

제 4 분 과

(환경계획 및 설비)

이 페이지는

여백입니다

콘크리트의 열용량에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Heat Capacities of Various Concretes

○권영철*, 홍찬선**, 황정하***, 이연구****

ABSTRACT

This study aims to provide basic data for thermal properties of various concretes. Since concrete, the major building material being used for both structural component and building envelope, has relatively high heat capacities, it can effectively be utilized as thermal storage and capacitive insulation. In this respect, it is very important to have reliable data in terms of thermal properties of concrete.

The experiment has been conducted to investigate thermal properties of various concretes including specific heat, density, and heat capacity. Fourteen test pieces were made for high strength, normal, precast and ALC concrete, 3 pieces each.

The result indicates that thermal properties of concretes varies depending on strength, density, moisture content and mixture ratio, etc.

1. 서론

1.1 연구의 개요

건축재료의 축열능력이란 그 재료의 열용량에 의해 좌우되는 것으로, 열용량이 큰재료일수록 축열 재료로서의 이용가능성이 높다고 할 수 있다. 또한 건축재료의 열용량에 따라 실내온도 및 구조체의 온도 상승과 냉각에 소요되는 시간도 달라지게 된다. 따라서 용량형 단열을 계획할 때나, 자연형태양 열시스템 등에서의 타임랙을 고려한 적정축열능력의 확보를 위한 축열체 설계에 있어서는 건축재료의 열용량에 관한 자료가 반드시 필요하다고 할 수 있다.

국내 건축재료들의 열용량에 관한 자료들은 대부분이 외국의 참고문헌 등으로부터 그대로 인용되어 사용되고 있는 실정이다. 그러나 외국의 건축재료들의 물성인 재료조성 및 성분이 다름으로 인해 국내에서 제작된 것과 다소 차이가 있을 수도 있다.

여러가지 건축재료들 중에서 특히 콘크리트는 가장 일반적으로 널리 쓰이는 재료로써, 구조재로서 뿐만 아니라 외피재료 및 바닥재료로도 보편적으로 사용되고 있다. 특히 콘크리트는 다른재료에 비해 높은 축열성능을 갖고 있어 타임랙에 의한 용량형 단열재로서도 사용될 수 있고, 또한 실내온도의 변화폭을 크게 완화시켜줌으로써 열환경조절 측면에서 매우 우수한 재료이다. 그러나 콘크리트의 열용량에 관한 신뢰성 있는 자료는 매우 부족하며, 다른 재료와 마찬가지로 외국자료를 그대로 이용하고 있는 실정이다.

따라서 본연구에서는 국내에서 생산되는 각종 콘크리트에 대한 열용량실험을 실시하여 국내콘크리트의 열용량 특성을 조사하였다. 본 연구를 통해

나타난 실험결과는 국내의 각종 콘크리트의 축열성능을 판단하기 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것이며, 연구에 사용된 실험방법은 각종 건축재료들의 열용량실험을 계속할 수 있는 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

1.2 연구의 방법

국내에서 현재 사용되고 있는 일반적인 각종 콘크리트에 대한 열용량실험을 위해 비열과 밀도 측정에 필요한 시편을 제작하였으며, 동일한 실험방법에 의해 시편들의 비열 및 밀도를 측정할 후, 계산에 의해 열용량을 산정하였다.

실험대상은 고강도콘크리트, PC, 보통콘크리트, 경량콘크리트, ALC 등 국내에서 사용되는 모든 콘크리트로 하였다. 고강도콘크리트 시편은 예상 압축강도 800kg/cm², 600kg/cm², 450kg/cm²로 시방배합표에 따라 실험실배합하였으며, PC 시편은 국내의 대표적인 PC회사라 할 수 있는 D사와 S사의 공장에서 기성제품과 동일한 조건으로 제작하였고, 보통콘크리트 시편은 예상 압축강도 300kg/cm², 240kg/cm², 180kg/cm²로 시방배합표에 따라 실험실 배합하였으며, 경량콘크리트 시편은 예상 압축강도 200kg/cm²(A시편), 240kg/cm²(B시편)로 두종류로 시방배합하였다.

