

정책 이슈페이퍼 16-16

대학 캠퍼스 건물의 에너지 효율개선 방안 연구

박기현

목 차

- I. 연구 필요성 및 목적 / 1
- II. 연구 내용 및 결과 / 3
- III. 정책 제언 / 22
- <참고문헌> / 25



에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

I. 연구의 필요성 및 목적

1. 연구 필요성

□ 건물부분의 에너지소비는 지속적으로 증가

- 2007~2012년 기간 중 전체건물의 에너지소비량은 40,059천TOE에서 42,654천TOE로 6%증가
- 대학건물의 전체건물(연간 2000toe이상)에 대한 에너지소비비중도 2000년 9%에서 2012년 14%로 증가하였음(2014 에너지통계 핸드북)
- 대학의 에너지사용량은 2012년 기준 30만4천TOE로 병원, 호텔, 공공 등 다른 에너지다소비 건물보다 많아 분야별 에너지사용에서도 백화점과 더불어 에너지를 가장 많이 사용함

□ 대학 건물에너지 효율화 기반이 미흡한 국내 캠퍼스

- 선진국의 경우 내적으로는 전담조직과 신속한 의사결정체계를 구축하여 운용하며 조직적인 네트워크를 통한 에너지효율화 시행중
- 에너지사용량을 측정을 통한 에너지 사용패턴을 고려한 에너지 저감기술을 접목하여 캠퍼스 건물의 에너지 효율화를 높이고 있음
- 반면 국내의 경우, 대학의 에너지 효율화 사업에 대한 대학 자체의 원천적 동기가 부족하며 의사결정의 구조도 취약함
- 정부부처별 정책지원(재원지원 등) 체계가 상이하며, 에너지사용량 측정 인프라의 구축도 미비하고 시설관리종합통제시스템마저 미비함

2. 연구 목적

- 국내외 대학 건물 효율개선 사례 분석을 통한 시사점을 도출
- 대학건물의 에너지소비통계를 통한 소비실태 및 현황 파악
- 건물에너지 성능평가를 통한 대학 건물의 에너지절감 효과 분석
- 대학 건물의 에너지 효율개선을 위한 방안 제시 및 정책적 함의 도출

II. 연구 내용 및 결과

□ 대학 건물의 총에너지 소비량

- 대학건물에서 사용한 에너지는 총 328.9 천TOE로 대형건물 전체소비량의 약 13.9%를 차지
- 전력은 전체에너지소비의 59.8%를 점하고 있어 도시가스 37.3%에 비해 22.5%포인트나 높음

[대학건물 에너지원별 소비구조, 2013]

(단위: 천TOE)

	수도권		비수도권		합 계	
		(%)		(%)		(%)
석 유	0.5	0.3	4.2	2.5	4.7	1.4
도시가스	69.7	43.7	53.1	31.3	122.8	37.3
전 력	88.3	55.4	108.3	63.9	196.7	59.8
지역난방	0.9	0.6	3.9	2.3	4.8	1.5
합 계	159.4	100.0	169.6	100.0	328.9	100.0

※ 대학교의 범위는 2천 TOE 이상인 대학교로 한정하였음

□ 대학의 용도별 에너지소비 구조

- 대학건물의 에너지소비를 용도별로 보면 난방용(30.5%), 냉방용(26.6%), 사무기기 및 기타(16.6%), 조명용(12.1%)의 구조를 보임

[대형건물 용도별 에너지소비구조, 2013]

(단위: %)

구 분		냉방용	난방용	급탕용	동력용	조명용	사무기기 및 기타	합 계 (천TOE)
석 유	대형건물	2.5	58.9	18.6	0.0	0.0	20.0	20.2
	대학건물	0.8	69.0	24.2	-	-	5.9	4.7
도시 가스	대형건물	25.9	51.2	11.3	0.0	0.0	11.7	585.1
	대학건물	29.7	49.8	9.8	-	-	10.8	122.8
전 력	대형건물	23.7	9.5	0.0	21.8	22.3	22.8	1,159.8
	대학건물	25.4	16.5	-	16.8	20.3	20.9	196.7
지역 난방	대형건물	28.8	62.7	7.5	0.0	0.0	1.0	60.7
	대학건물	19.5	73.6	6.9	-	-	-	4.8
합 계	대형건물	24.3	25.1	4.1	13.8	14.2	18.4	1,825.8
	대학건물	26.6	30.5	4.1	10.1	12.1	16.6	328.9

주: 대형건물 전체는 조사업체 중 아파트를 제외하였음.

출처: 1) “2014년도 에너지총조사보고서”, 2015, 산업통상자원부

2) “2014년도 에너지총조사” 대학건물 원자료

□ 대형건물 연면적당 에너지원단위

- 대학건물¹⁾의 에너지원단위는 125.7 Mcal/m²로 대형건물 평균보다는 53.3 Mcal/m² 낮은 수준

1) 에너지총조사 대형건물 부문의 교육용에는 학교와 연구소가 포함되어 있어서 본 연구에서는 2014년 에너지총조사 원자료를 이용하여 대학교 건물만을 별도로 계산하였음.

