

비 생산플랜트에서 온실가스배출 원단위 산정에 관한 연구 : 대학교 캠퍼스를 중심으로

(Estimation of the GHG Intensity for Non-Manufacturing Plant :
The Example of a University Campus)

박형준* · 이 옥**

(Hyung-Joon Park · Wook Rhee)

Abstract

During the past decades, energy and Green House Gas(GHG) emissions has risen as a global issue. This paper is about the energy intensity and the GHG intensity in a university campus using the weighting factor of total occupied time to the members of the university. Through this analysis, we could separately estimate GHG intensity per full-time and part-time members under the situation that the measuring data is not perfect. This analyzing procedure could be applied to other non-manufacturing institutions such as school, hospital, governmental institute, office building etc.

Key Words : Campus, Emissions, Energy Intensity, Green House Gas(GHG), GHG Intensity,
Total Occupied Time

1. 연구의 배경

최근의 에너지비용 급증에 따른 에너지에 대한 관심은 대체에너지와 고효율 설비에 대한 관심과 사용을 증대 시키고 있다. 산업화에 따른 대기 중의 온실가스 증가는 궁극적으로 환경에 영향을 끼쳐 지구온난화를 포함한 기후변화를 야기하는 것으로 증명되고 있다. 이에 따라 국제사회는 기후변화협약 등을 통해

각국의 온실가스 배출을 제한하려는 노력을 기울이고 있다.

교토의정서에 의해 정의된 대표적인 온실가스(GHG: Green House Gas)는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 과불화탄소(PFC), 수소불화탄소(HFC), 육불화황(SF₆)으로 총 6종인데, 주지하는 바와 같이 등기환산 배출총량의 관점에서 볼 때 전체 온실가스 배출량에서 가장 큰 부분을 차지하는 온실가스는 이산화탄소이며 국내의 경우 이산화탄소가 배출총량의 약 88[%]를 차지한다[1].

온실가스는 다양한 경로로 배출되는데, 주로 화석연료의 연소에 기인한다. 온실가스 배출 감축정책을 위해서는 국가의 각 주요 부문에 대한 현황조사가 필요하며 정부 주도로 산업분야를 포함하여 각 부문별 에

* 주저자 : 플랜트 컨설턴트
** 교신저자 : 대전대학교 전기공학과 교수
Tel : 031-539-1911, Fax : 031-539-1910
E-mail : rheewook@daejin.ac.kr
접수일자 : 2012년 1월 9일
1차심사 : 2012년 1월 14일
심사완료 : 2012년 2월 23일

너지 및 온실가스 정보가 취합되고 있다. 이때 수집된 정보를 집계, 분석하여 에너지 사용량, 온실가스 배출량을 산정하는 기법을 상향식(Bottom-up) 접근법이라고 부를 수 있다. 이에 반해 국가통계를 이용하여 큰 틀로부터 산업별 세부 부문의 에너지사용량, 온실가스 배출량을 산정하는 기법은 하향식(Top-down) 접근법이라 부를 수 있다. 이 기법들에는 각기 장단점이 있으므로 이를 유기적으로 융합하기 위한 기법들이 현재 연구되고 있다[2].

국내에서는 배출량의 약 60%를 차지하는 대형사업장 470개를 우선적으로 온실가스 목표관리업체로 지정하여 감축목표를 설정하고 달성하기 위한 분석 작업이 2011년부터 이미 착수된 상태이다. 470개 업체는 부문별로 산업 및 발전부문 374개, 건물 및 교통부문 46개, 농업 및 축산부문 27개, 폐기물부문 23개이다[3].

해외에서는 온실가스 배출 최소화를 위하여 신재생에너지원 개발을 선두로 하여 다양한 과제가 진행 중인데 특히 대학구내와 관련하여서는 90년대부터 진행된 캠퍼스 그린화(Greening of the Campus) 프로젝트 등이 있다[4-5]. 캠퍼스 그린화(녹색화)을 위해서는 현상파악이 선행되어야 한다. 캠퍼스 내에서 녹색화를 위한 현상파악을 위해 도출할 수 있는 여러 가지 지표 중 온실가스 배출량과 가장 연관이 있는 항목은 에너지 사용량이다. 국내 대다수 대학의 가장 대표적인 에너지원은 전력과 구내 보일러를 운전하기 위한 화석연료이다.

