

構造用 輕量斷熱콘크리트의 熱性能 評價에 관한 研究

A Study on the Evaluation of Thermal Performance of Structural Lightweight Insulating Concrete

권영철* 조균형** 이언구***
Kwon, Young-Chul Cho, Kyun-Hyong Rhee, Eon-Ku

Abstract

The concrete, which is largely used as structural building material, has a few thermal problems such as excessive heat transmission and surface condensation around thermal bridges due to its high conductivity.

In this study, to improve such shortcomings, the strategies to lower the conductivity of concrete were proposed and a new Structural Lightweight Insulating Concrete(SLIC) using structural artificial lightweight aggregate was developed.

The research aims to verify the improved thermal properties of newly-developed SLIC through various thermal experiments on the material and to present its optimum application in a building through computer simulation on its thermal performance as a building material.

키워드 : 구조용 경량단열콘크리트, 인공경량골재, 팽창점토, 열성능, 열교, 냉난방부하

keywords : Structural Lightweight Insulating Concrete, Artificial Lightweight Aggregate, Expanded Clay, Thermal Performance, Thermal Bridge, Heating and Cooling Load

1. 서론

1.1 연구의 목적

본 연구는 구조용 경량골재를 사용한 경량단열콘크리트시편을 제작하고, 경량단열콘크리트의 열성능을 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 고찰한 다음, 새로 개발된 재료의 열성능을 중심으로 그 적용성을 검토함으로써 구조용으로 사용될 수 있는 경량단열콘크리트의 실용화에 기여하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

먼저 구조용 경량콘크리트의 특성에 관한 문헌조사를 통해 기존의 구조용 경량콘크리트의 열적 한계를 파악하고, 이러한 한계의 극복을

통한 단열성능의 향상방안을 고찰한다. 다음으로, 단열성능 향상방안에 따른 구조용 경량단열콘크리트 시편을 실제로 제작한 후, 이들에 대한 열성능 실험과 열성능 시뮬레이션을 통해 새로 개발된 구조용 경량단열콘크리트의 열적 우수성을 입증하고, 이를 바탕으로 건물에서의 실제 적용가능부위를 제시하고자 한다.

2. 구조용 콘크리트의 열적 특성

2.1 콘크리트의 열전도율

콘크리트의 열전도율은 콘크리트의 구성에 따라 달라지는 데, 일반적으로 $1.4 - 3.6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ($1.2 - 3.1 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$)이다. 비중은 보통콘크리트의 열전도율에는 그리 큰 영향을 미치지 않지만, 경량콘크리트의 열전도율에 있어서는 가장 큰 변수로 작용한다. 이는 경량콘크리트내에 함유된 공기의 낮은 열전도율 때문이다. 따

* 정희원, 한라공대 건설공학부 전임강사, 공학박사

** 정희원, 수원대 공대 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정희원, 중앙대 공대 건축학과 교수, 건축학박사

라서 경량콘크리트의 열전도율은 사용 경량골재와 이에 따른 그 배합에 좌우되며, 특히 단위용적중량에 의해 결정된다.

또한 콘크리트의 열전도율은 사용골재에 따라 많은 차이가 나타나는 데, 일반적으로 현무암과 트레카이트(주로 장석과 섬강암으로 구성되어 있음)는 낮은 열전도율을, 돌로마이트와 석회석은 중간정도의, 그리고 석영은 가장 높은 열전도율을 지니고 있다.¹⁾

한편, 일반적으로 공극을 많이 함유한 재료의 열전도율, 선팽창율은 작다. 이는 공기의 열전도율이 어떤 건축재료보다도 작은 0.026 W/m°C (0.022 kcal/m.h.°C)이기 때문이다.

또한 비중이 적은 것일수록 열전도율이 작아진다. 경량골재의 열전도율은 비중에 의해서 결정되며, 다른 요인에 대하여는 크게 영향을 받지 않는다. 경량골재는 다공극의 독립기포로 되어 있어 흡습과 흡수를 방지하여야 하나, 이 공극이 수증기 상태나 물의 상태에 있으면 단열효과가 떨어진다.