[대형건물 연면적당 에너지원단위 추이]

(단위: 총에너지 Mcal/m², 전력 kWh/m²)

년도	구분	전체	업무용	상업용	교육용	호텔	병원	통신	아파트
2013	총에너지	179.0	190.7	198.8	163.2	292.6	364.0	921.8	108.6
	전력	115.9	150.0	174.2	120.2	151.3	191.6	961.1	37.3
2010	총에너지	196.9	210.8	236.2	180.8	335.2	401.7	755.0	125.4
	전력	99.3	140.0	170.3	105.8	147.1	171.7	641.1	34.0
2007	총에너지	215.5	241.8	356.1	180.5	419.1	420.6	726.0	139.3
	전력	121.7	179.4	292.5	121.2	223.3	202.5	762.5	41.0
2004	총에너지	225.2	243.2	397.5	179.2	457.6	461.3	592.2	155.4
	전력	113.7	174.5	311.3	114.2	237.7	202.4	407.0	40.0
13/10 연평균 증감	총에너지 (%)	-3.1	-3.3	-5.6	-3.4	-4.4	-3.2	6.9	-4.7
	전력(%)	5.3	2.3	0.8	4.3	0.9	3.7	14.5	3.2

출처: “2014년도 에너지총조사보고서”, 2015, 산업통상자원부

□ 대형건물 업체당 에너지소비

- 대형건물의 업체당 연간 총에너지소비량이 호텔 3,342 TOE, 병원 3,339 TOE, 교육용 3,186 TOE(대학건물 3,045 TOE)의 순서로서, 대형건물의 업체당 평균 에너지소비량인 2,540 TOE을 크게 상회하고 있는 것에서도 알 수 있음

[2013년 대형건물 업체당 에너지소비]



□ 대학건물의 연면적-에너지원단위

- 대학건물의 연면적-에너지원단위는 평균 125.7 Mcal/m²이고 원단위가 가장 낮은 건물은 64.6 Mcal/m²로 평균의 약 50% 수준이며, 원단위가 가장 높은 건물은 251.2 Mcal/m²로 평균의 약 2배
- 전력원단위는 평균 88.3 kWh/m²이고, 최대값은 192.3 kWh/m², 최소값은 30.9 kWh/m²로 최대값은 최소값의 6.2배에 이릅니다

[대학건물의 연면적-에너지원단위]

구분	평균	최대값	최소값	표준편차
에너지원단위(Mcal/m ²)	125.7	251.2	64.6	41.6
연료원단위(Mcal/m ²)	49.8	129.1	3.0	27.2
전력원단위(kWh/m ²)	88.3	192.3	30.9	29.6

- 대학건물에서 전력은 냉방(25.4%), 난방(16.5%), 동력(16.8%), 조명(20.3%), 사무기기 및 기타(20.9%)의 구조로 사용되고 있음
- 에너지원단위에 영향을 주는 일반적 요인들은 지리적 위치, 연면적규모, 준공연도 등이 있으며 기술적 요인들은 단열, 설비효율, 건물관리시스템 등이 있으나 이러한 요인들이 직·간접적으로 영향을 줄 수 있다는 것은 보편적인 판단이지 어느 요인이 얼마나 더 크게 영향을 주는지에 대한 정확한 분석 자료는 부재

□ 대학건물의 지리적특성별 에너지원단위

- 수도권은 비수도권에 비해 연간 1m² 당 30.0 Mcal(도시가스로 환산시 약 3 m³(약 2,800원))의 에너지를 더 사용하고 있으며 이중 24.8 Mcal가 연료 소

비에서의 차이이고 나머지는 전력소비의 차이임

[대학건물의 지리적특성별 에너지원단위]

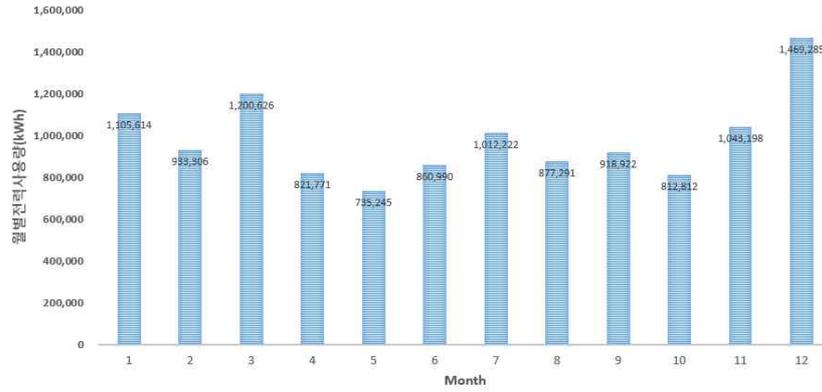
(연료, 전력)

