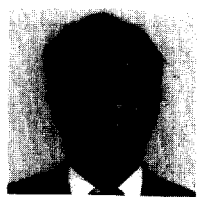
대형 환경 챔버 이용기술

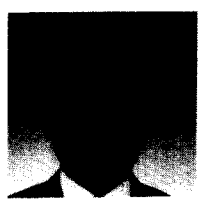
Climate Test Using Large-Scale Environmental Chamber

경 남 호
N. H. Kyong
한국에너지기술연구소 건축연구팀



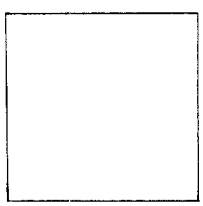
- 1955년생
- 건물에너지절약 및 환경분야에 관심을 가지고 있다.

서 항 석
H. S. Suh
한국에너지기술연구소 건축연구팀



- 1951년생
- 축소모형을 이용한 에너지 해석, 첨단 건물 자동화 시스템, 초에너지 절약형 창호개발에 관심을 가지고 있다.

유 헌 형
H. H. Yoo
한국에너지기술연구소 건축연구팀



- 1953년생
- 건축환경분야의 (Indoor) Air Quality에 관심을 가지고 있다.

1. 장치의 개요

환경시험장치(environmental test chamber)는 시험실내(피시험체로서는 외기)의 공기조건을 자연의 기후조건과 유사하게 재현하여 피시험체의 각종 기후에 대한 특성을 실험하는 장치로서 기본적으로 온도와 습도에 대한 제어가 필요하며 그외 강우, 강설, 일사등의 환경조건을 추가하여 더욱 실제 기후의 가까운 조건을 모사할 수도 있다. 시험실내의 온도범위는 -100~80℃ 정도의 넓은 범위로 가변 폭이 비교적 크며, 습도범위는 30~90% 정도를 일반적으로 채용하고 있다.

시험장치의 목적은 인공적으로 재현된 환경조건하에서 피시험체의 동특성, 정특성, 생체특성을 실험하고 측정자료의 분석을 통해 재료의 취성, 부식성, 공해 및 각종 기기의 성능, 인간공학적인 면등의 특성을 단시간내에 제어된 조건(controlled condition)내에서 밝혀내기 위한 것이다. 따라서 동일한 시험체를 이용하는 시험장치에 있어서도 『장치개발형』 『품질관리형』 『공해조사형』 『생체연구형』 등에 의해 시험장치의 규모나 내용이 현저히 달라진다.

시험체에 대한 주요 제어항목은 표 1과 같다. 차량, 주택, 항공기나 부품, 선박 등에 통

표 1 환경시험장치의 운전조건(예)

항 목	자 동 차	항공기, 로켓트	주 택	인 체
온도제어범위(℃)	-50 ~ 50	-100 ~ 100	-30 ~ 60	-40 ~ 40
습도제어범위(RH%)	30 ~ 90	15 ~ 95	30 ~ 90	20 ~ 90
실내기압(Torr)	360 ~ 800	—	—	460 ~ 800
온도 Cycle(℃)	—	-65 ~ 85	—	—
압력 Cycle(Torr)	—	10 ~ 760	—	—
풍속(m/s)	0 ~ 60	0 ~ 70	0 ~ 40	—
천공복사(℃)	40 ~ 80	40 ~ 250	50 ~ 80	40 ~ 80
노면복사(℃)	40 ~ 80	—	0 ~ 1000	40 ~ 80
일사량(kcal/m².h)	0 ~ 1200	0 ~ 500	0 ~ 300	0 ~ 1200
강우량(mm/h)	0 ~ 300	0 ~ 250	5	—
강설량(mm/h)	5 ~ 10	5 ~ 20	—	—
차의 속도(km/h)	0 ~ 150	—		—

신기재나 측정기구, 전선등을 부가하여 실험하게되면 제어할 변수와 범위가 증가한다. 특수한 용도의 시험장치로서는 동물사육실, 솔라 시뮬레이터, 인체실험실, 원예시험장치, 토양시험장치, 물이나 얼음, 눈 등에 대한 연구장치 등도 있다.

환경시험장치는 전술한 바와 같이 피시험체의 특질에 의한 큰 차이가 있지만, 사용조건에 의해 분류하면

- 고온 시험장비
- 저온 시험장비
- 전천후 시험장비
- 내후 시험장비의 4가지 형식이 있다.

이중 전천후 시험장치와 내후 시험장치는 유사하며 고저온의 변화, 습도의 변화를 기본으로 일사, 노면복사, 강우, 강설, 풍속, 기압, 모래먼지 등의 제어 항목이 추가되면 시험장치의 규모는 커진다. 또한 온습도 변화, 일사량 변화를 프로그램 제어로 수행하면 제어시스템이 대단히 복잡해진다.

환경 시험장치의 목적에 의해 분류하면

- 동적성능 시험장비
- 정적성능 시험장비
- 생체 시험장비
- 기후재현 시험장비와 같이 나눌 수 있다.

이 분류방식은 열부하의 대소를 나타내는 것이 되며 대부분의 시험체가 이 분류방식으로 나누어 지며, 이중 가장 시험장치가 규모가 크고 범위가 넓고 복잡한 것은 동적성능 시험장치이다.

동특성 시험을 주로하는 자동차, 항공기 등에서는 부하변동이 극히 크다. 따라서 실험실내에 여러가지 기후조건을 시험체에 주어서 실험목적을 달성시키기 위해서는 여러가지 제약이 따른다. 기술적인면 특히 control software 측면에 세심한 검토와 고도의 기술이 필요하다.