에너지 또는 온실가스 배출의 집약도를 설명하는 용어 중 가장 대표적인 용어는 에너지 원단위(Energy Intensity)이다. 에너지 원단위는 제품 단위생산량 에너지 사용량 또는 소비량을 의미하며, 이 경우 더 정확한 표현은 물량 에너지원단위(Physical Energy Intensity or Specific Energy Consumption)이다. 에너지 원단위는 해당 플랜트나 회사의 에너지 효율을 나타내는 주요한 지표이며, 크기가 작을수록 효율이 높다는 의미이다. 식 (1)은 다양한 제품단위에서 물량 에너지 원단위의 산출식이다.

반면 물리량이 기준이 아닌 매출액이 기준인 경우에도 원단위라는 용어가 널리 사용하는데 이는 매출액 백만원(경우에 따라서 1000[\$], 2000[\$] 등)당 에너지

사용량을 의미한다. 이 경우 좀 더 세부적인 용어는 부가가치 에너지 원단위이다.

$$\text{에너지원단위} = \frac{\text{에너지사용량}}{\text{개별제품단위}[kg, 개, 대...]} \quad (1)$$

학교, 공공기관 등의 비 생산플랜트에서는 건축물을 중심으로 에너지사용량을 분석하고, 건축물 단위면적당 에너지사용량이 에너지원단위로 널리 사용된다[6-8]. 그러나 비 생산플랜트에 있어서 구성원들이 에너지 소비의 주체이므로 해당기관의 구성원 또는 이용자를 중심으로 한 추가적인 관점의 정의가 필요하기도 한데, 이는 에너지 원단위의 기준을 구성원 1인으로 산정하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 건축물 중심의 단위 면적당 에너지사용량이라는 에너지원단위와는 별도로 캠퍼스 구성원 1인당 연간 사용에너지 및 온실가스 배출량을 에너지 및 온실가스 원단위라고 정의한다.

2. 본 론

2.1 캠퍼스의 에너지 맵(Energy map)

국내 대다수 대학의 캠퍼스는 비교적 넓은 대지 위에 다수의 건물이 산재해 있는 구조이다. 다수의 건물은 주로 조명, 냉난방, 전산 장치들을 위하여 에너지원을 사용하는데, 여름철 냉방을 위한 에너지원은 에어컨이 사용하는 전력이 주가 되고, 난방, 온수의 경우에는 보일러 운전에서 사용되는 화석연료가 주가 된다.

화석연료를 사용하는 보일러의 경우 모든 건물마다 보일러실이 있는 것은 아니다. 경우에 따라서는 한 개의 보일러실로부터 여러 건물에 온수 또는 난방용 스팀을 공급하는 구조도 널리 사용된다. 이때 모든 건물마다 유량계가 있어서 개별 건물에 대한 에너지 사용량 관리가 된다면 해당 건물이 사용하는 보일러로부터의 열량을 계산하여 에너지사용량을 산정할 수 있으나 그렇지 아니한 경우에는 적절히 추정할 수 밖에 없다. 전력의 경우 주변전선로부터 각 건물에 해당하는 배전반마다 전력량계가 있다면 이를 통해 각 건물

이 사용하는 전력량을 파악할 수 있다. 그렇지 아니한 경우에는 마찬가지로 추정 과정이 필요하다.

캠퍼스 근처 주요 정거장까지 또는 캠퍼스 구내에 무료 셔틀 버스를 정기적으로 운행하는 학교도 있다. 셔틀버스가 사용하는 연료는 캠퍼스 구내 에너지 소비로 간주 할 수 있으므로 온실가스 배출량에 추가해야 한다. 차량에 의한 이동 연소 배출량의 계산은 식 (2)와 같으며, 표 1의 휘발유의 온실가스 배출계수 (kg/TJ)를 고려하여 셔틀버스에 의한 온실가스 배출량을 산정한다[9-10].

