 할 수 있다(김덕우 외, 2008b). 내주부와 외주부는 ‘열전달이 없는 가상의 벽’으로 구분되며(Stein et al, 2006), 외주부는 일반적인 깊이인 5m로 정하였다.

건물 구성요소는 ASHRAE (2005)를 참조하여 Medium Class로 결정하였으며, 창은 6-12-6(low-e:0.4)로 하였다. 실내발열요소(인체, 기기, 조명)의 발열밀도는 ASHRAE (2005)에서 권장하는 사무소 건물의 중간 수준으로 결정하였다. 실내 설정온도는 ASHRAE (2007)의 General Design Criteria를 참고하였다(봄/가을:  $22.5\sim 23.5^\circ\text{C}$ , 여름:  $24\sim 25^\circ\text{C}$ , 겨울:  $21.5\sim 22.5^\circ\text{C}$ ). 건물 구성요소의 상세, 실내발열 스케줄, 실내 설정조건에 대한 자

세한 설명은 김덕우 외 (2008b)문헌에 기술되어 있다.

건물 부하는 크게 실부하, 코일부하, 플랜트 부하로 구분된다. 이중외피의 친환경 성능을 평가하기 위해서는 최대한 기계적인 변수를 배제하고, 건물 부분만을 고려하는 것이 바람직하다. 따라서 기계적인 변수들의 영향을 배제하기 위해, 플랜트 부하 및 코일부하는 고려하지 않고(외기 부하도 제외됨), 실부하로만 평가하였다. 실부하는 EnergyPlus의 ‘Purchased air’를 이용하여 계산하였다. 이 방법은 HVAC 시스템 관련 변수들(보일러, 냉동기, 냉각탑의 크기 및 효율 등), 덕트, 파이프에 관련된 변수를 배제하므로, 외피 설치/미설치에 따른 결과만을 독립해서 분석할 수 있는 장점이 있다.

### 4. 이중외피 시스템 개요

이중외피 시스템은 두 겹의 유리로 구성된 외피와 그 사이의 중공층에 차양장치를 갖는 시스템이다. 이러한 구조는 실내와 실외 사이에 열적 완충 공간(thermal buffer zone)을 형성하며, 이 공간의 효율적 활용을 통해, 건물의 에너지 절감을 유도할 수 있다. 그리고 중공층의 공기를 활용하여, 외피의 열관류 손실을 줄일 수 있고, 필요한 경우, 이중외피 시스템은 외기를 활용하는 외기 냉방 및 환기 시스템의 일부분으로 활용될 수 있다.

본 연구에서 사용한 이중외피는 중공층 내부에 블라인드가 설치되어 있는 일반적인 경우로 정하였다. 블라인드의 물성치는 ‘EnergyPlus DataSet’을 참고하여 ‘Medium reflectivity slat(반사율: 0.5)’으로 정하였다. 사무소 건물에서 사용되는 블라인드 슬랫 각도는 사용자의 임의적(주관적) 조절에 영향을 받으며, 슬랫 각도의 평균값 또는 대표값은 아직 조사된 바 없으므로(Vine et al, 1998) 본 연구에서는  $0^\circ$ (수평)으로 정하였다. 이중외피의 중공층에 블라인드가 설치되어

있으므로, 유의한 비교평가를 위해, 비교대상은 6-12-6 (low-e:0.4) glazing과, 실내 블라인드가 설치된 것으로 정하였다(그림 2).