2. 동적성능 시험장치

일반 차량이나 항공기, 선박, 로켓트 등의 완성체 혹은 이들의 부품에 대해서 실제의 가동상황을 재현시켜서 실험체의 기계적 동특성을 실험, 실측하기 위한 장치를 동적성능 시험장치라고 한다. 따라서 온습도, 기타 제어항목이 다양하여 넓은 범위를 갖고 있기 때문에 시험목적에 의해 자동차나 항공기에서는 더욱 세분하는 것이 상례이다. 또한 실제면에서 대형의 시험체 예를 들면 항공기나 선박 등은 완성체 시험은 축소모델에 의한 것이 보통이며 주요 부품이나 통신기기, 제동장치등은 실물을 사용한다. 자동차 관계는 전차나 대형산업차량을 제외하고는 부하적으로도 크기면에서도 실용완성차가 그대로 시험체가 되므로 현재에는 환경 시험장치의 대부분을 차지하고 있다. 실제문제로서 자동차의 구성부품수는 15,000~20,000개 정도이며, 생산대수도 차종별을 무시한다면 수백만대를 넘고 사용 기후조건도 다양하므로 실험장치가 필수적이다.

실험목적도 여러가지로 나누어지므로 사용조건에 의한 분류 모두, 즉 동적성능 시험장치, 정적성능 시험장치, 생체시험장치, 기후재현 시험장치 모두를 포함한다. 표 2는 대표적인 자동차용 전천후 환경시험장치 예이다. 이러한 장치에는 예외없이 동특성 측정을 위한 동력계(dynamometer)가 설치되어 있어 차량의 속도, 엔진의 회전수에 의한 변화율을 측정하고 있으므로 시험장치의 대형화는 필연적이다. 더구나 무공해차 개발의 중요성이 크게 부각된 근래에는 각종 가스 분석기를 설치하고 밀폐된 실험실내에서의 공해물질발생에 대한 실험장치를 갖고 있을 것이 일반적이다.

그림 1은 자동차용 환경시험장치의 구성도(예)이다. 이러한 구성으로 이루어진 동적성능 시험장치의 사용구분에 따른 자동차 관련 시험법은 JIS-D204『자동차 부품의 고온 및 저온 시험방법』, D-203『자동차 부품의 내습 및 내수 시험방법』및 미국의 ASME- Power Test Code, SAC Standard-J816 Non supercharged spark ignition and diesel engine test code, J607 Test code for two-stroke and four-stroke cycle gasoline engine, 독일 dml DIN 규격등이 채택되고 있으며 각 회사마다 독자적인 시험방법을 갖고 있다. 공해문제는 NO_x로 유명한 캘리포니아 규격등도 채용되고 있다.

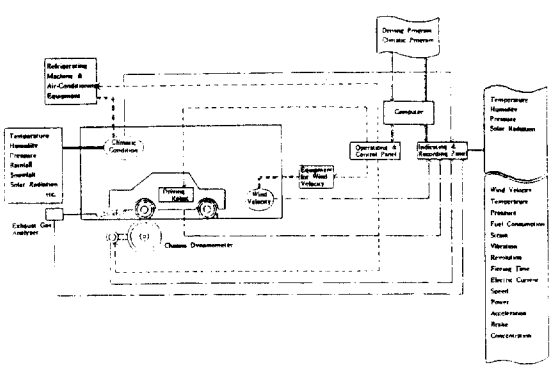


그림 1 자동차용 환경시험장치의 구성(예)

표 2 자동차용 전천후 환경시험장치의 예

구 분	대 실 험 실	소 실 험 실
온 도 범 위	-40℃~50℃	-62℃~30℃
온도정밀도	±2℃	±2℃
습 도 범 위	30~80%	30~80%
습도정밀도	±10%	±10%
강 우 량	10~300mm/h	-
강 설 량	100mm/h(실온은 -20℃ 전후)	-
신 선 공 기 량	900m³/h	900m³/h
적 외 선	120kW	0~1,200 kcal/m².h

2.1 고온 시험장치

고온 시험장치는 완성차용 대형 풍동장치가 대표적이다. 보통 20℃~60℃ 정도의 고온에서 실험을 하며, 총부하는 크나 냉동기의 용량은 그렇게 크지 않으며 대용량의 송풍기가 사용된다. 밀폐식 풍동장치에서는 보통 축류형 송풍기를 사용하여 5,000~3,000m³/min 정도의 풍량이 발생된다.

전동기는 500~2,500kW 정도이다. 기후조건으로는 열대지방에서 온대지방까지의 고온을 대상으로 하고 있으며 온도, 습도의 변화범위는 표 3과 같다. 최근에는 기압변화를 설계조건에 넣는 경우가 많으며 시험차의 속도를 모사하여 주로 풍속을 제어하며, test section에서 풍속범위는 0~200km/h정도이다. 완성차의 주행상태를 재현시키므로 차체 앞면에 부딪치는 풍속분포는 특히 엄하게 규제하며, 정밀도는 ±5% 이내로 하도록 한다.

부대설비로는 적외선등을 이용한 솔라 시뮬레이터나 노면복사용의 바닥판넬이 설치되는 예가 많다. 또한 강우장치가 부설되는 경우도 있다.

표 3 고온 풍동장치의 예

내 용	실 험 실	전 실
유 효 면 적	5.5m×11m×3m(H)	2m×2m×2.5m(H)
온 도 범 위	20℃~50℃(+2℃)	10℃~30℃
습 도 범 위	30~80℃RH(+10%)	-
일 사 량	최대1,300kcal/m².h	-
신 선 공 기 량	1,500m³/h	-
엔 진 부 하	최대250,000kcal/h	
냉각·가열시간	1시간 이내	

2.2 저온 시험장치

저온 시험장치는 주로 -60℃에서 부터 상온까지 온도를 제어한다. 저온 시험장치의 경우 실내부하의 대소가 냉동장치에 크게 영향을 미치므로 고온 시험장치에 비해서 엔진의 발열부하를 냉동기에 비해 크지 않도록 해야 한다. 온도제어의 경우 장치 노점온도가 빙점 이하로 되므로 서리에 의한 영향을 고려해야 한다. 따라서 엔진의 시동시험, 저온 주행성능 시험, 엔진의 냉각액이나 윤활유 계통시험, 자동차 히터 시험이나 카뷰레타의 동결시험, 와이퍼 작동시험 등을 주로 행한다. 재료의 저온취성 문제도 중요한 시험이다.