2.2 콘크리트의 열용량

일반적으로 사용되는 건축재료의 비열은 가장 낮은 철(0.46 kJ/kg°C (0.11 kcal/kg°C))로부터 가장 높은 플라스틱(2.1 kJ/kg°C (0.5 kcal/kg°C))까지로 상대적인 크기차이는 1:4.5 정도 된다. 반면, 밀도의 범위는 매우 넓다. 중공층으로 사용되는 공기의 밀도는 약 1.15 kg/m³인데, 콘크리트의 밀도는 2400 kg/m³이므로, 상대적인 크기차는 약 1:2000이 된다. 따라서 건축재료의 열용량은 상대적으로 밀도에 더 많은 영향을 받게 된다.²⁾

3. 구조용 경량단열콘크리트 시편의 제작

구조용 경량단열콘크리트를 제조하기 위하여 콘크리트 용적의 약 70%를 차지하고 있는 골재를 단열성능이 우수한 다공질의 팽창점토골재로 사용하였다. 팽창점토 골재는 주성분인 점토를 소성가공하여 만든 인공경량골재의 일종으로 표면조직이 매끄럽고 입형이 구형에 가까워서 소

정의 슬럼프값을 확보는데 유리하였다.

구조용 경량콘크리트의 단열성능을 높이기 위해, 배합계획에 필요한 요인별 최적치를 구하기 위한 슬럼프, 단위용적중량, 압축강도 및 인장강도에 대한 예비실험 결과, 구조용 콘크리트로서 갖추어야 할 구조성능과 경량콘크리트로서 갖추어야 할 경량성 등을 유지하면서 단열성능이 가장 우수하리라고 판단되는 적정배합을 도출하여 표 1과 같은 결과를 얻었다.

표 1. 구조용 경량단열콘크리트 제조를 위한 적정 배합¹⁾

요 인	단위시멘트량 (kg/m ³)	W/C (%)	AE감수제 (%)	S/a (%)	실리카흄대체율 (%)
인	350	50	0.4	35	0, 10, 20

단위시멘트량을 350 kg/m³, 물시멘트비 50%, 잔골재율 35%, AE감수제 첨가율 0.4%로 고정하였으며, 시멘트는 일반적으로 많이 사용하는 비중 3.15의 보통 포틀랜드시멘트를 썼으며, 골재는 굵은 골재와 잔 골재 모두 인공경량 골재인 팽창점토를 이용하였으며, 이들의 비중은 각각 1.34와 1.47이었다. 또한 단열성능의 개선을 위하여 시멘트의 일정용적비를 비중 2.20의 실리카흄으로 대체하였다.

실리카흄의 대체율이 높아짐에 따라 단위용적중량이 감소하여 1,370~1,203 kg/m³를 나타내어, 보통콘크리트의 단위용적중량 2,400 kg/m³에 비해 거의 절반에 가까운 경량콘크리트를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한, 압축강도는 189~195 kg/cm²를 나타냄에 따라 구조용으로 사용하기에 충분한 것으로 판단된다.

4. 구조용 경량단열콘크리트의 열성능 실험

4.1 열성능 실험개요

국내에서 현재 사용되고 있는 보통 콘크리트 및 구조용 경량단열콘크리트의 시편을 각각 3개씩 제작하여 비열, 밀도, 열용량, 열전도율, 열관류율 등의 열성능 실험을 실시하였다.

1) A.M.Neville, *Properties of Concrete*, The Pitman, London, 1988, p488

2) Givoni B., *Man, Climate & Architecture*, Van Nostrand Reinhold Co.,1976, pp.113-114

3) 건국대학교 건축재료시험연구소의 서치호, 류백동, 김유재, 고진수, 박유신 등에 의한 구조용 경량콘크리트 관련 연구결과를 근거로 한, 단열성능을 극대화하기 위한 적정배합으로 도출된 것이다.

4.2 구조용 경량단열콘크리트의 비열, 밀도, 열용량 실험

(1) 비열실험

비열을 측정하는 방법에는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 비교적 간편하지만 신뢰도가 높은 온도변화법을 사용하여 비열을 측정하였다.

대상 콘크리트의 비열 실험결과는 표 2와 같다.

표 2 대상 콘크리트 시편의 초기온도 및 열평형과정

시편 종류	시편의 초기온도 (°C)	열평형 온도 (°C)	열평형 소요시간 (초)	비열 (kJ/kg°C) (kcal/kg°C)
보통콘크리트 (설계강도: 240kg/cm ²)	79	39.0	470	0.942(0.225)
구조용 경량단열콘크리트	97	28.9	390	0.876(0.209)

표 2에서 알 수 있듯이 보온병 속으로 들어갈 당시의 시편의 온도는 약 79 - 97 °C, 열평형온도는 약 29 - 39 °C로 시편에 따른 편차가 있었으나 비열산정식을 이용하여 시편의 비열을 구한 결과, 구조용 경량단열콘크리트의 비열은 0.876 kJ/kg°C(0.209 kcal/kg°C)를 나타내 보통콘크리트의 0.942 kJ/kg°C(0.225 kcal/kg°C)와 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

(2) 밀도실험

밀도 산정용 시편은 30cm * 30cm * 10cm의 입방체를 사용하였다. 전자저울을 이용하여 시편의 질량을 측정하고 다음 이미 구해진 시편의 부피와의 관계로부터 각 시편의 밀도를 산정하였다.

