

일본의 민생주택부문 에너지소비 및 절약기술관련 연구 개발동향

유 정 현[†], 유아사 카즈히로, 김 용 식^{*}
동경공업대학교 건축학전공, ^{*}인천시립대학교 건축학과

Trend Study on Research for Energy Consumption and Saving Method in Residential Sector of Japan

Jung-Hyun Yoo, Kazuhiro Yuasa, Yong-Sick Kim^{*}

Department of Architecture and Building Engineering and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo 152-8550

^{} Department of Architectural Engineering University of Incheon, Incheon 402-749*

ABSTRACT : Energy consumption in Korea and Japan has already progressed to high level. Especially, it will be important to take up the effort to achieve further energy savings in residential sector that has significant increase both nations. For this reason, research for energy consumption and saving method in residential sector compare Korea with Japan that of similar data to grasps the direction for energy savings. In addition for introduction of distributed energy system to residential sector, such as apartment house, the electricity and gas demand was simulated. To be more specific, several key characteristics were studied, such as housing type housing scale and width of common space.

Key words :Residential sector (건물부문), Energy consumption(에너지소비) Co-generation(열병합발전)

1. 서론

국가 전체 에너지 소비량의 약 26%를 차지하고 있는 건물부문(주택 및 상업부문)의 에너지 소비량은 매년, 꾸준한 증가 경향을 보이고 있다. 특히, 주택 부문의 경우, 생활수준의 향상에 따른 보유기기의 증가, 가전기기의 대형화 및 세대수의 증가 등을 이유로 향후, 주택 내 에너지 소비량의 증가 추세는 계속 될 것으로 전망 할 수 있다. 현재, 우리나라는 온실가스 감축 의무 국가가 아니지만, 온실가스 배출량 면에서, 가까운 시일 내에 배출량 삭감을 요하는 국제사회의 방향에 동참해야 하는 상황이 예측되어 지며, 주택부문

을 대상으로 하는, 적극적 에너지 대책의 필요성이 시급한 이유가 여기에 있다.

본 연구는, 이러한 사회적 배경을 토대로 주택 분야의 에너지 절약 방안에 대한 기초적 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다. 구체적으로, 2005년 2월에 공식적으로 비준된 교토 의정서 채택 전후에 이루어진, 일본과 한국의 주택부문 에너지 관련연구의 동향과 연구대상을 비교하여, 향후, 온실가스 감축 의무를 지게 될 경우의 주택 부문의 연구의 방향성을 제시한다. 또한, 신축 및 기존 개보수 주택에 대한 에너지 절감대책으로 보급되고 있는 소규모 열병합 발전 시스템의 소개와, 일본 건축학회의 표준형 주택 모델을 이용한 100세대 규모의 집합주택을 표준형으로, 주동형식별, 건물규모별로, 열병합 발전 시스템의 도입 가능성을 검토 하였다.

[†]Corresponding author

Tel: +81-80-3456-1599

E-mail address : rurikon76@hotmail.com

2. 일본의 민생부문의 에너지 소비 동향

Fig. 1 은 일본의 최종 에너지 소비량의 추이를 나타낸 그래프이다. 부문별로, 수송 24%, 산업 44%, 민생 32%를 차지하고 있으며, 그중 주택 부문은 민생부문의 약40%를 점하고 있다. 1990년대비, 30%의 증가를 보이는 등, 다른 분야에 비하여 꾸준한 소비량의 증가 추세를 볼 수 있으며, 향후, 주택부문에도 에너지 절약을 위한 적극적인 대책이 필요함을 시사하고 있다. Fig. 2 는 주택부문의 연간 세대 당 에너지 소비구성과 세대수의 변화를 나타낸 그래프 이다. 가전기기, 주택의 성능 향상으로 인해, 1995년을 기점으로 세대 당 에너지 소비량이 감소추세를 보이고 있음에도 불구하고, 전술한 바와 같이 에너지 소비량은 증가추세를 보이고 있다. 주요 원인으로서는, 단신세대의 증가에 따른 전체 세대수 증가 및 생활수준의 증가에 따른 기기의 대형화 등을 들 수 있다. 또한, 에너지 소비구성의 경우, 급탕과 가전기기 등의 소비량이 전체의 약 70% 정도를 차지한다.