2.3 전천후 시험장치 및 내후 시험장치

전천후 시험장치와 내후 시험장치는 내용적으로 비슷하다. 시험조건이 가혹하게 되는 경우가 내후 시험장치라고 볼 수 있으며, 장시간 연속운전이 다양한 프로그램에 의해서 수행되는 것이 특징이다. 따라서 실제 자동차 주행시는 불가능한 시험을 단시간에 각종 부품의 기후에 대한 특성이나 내구성능을 실험할 수 있다. 내후 시험장치에서는 진동장치나 모래, 먼지 등이 더해지는 경우가 있다.

표 4의 조건하에서 전천후 시험장치내의 가압시험도 흥미있는 분야이다. 이것은 5,000m 높이에 달하는 고지대의 시험을 할 수 있는 것으로 360~800Torr 정도의 가변압이 요구된다. 고산지대에서는 대기압과의 기압차는 400mmHg 정도가 되므로 실험실 천정의 강도에 대해서 충분히 배려가 요망된다. 기압차에 의한 하중은 구조체에 대해 최고 6ton/m² 정도의 압력이 가해지므로 벽두께 뿐만 아니라 공조기, 덕트등도 이러한 압력에 견딜 수 있는 외압용기로 설계해야 한다. 또 온도제어에 있어서도 작은 틈새로부터 대량의 외기가 들어오므로 밀폐도에 유의하지 않으면 외란의 요인이 된다.

동력계가 실험실내의 회전 드럼축으로부터 관통해서 실외로 설치되어 있으므로 관통부의 밀폐문제도 기술적으로 쉽지 않다. 동력계 축의 기밀(seal) 부분이 부식되면 동력계 측의 측정값에 오차가 생기게 된다. 또 엔진 연소용 공기는 저온 시험시에는 제습기를 통하여 5m³/min~30m³/min 정도가 도입되므로 감압의 문제가 생긴다. 바닥면 설계하중은 20~30ton/m² 정도가 많이 채용되고 있다.

표 4 전천후 시험장치의 예

내 용	주 실 험 실	부 속 실
유 효 면 적	5.5m×11m×3m(H)	3m×3m×3m(H)
온 도 범 위	-50℃~60℃(±2℃)	-25℃~30℃
습 도 범 위	15℃이상에 30~80%RH (±5%)	
풍 속 분 포	0~150km/h(±3%이내)	
일 사 량	최대 1,300kcal/m².h	
노면복사온도	최대 80℃	
강 우 량	최대 300mm/h	
기 압	400~800 Torr	
신선공기량	최대 1,000m³/h	
엔 진 부 하	12,000kcal/h (-40℃이상에서)	
도 달 시 간	냉각시간:4시간이내	
기 타	강설장치, 오존장치 등	

2.4 정적성능 시험장치

정적성능 시험장치는 주택 및 부재, 금속재료, 용접, 화학약품, 윤활유, 도료등의 온도변화에 의한 취화, 열화, 응력왜곡 등의 시험을 하는 것으로 내부 부하는 비교적 작은 편이다.

그러나 주택이 시험체일 경우에는 전천후형이 거의 대부분이며, 실내의 내부발열은 자동차의 경우 정도는 되지 않으나 건물내의 냉난방부하, 주방, 목욕탕 부하등을 더하여 시험주택에 대한 모의 일사장치 전력이 100~200kW에 달하므로 고온 시험시의 부하는 자동차 시험장치에 필적한다. 또 일사량 프로그램제어를 도입할 경우 0~200kW의 부하변동이 생긴다. 저온시에는 대부분의 경우 강설장치를 수반하므로 지붕이상의 면적을 갖는 상온수의 동결잠열은 주택내부의 부하와 같은 정도로 된다. 시험실의 내부온도는 최저 -30℃ 정도이다.

정적성능 시험장치에서 규모나 제어특성 등에서 자동차 환경시험 장치와 비교 가능한 것은 주택시험장치의 경우가 적당하다. 대부분의 시험항목이 유사하지만 주택실험장치에서는 지리적 계절적 변화에서 오는 기후조건 하에 실험주택내의 제반설비가 가동상태에서 주택의 거주공간에 형성되는 공기온도, 온도분포, 벽면온도, 극간풍 또는 취출공기에 의한 부가적인 바람, 각 계절에 있어서 결로 등 여러가지 열환경을 시험장치내에 재현시켜서 이를 토대로 실험주택의 열성능을 실험하고 있으므로 자동차의 경우와 같은 시험항목이라도 내용적으로는 크게 다르다. 자동차 차체 내부의 거주성에는 공간면에서 제한이 있어 주행성능과 공해문제에 대한 동적성능에 주력하는 반면, 주택의 경우 기본적으로는 쾌적한 주거환경이 주된 시험항목이다. 재료의 강도나 기타 시험항목은 좋은 주거환경을 얻기위한 것이다. 주택시험에서는 돌풍이나 맥동풍압에 대한 건축재료의 강도, 구조체의 강도, 수밀성, 거실내의 바람이나 비에 의한 소음, 부재의 전열성능이라는 점에 데이타가 집중한다.

자동차나 항공기가 광범위한 이동지역을 포함하는 것과는 반대로 주택환경 시험장치에는 급격한 부하변동이 없다. 그대신 온도, 습도, 일사량등에 대한 일간이나 월간의 프로그램을 만들어서 장시간의 연속운전이 필요하다. 또한 정확한 전열성능을 실험하기 위해서는 외기조건외에 실내측의 조건도 고정시켜야만 좋은 실험을 할 수 있기 때문에 실내측 온, 습도는 실외측과는 별도로 제어되어야 한다.

표 5는 거실내의 운전조건을 나타낸 것이다. 외기온도나 일사량의 변화가 어떻게 실험주택의 간부재에 영향을 미치고 있는가를 알 필요가 있다.