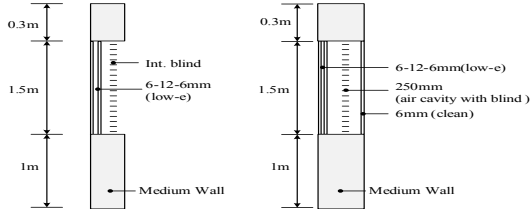


그림 2. 모델링된 이중외피와 실내블라인드

EnergyPlus3.0에서 모델링 가능한 중공층 기류모드는 Air exhaust, Indoor air curtain, Air supply, Outdoor air curtain, Airflow to return air 총 5가지이며(그림 3), 각 기류모드는 실의 난방에너지 사용에 영향을 미친다. 예를 들면 건물이 냉방 모드일 때 기류모드(a)이면, 실내공기(여름: 24~25℃)가 낮 시간의 일사에 의해 가열된 중공층(40~50℃)을 통하여 배출되면서, 뜨거운 중공층을 냉각시키므로 냉방에너지가 절감된다. 반대로, 난방 모드일 때는 중공층의 낮아진 온도를 실공기가(봄/가을:22.5~23.5℃, 겨울: 21.5~22.5℃) 중공층을 통해 배출되면서 가열하므로, 난방에너지 사용을 감소시킨다. 이처럼 계절별 또는 난방 모드에 따라 건물 에너지 사용에 유리한 기류모드가 다르다. 그러므로 이중외피 적용에 앞서, 5가지 기류모드에 대해 계절별 에너지 사용에 유리한 기류모드 결정이 선행되어야 한다.

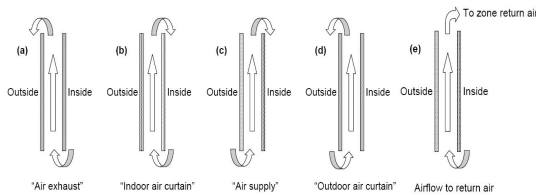


그림 3. EnergyPlus에서 지원 가능한 기류모드

본 연구에 앞서 기류모드 결정을 위한 예비시뮬레이션을 수행하였으며(기류모드 가동 시간은 9시~18시) 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 봄/가을: 냉방부하가 지배적인 동향, 남향, 서향 외주부에는 Out-Out의 기류모드가, 난방부하가 지배적인 북향 외주부에는 In-Out의 기류모드가 유리하다.
- 여름: 냉방부하가 주를 이루므로 모든 향에서 In-Out의 기류모드가 유리하다. 이것은 실내 공기가 중공층을 통해 밖으로 배출되면서 뜨거운 중공층을 식히는 효과가 있기 때문이다.
- 겨울: 동향, 북향, 서향 외주부의 경우 In-Out가 유리한 것으로 나타났다. 이것은 In-Out의 기류모드가 차가운 중공층을 덥히는 역할을 하기 때문이다 (Out-Out의 기류모드는 낮은 온도의 외부 공기(-4.3℃)가 유입되므로, 중공층의 온도가 낮아져 난방비용 상승을 가져온다). 이에 반하여 남쪽은 냉방부하가 주를 이루므로 냉각효과가 큰 Out-Out의 기류모드가 에너지 절감에 효과적이다.

도출된 계절별 최적 기류모드는 표 1와 같으며, 본 시뮬레이션에 반영하였다.

표 1. 계절에 따른 최적 기류모드

계절	동	남	북	서
봄/가을	(d),Out-Out	(d),Out-Out	(a),In-Out	(d),Out-Out
여름	(a),In-Out	(a),In-Out	(a),In-Out	(a),In-Out
겨울	(a),In-Out	(d),Out-Out	(a),In-Out	(a),In-Out

## 5. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 실행은 봄(4/19), 여름(7/26), 겨울(1/24), 연간(365일)에 대해 수행하였으나, 본 논문에서는 연간 시뮬레이션 결과만 기술하였다. 에너지 비용 계산시, 보일러 효율은 90%, 압축식 냉동기의 COP는 일반적 값인 3.5로 하였다. 전기요금(냉방)은 한국전력공사<sup>2)</sup>의 자료를 참고하여 97.68원/kWh를 사용하였고, 도시가스요금(난방)은 한국가스공사<sup>3)</sup>의 자료를 참고하여 44.71원/kWh를 사용

2) <http://cyber.kepco.co.kr/cyber> (Accessed Dec. 2008)

3) <http://www.kogas.or.kr> (Accessed Dec. 2008)

하였다.