3. 민생주택부문의 주요 연구 분야 동향

Fig. 3 은 교토의정서 채택전후의 10여 년간에 걸쳐서 행해진 한국과 일본의 민생분야 에너지 소비량에 관한 연구 편수이며, 한국건축학회 계획, 대회 논문집, 대한설비공학회의 대회 논문집과, 일본건축학회 논문집 및 대회 논문집을 조사대상으로 하였다. 전체건수는 한국이 742건, 일본이1559건 이었으며, 분야별로는, 한국은 업무분야를, 일본은 주택분야를 주된 연구대상으로 삼고 있음을 알 수 있다. Fig. 4 는 주택분야 연구대상을 분석한 결과이다. 한국은, 기후특성상 온열환경을 대상으로 한 연구가 매년 큰 부분을 차지하고 있으며, 95년 이후 열원, 공조 설비를 대상으로 한 연구도 이루어지고 있다. 일본의 연구와 비교해 볼 때, 자연채광이나 인공조명등에 관한 연구가 비교적 적음을 알 수 있다. 일본의 경우, 온열환경과 더불어, 태양광발전을 중심으로 하는 열원설비와 급탕설비가 큰 부분을 차지하고 있으며, 2001년 이후, 주택의 에너지 소비에 관한 실측조사 및 그에 따른 분석 등이 증가한 것을 볼 수 있다. Table 1 은, 주택에너지를