항공기나 로켓트 관계의 실험은 동적인 성능실험이다. 그러나 이러한 시험체를 실험실내에서 동적특성 실험을 하는 것은 너무나 장치규모가 크게 된다. 따라서 특수한 경우를 제외하고는 거의 대부분 통신기기나 작은 부품의 기계적 특성이나 재료의 실험이 주로 되므로 내부 부하는 작다. 그러나 온도 사이클, 압력사이클의 제어범위가 넓으므로 열부하는 시험체 자체보다도 시험체내의 비정상 부하가 크게 되는 경우가 많다.

기타 정적성능 시험장치에서는 금속이나 기타 물질재료의 취성을 실험하거나, 용접된 부분의 저온하에서 특성을 실험하는 장치도 있으나 저온시험장치로 취급되고 있으며 냉각부하는 아주 적다.

표 5 운전조건의 예(주택)

구 분	제 어 범 위	정 밀 도	비 고
온 도 범 위	실외 : -30℃ ~ 50℃	± 1℃	프로그램 제어시 온도분포 범위는 2℃
	실내 : 10℃ ~ 30℃	± 1℃	
습 도 범 위	실외 : 30 ~ 90%RH	± 5%	
	실내 : 50 ~ 80%RH	±10%	
천 공 일 사	50 ~ 1,000kcal / m².h	±10%	
측 벽 복 사	50 ~ 1,000kcal / m².h	±10%	
강 우	50 ~ 300mm / h	±10%	
강 설	300mm / day		
실험실유효면적	20m×20m×15m(H)		
시 험 체	2층 규모		약 10m×12m×6~7m(H)
냉 각 시 간	약 3.5시간		
가 열 시 간	약 1.5시간		

2.5 생체실험장치

생체 실험장치는 인체, 동식물, 박테리아 등의 생명체가 주위 환경의 변화에 대하여 어떻게 반응하는 가를 실험, 실측하는 것으로 동적성능 시험장치나 정적성능 시험장치와 비교하여 부하는 훨씬 적으므로 소형 환경시험장치라고도 한다. 온도조건도 크게 저온인 것은 없으나 정자보존의 연구 등에서는 -80℃ 정도의 초저온이 요구되기도 한다. 비교적 큰 동식물 사육 시험장치에서는 소, 말 등의 대형 동물까지가 계획되도록 되어있으나 현재로서는 토끼집 정도이다. 예로서 생체환경적응 조절기구 중에서 Ca 이온과 작용기능을 실험하기 위하여 토끼의 Ca 농도를 낮추어서 저온에서 장시간 사육하여 생리기능의 적응성이나 장해등을 측정하는 등이다.

온습도 조건은 -15℃+15℃, 55%RH 정도이나 공조기 면에서는 저온에 있어서 취기의 탈취와 환기를 위한 새로운 공기 도입이 온습도 제어 정밀도에 영향을 미치지 않도록 주의해야 한다.

서리 제거시는 온도상승을 엄금하고 있으므로 Propylene Glycol 수용법에 의한 나이아가라 방식을 채용한 예도 있으나 Propylene Glycol 수용액의 재생이 어려우므로 대형 실험장치에서는 권장하지 않는다. 표 6은 실험동물의 발열량을 나타낸 것이며, 동물 사육장치는 의학계 약품공업계에서 사용한 예가 많다.

전외기 도입에서는 부하적으로도, 장치적으로도 아주 크므로 동물실의 악취를 제거하기 위해서 활성탄을 사용하는 경우가 있다. 이 경우 공조기의 공기순환 계통내에 활성탄 필터를 설치하면 좋다.

인체 시험장치는 주로 항공기나 로켓트 탑승객 혹은 스포츠 관계에서 인간이 기상환경 변화에 대한 내구력 시험을 하는 것이며 온도나 습도, 기압의 변화가 다양하다.

표 6 실험동물의 발열량

종 류	체 중 (g)	발 열 량 (kcal/h)			
		기초대사시 발 열 량	보 통 활 동 시 발 열 량		
			현 열	잠 열	계
새 앙 쥐	21	0.15	0.83	0.43	1.26
hamster	118	0.41	2.5	0.75	3.25
쥐	300	1.12	5.5	2.75	8.25
몰 모 트	410	1.45	8.0	3.75	11.8
토 끼	2,600	4.8	15.3	4.50	19.8
고 양 이	3,000	6.3	18.8	20	25.0
원 숭 이	4,300	8.6	23.0	11.5	34.5
개	16,000	21.9	62.5	30.0	92.5
염 소	36,000	34.3	103.0	32.5	135.5
양	45,000	48.0	140.0	47.5	187.5
돼 지	260,000	179.5	525.0	75.0	700.0
비 둘 기	375	1.16	3.8	0.75	4.55
닭	2,100	4.7	16.0	8.0	19.0

3. 실내기후 실험동을 이용한 실험연구

외국의 경우 챔버를 이용하여 여러가지 경우에 대해 수많은 연구가 수행되었고 외부 기후조건을 조절할 수 있는 기능으로부터 큰 성과를 얻고 있다. 여기에서는 주로 실내기후 실험동을 이용한 건물의 열성능 연구에 대한 실험에 대해 논하기로 하고 대표적인 실험장치 구성도는 그림 2와 같다. 건물의 열성능에 대한 실험분야로는 건물의 외피구조, 냉난방, 환기 등 공조설비, 주거환경 등이 있으며 좀 더 구체적으로 중요한 연구주제들을 열거해 보면 다음과 같다.

