

단열성능 향상 콘크리트 배합설계 및 생산기술 개발

Development Production Technology and Mix Proportion of Improved Insulation Performance Concrete

김정호 Jung-Ho Kim
한라엔컴(주) R&D Center 주임연구원

박영신 Young-Shin Park
한라엔컴(주) R&D Center 센터장

1. 머리말

최근에는 기후조건과 환경의 급격한 변화에 의해 냉난방 에너지 사용이 증가되고 있으며, 이는 화석 연료 사용량 증가, CO₂ 배출량 상승, 지구 온난화 등 환경과 에너지에 대한 수많은 문제를 유발하고 있는 실정이다¹⁾. 따라서 세계 각국은 온실가스 배출 및 에너지 소비 감소를 위한 대응책을 마련하고 있으며, 우리나라 정부 또한 ‘저탄소 녹색 성장²⁾’ 및 ‘친환경 주택 건설기준 및 성능’ 등의 정책을 선포하는 등 건물 부문에 있어 환경과 에너지 관리에 대한 노력을 하고 있다³⁾.

우리나라 총 에너지 소비량 중 건물 부문이 차지하는 비율은 약 23%에 달하며, 다른 산업 분야에 비해 연간 에너지 소비 증가율이 높은 편이다. 건물에서 에너지 손실이 가장 큰 부위는 외피이며, 이 부분의 에너지 손실을 감소하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나 이는 대부분 창호 및 단열재에 대한 연구이며, 건물 외피의 70% 이상을 차지하고 있는 구조용 콘크리트에 대한 연구는 미미한 실정으로, 건물의 에너지 손실을 최소화하기 위해서는 콘크리트 자체의 단열성능을 확보할 수 있는 기술개발이 필요하다.

이에 본 고에서는 일반 콘크리트보다 열전도율이 2배 이상 향상되면서 재령 28일 압축강도가 24MPa 이상인 단열성능향상 콘크리트의 배합설계 및 생산기술에 대하여 소개하고자 한다(그림 1).

2. 단열성능향상 재료의 분석

2.1 분석 재료 및 방법

단열성능향상 콘크리트를 제조하기 위해서는 콘크리트의 단열성능을 향상시킬 수 있는 단열성능향상 재료가 필요하다.

단열성능향상 재료는 콘크리트의 압축강도와 열전도율을 개

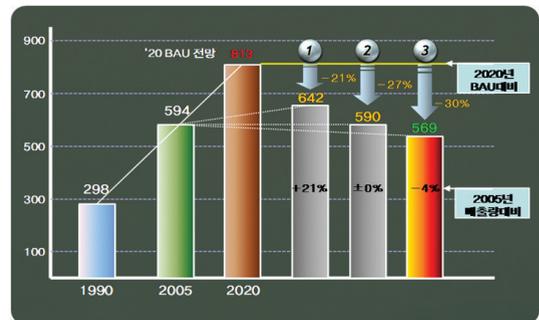


그림 1. 온실가스 감축 및 에너지 저감 목표

선시하기 위해 사용되며, 콘크리트 내부에 다공성을 확보함과 동시에 강도 발현이 가능한 재료이어야 한다. 이를 위해 분체타입, 액상타입, 골재타입을 선정하여 분석을 실시하였다.

분석 장비로는 표면관찰 및 성분분석을 위해서 Microtrac사의 SEM(Scanning Electron Microscope) 과 Shimadzu사의 EDX(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)를 사용하였으며, 적외선 분광 분석으로 PerkinElmer사의 FT-IR(Fourier Transform Infrared Spectrometer)을 사용하여 단열성능향상 재료를 분석하였다<사진 1, 2>.

2.2 분석 결과

분체타입은 입경이 10 μm의 다공성물질이며, SiO₂의 함량이 약 91%로 시멘트의 수산화칼슘과 포졸란 반응을 통한 모세관공극 충전 효과로 인하여 강도 발현에 효과가 있는 것으로 분석되었다. 액상타입은 아크릴을 기초로 한 수용성 아크릴 고분자 화합물이며, 콘크리트 중의 공기량 조절에 사용되는 물질로 분석되었다. 또한, 골재타입은 점판암을 주원료로 하며, 내부 공극률이 45% 이상으로 공극이 많고 표전 밀도가 1.54 g/cm³로 분석되었다.

3. 단열성능 향상 콘크리트의 실내실험

3.1 실험 계획

콘크리트의 단열성능을 향상시킨 구조용 콘크리트를 제조하기 위해서 선정된 분체타입, 액상타입, 골재타입



사진 1. 단열성능향상 재료의 육안 사진



사진 2. 분석 장비



(a) QuickLine30(비정상법) (b) TLP 300(정상법)

사진 3. 열전도를 측정 장비

의 단열성능향상 재료를 단일재료와 복합재료로 구분하여 콘크리트 실내 실험을 진행하였으며 물리·역학 및 열전도 특성을 분석하였다<사진 3>.