$$\begin{aligned} & \text{온실가스 배출량 [kg]} & (2) \\ & = \Sigma(\text{연료소비량 [l]} \times \text{발열량 [MJ/l]} \\ & \times \text{온실가스 배출계수 [kg/TJ]} \times 10^{-6}) \end{aligned}$$

표 1. 주요 연료의 온실가스 배출계수
Table 1. GHG emission factors of some fuels

연료	온실가스 배출계수(kg/TJ)			
	GHG	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
휘발유		69,300	25	8
경유		74,100	3.9	3.9

이외에 캠퍼스 구내 상업시설(편의점, 매점, 은행 등)의 경우에 상업시설의 사용전력, 에너지가 분리가능한 경우에는 상업시설의 에너지 원단위를 별도로 분리하여 분석할 수도 있으며, 현실적으로 분리가 곤란한 경우에는 개별 상업시설을 해당건물에 포함된 것으로 간주할 수도 있다.

위의 내용들을 정리하여 캠퍼스 구내에서 사용하는 에너지량을 나타낸 표를 에너지 맵(Energy map)이라고 부른다(생산 플랜트에서 에너지 맵은 제조 공정용 기준으로 하여 에너지 사용량을 작성한 표임).

2.2 캠퍼스 구성원의 구분

캠퍼스 구성원의 배치를 파악하려는 이유는 대학 구성원들에 따라 에너지 사용 구조가 매우 다를 것이라는 이유에서이다. 즉 교직원들은 대학에 상시근무를 한

다. 반면에 학생은 학교에 상주하지 아니하며 학기 중에만 주로 캠퍼스에서 생활하지만 방학 기간 중에는 캠퍼스에 상주하지 아니한다. 따라서 교직원과 학생 사이의 에너지 사용량은 매우 다를 것이다.

대학교의 구성원은 대표적으로 보면 학생, 교수, 교직원이며, 좀 더 자세히 고려한다면 강사, 외주직원 및 구내 상업시설의 인원, 대학원생을 포함할 수 있다. 이 구성원들은 캠퍼스내의 소속된 기본위치에 주로 존재하나, 위치의 변화는 다양하다. 예를 들어 학생들은 소속된 기본위치(학과 사무실과 전공 강의실이 존재하는 건물)에서 강의를 수강하고, 도서관에 가며, 학생식당을 이용하고, 동아리방에 들른다. 따라서 구성원들의 위치산정이 복잡해질 수밖에 없으며, 이를 위해서 구성원의 기본위치 뿐 만 아니라 교내활동에 대한 추가적인 조사와 추정이 필요하다. 또 상업시설 인원은 기본위치에서 주로 근무하는 전업 근무자들이니만큼, 교직원들과 동일하게 기본위치에 상주하는 것으로 분석해도 무방하다고 사료된다.

이에 대한 상세 분석을 위해서는 구성원들의 행동패턴에 대한 면밀한 조사가 수행되어야 하지만, 이는 본 논문의 범위를 벗어나는 매우 복잡한 작업이다. 따라서 본 연구의 목적인 간략한 온실가스 배출구조와 온실가스 배출 원단위 산정을 위해서는 구성원의 위치를 단순화할 필요가 있다. 즉 대학의 구성원의 소속에 따라 해당 구성원의 기본위치를 결정하고, 구성원의 이동에 따라 위치하는 건물과 머무르는 시간과 에너지사용량을 기초로 하여 에너지 원단위, 온실가스 배출 원단위를 산정하고, 목적하는 정확도에 따라서 세분화하여 적용한다. 이 결과를 2.1절의 에너지 맵과 결합하여 분석하면, 캠퍼스 구성원들의 에너지 및 온실가스 배출 원단위를 산정할 수 있다. 물론 이는 구성원의 이동을 매우 단순화한 것으로써 오차를 포함하고 있으나, 사용에너지 총량을 전체 구성원으로 나누어 산정한 일반적인 온실가스 배출 원단위산정 보다는 정확한 산정기법이며, 에너지 맵을 얼마나 세분화하고 조직의 구성원의 위치를 얼마나 자세히 배치할 것인가에 따라 결과의 정확도를 제고할 수 있다. 이에 대한 판단은 전적으로 해당연구의 예산, 투입시간, 목표로 하는 정확도 등에 의해 결정된다.