표 3 대상 콘크리트의 밀도 산정결과

시편 종류	질량(kg)	부피(m ³)	밀도(kg/m ³)
보통콘크리트 (설계강도: 240kg/cm ²)	20.30	0.009	2,256
구조용 경량단열콘크리트	10.83	0.009	1,203

표 3에서 알 수 있듯이 구조용 경량단열콘크리트의 경우 보통콘크리트에 비해 밀도가 약 55%에 지나지 않아 구조용 경량단열콘크리트를 건물에 적용시켜 사용할 경우 상당한 자중경감 효과뿐만 아니라, 구조용 경량단열콘크리트를 이용한 패널을 생산할 경우 일반 P.C.에 비해

생산, 운반 등에 있어서도 경량화로 인한 많은 잇점이 있을 것임을 예측할 수 있다.

(3) 열용량

어떤 재료의 열용량은 그 재료가 축적할 수 있는 열량을 나타내며, 건축재료의 열용량은 밀도와 비열을 곱함으로써 산정할 수 있다.

지금까지의 실험결과를 바탕으로 대상 콘크리트의 열용량 산정한 결과는 표 4와 같다.

표 4 대상 콘크리트의 열용량

시편 종류	비열 (kJ/kg°C) (kcal/kg°C)	밀도 (kg/m ³)	열용량 (kJ/m ³ °C) (kcal/m ³ °C)
보통콘크리트 (설계강도: 240kg/cm ²)	0.943(0.225)	2256	2,127(508)
구조용 경량단열콘크리트	0.876(0.209)	1203	1,051(251)

표 4로부터 콘크리트의 열용량은 종류에 따라 크게 차이가 나는 밀도에 의해 결정되는 것임을 알 수 있다. 또한 콘크리트의 열용량을 이용한 용량형 단열효과에 있어서 구조용 경량단열콘크리트는 보통콘크리트의 약 1/2배의 효과를 나타낼 수 있을 것으로 보인다.

4.3 구조용 경량단열콘크리트의 열전도율, 열관류율 실험

열관류율 측정방법은 KS, ASTM, DIN, JIS 등에 규정되어 있으며 크게 나뉘 보호열상자(Guarded Hot Box), 열량 교정상자(Calibrated Hot Box), 열류계(Heat Flow Meter)를 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. 본 연구에서 채택한 재료의 열전도율, 열저항 및 열관류율의 측정법은 DIN 52619 Part 1(Determination of thermal resistance and overall heat transfer of windows-measurement of the whole structure)에 규정되어 있다. 이 기준에 의한 측정법은 열상자(Hot Box)나 열류계(Heat Flow Meter)를 이용하여 시편을 통한 열류량을 측정하고 후 표면온도 등과의 관계에 의해 열전도율을 계산하는 방법이다.

대상 콘크리트에 있어서의 열전도율 및 열관류율을 실험한 결과는 표 5와 같다.

표 5. 각종 콘크리트의 열전도율, 열관류율

종 류	열전도율 (W/m ² ·°C) (kcal/mh·°C)	열관류율(30cm두께) (W/m ² ·°C) (kcal/m ² ·h·°C)
보통콘크리트 (설계강도: 240kg/cm ²)	1.517(1.308)	2.944(2.538)
구조용 경량단열콘크리트	0.443(0.382)	1.221(1.053)

표 5로부터 구조용 경량단열콘크리트의 열전도율은 약 0.44 W/m²·°C(0.38 kcal/mh·°C)로 보통콘크리트의 열전도율 1.52 W/m²·°C(1.31 kcal/mh·°C)에 비해 1/3에도 미치지 않음을 알 수 있다.

5. 구조용 경량단열콘크리트의 열성능 평가

5.1 열성능평가 프로그램의 개요

구조용 경량단열콘크리트의 열성능 평가는 열교부위를 포함한 열적 취약부위에 대한 다차원 열류해석을 통한 건물구조체 내부의 온도분포 분석과 건물진체에 대한 건물부하해석의 두가지 방법을 사용하였다. 열교부위에 대한 열성능 시뮬레이션은, 열교부위의 단열상세에 대한 열성능실험과 시뮬레이션을 통해 프로그램의 검증(거진4), 유한차분법을 이용한 다차원 열류해석 프로그램을 이용하였으며, 건물진체의 건물부하해석을 위해서는 정밀 건물부하해석 프로그램인 DOE2를 이용하였다.