표 2은 표준건물(35×35)의 외주부 적용에 따른 성능 평가표이며, 연간 에너지 절감(비율) 및 CO<sub>2</sub> 절감(비율)과 탄소세 및 에너지 비용절감이 정리되어 있다. 연간 시뮬레이션 결과, 남향에서는 49.2%의 냉방에너지 절감을, (-)33.5%의 난방에너지 절감을 달성하였다. 북향에서는 냉난방 모두 에너지절감이 가능하다(냉방:25.7%, 난방:7%). 대조군과 비교하여, 전체적으로 냉방에너지 절감에 우수하나 난방에너지 절감에서는 다소 불리한 것을 알 수 있다(겨울철 제외). 난방에너지가 증가한 이유는 연간 시뮬레이션의 경우, 다양한 천공상태 및 실내외 조건이 포함되었고, 이에 따른 루버 슬랫 및 기류모드의 변화가 최적화되지 않았기 때문이다. 매시각별 최적 제어 변수(기류모드, 루버의 각도)를 구하기 위해서는, 시뮬레이션 모델과 최적화 알고리즘과의 결합이 필요하며, 이는 상당히 많은 연산과 복잡한 최적화 알고리즘의 처리를 요구하므로, 본 연구의 범위에서는 고려하지 않았다.

모든향 설치시, 약 26.7%의 에너지를 절감하며, 냉방시 주로 사용되는 에너지는 CO<sub>2</sub>배출계수가 큰 전기이므로, 이중외피는 에너지 비용뿐만 아니라 탄소세 절감에서도 유리한 것을 알 수 있다.

표 3는 건물의 크기 변화에 따른 에너지 절감 가능성을 보여준다(내주부 부하가 고려된 계산 결과임). 표준건물(35×35)의 경우, 한향에 설치시 남향이 가장 유리하며(7.4%), 모든 향에 설치시, 설치하지 않은 건물에 비

하여 632,116원/yr이 절감되며, 연간 19.0%의 성능이 향상된다(냉방 25.6%, 난방 -6.0%). 그리고 건물 크기가 커짐에 따라 에너지 성능 향상율이 감소하는데, 이것은 상대적으로 내주부의 비율이 커지기 때문이다.

표 3. 건물 크기별 에너지성능 향상율 (%) 및 연간 절감비용 (원/yr)

건물 크기	설치 부위	연간 (%)			연간 절감 비용 (원/yr)
		냉방	난방	합계	
20×20	동	7.7	-1.6	5.3	79,077
	남	14.0	-5.0	9.2	133,389
	북	3.3	2.4	3.1	51,073
	서	8.6	-1.5	6.0	90,768
	모든향	33.6	-5.8	23.6	354,306
35×35	동	5.8	-1.8	4.3	140,110
	남	10.7	-5.1	7.4	238,952
	북	2.5	2.4	2.5	91,567
	서	6.6	-1.6	4.9	161,486
	모든향	25.6	-6.0	19.0	632,116
50×50	동	4.5	-1.5	3.5	207,268
	남	8.3	-5.1	6.1	346,112
	북	2.0	2.5	2.1	133,804
	서	5.1	-1.5	4.0	236,645
	모든향	19.9	-5.6	15.7	923,829

## 6. 결 론

일반적인 사무소 건물은 실내발열에 의해 대부분의 경우 냉방부하가 지배적이며, 따라서, 창을 통해 들어오는 일사를 차단하는 외피의 역할은 매우 중요하다.

본 연구에서는 (1) 건물에 적용가능한 외피(이중외피)의 성능을 CO<sub>2</sub> 배출량으로 평가하였으며, (2) 탄소세 및 에너지 비용을 정량적으로 분석하였다. 이중외피의 경우 기류모드에 따라, 에너지 성능이 크게 변화되므로,

표 2. 연간 외피 성능 평가표 (이중외피, 기준층(35×35) 적용시)