2.3 모델 캠퍼스의 사례

모델 캠퍼스를 설정하여 위 2.1 및 2.2절에서 살펴본 것처럼 에너지 맵을 산정하고 에너지 및 온실가스 배출 원단위를 산정하였다. 모델 캠퍼스는 국내 A대학이다. A대학은 학부생 약 7000여명, 교수, 교직원, 대

학원생 약 700여명과 구내에 약 20여개의 개별 건물로 구성된 대학이다. A대학의 2010년 기준 연간 사용에너지는 도시가스 약 1,483,000[m³], 전력량 14,264 [MWh]이다. 우선 2.1절에서 살펴본 것처럼 모델 캠퍼스의 에너지 맵을 표로 그려보면 표 2와 같다.

표 2에서 세로축은 에너지 사용량을 가로축은 캠퍼

표 2. 모델 캠퍼스의 에너지 맵
Table 2. The energy map of the model campus

	년	월	소계	1	2	3	4	5	-	6	7	8	9	10	
건물명	-	-	-	A	보일러실1	B	C	D	E	보일러실2	F	G	H	I	J
연면적[m ²]	-	-	-	-	-	6,993	5,592	7,070	1,832	-	4,080	4,970	9,110	12,847	23,548
배분factor	-	-	-	-	-	0.2221	0.1776	0.2245	0.3758	-	0.1316	0.1603	0.2938	0.4143	-
도시가스 [m ³]	2010	3	197,461	71,580	47,406	10,529	8,419	10,643	17,815	3,555	468	570	1,044	1,473	553
		4	107,557	60,236	20,672	4,591	3,671	4,641	7,769	2,612	344	419	767	1,082	330
		5	49,467	39,624	7,277	1,616	1,292	1,634	2,735	1,059	139	170	311	439	-
		6	23,455	14,130	4,063	902	722	912	1,527	332	44	53	98	138	-
		7	19,915	4,434	2,258	502	401	507	849	226	30	36	66	94	608
		8	24,485	6,680	2,918	648	518	655	1,097	197	26	32	58	82	826
		9	32,105	23,820	3,980	884	707	894	1,496	554	73	89	163	230	12
		10	79,369	48,760	15,471	3,436	2,748	3,473	5,814	1,878	247	301	552	778	2,511
		11	145,067	54,490	37,739	8,382	6,702	8,472	14,182	2,854	376	457	839	1,182	1,237
		12	291,869	72,805	92,719	20,593	16,467	20,815	34,844	4,600	605	737	1,351	1,906	17,077
	2011	1	269,121	63,930	89,106	19,790	15,825	20,004	33,486	4,498	592	721	1,322	1,864	17,558
		2	242,795	130,410	45,687	10,147	8,114	10,257	17,169	3,732	491	598	1,096	1,546	8,901
년총계			1,482,666	590,899	369,296	82,021	65,587	82,907	138,781	26,097	3,434	4,183	7,667	10,814	49,613