		에너지 (Mcal/m ²)	연료 (Mcal/m ²)	전력 (kWh/m ²)
구역	수도권	143.0	64.1	91.8
	비수도권	113.0	39.3	85.7
기온	대전이북	134.7	56.7	90.8
	대전이남	107.5	35.9	83.3
전국평균		125.7	49.8	88.3

□ 대학 건물 시뮬레이션 분석

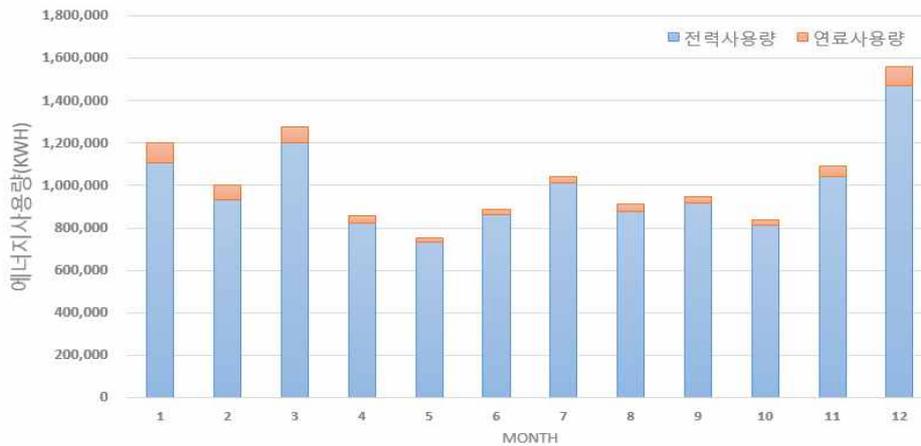
- 분석대상학교의 에너지소비는 2014년도를 기준으로 실제 전기 및 가스사용량의 패턴을 분석함. 전기에너지 사용량은 심야전력을 제외한 시간별, 월별, 일별을 조사
- 월별 전기 사용을 보면 전기 난방기와 운영실 난방을 위한 EHP사용으로 인해 겨울방학인 동절기의 전력사용량이 학기 중인 다른 기간에 비해 매우 높은 것으로 나타났음

[월별 전기사용량]



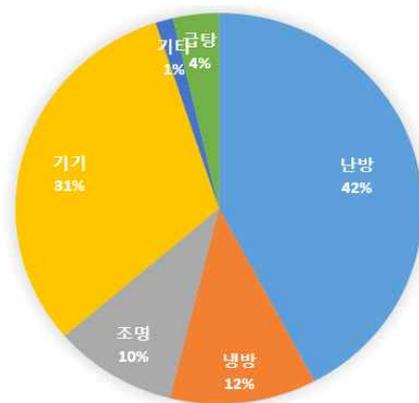
- 분석대상학교의 대부분은 전력이고, 보일러 등유, 일부 LPG가스를 사용함. 이유는 위치상 도시가스 배관공사가 이루어지지 않았기 때문(전력 95.4%, 연료 4.6%)

[월별 총에너지 사용량]



- 성분별 에너지 소비량은 다음 그림과 같고 남부지역에 위치함에도 불구하고 난방에너지 사용이 많음

[분석대상학교 에너지소비 성분별 구성비]



□ 분석 모형 설정 및 시뮬레이션 모델링(EnergyPlus 프로그램 사용)

○ 도서관

- 1997년 준공, 지하 1층, 지상 4층으로 구성. 지상층의 총 연면적은 7192.4m²
- 도서관의 외피는 건축법에 의한 절약기준으로 설정. 열람실 좌석 현황 및 운영스케줄, 교직원 스케줄은 다음과 같음

[도서관 개관시간]

구분	학기중		방학중	
	월~금요일	토요일	월~금요일	토요일
정기간행물실	9:00 ~ 20:00	9:00 ~ 13:00	10:00 ~ 17:00	휴 관
대출실				
참고논문실				
멀티미디어실				
1,2층 일반열람실	24시간 개방(야간은 본교 재학생에 한하며, 개방시간은 도서관 운영일정 및 정책에 의해 변경될 수 있음)			

[도서관 열람실 좌석현황]

층별	열람실	좌석수
1층	자유열람실(PC실)	514석
2층	정기간행물실	138석
	자유열람실	522석
	노트북코너	20석
3층	동·서양 대출실	520석
4층	참고논문실(스터디룸 포함)	148석
	멀티미디어실(교육자원실 포함)	140석
계		2,002석

[도서관 건물의 교직원 스케줄]

실명	주간 재실직원(명)	퇴근시간	야간 재실직원(명)
도서관 운영 교직원	17	오후 5시 30분 퇴근	2
일반행정실	42	오후 5시 30분 퇴근	

○ 기숙사와 강의동도 건물 구성, 외피, 운영스케줄 등도 동일한 방법으로 조사

□ 도서관의 시뮬레이션 표준모델링 분석 결과

[도서관 용도별 에너지 소비량, kWh/yr]