기상자료는 공기조화·냉동공학회에서 발표된 서울지역의 표준기상데이터5)를 DOE2용 기상자료파일로 변환한 것6)을 이용하였다.

5.2 열적 취약부위에 대한 열성능 시뮬레이션

(1) 열성능평가의 개요

시뮬레이션에 선정된 대상부위는 공동주택의 측벽과 슬래브 접합부, 후면 발코니외벽과 세대 경계벽 접합부, 인방 및 창틀주위, 옥상슬래브 등으로, 건물에서 열교현상이 발생하는 부위이거나 다른 부위에 비해 열손실이 과다한 부위라 할 수 있다. 본 논문에서는 지면관계상 그 중

측벽과 슬래브 접합부에 대한 결과만을 다루고자 한다.

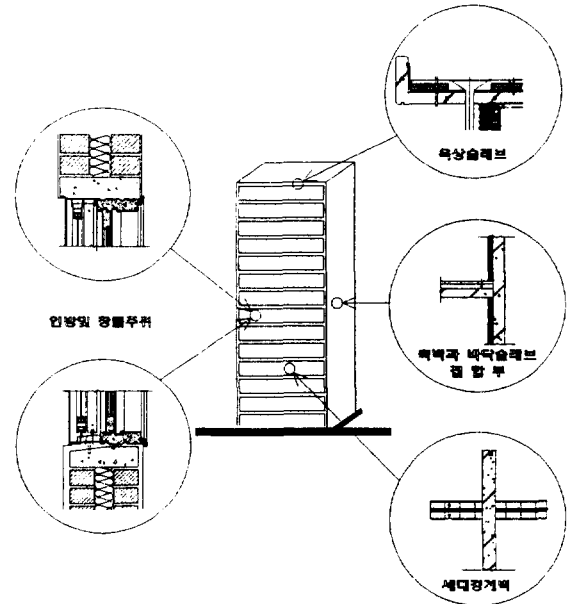


그림 1. 공동주택에 있어서의 열적 취약부위

열교부위에서의 열손실량을 계산하기 위한 재료의 물리적 성질은 표 6과 같다.

표 6. 열교부위 구성재료의 물성치

종 류	열전도율 (W/m ² ·°C) (kcal/mh·°C)	비열 (kJ/kg·°C) (kcal/kg·°C)	밀도 (kg/m ³)	열용량 (kJ/m ² ·°C) (kcal/m ² ·°C)
보통콘크리트	1.517(1.308)	0.943(0.225)	2,256	2,127(508)
경량단열콘크리트	0.443(0.382)	0.876(0.209)	1,203	1,051(251)
경량기포콘크리트	0.194(0.167)	1.186(0.283)	559	662(158)
채석 및 자갈	0.789(0.680)	0.838(0.200)	1,850	1,549(370)
모르타르	0.720(0.620)	0.838(0.200)	1,865	1,562(373)
식고보트	0.162(0.140)	1.089(0.260)	800	201(87)
단열재(스지로폴)	0.034(0.029)	1.215(0.290)	25	9(2)

또한 열성능 계산을 위한 경계조건은 다음과 같다.

- 실내온도 : 20°C, - 외기온도 : -15°C(서울)
- 실외측 표면열전달율 : 29 W/m²·°C
(25 kcal/m²·hr·°C)

(2) 측벽과 바닥슬래브 접합부

공동주택 측벽세대의 측벽과 바닥슬래브가 만나는 시뮬레이션 대상부위는 그림 2와 같다.

4) 상공자원부, 건물 외피의 표준 단열설계 기술개발에 관한 중간보고서, 서울대학교, 서울, 1994, pp.37-39

5) 공기조화·냉동공학회, 서울표준기상데이터, 1990

6) 식호태, 사무소 건물의 에너지절약을 위한 부하예측방정식 및 설계지침개발에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문, pp.70-78