	년	월	11	12	-	13	14	15	16	17	18	-	19	20	21	22	23
건물명	-	-	K	L	보일러실3	M	N	O	P	Q	R	보일러실4	S	T	U	V	W
연면적[m ²]	-	-	11,984	14,381	-	6,900	18,798	6,092	12,004	11,104	3,780	-	3,780	5,600	5,600	11,182	1,848
배분factor	-	-	-	-	-	0.1176	0.3204	0.1038	0.2046	0.1892	0.0644	-	0.2523	0.3738	0.3738	-	-
도시가스 [m ³]	2010	3	26,692	43,568	49,455	5,816	15,845	5,133	10,118	9,357	3,185	16,446	4,149	6,148	6,148	7,344	1,124
		4	21,295	38,327	15,411	1,812	4,938	1,600	3,153	2,916	992	5,137	1,296	11,920	1,920	2,189	971
		5	14,249	25,078	629	74	202	65	129	119	41	-	-	-	-	37	841
		6	5,008	9,075	4,416	519	1,415	458	904	836	284	-	-	-	-	-	514
		7	304	4,037	12,091	1,422	3,874	1,255	2,474	2,288	779	-	-	-	-	-	298
		8	2,185	4,366	13,553	1,594	4,342	1,407	2,773	2,564	873	24	6	9	9	103	184
		9	9,568	14,002	2,728	321	874	283	558	516	176	300	76	112	112	36	675
		10	17,577	30,721	6,577	773	2,107	683	1,346	1,244	424	2,325	587	869	869	1,016	831
		11	18,418	35,332	29,599	3,481	9,484	3,072	6,056	5,600	1,906	12,909	3,257	4,825	4,825	5,226	1,014
		12	21,999	48,286	69,215	8,140	22,176	7,185	14,161	13,095	4,457	22,102	5,576	8,262	8,262	11,844	1,509
	2011	1	18,756	41,649	73,333	8,624	23,496	7,612	15,004	13,875	4,723	18,196	4,591	6,802	6,802	1,434	1,068
		2	62,570	67,840	36,562	4,300	11,714	3,795	7,481	6,918	2,355	11,635	2,936	4,349	4,349	4,721	1,148
년총계			218,621	362,281	313,569	36,876	100,468	32,548	64,156	59,327	20,194	89,074	22,473	33,296	33,296	33,950	10,177

표 3. 학기 중 주당 구성원 배분

Table 3. Member-allocation per week during one semester

건물명	-	A	B	C	D		E		F	G		H		I		J		K		L	
인원 구분	-	F	F	F	P	F	P	F	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F
인원	8,491	5	124	200	907	52	1289	102	10	496	175	546	26	0	58	111	9	700	6	800	10
전공(업무) 거주량 소계	211,357	-	5,580	-	11,888	2,340	16,895	4,590	450	6,495	7,875	7,157	1,170	37,780	2,610	1,452	405	-	270	-	450
교양 거주량 소계	68,005	-	-	-	12,586	-	17,139	-	-	2,678	-	6,159	-	-	-	321	-	-	-	1,840	-
수업(업무) 외 거주량	148,039	120	-	11,000	-	-	-	-	1,420	-	-	-	-	-	-	-	-	65,073	-	72,266	-
파트타임 거주자 거주량 합	376,926	-	-	-	24,475	-	34,034	-	-	9,173	-	13,316	-	37,780	-	1,773	-	65,073	-	74,107	-
풀타임 거주자 거주량 합	50,475	120	5,580	11,000	-	2,340	-	4,590	1,870	-	7,875	-	1,170	-	2,610	-	405	-	270	-	450
거주량 총계	427,401	120	5,580	11,000	24,475	2,340	34,034	4,590	1,870	9,173	7,875	13,316	1,170	37,780	2,610	1,773	405	65,073	270	74,107	450

건물명	M	N		O	P		Q		R		S		T		U		V		W		
인원 구분	P	F	P	F	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F
인원	0	13	0	13	15	858	53	661	41	1146	60	392	20	599	17	336	16	300	14	0	9
전공(업무) 거주량 소계	2,617	585	23,145	585	675	11,248	2,385	8,656	1,845	15,022	2,700	5,142	900	7,851	765	4,405	720	3,936	630	-	405
교양 거주량 소계	4,659	-	1,606	-	-	5,623	-	7,498	-	4,659	-	428	-	214	-	-	-	428	-	321	-
수업(업무) 외 거주량	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
파트타임 거주자 거주량 합	7,276	-	24,751	-	-	16,872	-	16,154	-	19,681	-	5,570	-	8,066	-	4,405	-	4,365	-	321	-
풀타임 거주자 거주량 합	-	585	-	585	675	-	2,385	-	1,845	-	2,700	-	900	-	765	-	720	-	630	-	405
거주량 총계	7,276	585	24,751	585	675	16,872	2,385	16,154	1,845	19,681	2,700	5,570	900	8,066	765	4,405	720	4,365	630	321	405

* 주! 파트타임거주자 거주량 합계 376,926에는 구성원 기본위치에서 추가 거주량 9,732가 포함되어 있음. 건물 C의 200, K, L의 700, 800은 중복인원이므로 총인원 8,491에는 포함되지 않음. 풀타임거주자의 거주량 대부분은 전공(또는 업무) 부분에 포함되어 있음.
 인원구분 P : 파트타임거주자(Part-timer), F : 풀타임거주자(Full-timer)