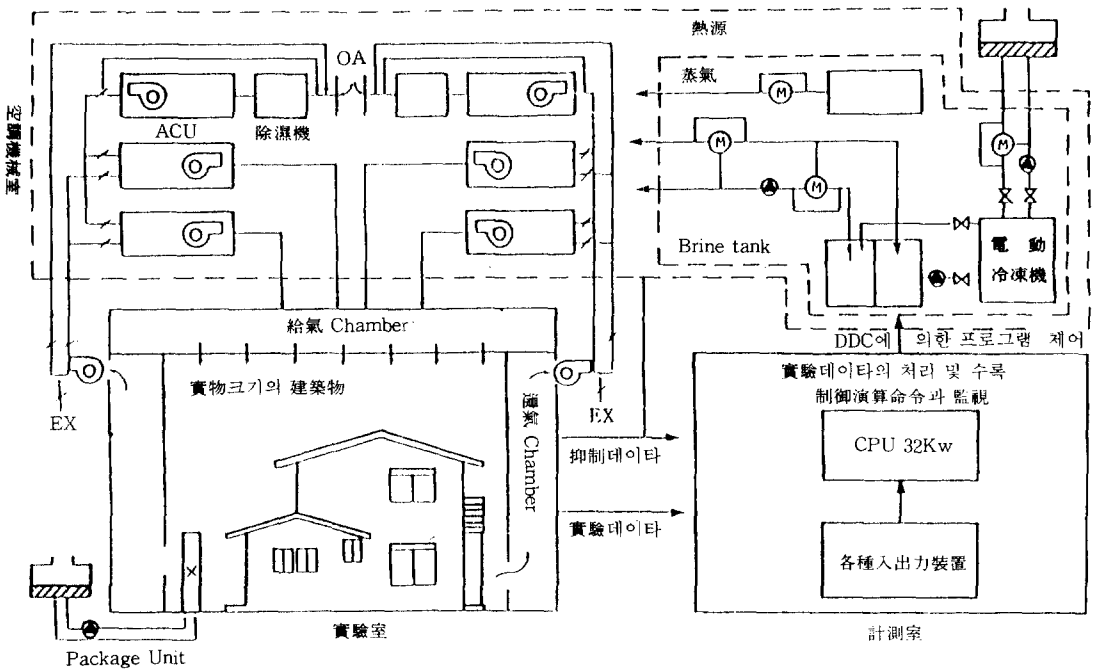


그림 2 BRI(Building Research Institute)의 실내기후 실험실 구성도

- 냉난방 부하에 대한 thermal mass의 영향
- 주거 공간에서의 thermal comfort
- 고온 다습한 지역에서의 냉방 시스템
- 건물외피 요소의 열성능상 특징
- 공기조화 기기의 성능
- 공장생산 주택에 대한 실물크기의 성능실험
- HVAC 시스템 디자인
- HVAC 설비의 설치, 운용
- 기타 건물의 건물에너지 절약 연구 등이 챔버를 이용해 연구할 수 있는 영역이다.

그러나 무엇보다도 중요한 것은 여러가지 요소들이 종합적으로 작용하여 열성능을 발휘하는 건물에 대한 실물크기의 실험을 챔버를 이용하여 할 수 있다는 것이다.

건물의 열성능 연구에 Prototype(원형)건물을 이용하면 불필요한 건물부위로 인해 발생하는 복잡성을 배제하면서 연구에 필요한 부위에만 집중적으로 연구할 수 있는 장점이 있다. 실내온도와 공조부하를 예측하기 위해 개발된 NBSLD 컴퓨터 모델의 타당성을 검증

하기 위해 Prototype 건물들에 대한 실험이 NBS의 대규모 챔버 내에서 실행된 바 있다.

환경 챔버를 이용한 실험적 접근방식의 독특한 장점때문에 thermal response를 고려한 동적열부하 계산법과 비교되고 있는 steady-state theory(정상상태 이론)을 이용한 열부하 산정법은 불합리하게 큰 보일러를 필요로 할 수도 있다는 사실을 밝혀냈다. 또한 더운 기후에 적용할 수 있는 어떤 에너지 절약형 냉방기법은 실제주택에서는 불가능한 기법으로 판명되었다. 또 한 예로서 실내기후 실험동은 챔버내에서 기후조건을 조절하고 특정한 기후를 반복 재생할 수 있는 시설이므로 건물의 침기연구에도 유용하게 사용될 수 있다. 바람의 영향을 배제하여 실내외 온도차에 따른 침기율을 계산한다든지, 시내외 온도차를 배제하여 풍속에 의한 침기률을 계산한다든지 하는 등의 실험을 할 수 있으며 각 개구부의 요소들의 침기 또는 누기량을 정량화 할 수도 있다.

이와같이 환경 챔버의 가치는 기후조건이 시시각각으로 변화하는 현장에서는 불가능한 실험을 챔버내에서 기후조건을 반복 재생하여 할 수 있다는 데 있으며 건물의 열성능에 영향을 미치는 수많은 인자들을 분석할 수 있는 큰 연구 잠재력을 가지고 있다. 본 장에서는 대형 환경 챔버내에 실제 외부기후 조건을 재현하여 실물크기의 건물을 실험한 몇가지 대표적인 연구사례를 통해 실내기후 실험동(environmental 챔버)의 이용에 대해 설명하고자 한다.

3.1 실내기후 실험동내의 원형건물 실험

그동안 외국의 여러 연구소에서 실내를 조절할 수 있는 실내기후 실험동을 용하여 건물구조체의 heat transfer, wall thermal mass effects, HVAC control, thermal comfort 및 실내의 기류이동과 같은 건물의 여러가지 성능을 조사하기 위한 실험이 Prototype building을 대상으로 수행되었다. Prototype building(원형건물)이란 기후가 조절되는 대형 챔버내에 설치된 1실 혹은 2실 규모의 비교적 간단한 건물구조체를 말한다.

첫번째 사례는 미 NBS의 대규모 기후 실험동에서 실시된 실험이다. 시험체는 바닥면적 6m×6m, 층고 3m인 1실의 조적조 구조체였다. 단열구조, 무단열구조와 내단열구조, 실내측 열용량(thermal mass)의 유무, 여러가지 형태의 개구부에 따라 수차례 동적 열성능 실험이 진행되었다. 실제 기후조건을 만들기 위해 다양한 외기온도 주기(변화)를 주면서 실험하였으며, 실험결과 공간 및 시간적으로 단열재가 두꺼울수록 실내온도 변화가 적고, 외단열일때 실내온도 변화폭이 가장 적다는 것을 알 수 있었다. 실내온도를 thermostat로 조절하면서 행한 실험에서 정상상태(steady state) 열전달에서의 주간기후 형태를 재현한 조건하에서 측정된 결과와 dynamic thermal response로 계산한 결과보다 약 30~70% 더 큰 최대 난방부하를 나타내고 있다는 사실을 보여 주었다. 이와같은 실험결과는 건물의 난방설비 용량을 설정하는데 아주 중요한 고려사항이 되고 있다.