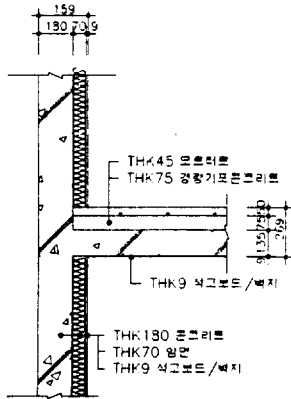
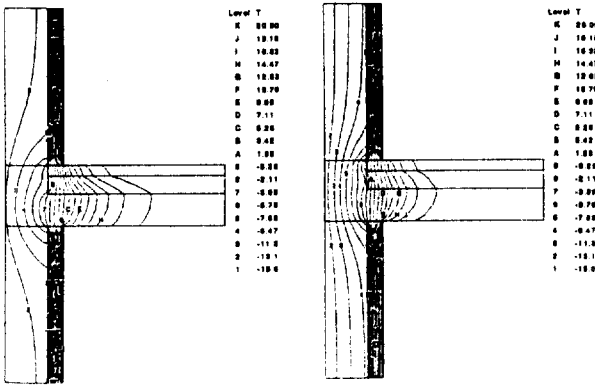


그림 2. 시뮬레이션에 사용된 공동주택 축벽과 바닥슬래브 접합부

대상부위에 대한 2차원 열류해석 프로그램을 이용한 노드별 온도 분포를 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.

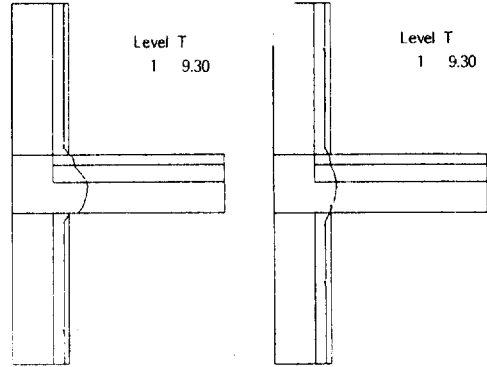


보통콘크리트 경량단열콘크리트

그림 3 보통콘크리트를 경량단열콘크리트로 대체할 경우의 슬래브 접합부의 온도분포

그림 3의 온도분포를 보면 축벽과 바닥슬래브가 만나는 부위를 통해 바닥슬래브로부터 축벽으로 열이 흘러가고 있음을 확인할 수 있다. 또한 경량단열콘크리트를 사용한 경우의 벽체 온도가 보통콘크리트벽체에 비해 높게 유지되고 있음을 알 수 있다.

다음의 그림 4는 KSF 2295(창 및 문의 결로 방지 시험방법)상의 건구온도 20℃, 상대습도 50%, 노점온도 9.3℃를 실내온습도 조건으로 가정한, 축벽과 슬래브의 실내측 접합부의 표면결로 가능성 유무를 판단할 수 있는 시뮬레이션 결과이다.



보통콘크리트 경량단열콘크리트

그림 4 콘크리트 종류에 따른 슬래브 접합부에서의 표면결로 발생 가능성

그림 4에서 알 수 있듯이 보통콘크리트의 경우에는 슬래브 하단에 접합부로부터 약 5cm까지는 표면결로가 발생될 가능성이 있다. 따라서 지금까지는 대부분 결로방지용 단열모르타르를 슬래브하단에 추가시공하거나, 압축스치로폴과 같은 판상 단열재를 콘크리트 타설 이전에 설치하고 콘크리트를 타설하는 등의 표면결로 방지를 위한 특별한 방법에 의존하고 있다. 그러나 추가단열로 인한 시공단계에서의 번거로움이 경량단열콘크리트와 같은 열전도율이 낮은 재료를 사용함으로써 인해 완전히 제거될 수 있음을 그림 4의 결과를 통해 알 수 있다.

한편 대상 부위에서의 열손실량에 대한 시뮬레이션 결과는 표 7과 같다.

표 7. 축벽접합부에서의 열손실량 비교

콘크리트의 종류	보통 콘크리트	경량단열콘크리트
축벽전체의 열손실량 (W(kcal/h))	505.870(434.970)	389.290(334.730)
열교부위의 열손실량 (W(kcal/h))	369.764(317.940)	273.456(235.130)
열교부위 열손실비	0.73	0.7
보통콘크리트에 대한 단열콘크리트의 열손실비	0.77	

보통 콘크리트를 사용했을 때 축벽 전체의 손실열량(Q_{전체})은 세대당 505.870 W (434.970 kcal/h)이며, 열교부위의 손실열량(Q_{열교})은 369.764 W(317.940 kcal/h) 이다. 즉, 열교부위

의 손실열량이 측벽부위 전체 손실열량의 73 %를 차지하고 있다. 구조용 경량단열콘크리트의 경우에도 측벽전체 및 열교부위를 통한 열손실량은 각각 389.290 W(334.730 kcal/h), 273.456 W(235.13 kcal/h)로 열교부위의 손실열량이 측벽부위 전체 손실열량의 70 %를 차지한다. 또한 구조용 경량단열콘크리트의 경우 측벽전체를 통한 열손실량이 389.290 W(334.730 kcal/h)로 보통 콘크리트의 열손실량 505.870 W(434.970 kcal/h)에 비해 세대당 측벽을 통한 열손실이 23 % 경감되는 것으로 나타났다.