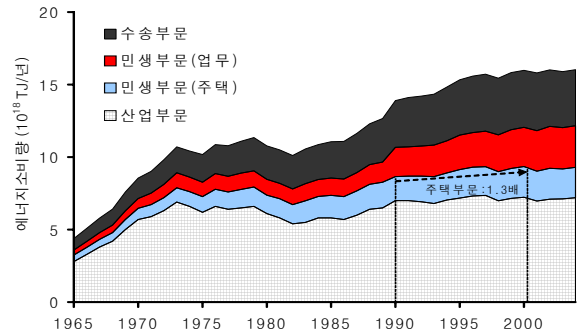


Fig. 1 Transition of energy consumption

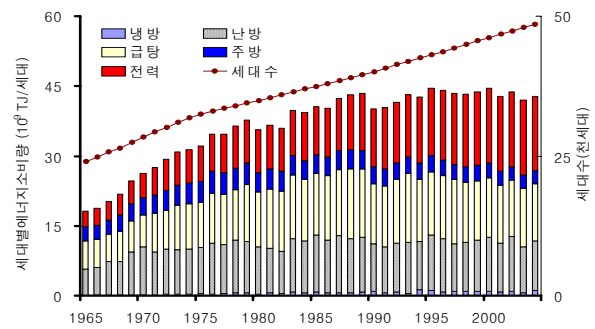


Fig. 2 Consist of Energy consumption

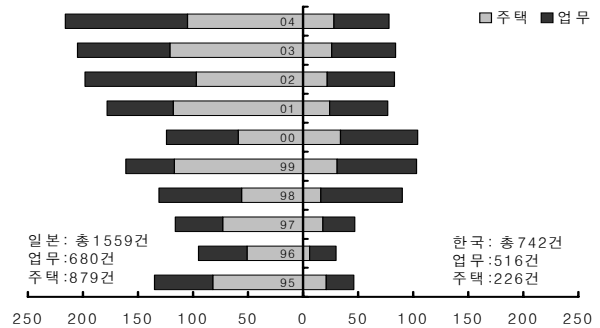


Fig. 3 Research trend of energy consumption in commercial/residential sector

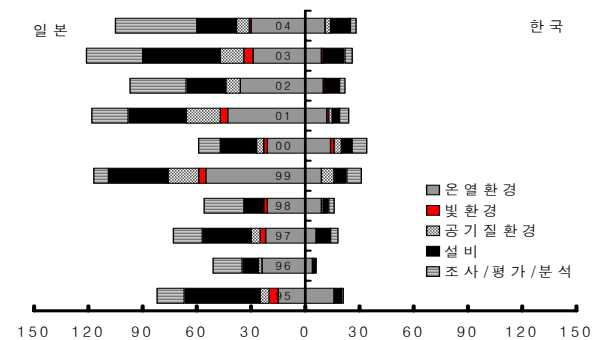


Fig. 4 Research subject of energy consumption in residential sector

대상으로 하는 연구 중, 일본건축학회의 위원으로 활동하는 연구자들의 일련의 연구를 정리한 것이다. 1995년-2000년도 까지는 주택의 용도별

소비량 파악과, 집합주택단지를 대상으로 한 코제네레이션의 도입에 관한 연구가 실시되었다. 2000년 이후에는 奥宮 등의 1kW 급 가스엔진을 이용한 코제네레이션의 주택도입에 관한 연구, 前 등의 세대구성원의 생활행위 및 패턴의 분석, 井上 등은 인터넷을 이용하여 전국의 주민을 대상으로 소비량과 생활양식에 대한 앙케이트 조사 등을 실시하였다. 2005년에는 吉野 등을 중심으로 에너지 절약행위가 주택에너지 소비량에 미치는 영향과 지속 가능한 절약행위에 대한 분석을, 湯淺 등은 거주자의 생활행위와 보유가전기기 등을 고려한 주택의 에너지 소비량 예측에 관한 연구를 진행했으며, 村上 등은 주택에너지 측정에 관한 방법론적 연구를 제시하였다. 2006년 에너지 사용의 합리화에 관한 법률이 개정되었으며, 주택의 용도별 에너지 소비량의 일변화(前), 및 전력소비량의 피크 값에 관한 연구(吉野)가 실시되었다.

이러한 연구의 흐름은, 용도별 소비량의 파악과 설비도입을 위한 기초조사에서 소비주체를 대상으로 하는 연구 및 전국규모의 데이터 수집 등 세분화와 동시에 종합적인 고찰의 방향으로 진행되고 있음을 알 수 있다. 일련의 연구의 성과로서, 주택 에너지 소비량에 영향을 미치는 인자로서, 입지조건, 단열성능, 거주자의 속성(직업), 세대 구성원수, 소득수준 등이 영향을 미치는 것으로 분석되고 있지만, 각 인자의 정도를 구체적인 수치로 판단하기는 어려운 점이 과제로 지적된다. 한편, 주택 에너지 소비량의 데이터 베이스화 와 통합적인 예측모델을 구축하기 위한 시도가 일본건축학회에서 이루어졌으며, Table 2 에 조사의 개요를 나타내었다. 2002년-2004년에 걸쳐서 에너지 절약기준상에 명시된 6개 지역의 단독, 집합주택 80호의 에너지소비량을 실측, 분석하였고, 4개의 분과를 구성하여, 소비량의 측정에서부터 소비량 예측모델까지의 주택에너지 소비량의 전반적인 부분을 포괄적으로 다루었다. 주된 에너지 소비량의 실측 대상으로서, 각 용도별 전력, 가스, 등유의 소비량을 측정하였으며, 각 주택의 열손실계수, 유효개구면적 등을 함께 조사하여, 지역별 주택의 성능분포와 해당지역의 특징을 파악했다. 이러한 결과는 향후, 주택의 전체적인 소비량의 파악과, 최대 최소소비량 등의 확인을 도모하는데 큰 역할을 하게 된다. Fig.