콘크리트의 열전도율 측정은 비정상법과 정상법의 두 가지 방법으로 진행하였으며, 비정상법은 미국 Anter사의 QuickLine30을 사용하여 ASTM C 1113에 의거 측정하였고, 정상법은 독일 TAURUS사의 TLP 300을 사용하여 ISO 8302 방법에 의거 측정하였다. 본 고에 제시된 열전도율 결과값은 정상법으로 측정한 값을 나타낸 것이다.

3.2 실험 결과

단열성능향상 재료를 사용한 콘크리트의 압축강도와 열전도율을 분석한 결과, 단일재료를 사용한 콘크리트의 전배합에서 재령 28일 압축강도가 27 MPa 이상을 나타내었다. 열전도율에서는 일반 콘크리트 대비 분체타입 13%, 액상타입 23%, 골재타입 16% 개선의 결과를 나타내었다. 복합재료를 사용한 콘크리트에서는 전배합이 재령 28일 압축강도가 24 MPa 이상을 나타내었으며, 열전

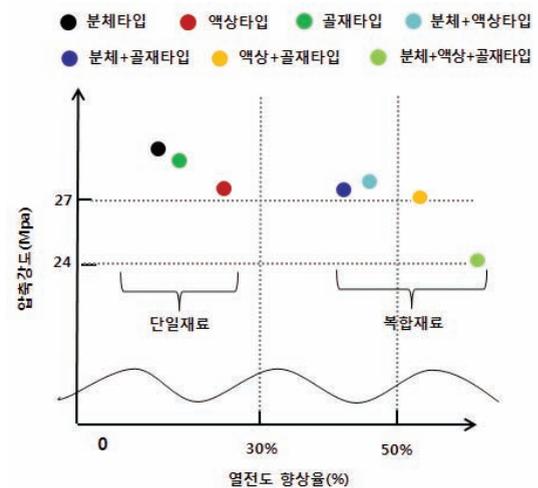


그림 2. 단열성능향상 콘크리트의 실내실험 결과

도움에서는 분체 + 액상타입이 46% 개선, 분체 + 골재타입이 43% 개선, 액상 + 골재타입이 53% 개선, 분체 + 액상 + 골재타입이 62% 개선의 결과를 나타내어 3개 재료를 복합할 때 강도 확보와 열전도율 개선에서 우수한 결과를 나타내었다. <그림 2>는 실내실험에서 단일재료와 복합재료를 사용한 콘크리트의 압축강도와 열전도율에 대해 분석한 그래프이다.

4. 배치플랜트를 이용한 생산 실험

실내실험을 통해 구조용으로 사용이 가능하면서 열전도율을 일반콘크리트 대비 2배 이상 향상된 단열성능향상 콘크리트를 제조할 수 있었으며, 이를 현장에 적용하기 위한 배치플랜트 생산 실험을 진행하였다(사진 4).

4.1 생산설비 개선

일반적으로 사용되고 있는 배치플랜트는 시멘트계 분체와 혼화제 그리고 일반 골재의 사용에 적합하게 구성되어 있다. 그러나 단열성능향상 재료는 보편적으로 사용하고 있는 재료와 시스템으로는 생산이 어려우며 이를 개선하여야 한다.

분체타입 적용을 위해서는 고분말·저밀도 분체 펌프 설비의 구축이 필요하며, 액상타입 적용을 위해서는 자동 계량시스템과 투입시간 조절시스템이 필요하고 골재타입 적용을 위해서는 프리웨팅 설비구축과 이송방법 개선대책이 필요하다. 이에 생산 실험을 위해 <그림 3>과 같은 생산설비를 구축하였다.



사진 4. 단열성능향상 콘크리트의 생산실험



(a) 분체타입 적용을 위한 설비 개선



(b) 골재타입 적용을 위한 설비 개선



(c) 액상타입 적용을 위한 설비 개선

그림 3. 생산설비 개선

4.2 실험 결과

배치플랜트를 이용하여 단열성능향상 콘크리트를 생산한 결과, 재령 28일 압축강도 목표치인 24 MPa를 만족하지 못한 배합은 액상타입과 액상+골재타입으로 다소 낮은 압축강도를 나타내었으며, 이는 콘크리트 내 기포셀이 다소 크게 생성되어 강도에 악영향을 미쳤기 때문으로 볼 수 있다. 그러나 이를 제외한 모든 배합은 24 MPa 이상의 결과를 나타내어 구조용으로 사용이 가능할 것으로 판단되었다.