Zone	에너지 절감 (kWh/m <sup>2</sup> ·yr)			에너지 절감비율 (%)			CO <sub>2</sub> 절감량 (kg/m <sup>2</sup> ·yr)			탄소세 절감 (원/m <sup>2</sup> ·yr)			에너지 절감비용 (원/m <sup>2</sup> ·yr)			총 절감비용 (원/m <sup>2</sup> ·yr)
	냉방	난방	합계	냉방	난방	합계	냉방	난방	합계	냉방	난방	합계	냉방	난방	합계	
동	22.4	-1.8	20.6	36.8	-7.2	24.1	9.49	-0.36	9.14	274	-10	264	625	-88	537	801
남	41.0	-5.1	35.9	49.2	-33.5	36.5	17.37	-1.01	16.36	502	-29	473	1,144	-251	893	1,365
북	9.7	2.4	12.1	26.7	7.0	17.1	4.11	0.48	4.59	119	14	133	270	120	391	523
서	25.2	-1.6	23.6	38.8	-6.3	26.0	10.68	-0.32	10.36	309	-9	299	703	-80	623	923
모든향	98.3	-6.0	92.2	40.0	-6.0	26.7	41.66	-1.20	40.46	1,204	-35	1,169	2,742	-299	2,443	3,612

1) 미국의 탄소세 28,901(원/CO<sub>2</sub>·ton) 기준으로 계산함. (+)는 비용감소, (-)는 비용증가임. (출처: 정근주 외 2명, 2008)

2) 전기요금(냉방)은 97.68(원/kWh), 가스요금(난방)은 44.71(원/kWh)이며, 소수 첫째자리에서 반올림. (출처: 한국전력공사, 한국가스공사)

본 연구에서는 예비 시뮬레이션을 통해 최선의 기류모드를 선정 한 뒤(표 1), 성능을 평가하였다. 그 결과 향에 따라 연간 17.1-36.5%의 에너지 절감이 가능하며, 탄소세 및 에너지 비용은 523-3,612 원/m<sup>2</sup>·yr가 절감되는 것으로 나타났다.

## 후 기

본 연구는 2008년 POSCO의 연구비 지원(철강연구 공모과제: 철골조 건축물의 친환경 성능평가 및 CO<sub>2</sub> 배출 저감방안 연구, 2008S001)으로 수행되었음

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 판매시설 및 사무소건축물의 에너지절약 설계기준 연구, p.Ⅱ-17, 1994
2. 김덕우, 박철수, 철골조 건축물 에너지 성능, 친환경성능 평가 및 CO<sub>2</sub> 배출 저감 기술 개발, POSCO 철강연구 공모과제 중간보고서 I (8월 제출, 대외비), 2008a
3. 김덕우, 박철수, 철골조 건축물 에너지 성능, 친환경성능 평가 및 CO<sub>2</sub> 배출 저감 기술 개발, POSCO 철강연구 공모과제 중간보고서 II (12월 제출 대외비), 2008b
4. 산업자원부, 건물의 에너지원단위 기준연구에 관한 최종보고서, pp.130-139, 1999
5. 정근주, 옥근숙, 임영빈, 탄소세 적용에 따른 건물용도별 에너지비용 영향 분석, 한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회 논문집, pp.207-210, 2008
6. 박철수, 규범적 건물성능 평가방법, 대한건축학회 논문집 계획계 제 22권 11호, pp.337-344, 2006
7. ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2005
8. ASHRAE, ASHRAE Handbook-HVAC Applications. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2007
9. DOE. EnergyPlus3.0 Input/Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, US Department Of Energy, 2008
10. Energy Information Administration (2003), Commercial Building Energy Consumption Survey, <http://www.eia.doe.gov/emeu/cbecs/cbecs2003> (Accessed June. 2008)
11. Foliente, G., Leicester, R. and Pham, L. (1998), Development of the CIB Proactive Program on Performance Based Building Codes and Standards. BCE Doc. 98/232, International Council for Research and Innovation in Building and Construction(CIB), Rotterdam.
12. Keener, J., Future of Green Building Credit System in Jeopardy, a report by Platts, 2004, [http://www.enr.com/press\\_releases/31](http://www.enr.com/press_releases/31) (Accessed Oct. 2008)
13. Stein, B., Reynolds, J., Grondzik, W. and Kwok, A., Mechanical and electrical equipment for buildings, John Wiley & Sons, Inc., 10th, 2006
14. Vine, E., Lee, E., Clear, R., DiBartolomeo, D., Selkowitz, S., Office worker response to an automated blind and electric lighting system: A pilot study, Energy and Buildings, Vol.28, pp.205-218, 1998