Table 1 Questionnaire survey of energy consumption in residential sector

학회					
일본건축학회	▲ 전국규모의 주택에너지 소비량 측정 (2002년~2004년)				
일본공기조화위생공학회	▲ 세대구성원의 생활행위를 고려한 에너지소비량 산출 (2004년)				
연구자					
연도	연구자	연구내용	A	B	C
1995	井上	동경도 주택에너지소비량실태조사 (1995~97)		○	
	尾島	집합주택의 코제네레이션시스템의 적용가능성검토 (1997~98)			○
	吉野	고단열 기밀주택의 에너지소비량에 관한 조사 (1996~97)		○	
	石田	단독주택의 에너지 소비량 파악 (1997)			○
	飯島	주택의 금탕소비량에 관한 조사 (1997~98)		○	
	佐主原	기존지역가주지역의 지역냉난방적용가능성검토 (2000)			○
	奥	주택용 소형 코제네레이션 시스템의 적용가능성검토 (2001~04)			○
	村上	주택 에너지소비량의 데이터베이스화 (2003~04)		○	
	飯島	동결근교를 대상으로한 에너지소비인자조사 (2002~04)			○
	前	생활시간의 패턴분류 (2003)		○	
	井上	앙케이트를 이용한 전국규모의 주택에너지 소비량 조사 (2004~06)		○	
	湯淺	주택의 에너지소비량 예측모델의 구축 (2005)			○
	村上	주택을 대상으로한 에너지소비량의 측정 시스템 (2005)		○	
	吉野	에너지 절약행위와 주택내 소비량과의 관계 (2005)			○
	下田	주택의성능및 기기성능 과 에너지소비량과의 관계 (2005)		○	
	長谷川	에너지 절약행위와 주택내 소비량과의 관계 (2006)			○
赤林	가정용 냉난방 기기의 에너지 소비량 및 기�효율(2005~07)			○	
飯尾	주택의 금탕소비량에 관한 조사 (2005~07)			○	
田中	주택의 용도별 에너지의 일·월변화 (2005~06)			○	
井上	주택의 용도별 에너지 소비량 조사 (2006)			○	
2007	坊垣	주택 전력소비량의 피크값에 관한 조사 (2006)			○

* A : 앙케이트조사, B : 실측조사, C : 시뮬레이션

Table 2 Measurement energy consumption survey of nation wide estimation

개요	
위원회	- 에너지소비량해석 위원회 WG-1 - 기�효율 위원회 WG-2 - 에너지절약 라이프스타일 검토 위원회 WG-3 - 마크로모델분석 위원회 WG-4
대상	- 4부부포함한, 3~4인가족세대 - 각지역의 주택분포특성을 반영한 주택 - 2년간의 장기측정에 대한 승인을 얻은주택
지역	에너지절약기준상에 명시된 전국 6개지역
기간	2002년~2004년 (동기, 중간기, 하기)
호수	80호(단독주택:54호, 집합주택:26호) *전전화주택 26호
항목	
에너지	- 주택전체 소비량 * 전력, 가스, 등유 소비량 - 각 용도별 소비량 * 전력, 가스 등유 : 금탕, 냉난방 * 전력 : 조명, 가전기기, 오락/정보기기, 가사위생
건물	- 총면적, 바닥면적 - 열손실계수 - 유효개구면적
필수조사항목	- 에어컨등의 냉난방기기, 냉장고, 전기온수기, 가스레인지, 도시가스소비량, 등유소비량

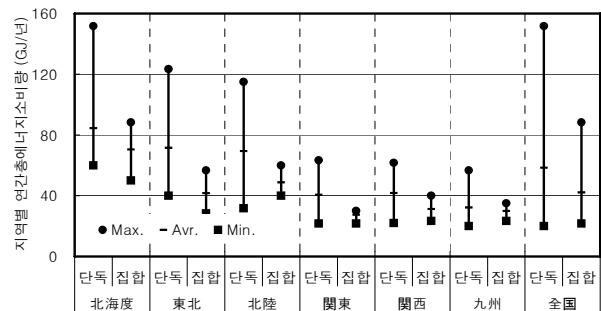


Fig. 5 Energy consumption of household in residential sector

5 는 전국규모의 실측조사결과의 일부로, 6개 지역의 단독, 집합주택의 연간 에너지소비량을 2차

에너지로 환산한 결과이다. 단독주택의 에너지소비량은 북측 지역일수록 난방용 등유, 가스 소비량의 비중이 크며, 그 결과, 關東이남 지역에 비해서 전체 에너지소비량이 매우 큰 것을 볼 수 있고, 최대 에너지 소비량은 150GJ/년(北海道)이다. 한편, 집합주택 에너지 소비량의 경우, 北海道를 제외하고는 건물의 구조적 특성으로 인해, 지역적 차이가 크게 생기지 않는 것을 알 수 있으며, 단독주택에 비해서, 최대 최소 소비량의 차이가 적은 것이 특징이며, 평균 소비량은 약 42GJ/년 이었다.