구분	에너지소비량(kWh)	구성비율(%)
조명	102,504	16.8
난방	124,469	20.4
냉방	58,574	9.6
일반전력	112,266	18.4
상시전력	122,639	20.1
동파방지	81,149	13.3
급탕	8,542	1.4
취사	-	-
계	610,142	100

[도서관 총에너지 사용 비율]

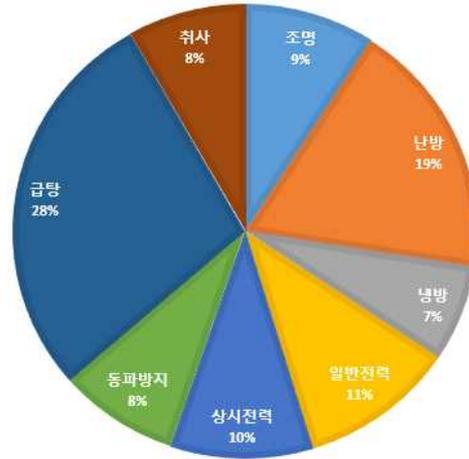


□ 기숙사 시뮬레이션 표준모델링 분석 결과

[기숙사 용도별 에너지 소비량, kWh/yr]

구분	에너지소비량(kWh)	구성비율(%)
조명	90,532	9.1
난방	183,368	18.4
냉방	68,751	6.9
일반전력	108,626	10.9
상시전력	98,660	9.9
동파방지	83,712	8.4
급탕	281,031	28.2
취사	81,885	8.2
계	996,565	100

[기숙사 총에너지 사용 비율]

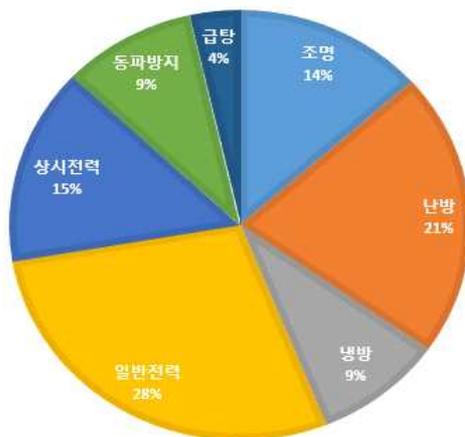


□ 강의동 시뮬레이션 표준모델링 분석 결과

[강의동 용도별 에너지 소비량, kWh/yr]

구분	에너지소비량(kWh)	구성비율(%)
조명	61,515	13.4
난방	98,241	21.4
냉방	41,775	9.1
일반전력	130,376	28.4
상시전력	67,942	14.8
동파방지	43,153	9.4
급탕	16,067	3.5
취사	-	
계	459,069	100

[강의동 총에너지 사용 비율]



□ 시뮬레이션 에너지 성능 평가

○ 적용기술에 따른 에너지 성능평가 실시

- 현재 우리나라는 건물절약기술의 적용 지침서가 없으므로 에너지 절감 요소기술 적용에 따른 에너지 절감량을 정량적으로 평가하기 요소 기술을 선정이 필요
- 이에 국립환경과학원에서 배포한 '녹색건축물의 탄소제로구현을 위한 지침서'와 한국 패시브건축협회에서 지시한 '패시브하우스의 정량적 요구조건을 검토하여 요소기술을 선정

[에너지절약 요소기술 및 선정]

구분	세부구분	패시브하우스	탄소제로 구현지침서	선정기술	비고
외피	외벽열관류율	0.15 이하	0.23	0.15	W/m ² ·K
	지붕열관류율	0.12	0.23	0.12	W/m ² ·K
창호	열관류율	0.85 이하	1.66	0.85	W/m ² ·K
	SHGC	0.4 이상	0.417	0.4	국내기준
열교환기 장치	효율	75% 이상	65% 이상	75% 이상	
건물전체	기밀성	0.6회/h	1.2회/h	0.6회/h	50Pa
건물전체	조명부하	최소 사용	LED적용	LED적용	

○ 적용기술로는 외벽단열, 창호교체, 지붕단열, 조명, 환기시스템, 태양광, 태양열 적용

1. 벽체 열관류율에 따른 평가 분석 결과(단열성능 강화 기준안 → 선정안)

[외벽 열관류율에 따른 에너지소비량, kWh/yr]