열전도율에서는 실내실험과 유사한 경향을 나타내었

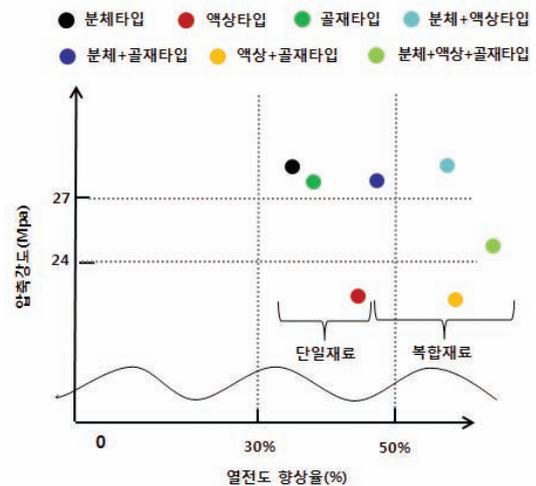


그림 4. 단열성능향상 콘크리트의 실내실험 결과

으며 특히, 2개 재료를 복합한 배합이 일반콘크리트 대비 50% 이상 향상된 결과를 나타내었다.

〈그림 4〉는 배치플랜트를 이용하여 단일재료와 복합 재료를 사용한 콘크리트의 압축강도와 열전도 향상율에 대해 분석한 그래프이다.

5. 단열성능 향상 콘크리트 적용시 이점

단열성능 향상 콘크리트를 건축물에 적용할 경우 얻을 수 있는 이점은 다음과 같다.

- (1) 벽체를 구성하고 있는 재료의 온도변화량 계산을 통한 벽체 온도구배를 분석한 결과, 단열성능향상 콘크리트와 일반콘크리트를 사용할 경우 실내온도에서 약 1℃ 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 에너지관리공단과 한국환경산업기술원에서는 실내온도를 약 1℃ 올리는데 냉·난방비 7% 절감에 가구당 연간 231kg의 CO₂를 절감할 수 있다고 명시하였으며, 이로 인한 경제·환경적인 이점이 기대된다.
- (2) 벽체의 표면 결로는 내·외부 온도차가 클수록 많이 발생된다. 특히 겨울철에는 결로의 피해가 빈번하게 발생한다. 이를 방지하기 위해서는 벽체의 열전도율을 작게 하여 벽면 온도를 실내의 습공기의 노점온도 이상으로 상승시킴으로써 막을 수 있으며⁴⁾ 단열성능향상 콘크리트를 사용함으로써 결로 방지에 도움이 될 것으로 기대된다.
- (3) 건물 실내 벽체의 표면온도는 겨울철에는 낮고, 여름철에는 높다. 이는 실내 거주자의 온열 쾌적감 만족을 기대하기 어렵다. 온열 쾌적감이란 ‘환경 조건에 만족감을 느끼는 마음의 상태’로 정의되며, 물리적 요소로써 열, 공기, 음, 빛으로 분류할 수 있다. 인체의 감각에 영향을 주는 쾌적온열환경 조성은 인간생활에 있어 매우 중요한 부분이라 할 수 있으며, 건물 벽체의 표면온도를 조절함으로써 실내 환경을 개선하고 동시에 실내 거주자의 온열 쾌적감을 향상시킬 것으로 기대된다.

6. 맺음말

본 고의 단열성능향상 콘크리트 기술을 한국건설기술연구원 부지내에 건설 예정인 건축물에 일부 시험 적용할 예정이다. 이를 위해 후속 연구로 Mock-up 실험체를 제작한 후 단열성능향상 콘크리트를 생산·타설하여 경화 전후의 물성, 시공성, 마감 품질 등을 평가할 예정이며, 실구조물 적용에 무리가 없을 것으로 판단되면 현장에 적용할 예정 뿐만 아니라 점차 단열성능향상 콘크리트를 확대 적용해 나갈 계획이다. 

담당 편집위원 : 류동우(대진대학교) dwryu@daejin.ac.kr

참고문헌

1. IEA(International Energy Agency), “CO₂ Emissions from fuel combustion highlights”, 2011.
2. 대한민국 법제처, 『저탄소 녹색성장 기본법』 (법률 제 9931호), 제정 2010. 1. 13, 시행 2010. 4. 14.
3. 에너지경제연구원, ‘국가에너지절약 및 효율향상 추진체계 개선방안 연구’, 2008.
4. 전인호, “지하주차장 벽체의 시공방법에 따른 표면결로 발생 특성에 관한 연구”, 인천대학교 대학원, 석사학위논문, 2012.



김정호 주임연구원은 건국대학교 건축공학과에서 경량골재 콘크리트의 역학 및 내구 특성에 대한 연구로 석사학위를 취득하였고 현재 한라 ENCOM(주) R&D센터에서 재직 중이며, 주요 연구분야는 콘크리트 관련 분야이다.
jungho.kim@halla.com



박영신 센터장은 건국대학교에서 박사과정을 수료하였고, 현재 한라 ENCOM(주) R&D센터의 센터장으로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 콘크리트 관련 분야이며, 현재 시멘트(SO/ C74)의 전문위원으로 활동하고 있다.
youngshin.park@halla.com