4. 에너지절약기술 관련 연구개발 동향

학회의 연구와 더불어, 기업 측에서는 공기열원 히트펌프와 소용량 열병합발전 시스템을 상품화 하고 있다. 그 중 Fig. 6 에 가스엔진을 이용한 1kW 급 코제네레이션 시스템을 단독주택에 적용한 예를 소개한다. 시스템용량은, 최대 급탕 수요를 기준으로 설정하며, 발전된 전력은 전력 수요의 일부를 충당하고, 배열은 보조열원이 장치된 저탕조와 연결하여 급탕에 이용하는 시스템이다. 한편, 이러한 분산형 전원으로서 5, 6, 9.9, 25kW 급의 시스템을 제공하고 있고, 복수대를 연계시켜서 적절한 시스템을 구성할 수 있는 장점이 있어 기존건축물의 개보수시의 에너지 대책기술로 기대되어지며, 신축 건물에 보급이 증가하고 있는 추세이다.

건물수명 증가 등의 사회적 배경을 기본으로 기존건축물에 전술한 코제네레이션 시스템의 적용을 검토 하였다. 먼저, 대상 집합주택의 에너지 소비량을 거주부와 공요부로 구분하여 산출한 후, 비교적 안정된 전력수요가 기대되는 공용부의 전력 수요량을 시스템의 용량 설정에 이용했다. Fig. 7 는 주택의 거주부의 에너지 소비량의 산정방법을 나타낸 것으로, 가전기기, 조명등의 에너지 소비량 및 급탕용 에너지 소비량은 생활 스케줄 자동작성 프로그램 SCHEDULE Ver. 2.0(이하Schedule) 을 이용하여 산정하였다. 또한, 냉난방 부하 산정은, 열 부하 산정 프로그램 SMASH For Windows(이하 SMASH)를 이용하며, 가전기기, 조명등의 내부발열을 고려하여 산정한다. 열 부하 산정에 필요한 공조 온도로서 냉방 26℃, 난방 22℃를, 급탕 온도로는 세면(14L/회), 주방



Fig. 6 Application of Gas engine Co-generation system (1kW level)

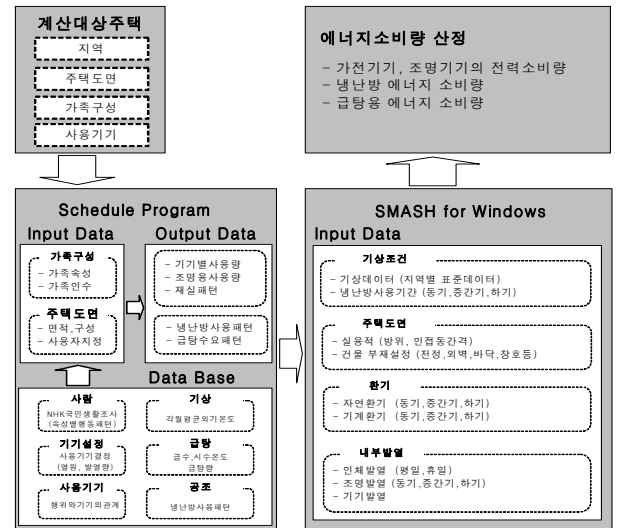


Fig. 7 Flow chart of calculating energy consumption

건물개요		
구조	호수	주동형식
RC조-10층	100호	편복도형
건물면적(m ²)		
건축면적	총연면적	거주부면적
980	10375	8105
공용부면적(m ²)		
엘리베이터홀	옥외계단실	옥외계단실
50	100	100
입구	공용복도	주차장
80	1000	800
주변장	집회실	관리인실
50	80	10
조건 일력항목		
지역	지역구분	동경
	일조조건	동지시,4시간의일조시간확보
	주요위치	중양층(중양부)
건물조건	주택모델	일본건축학회표준모델
	주요면적	81.05m ²
	건물성능	단열성능 신기준
		기밀성능 1.0회/h
가족구성	인수	4인
	속성	부부·고교생·중학생



Fig. 8 Configuration of standard apartment house type

(15L/회) 등은 39℃를, 급탕(200L/회)은 44℃로 설정하였다. Fig. 8 는 소비량 산정을 위해 설정한 100세대규모의 집합주택의 개요이다(이하 표준형). 각 주호의 면적 및 평면구성은 일본 건축

학회 표준 모델을 대상으로, 바닥면적은 81.05m²이다. 공용부의 면적은, 건축기준법과 동경에 위치한가족형 집합주택의 공용부 실측 조사에 근거하며, 총 면적은 2270m²으로, 건물 연면적의 약 18%를 차지한다. 주동형식은 가장 일반적인 편복도형을 채택하였으며, 전체 면적은 10375m²이다. 또한, 급수 시스템으로는 고치수조 방식을, 엘리베이터는 로프 방식을 채택하였다.