구분	도서관		기숙사		강의동	
	기준안 0.76	선정안 0.15	기준안 0.52	선정안 0.15	기준안 0.49	선정안 0.15
조명	102,504	102,504	90,532	90,532	61,515	61,515
난방	124,469	90,613	183,368	120,473	98,241	79,280
냉방	58,574	62,791	68,751	75,283	41,775	45,201
일반전력	112,266	112,266	108,626	108,626	130,376	130,376
상시전력	122,639	122,639	98,660	98,660	67,942	67,942
동파방지	81,149	69,301	83,712	71,490	43,153	36,852
급탕	8,542	8,542	281,031	281,031	16,067	16,067
취사	-	-	81,885	81,885	-	-
냉난방 총량	183,043	153,404	252,119	195,755	140,016	124,481
에너지 총량	610,142	568,656	996,565	927,979	459,069	437,234
냉난방에너지 절감률(%)	-	16.2	-	22.4	-	11.1
전체에너지절감률(%)	-	6.8	-	14.1	-	12.8

- 기숙사의 에너지절감율이 가장 높음. 이는 도서관과 강의동이 주로 주간에 사용하는 건물인 반면 기숙사는 야간에 사용하는 건물로 건물 사용시간에 실내와 실외의 온도차가 높게 발생하기 때문
- 도서관 경우, 일부 열람실이 24시간 사용되고 단열 수준 또한 가장 취약한 건물로 냉난방에너지 절감률이 높은 것으로 나타났음

2. 지붕단열 두께

[지붕 열관류율에 따른 에너지소비량, kWh/yr]

구분	도서관		기숙사		강의동	
	기준안 0.35	선정안 0.12	기준안 0.28	선정안 0.12	기준안 0.32	선정안 0.12
조명	102,504	102,504	90,532	90,532	61,515	61,515
난방	124,469	115,081	183,368	178,527	98,241	93,918
냉방	58,574	54,156	68,751	66,936	41,775	39,937
일반전력	112,266	112,266	108,626	108,626	130,376	130,376
상시전력	122,639	122,639	98,660	98,660	67,942	67,942
동파방지	81,149	78,714	83,712	81,200	43,153	41,858
급탕	8,542	8,542	281,031	281,031	16,067	16,067
취사	-	-	81,885	81,885	-	-
냉난방 총량	183,043	169,236	252,119	245,463	140,016	133,855
에너지 총량	610,142	593,901	996,565	987,398	459,069	451,614
냉난방에너지 절감률(%)	-	7.5	-	2.6	-	4.4
전체에너지절감률(%)	-	2.7	-	0.9	-	1.6

- 지붕의 열관류율의 감소영향을 평가결과를 살펴보면 벽체의 열관류율 분석과는 다르게 도서관의 에너지 소비량이 가장 많은 것으로 나타남
- 이는 도서관의 열관류율이 가장 취약함은 물론 지붕의 면적비가 다른 건물

에 상대적으로 높기 때문

3. 창호 성능

[창호 열관류율에 따른 에너지소비량, kWh/yr]

구분	도서관		기숙사		강의동	
	기준안 4.19	선정안 0.85	기준안 3.1	선정안 0.85	기준안 3.3	선정안 0.85
조명	102,504	102,504	90,532	90,532	61,515	61,515
난방	124,469	101,567	183,368	138,993	98,241	87,238
냉방	58,574	61,209	68,751	70,401	41,775	43,655
일반전력	112,266	112,266	108,626	108,626	130,376	130,376
상시전력	122,639	122,639	98,660	98,660	67,942	67,942
동파방지	81,149	66,218	83,712	63,453	43,153	38,319
급탕	8,542	8,542	281,031	281,031	16,067	16,067
취사	-	-	81,885	81,885	-	-
냉난방 총량	183,043	162,776	252,119	209,394	140,016	130,893
에너지 총량	610,142	574,945	996,565	933,582	459,069	445,113
냉난방에너지 절감률(%)	-	11.1	-	16.9	-	6.5
전체에너지절 감률(%)	-	5.8	-	6.3	-	3.0

- 고성능 창호로 선정된 삼중 로이창을 적용했을 경우, 기숙사의 에너지 절감률이 가장 크고 다음으로 도서관과 기숙사 형태로 나타났음
- 이는 외벽의 열관류율 평가와 유사한 형태로 건물의 창호변화 역시 건물의 운영스케줄에 지대한 영향을 받는 것으로 분석되었음

4. 고효율 조명

[고효율 조명기기 적용에 따른 에너지소비량, kWh/yr]

구분	도서관		기숙사		강의동	
	기준안	LED적용	기준3.1	LED적용	기준안3.3	LED적용
조명	102,504	76,878	90,532	67,899	61,515	46,136
난방	124,469	127,456	183,368	187,769	98,241	100,599
냉방	58,574	56,465	68,751	66,276	41,775	40,271
일반전력	112,266	112,266	108,626	108,626	130,376	130,376
상시전력	122,639	122,639	98,660	98,660	67,942	67,942
동파방지	81,149	83,097	83,712	85,721	43,153	44,188
급탕	8,542	8,542	281,031	281,031	16,067	16,067
취사	-	-	81,885	81,885	-	-
냉난방 총량	183,043	183,921	252,119	254,045	140,016	140,870
에너지 총량	610,142	587,343	996,565	977,867	459,069	445,580
냉난방에너지 절감률(%)	-	-0.5	-	-0.8	-	-0.6
전체에너지절감률(%)	-	3.7	-	1.9	-	2.9