<표 1> 실험에 사용된 시편들의 배합표

중량배합(kg/cm³)

구 분	W/C	S/A	W	C	S	A	슬럼프	
실 험 배 합 표	180	64	50	195	305	903	939	18
	240	55	49	190	346	875	947	16
	300	50	47	180	360	846	991	12
	450	36	43	170	467	748	1030	12
	600	39	40	160	550	679	1058	10
PC	D	55	45	145	325	837	1026	8
	S	47	47	145	350	854	992	8
경량 콘크 리트	A	45	45	247	550	337	600	
	B	40	45	220	550	355	631	

* 중앙대 대학원 건축공학과 박사과정
** 중앙대 대학원 건축공학과 석사과정
*** 정희원, 충청전문대 조교수, 공학박사
**** 정희원, 중앙대 공대 교수, 건축학박사

ALC 시편은 국내의 대표적인 ALC회사라 할 수 있는 S사, K사, B사, Y사의 기성제품을 시편크기에 맞게 절단하였다.

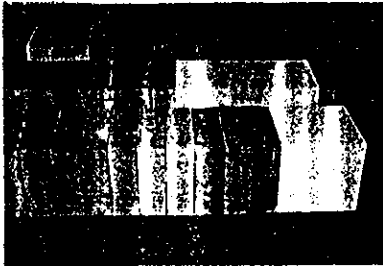
이상과 같은 총 14종류의 각종 콘크리트에 대한 비열과 밀도를 측정하기 위해, 각각 3개씩 시편을 준비하였다.

비열측정용 시편은 10cmx10cmx3cm의 입방체를 사용하였다.



(그림 1) 비열측정용 시편

밀도측정용 시편은 30cmx30cmx10cm의 입방체를 사용하였다.



(그림 2) 밀도측정용 시편

2. 각종 콘크리트의 비열 실험

2.1 비열 측정

2.1.1 비열의 개념

비열이란 질량이 1 kg 인 물체의 온도를 1 ℃ 상승시키는데 필요한 열량을 말하며, 질량이 m인 물체의 온도를 Δt 만큼 변화시키는데 필요한 열량(Q)은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{열량}(Q) = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

여기서, m : 질량(kg),
C_p : 비열(kcal/kg·℃),
Δt : 온도차(℃)

일반적으로 일정한 압력하에서 물체의 온도를 올리는에 필요한 열량은 일정한 체적하에서 필요한 열량과 같지 않으므로 정압비열 C_p와 정적비열 C_v를 구별해야 한다. 고체나 액체에서 이러한 차이는

아주 작으므로 무시할 수 있다. 고체나 액체에서 압력을 일정하게 유지하는 것은 쉬우나 체적을 일정하게 유지하기 위해서 압력을 조절하는 것은 매우 어려운 일이므로 보통 고체나 액체에서 측정되고 있는 것은 정압비열이 된다.

1 기압에서 0~100 ℃사이의 물의 비열변화는 1%정도에 불과하므로 이 변화를 무시할 수 있으며, 보통 0℃~100℃사이의 비열을 1.00cal/g℃로 잡는다.

물에 있어서 비열은 온도에 따른 변화가 극히 작으므로 어떤 물체의 열용량이나 비열은 어떤 측정하기 쉬운 온도까지 가열하고 온도와 질량을 알고 있는 수조에 넣어서 최적 평형온도를 측정하면 쉽게 측정할 수 있다. 즉 전체의 물체가 외부로부터 고립되면 물체를 떠난 열은 물 속으로 들어간 열과 같다. 따라서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M \cdot C_p \cdot \Delta t_M = M_w \cdot C_{pw} \cdot \Delta t_{Mw}$$

윗 식으로부터, 물체의 비열(specific heat)은 다음과 같이 구할 수 있다.

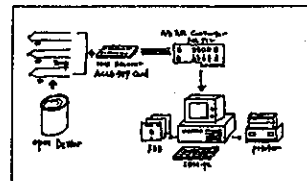
$$C_p = M_w \cdot C_{pw} / M \cdot [(T_m - T_1) / (T_2 - T_m)]$$

여기서, Δt_M : 시료의 온도변화(℃)
M : 시료의 무게 (Kg)
C_p : 시료의 비열 (Kcal/Kg·℃)
Δt_{Mw} : 증류수의 온도변화(℃)
M_w : 증류수의 무게(Kg)
C_{pw} : 증류수의 비열(Kcal/Kg·℃),
C_{pw} = 1 Kcal/Kg·℃
T_m : 평형온도 (℃)
T₁ : 증류수의 처음온도 (℃)
T₂ : 시편의 처음온도 (℃)

2.1.2 비열의 측정

이상과 같은 비열의 기본개념을 고려하여 다음과 같은 순서에 의해 비열측정을 하였다.