열성능이 좋고 큰 열용량를 가진 건물의 실내온도 및 공조부하를 예측하기 위한 NBSLD 컴퓨터 모델을 검증하고 에너지 절약적인 냉방기법을 연구하기 위한 실험이 NBS의 대규모 실험동에서 수행되었다. 이 실험체는 외단열 구조로 바닥면적이 6.4m×5.2m, 층고 4.7m인 1실 조적조 건물이었다. 중동지방 사우디아라비아 기후조건을 재현하여 수행된 이 실험은 2가지 냉방기법에 대하여 실험, 평가하였다. 그 한가지는 천정 냉방코일을 사용한 야간 연속냉방 기법으로 이런 냉방법은 설비부하(utility load)가 낮고, 냉방설비의 효율이 높다는 잇점을 가지고 있으며 낮에 냉방 시스템을 사용하지 않을 경우 열용량가 실내의 과열을 방지하는 역할을 하였다.

다른 한 기법은 자연환기(natural ventilation)를 이용한 야간냉방이었다. NBS의 대

형 챔버에서의 실험, 평가결과 경량구조 건물이 연속 냉방과 비교하여 상당한 냉방에너지의 감소를 보였으며 그럼에도 불구하고 실내의 주거환경 조건은 쾌적조건을 충분히 유지하고 있음이 밝혀졌다. 이외에도 천정결로 문제를 연구하기 위한 실험도 Prototype 건물을 대상으로 NBS 대형 챔버에서 실행되었다.

주거용 건물의 에너지 사용이 HVAC control과 thermal comfort에 미치는 영향을 연구하기 위하여 2실을 가진 실험주택에 대한 실험이 포틀랜드 주립대학의 기후실험동에서 수행되었다. 실험주택의 각실 평면은 3m×3m, 천정고 2.4m, 구조는 경량 목조구조체였다. 챔버를 냉각시킨 후 standard thermostat로 제어되는 전자식 base board를 이용하여 실험주택의 구조체를 가열하였다. 이 실험에서는 난방기기의 사용주기를 조절하기 위한 제어장치에 대한 연구를 수행하였는바 그 결과로서 어느정도의 에너지를 절약하고 thermal comfort를 개선할 수 있었다. 이 연구의 주요목적은 기후변화에 대한 조절기의 사용방안을 실증하는 것이었으며 앞으로는 그밖의 제어기법과 강제공기 난방시스템에 대한 연구를 수행할 계획을 가지고 있다.

기후조절 챔버를 이용한 Prototype 건물실험의 또 다른 한 예는 Scandinavian 연구소로서 여기에서는 건물내로의 공기배급 및 환기효율에 대한 효용성을 연구하기 위한 실험을 들 수 있다. 이 실험에서 사용된 실험주택은 환기량, 급·배기 환기장치의 위치, 실내온도와 실내부하 조절이 가능한 1실 또는 2실로 구성된 실험주택이었다. 이 실험은 급기로 실내공기를 바꿀때의 효율성과 thermal comfort를 위한 기계환기 기법의 평가가 가능하다는 것을 보여 주었으며 현대적인 대형사무소 건물에서 보편적으로 채용되고 있는 환기기법이 공간내에서 공기의 성층화현상(stratification of air)을 발생시키고 있어 열적으로 비효율적임을 밝혀내었다. 이런 현상은 건강, 위생 및 안전에 필요한 설계 환기량보다 적은 환기량으로도 효율적으로 환기를 할 수 있음을 나타내는 것이기도 하다. 이와같이 환경챔버에서만 얻을 수 있는 연구결과들은 챔버의 가치를 더해주고 있고 앞으로도 더욱 새로운 연구결과들이 발표될 것으로 보인다.

이상을 요약해보면 실내기후 실험동내에 Prototype 건물을 만들어 진행하는 실물크기 건물에 대한 실험은 상당히 유용한 실험방법이라는 것을 알 수 있으며, 특히 Prototype 건물과 같은 단순한 구조체를 이용한 건물의 열성능 실험은 복잡한 영향을 미치는 건물요소를 배제함으로서 건물 열성능의 특별한 측면을 연구할 수 있다.

3.2 실내기후 실험동 내에서의 주거용 건물 실험

NBS의 대형 실내기후 실험동에서는 공장생산 주택에 대한 실험을 한 예가 있다. 그 하나는 바닥면적이 56m²인, 침실이 2개로 된 주택의 열적특성을 여러측면에서 실험한 것으로서 보일러 크기에 따른 순효율(net efficiency)과 난방설비의 부분부하효율(part-load efficiency)에 대한 연구를 포함하고 있다. 보일러의 크기에 따른 순효율에 분석을 하기 위해 기후실험동에서만 가능한 동일한 외기조건을 만들어서 각기 다른 3가지 보일러를 대상으로 실측하였으며, 실내외 온도차와 침기량과의 관계에도 명백히 선형적인 관계가 있음이 실험을 통해 밝혀졌다. 또한 NBS에서는 누기(air leakage)에 대한 기초연구를 위해 규격화주택(modular house)을 실험하였으며, 실내외 온도차와 침기량과의 관계, 방풍문(덧문), 개구부 등의 침기성능 등에 대하여도 실험하였다. 이 실험에서는 실험실 내에서의 기후조절과 특정온도 조건을 반복 재현함으로써 실내외 온도차에 따른 침기량의 선형적 변화, 덧창문과 개구부 등이 침기량에 미치는 미세한 영향까지도 밝혀낼 수 있었다.