Fig. 9 은, 국민생활행위시간조사를 이용해 작성한 일반 직장인의 평일의 생활 스케줄로서, 90년도 와 2000년도를 비교한 결과이다. 90년도에 비해서, 재실시간이 30분정의 감소한것 이외에는 큰 차이가 없는 반면, 주부의 경우 가사, 쇼핑 등의 행위가 증가 하였다. 전력 및 가스 소비량은, 구성원 생활행위에 관련된 기기의 사용을 설정하고, 행위의 발생시간과 지속시간의 관계에서 각각의 소비량을 적산함으로써 에너지 소비량이 산정된다. Fig. 10 은 표준형 집합주택의 1차 에너지소비량 내역을 일적산한 결과이며, 전력소비량이 65%, 가스 소비량이 35%를 차지하고 있다. 전력소비량의 최대발생월은 14.7GJ/일 (2월)이며, 계절별로 공조, 조명에 의한 차이가, 가스 부문에서는, 시수 온도의 차이로 인하여, 월별 소비량의 변화가 생겼다. 주택전체의 연간 1차 에너지 소비량은 거주부 전력 소비량 4141GJ/년, 가스 소비량 2607GJ/년 및 공용부 전력 소비량 1118GJ/년으로, 총 7886GJ/년이다. Fig. 11 에 도입 시스템의 개념도를 나타내며, 가스엔진에서 발전한 전력은 공용부의 전력수요에, 배열은 저장조를 통해서 각 주호에 공급되게 된다. 가스 엔진의 정격효율은 용량에 상관없이 75%로

설정하였으며, 비교 시스템으로는 발전효율 36.6%의 상용전력, 급탕효율80%의 급탕기로 설정했다. 주동 설정에 있어서는, 표준형 주동의외에, 주동형식(CASE-1, 2), 공용부 면적(CASE-3, 4), 세대규모 (CASE-5-6)의 총 7CASE를 검토하였다. (TABLE 3) 가스엔진의 설계용량으로서, 계절 및 시간에 따른 변화의 폭이 적은 공용부의 전력 소비량을 대상으로 설정하였다. Fig. 12 은 표준형 공용부의 중간기(4,5월)의 일적산 소비량의 변화이다. 야간(18시-6시)에는 13kW, 주간(7시-17시)7kW의 전력수