- 표준 모델건물의 조명에너지 소비량 산정결과에 따르면 평균 조명밀도는 12W/m² ~ 14W/m²
- LED 사용을 전체 조명 기구의 50%를 적용하는 것으로 산정하여 조명밀도는 8W/m² ~ 10W/m²로 산정됨. 그 결과 고효율 조명의 전체에너지 절감량은 1.9 ~ 3.7%로 분석되었음
- 하지만 조명의 발열량이 적어짐으로써 난방에너지 사용량을 증가하고 냉방 에너지 사용량은 감소하는 것으로 나타났다. 이에 전체 냉난방에너지 사용량은 오히려 증가하게 됨

○ 적용기술별 최종에너지 분석(도서관 건물)

[도서관 건물의 적용기술별 최종 에너지 분석]

구분	기준안	+ 벽체 (0.15)	+ 지붕 (0.12)	+ 창호 (0.85)	+LED 적용	+배열 회수	+ 태양광 (100kWp)
조명	102,504	102,504	102,504	102,504	76,878	76,878	-
난방	124,469	90,613	83,779	68,363	70,004	52,783	52,783
냉방	58,574	62,791	58,055	60,667	58,483	69,350	69,350
일반전력	112,266	112,266	112,266	112,266	112,265	112,265	51,743
상시전력	122,639	122,639	122,639	122,640	122,640	122,640	122,640
동파방지	81,149	69,301	67,222	54,853	56,170	53,433	53,433
급탕	8,542	8,542	8,542	8,542	8,542	8,542	8,542
환기	-	-	-	-	-	14,307	14,307
냉난방에너지 총량	183,043	153,404	141,834	129,031	128,487	122,133	122,133
에너지 총소비량	610,142	568,656	555,007	529,835	504,983	510,199	372,799
냉난방에너지 절감률(%)	-	16.2	22.5	29.5	29.8	33.3	33.3
전체에너지 절감률(%)	-	6.8	9.0	13.2	17.2	16.4	38.9

- 도서관의 경우 냉난방을 제외한 전력사용비중이 높기 때문에 냉난방에너지의 절감 기술에 대한 총에너지 절감량 또한 적을 수 밖에 없는 것으로 분석됨

○ 적용기술별 최종에너지 분석(기숙사 건물)

[기숙사 건물의 적용기술별 최종 에너지 분석]

구분	기준안	+ 벽체 (0.15)	+ 지붕 (0.12)	+ 창호 (0.85)	+LED 적용	+배열 회수	+ 태양광 (100kWp)	+ 태양열 (200㎡)
조명	90,532	90,532	90,532	90,532	67,899	67,899	-	-
난방	183,368	120,473	117,292	88,908	91,042	64,676	64,676	64,676
냉방	68,751	75,283	73,296	75,055	72,353	77,917	77,917	77,917
일반 전력	108,626	108,626	108,626	108,626	108,626	108,626	39,125	39,125
상시 전력	98,660	98,660	98,660	98,660	98,660	98,660	98,660	98,660
동파 방지	83,712	71,490	69,345	52,563	53,824	51,202	51,202	51,202
급탕	281,031	281,031	281,031	281,031	281,031	281,031	281,031	152,600
취사	81,885	81,885	81,885	81,885	81,885	81,885	81,885	81,885
환기	-	-	-	-	-	17,121	17,121	17,121
냉난방 에너지 총량	252,119	195,756	190,588	163,962	163,394	142,593	142,593	142,593
에너지 총소비량	996,565	927,980	920,667	877,259	855,319	849,016	711,616	583,185
냉난방에너 지절감률(%)	-	22.4	24.4	35.0	35.2	43.4	43.4	43.4
전체에너지 절감률(%)	-	6.9	7.6	12.0	14.2	14.8	28.6	41.5

- 기숙사의 경우 급탕에너지 사용량이 다른 건물에 비해 많기 때문에 태양열 급탕시스템을 200㎡설치하는 것으로 분석
- 기숙사의 난방 비중이 높으므로 냉난방 에너지 절감 비율이 다른 건물에 비해 10 ~ 20%이상 높게 나타남

○ 적용기술별 최종에너지 분석(강의동 건물)

[강의동 건물의 적용기술별 최종 에너지 분석]