실내기후 실험동을 이용한 또 다른 좋은 예는 NBS의 대규모 챔버에 설치된 실물크기의

4실 규모 타운하우스(연립주택)로 이 건물은 바닥면적 110m²인 modular design된 공장생산 부재를 사용한 조립식 구조체이다.

이 건물을 이용한 실험은 2개 도시의 일별 온도주기에 맞추어 챔버내의 기후조건을 만든 후 냉, 난방부하와 실내 쾌적조건 및 일별 에너지 소요량을 검증하여 NBSLD의 성능과 비교하는데 활용되었다.

3.3 주거용 건물의 부재적 상호작용에 관한 연구

여기에서는 주거용 건물의 부재간 상호 열작용에 대하여 실험의 예를 살펴보기로 한다. 첫번째 예는 ASHRAE SP 43 "Dymamic and Seasonal Performance of Central Forced Warm Heating System"이다. 이 연구는 Battel-Columbus 연구소에서 수행하였는데 현재는 아무도 살지 않고 있는 1950~1960년 사이에 건축된 미국 중서부의 목조주택을 실험대상으로 하였다. 이 실험의 기본적인 목적을 가스 연소식 강제 송풍식 난방 시스템과 건물구조체의 주요 구성요소들간의 동적인 상호작용을 simulation하기 위한 모델을 개발하고 검증하는데 있었다. 구조체의 주요 구성요소들은 주택의 부위별 구조, 외피, 보일러, 난방공급, 분배시스템, 배기시스템, 침기 및 제어 등을 포함한다. 또한 보일러의 위치, 연소효율, 보일러의 크기, 배기장치, 점화방법, 제어 방법들이 만들어 졌다.

주거용 건물의 부재간 상호작용에 대한 실물크기 건물(full scale building) 실험의 또다른 중요한 예는 덕트에서 발생하는 누기와 그 영향에 관한 연구이다. 미국내 수개동의 주택을 대상으로 한 이 실험은 공기의 흐름과 난방부하에 따른 덕트누기의 영향을 측정할 수 있는 기술을 개발하게 되었다. 이 실험의 관련 연구원들은 덕트누기의 양과 어디에서 열이 흘러나가는가, 보일러의 효율과 작동은 분배시스템에 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구를 수행하였다. 이 실험에서 건물부재간의 상호작용을 완벽하게 설명하지는 못했지만 많은 흥미로운 결과를 보여주었으며, 여러가지 중요한 문제들을 던져 주었다. 예를들면 열분배 시스템의 공급(supply) 및 회수(return)와 덕트 누기에 따른 낮은 회수공기 온도에 의한 보일러 효율사이의 불균형은 침기량의 증가에 기인한다는 것을 밝혀냈다.

공장생산 조립식 주택에 대한 연구에서 시공분야의 중요한 문제점을 보여준 한 예가 있다. Florida Solar Energy Center는 거주자가 없이 2개동의 건물 구조체를 병렬로 설치하고 실험하였다. 그중 한 동은 단열기준에 합당한 구조로 되어 있고, 다른 한 동은 단열기준보다 높게 단열을 강화한 구조체였다. 실험결과 두 구조체 사이의 연간 에너지 사용량은 대략 10%의 차이를 보여 주었는데 단열강화에 따른 추가 공사비의 회수년도는 6년 정도였다. 이 실험에서 밝혀진 것은 에너지 저소비형 주택에서 공기차단막의 추가시공은 침기량에 거의 영향을 미치지 않는다는 사실과 규격화 건물, 즉 2개의 유사한 구조체에 대한 실내기후 실험동 실험은 조립식 주택의 시공방법, 설비용량 선정 및 시스템 설치에 관한 여러가지 대안들을 평가하는데 이용할 수 있다는 사실이다.

규격화 건물 구조체에 대한 Science Applications Inc.는 2개동의 실험주택에 대해 광범위한 내용 및 항목을 실험하였고 여러가지 난방시스템을 설치해 가면서 실험한 바 있다. 이 실험 연구에서 설비형태, 크기 및 분배시스템 등을 포함한 문제들이 조립식 주택의 에너지소비에 영향을 미치며 지금까지 발견 되지 않았던 연구되어야 할 사항들이 많이 존재하고 있음을 알아냈다.

실내기후 실험동 내에서의 실물크기 건물실험에 대한 또다른 한 좋은 보기는 Florida Solar Energy Center에서 행해진 고온다습한 지역에서 냉방기술에 관한 것이다. 이 실험은 실험주택내에 거주자가 있는 경우와 없는 경우에 대해서 각기 실험되었다. 여기에서 문제

로 도출된 것은 냉방부하(현열, 잠열), 공조기 효율, 외피의 열전달, 실내공간의 온도조절 등의 상호작용에 관한 것이었다. 공조기의 효율이 증가함에 따라 설비의 총냉방부하에 대한 현열비가 증가하여 실내의 습도조절이 어려운 것으로 나타났다. 보다 좋은 냉방설비와 건물 외피의 강화된 단열은 공조기의 가동시간은 줄일 수 있으나 냉방기가 단지 온도조절 장치에 의해 작동될 경우 실내습도가 불합리하게 높게 될수도 있음을 보여주었다.

Florida Solar Energy Center는 실내에 배치된 가구와 건물구조체의 함습이 냉방에 미치는 영향에 대해서도 실험하였다. 또한 냉방에너지 부하를 감소시킬 목적으로 야간환기법을 적용하게 되면 실내 습도조절과 공조기의 에너지 소비에 중대한 작용을 밝혀 냈는데, 즉 야간환기에 의해 실내로 들어온 습기는 주택내부의 가구, 구성재료 등에 흡수되어 낮동안(냉방시간)의 습도, 냉방조건 유지 및 순에너지 소비에 영향을 준다는 것이다.

실내 기후실험장치를 이용하여 앞으로 연구되어야 할 사항들에는 쾌적기준의 초과(상향조정)에 따른 실내온도의 변경, 심각한 덕트 누기, 난방장치로의 열이송상의 큰 변화, 무계획적이고 비논리적인 난방장치의 위치, 과다한 보일러 소음, 부적절한 thermostat 위치등이 있으며 실내기후 실험동의 사용이야말로 이들 문제들을 해결하는데 적합하고 유일한 수단이라고 하지 않을 수 없다.