스내의 건물을 의미한다. 열에너지의 경우, 한 개의 보일러실로부터 각각 다수의 건물로 스팀이 공급될 때 건물들마다 유량계가 설치되어있지 않으므로, 이 경우에는 개별 건물 총 연면적의 비를 가중치로 하여 보일러가 사용하는 도시가스를 해당 개별건물의 사용에너지로 배분하였다. 예를 들어 보일러실 1로부터 B, C, D, E 4개의 건물에 스팀이 공급되는데, 건물 4개동의 연면적 비는 각각 0.2221, 0.1776, 0.2245, 0.3758이다. 따라서 보일러실 1이 사용한 도시가스량 369,296[m^3]를 4개의 건물에 각각 82,021[m^3], 65,587[m^3], 82,907[m^3], 138,781[m^3]로 배분하였다[9].

개별 건물이 사용하는 전력은 전력량계에 의해서 계측되어야 하는데, 모델 캠퍼스의 경우 개별 건물마다 전력량계가 존재치 아니하므로, 개별건물의 전력량을 직접 파악할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 캠퍼스

에 부하가 균등하게 분포되어 있다는 가정을 하고 전력사용량을 구성원에 대하여 일괄배분 하였다. 이는 정확한 전력의 배분을 확인하기 어려운 현실을 고려한 어쩔 수 없는 추정 방법이며, 부하의 종류와 배치가 비교적 규칙적인 생산 플랜트에서도 적용하기도 한다.

모델 캠퍼스에서는 등하교 및 출퇴근용 무료 셔틀버스를 운용하며, 이는 구내 사용에너지로 간주할 수 있으므로 이에 대한 산정이 필요하다. 연간 셔틀버스의 경우 사용량은 운행거리와 연비를 고려하여 약 31,200[L]로 추정하였다. 따라서 식 (2)와 표 1에 의한 연간 온실가스 배출량은 약 81.7[ton ω_{2eq}]로 산정하였다. 셔틀버스는 이용자의 98[%] 이상이 학부생들이므로 이 배출량은 학부생에 대해서만 배분하였다.

1절에서 설명한 것처럼 에너지, 온실가스 배출 효율을 정량적으로 표시하기 위한 대표적인 지표는 원단

위이다. 따라서 모델 캠퍼스에서 캠퍼스 구성원의 에너지 및 온실가스 원단위 즉 구성원 1인당 연간 에너지 사용량과 온실가스 배출량을 산정해야 하는데 두 가지 방법으로 산정이 가능하다.

첫째, 캠퍼스 전체의 에너지사용량과 이를 환산한 온실가스 배출량을 전체구성원의 수로 일괄 배분하는 것이다. 이는 일반적이고 간단한 방법이나, 구성원별 원단위를 산정할 수는 없다.

다른 한 가지는 본 연구에서 제시한 2.1, 2.2절에서 제시한 방법이다. 즉 전체 에너지사용량 분석과 구성원의 위치정보를 통합하여 캠퍼스 주요 구성원별 온실가스 배출 원단위를 산정하는 것이다. 표 2의 에너지 맵을 기초로 하고, 추가적으로 각 건물별 구성원의 위치정보를 세분화하면 세부 구성원들(공과대 학부생, 인문대 학부생, 사회과학대 학부생 등과 같이 세분화된 구분)의 구성원 1인당 온실가스 배출 원단위의 개별 산정이 가능하다. 하지만 본 연구에서는 에너지 맵과 세부 구성원들의 위치정보 파악에 대한 정보가 제한적이기 때문에, 캠퍼스 내에 구성원을 구내에 상주하는 풀타임거주자(Full-timer : 교수, 교직원, 대학원생, 상업 시설 및 외주 인원)와 캠퍼스에 상주하지 않는 파트타임거주자(Part-timer : 학부생, 강사, 파트 대학원생) 두 가지로만 분류하고 표 3만을 사용하여 에너지원단위, 온실가스 배출 원단위를 산정하였다.