- ① 일정량의 증류수를 비이커에 넣어 계량한 후 보온병에 넣는다.
 - ② 시편(10cmx10cmx3cm)의 중량을 계측한 후, 양쪽표면에 온도센서를 부착한다.
 - ③ 항온조는 일정한 온도로 setting하여 가열한 후, 시편을 넣고 시편의 표면온도가 일정온도가 되도록 가열 유지시킨다.
 - ④ 가열된 시편을 보온병으로 옮긴 후, 시편에 부착된 온도센서로부터 일정시간이 지나서 평형온도에 이르는 시간대와 평형온도를 산출한 후, 이를 계산식에 넣어 비열을 산출한다.
- 비열측정 시스템의 구성과 실험에 사용된 기기는 (그림 3)과 <표 2>와 같다.



(그림 3) 비열측정 시스템의 구성



(그림 4) 시편에 부착된 온도센서

<표 2> 비열측정에 사용된 기기

기 기	내 용	비 고
열전대보상도선 Mux Scanner	CC thermocouple ACLD 789 Card	16 Channel Analog/Digital 386 DX
D/A Converter Computer Printer	PCL 812 Card IBM Compatible Desk Jet 500K	
보온병	Open Dewer	내경 4 1/2"
종류수제조기	무기물 제거 Capacity:1000cc	깊이 9"
바이커 전자저울	Range:1~12000g	내용적
항온조	Range:0~250℃	60*50*60(cm ³)



(그림 5) 실험에 사용된 자동온도 계측장치

이러한 방법으로 비열측정은 3차의 예비실험과 2차에 걸친 본실험으로 이루어졌으며, 구체적인 비열측정 일정은 다음 <표 3>과 같다.

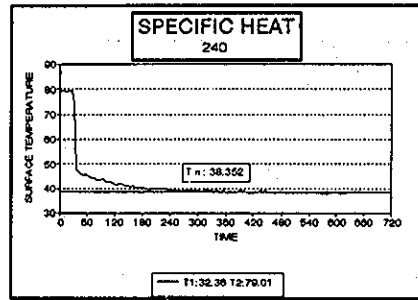
<표 3> 비열측정일정

실험항목	실험 일정
실험준비	94.8.1 - 6(6 일간)
1 차 예비실험	94.8.11 - 12(2 일간)
2 차 예비실험	94.8.16 - 17(2 일간)
1 차 본실험	94.8.18 - 20(3 일간)
3 차 예비실험	94.8.22 - 23(2 일간)
2 차 본실험	94.8.24 - 26(3 일간)

2.1.3 비열측정 결과

각 강도별 3개의 시편에 대해 비열측정 실험을 하였으며, 그 결과를 평균하여 정리하면 다음과 같

다. (그림 6)은 보통 콘크리트시편이 열평에 도달하는 과정을 보여주고 있다.



(그림6)보통콘크리트(240kg/cm³)시편의 열평형과정

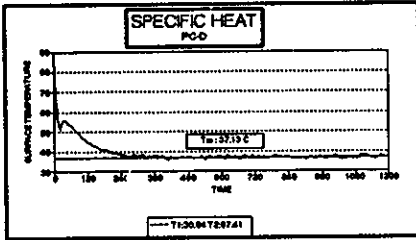
(그림 6)에서 바이커의 종류수 온도가 32.36℃, 항온조에서 나온 시편의 온도가 79.01℃인 상태에서 출발하여, 약 15분후에 38.35℃에서 열평형이 이루어졌음을 알 수 있다.

<표 4>는 보통 및 고강도 콘크리트의 비열측정 결과를 종합한 것이다.