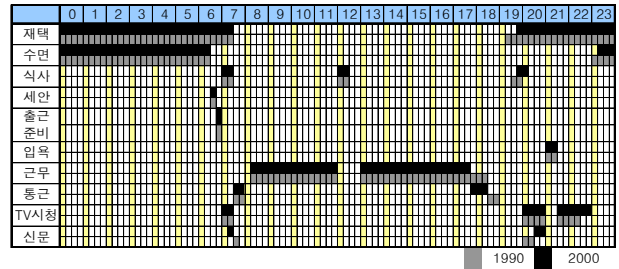


Fig. 9 Time lag behaviors of office employee

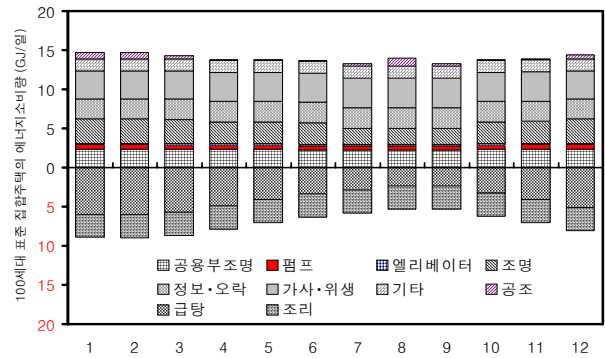


Fig. 10 Energy consumption per day of standard apartment house type

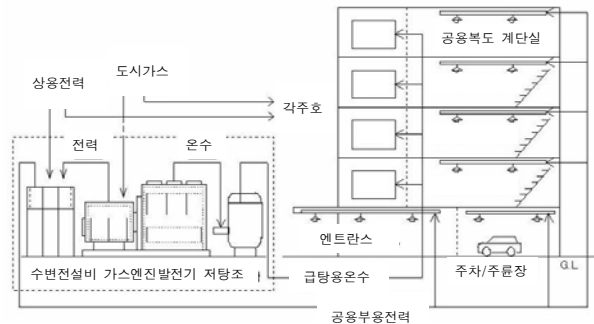


Fig. 11 Schematic diagram of Gas engine co-generation system

Table 3 Parameter condition

No.	명칭	건물 총연면적 (m ²)	공용부 면적 (m ²)	호수 (호)	주동 형식	각용도별면적(m ²)								
						입구	공용 복도	옥내 계단실	옥외 계단실	주차장	주문장	엘리베이터 홀	관리인실	집회실
표준형		10375	2270	100	편복도	80m ²	1000m ²	100m ²	100m ²	800m ²	50m ²	50m ²	10m ²	80m ²
CASE1	주동형식1	9975	1870	100	중복도	80	600	100	100	800	50	50	10	80
CASE2	주동형식2	10175	2070	100	홀형	80	600	200	200	800	50	50	10	80
CASE3	공용부 (대)	11555	3450	100	편복도	80	1200	120	120	1600	100	60	10	80
CASE4	공용부 (소)	9235	1130	100	편복도	160	800	80	80	0	0	40	10	80
CASE5	규모(대)	40820	8400	400	편복도	40	4000	300	300	3200	200	150	10	160
CASE6	규모(소)	2641	615	25	편복도	80	250	25	25	200	13	13	10	40
설정-1	각케이스의 주호면적은, 일본건축학회 표준모델을 이용한다.(RC조, 81.05m ²)													
설정-2	건축기준법 미난규정에는, 해당층의 바닥면적의 합계가 100평방미터를 초과할경우, 중복도의폭은1.6m이상, 편복도의폭은1.2m를 확보해야한다. 따라서, 본연구에서는 실측조사결과와 기법법을 참고하여 중복도는1.8m를, 편복도는1.5m로 설정했다.													
설정-3	건축기준법의 공용복도에관한기준A를 참고하면, 일반구조의경우, 옥외계단실의 최소폭은0.9m를 확보해야만하며, RC구조의경우, 1.3m의 폭을 확보해야함을 명시하고있다. 따라서, 본연구에서는 주차의 수치를 적용했다.													
설정-4	주차공간은, 폭2.5m 길이6.0m로 설정했으며, 주차방식은 자주주차방식을 적용했다.													
설정-5	CASE-3은, 입구에 로비, 라운지등의시설이 존재하며, 호수에 대응하는 주차공간을 확보하는 경우를, CASE-4는, 입구면적이 좁으며, 주차공간이 없는경우를 설정했다.													

요가 발생하며, 야간의 전력수요량을 시스템의 설정용량으로 하였다. Fig. 13 은 시스템의 배열 회수량, 발전량, 급탕부담율의 산정결과이다. 급탕부담율은 시수온도의 차이로 인해, 최소 40%(1월), 최대61%(8월)을 보였다. 비교대상인 급탕기의 효율과 차이가 거의 없으므로, 급탕 부담률의 증가는 에너지 절약효과에 직결 되며, 8월의 경우 18.5%의 에너지 절감효과를 기대할 수 있다.

Fig. 14 에 각 CASE의 산정결과를 나타낸다.