5.3 건물부하해석을 통한 열성능 시뮬레이션

(1) 시뮬레이션 모델 설정

본 시뮬레이션에서는 주택공사에서 설계한 국민주택규모 39m², 15층 아파트 1동을 모델건물로 설정하였으며, 시뮬레이션을 위해 구축된 준은 그림 5와 같다.

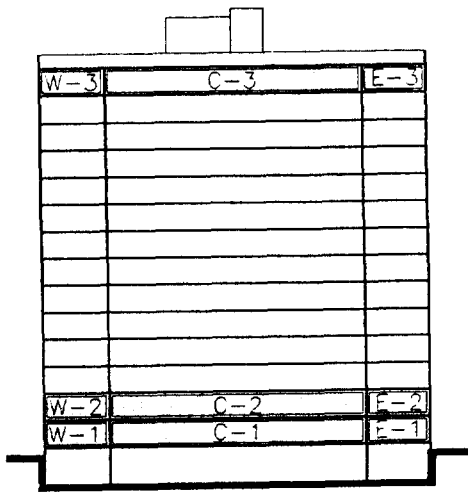


그림 5. 시뮬레이션을 위해 구축한 준

건물의 냉난방부하해석을 위해서는 우선 건물내의 각 부분들의 부하특성을 파악하여야 하며, 이를 바탕으로 부하특성이 비슷한 것들끼리 묶어, 몇 개의 대표 공간에 대한 부하해석을 하고, 이들을 종합하여 건물의 전체부하를 계산하게 된다.

공동주택의 경우도 마찬가지로 방법으로 부하해

석을 용이하게 하기 위한 사전 조닝을 하였다. 시뮬레이션 대상 건물은 남향인 15층 공동주택으로, 우선 외기와의 열교환 특성을 기준으로, 평면상으로는 외기와 측벽을 접하고 있는 동서측의 2개의 측세대와 세대경계벽이 모두 인접세대와 접해있는 가운데 세대로 하여 3개의 존으로 나누었으며, 수직으로는 지면과 접해 있는 1층세대, 외기와 접한 지붕을 가진 최상층 세대, 그리고 상하층 모두 난방공간과 접한 슬래브를 가진 가운데 세대로 나누어 전체를 9개의 존으로 하여 계산에 필요한 데이터를 입력하였다.

한편 시뮬레이션 모델건물의 벽체, 지붕 및 슬래브의 구성은 표 8과 같다.

표 8. 시뮬레이션 모델건물의 벽체, 지붕 및 슬래브의 구성

區分	斷面圖	外皮構成		熱流率 (W/m ² ·°C) (kcal/hm ² ·°C)
		材 料	두께(mm)	
외벽 (E,W)		모르타르	15	보통콘크리트 벽체 : 0.42(0.36)
		콘크리트	150	
		스티로폼	70	경량단열콘크리트 벽체 : 0.38(0.33)
		석고보드	9	
외벽 (S,N)		모르타르	15	0.51(0.43)
		벽돌	90	
		스티로폼	50	
		벽돌	90	
석고보드	9			
내벽		콘크리트	100	보통콘크리트 벽체 : 3.56(3.07) 경량단열콘크리트 벽체 : 2.26(1.95)
지붕		콘크리트	65	보통콘크리트 지붕 : 0.35(0.30)
		스티로폼	80	
		아스팔트방수	20	경량단열콘크리트 지붕 : 0.31(0.27)
		콘크리트	135	
슬래브		모르타르	45	보통콘크리트 슬래브:1.37(1.18)
		경량기포콘크리트	70	
		콘크리트	135	경량단열콘크리트 슬래브:2.22(1.91)
1층바닥		모르타르	45	보통콘크리트 구조 : 0.45(0.39)
		경량기포콘크리트	70	
		스티로폼	50	경량단열콘크리트 구조 : 0.40(0.35)
		콘크리트	135	

또한 열교부위를 통한 열손실량을 냉난방부하 산정에 포함시키기 위해 외벽을 크게 단열재가 들어있는 일반벽체와 단열재가 들어 있지 않은 무단열 콘크리트 벽체로 나누어, 바닥슬래브가 외기와 접하고 있는 구조로 만들기 위해 바닥슬래브 두께인 135mm는 무단열 콘크리트벽체로 입력하였으며, 세대내의 간막이벽은 없는 것으로 간주하였다.