<표 4> 보통 및 고강도 콘크리트의 비열측정 결과

종류	1차실험 결과	2차실험 결과	전체			권장치
			최고	최저	평균	
180	1	0.248	0.248	0.169	0.217	0.234
	2	0.236				
	3	0.208				
240	1	0.229	0.251	0.160	0.214	0.236
	2	0.221				
	3	0.242				
300	1	0.279	0.283	0.118	0.234	0.240
	2	0.118				
	3	0.224				
450	1	0.110	0.293	0.110	0.209	0.232
	2	0.266				
	3	0.117				
600	1	0.179	0.419	0.179	0.243	0.216
	2	0.213				
	3	0.419				
800	1	0.244	0.297	0.204	0.252	0.253
	2	0.255				
	3	0.204				

<표 4>에서 각 압축강도별 3개의 시편에 대한 비열측정결과, 강도에 관계없이 보통 및 고강도 콘크리트의 비열은 0.23kcal/kg℃임을 알 수 있다.



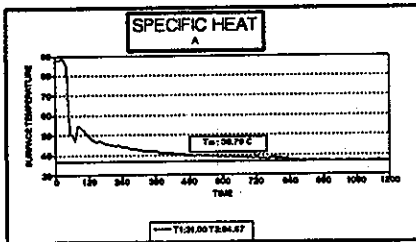
(그림 7) D사 PC시편의 열평형과정

(그림 7)에서 비이커의 증류수 온도가 30.94℃, 항온조에서 나온 시편의 온도가 87.41℃인 상태에서 출발하여, 약 14분후에 37.13℃에서 열평형이 이루어졌음을 알 수 있다.

<표 5> PC 콘크리트의 비열측정 결과

종류	1차실험 결과	2차실험 결과	전체			권장치
			최고	최저	평균	
PC-D	1	0.201	0.130			
	2	0.246	0.236	0.246	0.130	0.204
	3	0.196	0.216			
PC-S	1	0.293	0.125			
	2	0.167	0.118	0.293	0.118	0.189
	3	0.219	0.213			

<표 5>에서 PC 콘크리트의 비열은 보통 및 고강도 콘크리트에 비해 약간 낮은 0.20kcal/kg℃임을 알 수 있다.



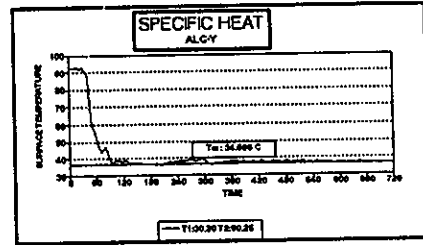
(그림 8) 경량 콘크리트 A시편의 열평형과정

(그림 8)에서 비이커의 증류수 온도가 31.00℃, 항온조에서 나온 시편의 온도가 84.57℃인 상태에서 출발하여, 약 20분후에 36.79℃에서 열평형이 이루어졌음을 알 수 있다.

<표 6> 경량 콘크리트 비열측정 결과

종류	1차실험 결과	2차실험 결과	전체			권장치
			최고	최저	평균	
경량 콘크리트 A	1	0.116	0.234			
	2	0.281	0.233	0.281	0.116	0.209
	3	0.152	0.232			
경량 콘크리트 B	1	0.138	0.228			
	2	0.239	0.247	0.248	0.138	0.214
	3	0.189	0.248			

<표 6>에서 경량 콘크리트의 비열은 보통 및 고강도 콘크리트와 비슷한 0.24kcal/kg℃임을 알 수 있다.



(그림 9) S사 ALC시편의 열평형과정

(그림 9)에서 비이커의 증류수 온도가 30.20℃, 항온조에서 나온 시편의 온도가 90.25℃인 상태에서 출발하여, 약 18분후에 34.69℃에서 열평형이 이루어졌음을 알 수 있다.

<표 7> ALC의 비열측정 결과

종류	1차실험 결과	2차실험 결과	전체			권장치
			최고	최저	평균	
S 사	1	0.707	0.262			
	2	0.404	0.303	0.707	0.128	0.354
	3	0.317	0.128			
K 사	1	0.735	0.253			
	2	0.459	0.112	0.735	0.112	0.393
	3	0.618	0.177			
B 사	1	0.344	0.151			
	2	0.486	0.134	0.486	0.134	0.285
	3	0.386	0.210			

<표 7>에서 1차실험 결과와 2차실험 결과가 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 1차 실험 당시의 시편은 거의 절건상태 였으나, 2차 실험에서는 1차실험시 시편에 흡수되었던 수분이 미처 빠져나가지 못한 상태인 동일한 시편으로 2차 실험을 실시하였기 때문인 것으로 분석된다. 따라서 건축재료의 비열을 재료의 흡습율과도 밀접한 관계가 있을 것으로 추정된다.