표 3은 풀타임거주자, 파트타임거주자 구성원의 소속 및 활동량을 나타낸 표이다. 연구의 간략화를 위해 풀타임거주자인 경우에는 소속 위치를 주요 한개 지점만으로 한정하였다. 파트타임거주자의 대다수인 학생들은 강의실에 따라 위치를 나누어 시간을 배분하였고, 그 외 시간은 설문조사를 통하여 위치를 배분하였다. 표 3에는 구성원 수와 거주시간을 곱하여 거주량(Total occupied time)이라는 지표로 도입하였는데, 단위는 [person · hour]이다. 즉 거주량은 구성원 개인이 캠퍼스 구내의 특정 건물에 머문 시간을 가중치로 하여서 에너지사용과 온실가스 배출을 배분하기 위한 지표이다. 결국 표 3의 구성원의 배분표에 의해서 캠퍼스에서 사용한 에너지를 구성원에 배분함으로써 캠퍼스의 (구성원 1인당) 에너지 및 온실가스 배출 원단위를 산정할 수 있다. 연간 2개 학기와 방학 기간의 거주량

을 고려한 최종 결과는 표 4에서 요약, 비교하였다.

모델 캠퍼스의 연간에너지 사용량은 등가 석유 환산톤으로 산정하여 4,659[toe](toe : ton of oil equivalent)이며, 연간 이산화탄소 등가배출량은 10,137[ton CO₂eq]이다. 따라서 사용에너지 총량을 전체 구성원으로 나누어 산정한 모델캠퍼스의 연간 에너지 원단위와 온실가스 배출 원단위는 각각 0.549[toe/person]과, 1.194[ton CO₂eq/person]으로 산정할 수 있다. 반면에 본 연구에서 제시한 방법에 의해 산정한 에너지 및 온실가스 배출 원단위는 파트타임거주자의 경우 0.497[toe/person], 1.081[ton CO₂q/person]이고, 풀타임거주자의 경우 1.119[toe/person], 2.429[ton CO₂eq/person]이다.

표 4. 연간 에너지 및 온실가스 배출 원단위
Table 4. Annual SEC and specific GHG emission

-	에너지 사용량 및 배출 총량 [toe] [ton CO ₂ e]	총량 기준 산정	구성원 별 산정	
			파트타임 거주자	풀타임 거주자
인원	-	8,491	7,781	710
에너지원단위 [toe/person]	4,659	0.549	0.497 (-9.48)	1.119 (103.9)
온실가스 배출 원단위 [tonC CO ₂ e/person]	10,137	1.194	1.081 (-9.44)	2.429 (103.4)

주 : ()내는 총량기준 산정 대비 증감율(%),
- 부호는 총량기준 산정 대비 감소를 의미함.

다시 말하면, 파트타임거주자의 온실가스 배출 원단위는 에너지 사용 총량과 전체인원에 의해 산정한 총량 기준 산정 원단위보다 약 9.44[%]정도 작아지며, 풀타임거주자의 원단위는 총량 기준 산정 원단위보다 103.4[%] 상승되었다. 에너지사용 원단위도 이와 유사한 비율로 세분화할 수 있다. 이는 에너지 사용량 분석과 구성원의 활동 분석에 의해서 캠퍼스 주요 구성원별의 에너지 사용 및 온실가스 배출구조가 좀 더 명확히 해석되었음을 의미한다. 세부적인 구성원의 위치정보 및 분석, 개별 에너지 사용처의 세분화 정보 취득이 가능하다면, 향후에는 풀타임거주자, 파트타임거주자 형태의 구분보다 더욱 자세한 세부 구성원별 에

너지 원단위 및 온실가스 배출 원단위의 산정이 가능할 것이다.