구분	기준안	+ 벽체 (0.15)	+ 지붕 (0.12)	+ 창호 (0.85)	+LED 적용	+배열 회수	+ 태양광 (100kWp)
조명	61,515	61,515	61,515	61,515	46,136	46,136	-
난방	98,241	79,280	75,791	67,303	68,918	56,458	56,458
냉방	41,775	45,201	43,212	45,157	43,531	50,040	50,040
일반전력	130,376	130,376	130,376	130,376	130,376	130,376	39,112
상시전력	67,942	67,942	67,942	67,942	67,942	67,942	67,942
동파방지	43,153	36,852	35,746	31,742	32,503	30,919	30,919
급탕	16,067	16,067	16,067	16,067	16,067	16,067	16,067
환기	-	-	-	-	-	11,342	11,342
냉난방에너지 총량	140,016	124,481	119,004	112,460	112,449	106,497	106,497
에너지 총 소비량	459,069	437,233	430,650	420,101	405,473	409,280	271,880
냉난방에너지 절감률(%)	-	11.1	15.0	19.7	19.7	23.9	23.9
전체에너지 절감률(%)	-	4.8	6.2	8.5	11.7	10.8	40.8

- 강의동의 경우 냉난방 에너지 절감율은 23.9%인 반면 전체 에너지 사용량은 40.8%
- 이는 강의동 건물이 냉난방 에너지 사용량보다 기타 사용량의 비중이 높기 때문에 에너지 절감을 위한 요소기술 적용보다 태양열 시스템 설치 시 더 많은 에너지 절감이 이루어지는 것을 알 수 있음

○ 에너지 성능평가 결과 시사점

- 기존 캠퍼스 건물을 리모델링할 경우 건물 특성에 따른 요소기술들을 우선 적용함으로써 투자대비 최대 에너지 절감효과를 얻을 수 있음을 시사함
- 또한 본 연구의 결과와 같이 캠퍼스 건물은 종류가 다양하고 건물의 용

도에 따른 사용스케줄 및 에너지 소비형태가 다르게 나타남으로 일괄적인 에너지 개선 정책보다는 건물의 특성을 고려한 에너지 절감 대책이 검토되어야 할 것임

Ⅲ. 정책 제언

□ 추진 방향

- 대학의 통합적 솔루션 제시 필요
 - 전담 부서 유치와 지속가능성 담당자(Sustainability Business Officer, SBO)를 배치하는 등 조직적인 네트워크를 통한 에너지효율화 필요
 - 에너지 관리자를 고용하여 BEMS가 없어도 직접 에너지사용을 관리할 수 있도록 조치
 - 재원 확보를 통하여 관련 정책이나 프로그램을 독립적으로 운영. 해외의 경우 소규모 기금을 조성하여 다양한 프로그램을 가동
- 우리나라의 경우 에너지 및 환경 관련 법제도 등이 국제 기준과 정합한다는 정책적 기반은 갖추어져 있으나 세부적인 부문에 관해서는 정부의 적극적인 의지나 제도적 환경이 비교적 척박한 편임
 - 즉, 그린캠퍼스를 아우르는 전반적인 법·제도적 환경은 조성되어있으나, 그린캠퍼스 자체에 대한 정책입안자의 의지가 미약한 상태이며, 정책적·제도적 환경도 미비한 상황
- 다음으로 장기적 수익구조를 발생시키기 위한 reform단계로써 현행 건물 구조에서 고효율 건물 구조로의 전환이 있어야 함

□ 역할 분담

- 조직 부문
 - 대학은 자체적으로 전담조직을 마련하고 전담조직이 신속한 의사결정

을 진행할 수 있도록 조직체계를 구축하여야 함

- 전담조직 존재여부도 중요하지만, 전담조직원들의 장기근속도 중요하므로 이에 대한 조치가 필요
- 그린캠퍼스 협의회는 전담조직을 교육·관리할 수 있는 역량을 확보하며, 대학의 전담조직 간의 네트워크 강화를 위해 정보를 공유할 필요가 있음
- 정부는 보조금 지원 조건으로 전담조직의 설립과 운영을 설정하며, 그린 캠퍼스 협의회를 관리·평가해야 함
- 또한 대학 건물에너지 소비관리감독 및 평가체계를 구축하는 것이 반드시 필요

○ 재원 부문

- 대학은 자체적으로 소규모라도 에너지효율화 용도의 기금을 조성해야 하며, 기금확대를 위한 계획을 수립하여야 함
- 그린캠퍼스는 기금 확보, 운영 방안에 대한 정보를 대학에 제공하여야 하며, 협의회 주도 기금마련 방안도 강구해야 함
- 정부는 캠퍼스에너지합리화를 위한 예산을 꾸준히 확보하여, 지원 조건에 전담조직, 자체기금 확보 현황의 의무화를 명기하여 대학을 평가한 후 집중 지원할 수 있도록 해야 함
- 재원 확충 방안 가이드라인도 신설해야 됨. 정부도 국공립대의 에너지효율화 지원을 위해 자체기금 확보 현황 제출을 의무화하고, 관련 기금 예산 확보에 힘써야 함