4. KIER 대형 환경 챔버

한국에너지 기술연구소에서는 전술한 대형 환경 챔버의 필요성을 인식하여 1989년도 부터 대형 환경 챔버설계 및 시공을 착수하여 1994년 1월에 준공이 되었으며 현재 시운전 중에 있다.

KIER E. C.는 전천후형 챔버로서 최신 제어 시스템인 MAS(modular automation system)을 채택하여 일간, 주간 기후변화를 모사할 수 있도록 하였으며 설계 사양은 표 7, 장치의 개략도는 그림 3과 같으며 실제 모습을 사진 1에 나타낸다.

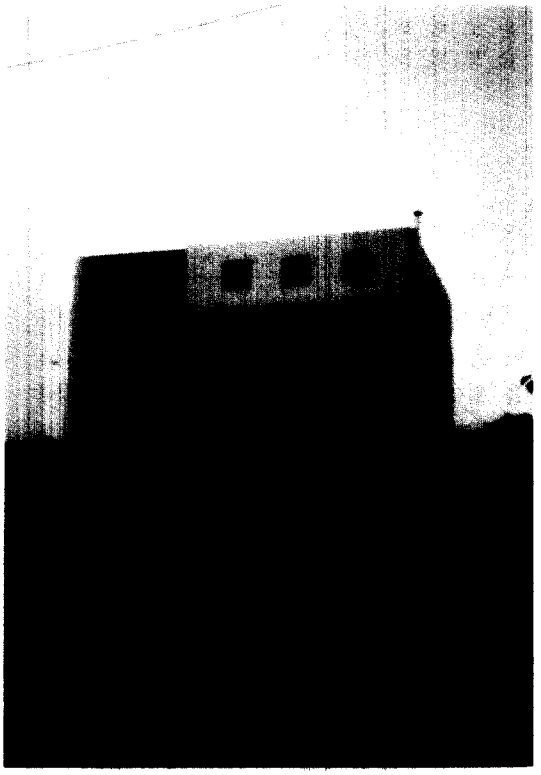


사진 1 KIER의 Environmental Test Chamber 모습

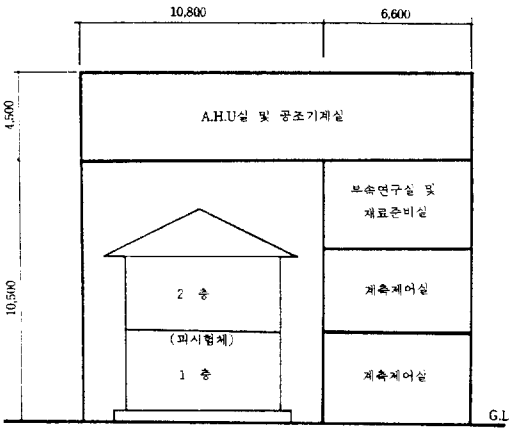


그림 3 실내기후 실험동의 구성(예)

표 7 KIER 대형 Environmental 챔버

내 용	실 험 실	전 실
유 효 면 적	12.6m×10.8m×10.5m(H)	2m×2m×2.5m(H)
온 도 범 위	-25℃~50℃(±1℃)	
습 도 범 위	15℃DB : 노점온도 2℃±1℃ 24℃DB : 노점온도 10℃-22℃±1℃ 35℃DB : 노점온도 20℃-30℃±1℃	-
온도변화속도	강하 : 0℃에서 8℃/h 상승 : 20℃에서 10℃/h	-

추후에 인공태양과 강우, 강설장치도 KIER E. C.내에 설치할 예정이며 현재 실험용 건물을 설계중에 있다. 실험용 건물내에는 각종 공조기기 실험실, 창호등의 외피실험실 및 thermal comfort 실험실등을 갖출 예정으로 있어 앞으로 적절한 활용을 통해 공조설비 및 건축기술에 대한 많은 기여가 있을 것으로 기대되고 있다.

참 고 문 헌

1. 박상동외, 건물외피의 단열기술개발 연구(Ⅱ), KIER 연구보고서, KIER, 1988.
2. 유헌형, 건물외피의 단열기술개발 연구(Ⅲ), KIER 연구보고서, KIER, 1989.
3. 냉동핸드북, 기초편, 형제사, 1979.
4. 박효순, 일본 건설성 건축연구소 출장 귀국보고서, 1987.
5. 출기공환, 항온항습을 위한 기본설계, 항온항습의 실제, 일본 냉동협회, p.6~20.
6. 전전종치, 항온항습장치의 자동제어, 냉동공조에 의한 항온항습, 1976, 일본냉동협회, p.24~42.
7. 월강현치, 주택시험장치, 냉동공조에 의한 항온항습, 1976, 일본냉동협회, p.161~168.
8. 도부인, 공업용 환경시험장치, 냉동, 일본냉동협회, 1986. 8
9. 월강현치, 환경시험장치의 개요와 실제, 일본공업출판, 1976. 10.
10. Andrew K.Persily, Opportunities for Full-Scale Testing of Residential Building Interactions in Environmental Chambers, U.S.DOE, 1985. 12.
11. ASHRAE Handbook 1985 Fundamentals, ASHRAE, 1985.
12. Environmental Test Facilities, Refrigeration Handbook, ASHRAE, 1986.
13. Carrier/Handbook of Air Conditioning System Design/1965/Mc Graw Hill. Inc./4-25~4-54.
14. Mat Heyman/Arabian Days & Night at NBS/Dimensions, NBS/1979. 4/p. 4~6
15. John Urrutia/Automation of Climatic test Chambers Using Micro processor Programmers/Journal of Environmental Sciences/1979.5/p.19~21.
16. System Practices for Secondary Coolants(Brines)(Chapter 5)/Refrieragtion Handbook/ 1986/ASHRAE.