그리고 남측발코니로 인한 일사차단에 대한 영향을 고려하기 위해 남면 벽체에는 발코니 돌출길이에 해당하는 1.2m 차양과 핀을 부착하였다. 이상의 입력자료에 의한 시뮬레이션 대상 건물의 형상은 그림 6과 같다.

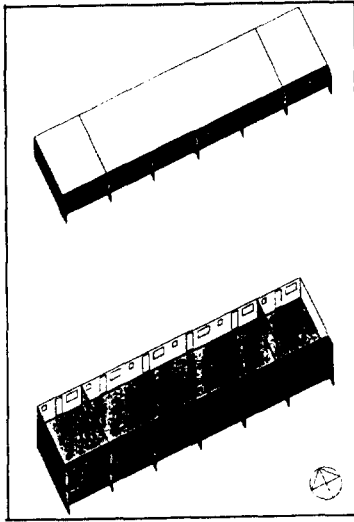


그림 6. 입력자료에 의한 시뮬레이션 대상건물의 형상

콘크리트 종류에 따른 공동주택에서의 건물부하 시뮬레이션을 위해 입력된 건물사용패턴 및 냉난방 기준 온도 등을 포함한 몇몇 인자들은 다음과 같다.

우선 시뮬레이션 대상건물이 39m²의 소형 국민주택인 점을 고려하여 세대당 가족수는 3인으로 하였으며, 4개의 세대로 이루어진 가운데 층의 경우는 존별 최대 입력가능 인원이 10명인 점을 고려하여 세대당 2.5인으로 하였다. 한편, 조명 및 기기에 의한 내부발생열은 소규모 주거 건물인 점을 감안하여 각각 4 W/m²(3.4

kcal/m²h), 2 W/m²(1.7 kcal/m²h)로 하였다.

건물의 환기횟수는 2중창으로 된 기밀구조인 점을 고려하여 시간당 0.5회로 하였다.

보통콘크리트 및 구조용 경량단열콘크리트의 열전도율은 본 연구의 실험결과 나타난 1.517 W/m² (1.308 kcal/mh²°C)와 0.443 W/m² (0.382 kcal/mh²°C)를 이용하였다.

또한 22°C를 냉난방 기준온도로 하여 시뮬레이션하였다.

(2) 시뮬레이션 결과 및 분석

① 콘크리트 종류에 따른 공동주택 층별 건물부하 시뮬레이션

보통 콘크리트에 비해 구조용 경량단열 콘크리트의 부하절감효과를 검토하기에는 각 층의 냉난방부하를 포함하고 있는 층별 건물부하 시뮬레이션 결과가 효과적일 것이다.

따라서 본 논문에서는 층별 건물부하 시뮬레이션 결과를 검토하였다.

표 9는 층별부하 특성을 나타내는 시뮬레이션 결과이다.

표 9. 콘크리트 종류에 따른 공동주택 층별 건물부하 시뮬레이션 결과

층 구분	보통콘크리트		구조용 경량단열콘크리트	
	냉방부하 (kWh/m ² yr (Mcal/m ² yr))	난방부하 (kWh/m ² yr (Mcal/m ² yr))	냉방부하 (kWh/m ² yr (Mcal/m ² yr))	난방부하 (kWh/m ² yr (Mcal/m ² yr))
1 층	28.06(24.16)	62.81(54.08)	27.92(24.08)[0%]	53.83(46.35)[14%]
기준층	40.26(34.66)	42.78(36.85)	39.66(34.15)[1%]	36.11(31.09)[16%]
옥상층	46.13(39.72)	70.20(60.44)	44.96(38.71)[3%]	60.46(52.06)[14%]

[]은 부하절감효과

옥상층의 경우 1층이나 기준층에 비해 난방부하가 많이 발생함을 알 수 있다. 이러한 결과는 옥상을 통한 열손실이 매우 크다는 것을 설명하는 것으로 옥상슬래브가 열적으로 취약한 부위임을 증명하는 것으로 볼 수 있다.