○ 기술 부문

- 대학은 자체적으로 대학 간 정보를 교류하고, 적합 기술에 대한 논의를

해야 함

- 그린캠퍼스 협의회는 효율적인 기술적용 정보를 대학에 제공하며, 관련 업체 목록 제공, 정기적인 정보 갱신을 하고, 선행사업에 대한 평가·피드백 내용을 데이터베이스화 해야 함
- 정부는 용도 프로파일 작성을 위한 가이드라인을 제공하고, 캠퍼스 건물별 에너지효율등급 및 인증제 실시하며, 건물에너지평가제도 개발. 정부는 ESCO업체 지원제도를 수립하되, 민간재원을 투자하는 기관에게는 세제혜택을 줄 수 있도록 정책을 개선해야 함

□ 단기 방안

- 용도별로 에너지소비 특성이 다른 대학 캠퍼스의 건물에너지를 효율적으로 절감할 필요가 있음
 - 이를 위해서는 여러 개 건물을 묶어서 미터링하고 있는 현행 방식에서 벗어나 개별건물별로 에너지소비량을 미터링 해야 함
 - 따라서 BEMS의 도입이 필요하나, 재원마련이 안된 현 시점에서는 개별 건물 단위의 에너지소비량 미터링이 필요함
 - 결과적으로 정부는 지원 자금 부문에서 가스, 전기 등의 유틸리티 미터링을 위한 기기와 관련 공사비를 단기적으로 지원할 필요가 있음

□ 중장기 방안

- 캠퍼스효율 개선을 위한 순차적인 건물이전 가이드라인 지원이 필요하고 세부적인 부문에 대해 정부의 적극적인 의지나 법제도적 보완이 필요
- 객관적인 재원지원 프로그램 개발 및 대학 간 경쟁체제를 통한 정부의 지원 자금 제공되며 전담조직과 재원이 마련된 캠퍼스에 집중 지원 필요

< 참고 문헌 >

- 교육부(2014). 교육기본통계
- 교육부·한국교육개발원(2012). 간추린 교육통계
- 김동균 외(2011). EnergyPlus의 시뮬레이션 결과와 실제 냉방에너지 사용량의 비교 분석 및 GHP와 EHP의 에너지 성능비교에 관한 연구, 대한건축학회지, 27(5). 237-244
- 김준하 외(2012). 그린캠퍼스를 위한 국내외 대학시설관리(FM facility management) 비교분석 - 에너지관리 중심, 한국교육시설학회지
- 산업통상자원부(2015). 2014년도 에너지총조사 보고서
- 서울연구원(2013). 서울시 대학 캠퍼스의 건물에너지 효율화 방안
- 에너지경제연구원(2014). 국공립 학교 건물 Retrofit 방안 연구, 기본연구보고서
- 조진일 외 12인(2008). 제로에너지 모형개발연구(I), 한국교육개발원
- 최돈형·노경임(2000). 현장체험중심의 환경교육 활성화방안 연구-독일의 환경교육이 주는 시사점을 중심으로-, 환경교육, 13(2). 51-62.
- 한국에너지공단(2014). 에너지통계 핸드북
- Barlow B., Putman A., 2009, Financing Sustainability on Campus, National Association of College and University Business Officers.
- Dorji C., 2010, "Building Energy Analysis for Humboldt State University."
- Valancius K., Mikucionience R., 2010, "Energy Efficiency In EU Universities-

Results of The 1st Level Audit”, Environmental Protection Engineering.

IEA, Retrofitting of the Rural and Surveying Engineering Building, N.T.U.A., Athens, Greece, IEA Energy Conservation in Building and Community Systems, Annex36 Case studies overview.

IEA, Passive Solar Retrofitting of the University of Ioannina New School of Philosophy Building, Greece, IEA Energy Conservation in Building and Community Systems, Annex36 Case studies overview.

IEA, Retrofit of the Library Building of the University of Bremen, IEA Energy Conservation in Building and Community Systems, Annex36 Case studies overview.

IEA, Research and teaching buildings at the University of Stuttgart, germany, IEA Energy Conservation in Building and Community Systems, Annex36 Case studies overview.

<http://kess.kedi.re.kr/index> 교육통계서비스

<http://international-sustainable-campus-network.org> 국제지속가능한 캠퍼스 네트워크

<http://www.academyinfo.go.kr> 대학알리미 대학정보공시센터

<http://www.centerforgreenschools.org> USGBC 그린캠퍼스

<http://www.kemco.or.kr> 한국에너지공단

<http://www.usgbc.org> 미국 그린빌딩위원회

정책 이슈페이퍼 16-16

대학 캠퍼스 건물의 에너지 효율개선 방안 연구

2016년 10월 30일 인쇄

2016년 10월 30일 발행

저 자 박 기 현

발행인 박 주 현

발행처 **에너지경제연구원**

44543 울산광역시 중구 405-11

전화: (052)714-2114(대) 팩시밀리: (052)-714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 크리커뮤니케이션 (02)2273-1775