1) **주동형태의 영향:** 표준형에 비해, CASE-1, 2의 경우, 공용부 면적이 감소하여, 기기용량은 감소한다. 그러나, 상시점등 면적의 증가로, 시스템의 가동율이 증가하여, 급탕 부담율이 높아졌다. 에너지 절약효과 면에서는 표준형과 큰 차이를 보이지 않았지만, 경제적인 측면에서는, 표준형보다 유리할 것으로 판단된다. 2) **공용부면적의 영향:** 공용부 면적이 전체면적의 30%를 차지하는 CASE-3의 경우, 시스템용량이 20kW가 되며, 급탕 부담율은 77%, 에너지 절약효과는 20%를 상회하는 결과를 얻을 수 있었다. 한편, 공용부 면적을 최소화한 CASE-4의 경우에도, 급탕부담율 24%, 에너지 절약효과 10%를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 건물의 경우, 공용부 이외의 안정된 전력수요를 대상으로 할 경우, 시스템의 적용 효과를 증대시킬 수 있는 가능성이 고려된다. 3) **주동규모의 영향:** 급탕 수요는 세대수와 정비례하지만, 공용부의 면적은 반드시 정비례하지 않기 때문에, 전력수요량은 CASE-5에서 3배, CASE-6 1/3배 이었다. 그 결과, CASE-5의 경우 급탕부담율이 65%, 에너지 절약효과가 19%로 표준형에 비해 낮게 산출되었지만, CASE-6의 경우, 8월의 급탕 부담율은 80%를 상회하는 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결론

- 1) 한일 간의 건물부문의 에너지 관련 연구 동향의 분석을 통하여, 두 나라의 연구 방향과 대상을 확인하였다.
- 2) 주택 에너지 문제의 해결책으로서, 코제네레이션의 도입을 통한 에너지 절감효과를 검토했으며, 향후 건물 수명 증가에 따른 개보수시, 유효한 자료가 될 것으로 기대한다.

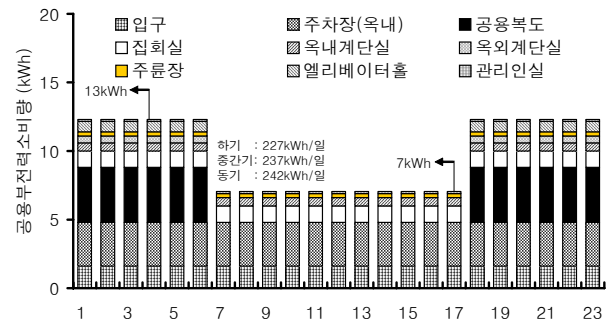


Fig. 12 Electric power consumption on common space

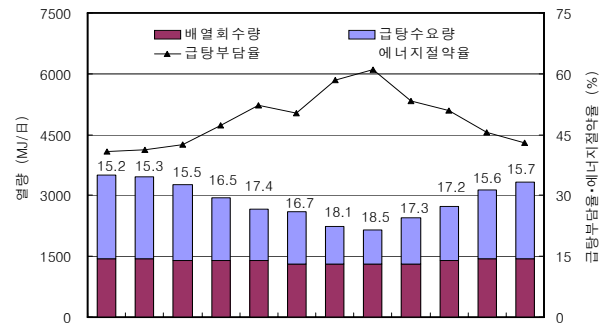


Fig. 13 Production of electricity, exhaust heat recovery volume and contribution percentage for bath

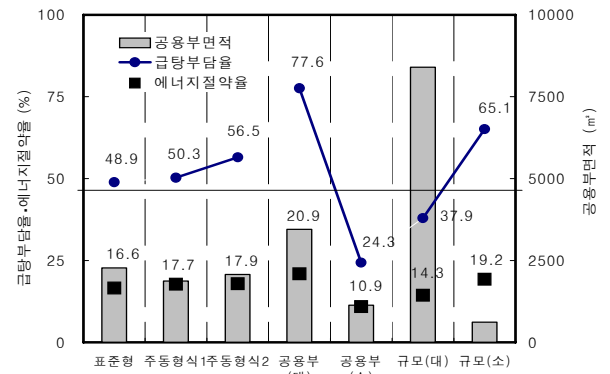


Fig. 14 Result of simulation on each case

참고문헌

1. White Paper on Energy 2005,2006 Agency for Natural Resources and Energy Japan
2. Japan Energy Conservation Handbook 2004 / 2005 , The Energy Conservation Center, Japan 2005
3. White Paper on Housing 2003, The Institute of Civil Engineering of Tokyo Metropolitan Government.
4. Shinichi Akabayashi, 2007, Study on the energy consumption of various electric appliances for the 80 houses in Japan, AIJ, No.619, p.61~p.69,