3. 결 론

본 연구에서 주요기관 중 하나인 대학교 캠퍼스의 에너지 소비 구조와 그에 따른 에너지 및 온실가스 배출 원단위를 산정하였다. 캠퍼스는 넓은 대지위에 다수의 건물이 배치된 구조이며, 일반 건물부하와 다른 에너지 소비구조를 갖는데 이는 구성원의 이동에 기인한다. 일반 건물에서는 구성원의 위치가 결정되어 있고 이동성이 적지만, 캠퍼스의 경우 다수 구성원인 학생들은 캠퍼스내의 많은 건물들을 매우 불규칙적으로 이용한다. 따라서 금번 연구에서는 캠퍼스의 구성원을 풀타임거주자(Full-timer : 교수, 교직원, 대학원생, 상업시설 및 외주 인원), 파트타임거주자(Part-timer : 학부생, 강사, 파트 대학원생) 두 가지로만 간소화하고 이 중에서 이동성이 가장 큰 학부생에 대해서 위치를 분석하였다. 구성원 수와 거주시간의 곱을 거주량(Total occupied time)으로 정의하고, 이를 가중치로 풀타임거주자와 파트타임거주자에 대하여 사용에너지를 배분함으로써 구성원에 대한 에너지 및 온실가스 배출 원단위를 산정하였다.

구성원 구분 없이 산정한 총량 기준 산정의 경우, 연간 온실가스배출 원단위는 1.194[ton CO₂eq/person]으로 산정되었으나, 구성원을 세분화하여 산정하면, 파트타임거주자의 경우에 온실가스 배출 원단위는 1.081[ton CO₂eq/person]으로서 총량 기준 산정의 경우 보다 약 9.44[%] 작게 산정되었고, 반면에 풀타임거주자의 경우 온실가스 배출 원단위는 2.429[ton CO₂eq/person]으로서 약 103.4[%] 증가하였으므로 약 2배 정도 크게 산정되었다. 에너지 소비 원단위도 유사한 비율로 구분된다. 이와 같은 기법은 생산제품이 존재하지 않는 비 생산플랜트인 공공기관, 연구소, 학교, 병원 등에서 구성원 1인당 에너지 및 온실가스 배출 원단위를 산정할 때 유사하게 적용할 수 있을 것이다.

향후 추가적인 연구에서는 구성원들의 세분화, 활동 정보 상세 분석 및 다수의 계측 정보 확보를 통해 더

욱 자세한 에너지 및 온실가스 배출 원단위를 산정하는 연구가 있어야 할 것이다.

References

- [1] 산업자원부, "기후변화협약 대응을 위한 중장기정책 및 전략에 관한 연구", 2004.
- [2] Carbon Trust, DEFRA, BSI, PAS2050: 2008 - specification for the assessment of life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, 2008. <http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050/>
- [3] 지식경제부, 농림수산부, 국토해양부, 환경부 공동보도자료. "온실가스 에너지 목표관리업체 470개 지정", 2010.9.28.
- [4] R. J. Koester et al., "Greening of the campus: A whole-system approach", Journal of cleaner production 14, pp.769-pp.779, 2006.
- [5] K. J. Tipton et al., "Environmental indicators for Carnegie Mellon University", 2004.
- [6] 홍원화, 이춘미, 김주영, 조수, "종합대학의 에너지소비원 단위 작성에 관한 연구", 대한건축학회논문집 제24권 11호, 2008.
- [7] 박강현, 김수민, "대학교 건축물의 에너지소비 특성 및 변화 추이 분석 : 서울 소재 A대학교의 에너지 소비 실태를 중심으로", 설비공학논문집, 제23권 9호, 2011.
- [8] 김세동, 유상봉, "대형 건물의 연간 에너지 사용총량 및 전력원단위 분석에 관한 연구", 조명·전기설비학회 논문지, 제23권 6호, 2009.
- [9] 환경부, "온실가스·에너지목표관리 운영 등에 관한 지침 제정안", 2010.11.
- [10] 환경부, 환경관리공단, "국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인", 2006.

◇ 저자소개 ◇



박형준 (朴亨俊)

1969년 9월 26일생. 1992년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1994~2000년 (주)효성중공업연구소 책임연구원보. 2003~2008년 동원EM 부설연구소 수석연구원. 2008년~현재 플랜트 컨설턴트.

E-mail: phjphj69@hotmail.com



이 옥 (李 旭)

1955년 2월 16일생. 1997년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1981~1992년 전주 비전대학 전기과 교수. 1992년~현재 대전대학교 전기공학과 교수.

Tel : (031)539-1911

Fax : (031)539-1910

E-mail: rheewook@daejin.ac.kr