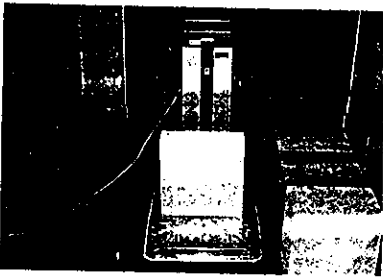
1, 2차에 걸친 실험결과를 종합해 볼 때, ALC의 비열은 보통 및 고강도 콘크리트에 비해 훨씬 큰 0.32kcal/kg°C 정도임을 알 수 있다.

각종 콘크리트에 대한 비열실험 결과를 종합해 보면, 콘크리트의 비열은 구조의 밀실성 및 흡습상태와 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 즉 구조가 밀실할수록 비열이 낮고, 동일재료라 하더라도 흡습율이 높을수록 비열은 낮아진다.

3. 각종 콘크리트의 밀도 측정

밀도 측정용 시편은 30cmx30cmx10cm의 입방체를 사용하였다. 전자저울을 이용하여 시편의 질량을 측정한 다음 이미 구해진 시편의 부피와의 관계로부터 각 시편의 밀도를 산정하였으며, 아래와 같은 밀도산정 공식을 이용하였다.

$$\text{밀도} = \frac{\text{질량(Kg)}}{\text{부피(m}^3\text{)}}$$



(그림 11) 전자저울을 이용한 질량측정

이상과 같은 방법으로 강도별 3개의 시편에 대해 산정된 각종 콘크리트의 질량과 밀도는 <표 8>과 같다.

<표 8> 각종 콘크리트의 질량과 밀도

시 편 종 류	질 량(kg)				밀 도 (kg/m ³)
	CONC-1	CONC-2	CONC-3	평 균	
압축강도 800	20.95	21.1	21.15	21.07	2341
" 600	20.7	21.8	21.75	21.42	2380
" 450	20.85	21.25	21.2	21.10	2344
" 300	20.9	20.9	20.5	20.77	2307
" 240	20.3	20.3	20.35	20.32	2257
" 180	20.1	19.8	20.1	20.00	2222
PC-D	21.35	21.0	20.7	21.02	2335
PC-S	21.3	21.5	21.55	21.45	2383
ALC-S	5.05	5.0	4.85	4.97	552
ALC-K	5.8	5.7	5.6	5.70	633
ALC-B	4.8	4.5	4.4	4.57	507
ALC-Y	5.8	5.8	5.8	5.80	644
경량 A	14.85	14.95	15.6	15.13	1681
경량 B	15.6	15.95	15.65	15.73	1748

<표 8>로부터 보통, PC 및 고강도콘크리트는 2,300kg/m³를 전후하여, 강도가 커질수록 밀도도 조금씩 증가함을 알 수 있고, 경량콘크리트는 약 1,700kg/m³로 보통콘크리트에 비해 약 600kg/m³만큼 가벼움을 알 수 있고, ALC는 회사마다 차이가 있어 500-650kg/m³범위여서 보통콘크리트에 비해 1/4정도 임을 알 수 있다.

4. 각종 콘크리트의 열용량 산정

단위 질량의 물체 온도를 1°C(1 K)만큼 올리는 데 필요한 열에너지를 그 물체의 비열이라 하며, 단위 부피의 물체가 1°C(1 K)만큼 올라가는 동안 흡수하는 열에너지의 총량을 열용량(heat capacity)이라 한다. 즉, 어떤 물체의 열용량은 단위부피의 물체를 1°C를 올리는 데 필요한 열량이다. 즉 열용량은 어떤 재료가 축적할 수 있는 열량을 나타내며, 다음과 같이 표시한다.

$$\text{열용량(kcal/m}^3\text{°C)} = \text{비열(kcal/kg} \cdot \text{°C)} \cdot \text{밀도(kg/m}^3\text{)}$$

따라서 전 항의 실험결과로부터 열용량 산정이 가능하며, 각종 콘크리트의 열용량은 <표 9>와 같다.