한편, 보통콘크리트 대신 구조용 경량단열콘크리트를 사용함으로써 얻을 수 있는 냉방부하 감소효과는 약 1% 내외로 미미하지만, 난방부하 감소효과는 약 15%가 됨을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구는 가장 보편적인 건축물의 구조재인 콘크리트의 열성능 자체를 향상시켜 건물의 열적인 문제점을 해결하기 위한 것이다. 콘크리트를 경량화, 고강도화하는 것과 동시에 고단열화하여 이를 건물의 일반적인 외벽재료나 구조재로 사용함으로써, 접합부나 모서리 등에서의 열교현상을 근본적으로 제거하고 표면결로도 방지하며 건물의 전반적인 열성능을 크게 향상시킬 수 있다는 것을 밝히고자 하였다.

따라서 본 연구에서는 구조용 경량골재를 사용한 구조용 경량단열콘크리트를 만들어, 콘크리트 재료에 대한 각종 열성능을 실험하고, 실제 건물적용시의 각종 열성능을 시뮬레이션을 통해 평가하여, 이를 바탕으로 건물에서의 구체적인 적용가능부위를 제안하였다.

연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 구조용 인공경량골재인 팽창점토를 이용하면 구조용 경량단열콘크리트의 단위용적중량 $1.2t/m^3$, 압축강도 $180 kg/cm^2$ 이상, 열전도율 $0.34 - 0.46W/m^{\circ}C$ ($0.3 - 0.4 kcal/mh^{\circ}C$)의 단열성이 우수한 구조용 콘크리트가 제조될 수 있다.
2. 구조용 경량단열콘크리트의 열성능 실험 결과, 비열은 약 $0.84 kJ/kg^{\circ}C$ ($0.2 kcal/kg^{\circ}C$), 열용량은 약 $1,050 kJ/m^3^{\circ}C$ ($250 kcal/m^3^{\circ}C$), 열전도율은 약 $0.443 W/m^{\circ}C$ ($0.382 kcal/mh^{\circ}C$)로 보통콘크리트의 4배 정도의 단열성능을 기대할 수 있음을 확인하였다.
3. 열교부위에 대한 열성능 시뮬레이션 결과, 열교부위의 구성재료가 보통콘크리트에서 구조용 경량단열콘크리트로 대체됨으로 얻을 수 있는 열손실 감소 효과는 약 23-24 %로 나타났으며, 공동주택의 건물전체에 대한 부하 절감효과를 시뮬레이션한 결과, 냉방부하 절감효과는 미미하였으나, 난방부하 절감량은 층에 관계없이 약 15 %로 크게 나타났다.
4. 구조용 경량단열콘크리트의 잇점 가운데 우수한 단열성능을 최대한 살릴 수 있는 적용 가능 부위는 벽체 및 슬래브 접합부위, 인방

및 창틀주위, 옥상슬래브 등으로 요약될 수 있다. 그러나 구조용 경량단열콘크리트의 자중감소효과까지 고려한다면, 일반 벽체 및 슬래브 등에도 사용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 권영철, "구조용 경량단열콘크리트의 열성능 평가에 관한 연구", 중앙대학교 박사학위논문, 1995.12.
2. 서치호, "경량콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구", 한양대학교 박사학위논문, 1986.
3. 석호태, "사무소 건물의 에너지 절약을 위한 부하 예측 방정식 및 설계지침 개발에 관한 연구", 서울대학교 박사학위논문, 1995.8.
4. 송승영, 김광우, "다차원 유한차분 전열해석법의 그리드시스템에 관한 연구", 대한건축학회, 대한건축학회논문집 11권 4호, 1995.4.
5. 이언구, 김광우 공역, 건축환경과학, 태림문화사, 서울, 1992.
6. 통상산업부, 건물 외피의 표준 단열설계 기술개발에 관한 중간보고서, 1995.
7. 통상산업부, 에너지절약을 위한 단열경량고강도 콘크리트의 개발연구에 관한 최종보고서, 1997.
8. A. M. Neville, *Properties of Concrete*, The Pitman Press, 1973.
9. ASHRAE, *ASHRAE Handbook Fundamentals*, 1985, 1989, 1993.
10. B. Givoni, *Man, Climate & Architecture*, Van Nostrand Reinhold Co., 1976.
11. John L. Clarke, *STRUCTURAL LIGHT-WEIGHT GGREGATE CONCRETE*, BLACKIE ACADEMIC & PROFESSIONAL, London, 1993.
12. LBL, *DOE-2 USER'S GUIDE* Version 2.1, 1980.
13. LBL, *DOE-2 REFERENCE MANUAL* Version 2.1A Part 2, 1981.

(接受 : 1997. 9. 2)