<표 9> 실험에 이용된 각종 콘크리트의 열용량

구분	비열 (kcal/ kg°C)	밀도 (kg/ m ³)	열용량 (kcal/ m ³ °C)	비고	
시 협 배 합	180	0.234	2,222	519.948	중앙대학교 건축구조연구실 실험배합 (비열측정시편: 10x10x3 밀도측정시편: 30x30x10 단위 cm)
	240	0.236	2,257	532.652	
	300	0.240	2,307	553.680	
	450	0.232	2,344	543.808	
	600	0.216	2,380	514.080	
	800	0.253	2,341	592.273	
P.C	D	0.212	2,335	495.020	각 PC회사 및 건국대학교 건축재료연구실 실험 배합
	S	0.200	2,383	476.600	
경량 콘크 리트	A	0.233	1,681	391.673	건축재료연구실 실험 배합
	B	0.241	1,748	421.268	
ALC	K	0.322	552	203.628	각 ALC회사의 기성품 이용
	Y	0.376	633	238.008	
	B	0.273	507	138.411	

<표 9>로부터 보통, PC 및 고강도 콘크리트의 열용량은 500kcal/m³°C 전후이며, 경량콘크리트는 약 400kcal/m³°C, ALC는 약 200kcal/m³°C임을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 각종 콘크리트의 비열실험결과, 일반 및 고강도 콘크리트는 약 0.23 kcal/kg°C, PC 콘크리트는 약 0.20 kcal/kg°C, 경량 콘크리트는 약 0.24 kcal/kg°C, ALC는 약 0.32 kcal/kg°C인 것으로 나타났다.
2. 각종 콘크리트에 대한 비열실험 결과를 종합해 보면, 콘크리트의 비열은 구조의 밀실성 및 합습상태와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 구조가 밀실할수록 비열이 낮고, 동일재료라 하더라도 합습율이 높을수록 비열은 낮아진다.
3. 각종 콘크리트의 밀도측정 결과, 보통, PC 및 고강도콘크리트는 2,300kg/m³를 전후하여, 강도가 커질수록 밀도도 조금씩 크게 나타났고, 경량콘크리트는 약 1,700kg/m³로 보통콘크리트에 비해 약 600kg/m³ 작고, ALC는 회사마다 차이가 있지만 500-650kg/m³범위에서 보통콘크리트에 비해 1/4정

도임을 알 수 있었다.

4. 비열과 밀도측정 결과를 통해 얻어진 콘크리트의 열용량은 보통, PC 및 고강도 콘크리트의 경우 약 500kcal/m³°C, 경량콘크리트는 약 400kcal/m³°C, ALC는 약 200kcal/m³°C임을 알 수 있었다. 따라서 보통, PC, 고강도 및 경량 콘크리트가 ALC에 비해 2배이상의 축열효과를 기대할 수 있다.

5. 본 콘크리트의 열적 성질은 콘크리트의 강도, 밀도, 합습상태, 배합비 등 각종 물리적 성질에 의해 많은 차이가 있으므로, 이를 일정한 값으로 가정하여 벽체나 건물의 열성능을 예측하는 경우 커다란 오차가 발생할 수 있다. 따라서, 각종 콘크리트의 열적성능에 대한 정확한 기초자료의 확보가 필수적이다.

참고문헌

- 1) 이상우 외, "건축환경계획론", 태림문화사, 1993
- 2) 이언구/김광우 공역, "건축환경과학", 태림문화사, 1992
- 3) 한국콘크리트학회, "최신콘크리트공학", 기문당, 1992.
- 4) 응봉희, 오창희, 김응팔, "건축재료공학", 보성문화사, 1987.
- 5) -----, "新建築學大系 10.環境物理", 彰國社, 1984
- 6) A.M.Neville, "Properties of Concrete", The Pitman Press, 1973.
- 7) B.Givoni, "Man, Climate and Architecture", 1981
- 8) Frank M. White, "Heat and Mass Transfer", Addison-Wesley Publishing Company, 1988.

*본 연구결과는 상공자원부가 지원하는 에너지절약 기술개발에 관한 연구의 일부분임을 밝힙니다.