

조강시멘트를 사용한 한중콘크리트의 수화발열 및 역학적 특성

The Mechanical Characteristics and Hydration Heat on the Cold Weather Concrete using High Early Strength Portland Cement

이 원 암* 엄 태 선** 유 재 상*** 이 종 열****
Lee, Won Am Um, Tae Sun Ryu, Jae Sang Lee, Jong Ryul

ABSTRACT

Cold weather concrete is the concrete which is used during construction under low-temperature environment, and this kind of concrete has to be taken care not to be frozen in early ages of setting-hardening. It is specified in the Concrete Standard Specification(2003) as "the cold weather concrete must be used on the weather condition under the average daily outdoor temperature below 4°C."

In this research, the mechanical characteristics and hydration heat on the cold weather concrete using high early strength portland cement were studied.

As a result, the excellent quality was obtained and high early strength portland cement is expected to be used widely as the cold weather concrete.

1. 서론

콘크리트표준시방서에는 한중콘크리트를 '하루의 평균기온이 4°C 이하로 되는 것이 예상되는 기상 조건 하에서는 응결경화반응이 몹시 지연되어, 밤중이나 새벽뿐만 아니라 낮에도 콘크리트가 동결할 염려가 있으므로 한중콘크리트로서 시공 한다.'라고 규정하고 있다.

한중콘크리트는 저온의 환경하에 시공하는 콘크리트로서 이를 시공할때에는 응결경화 초기에 동결 시키지 않도록 해야 한다. 또한 한냉하에서도 소요의 품질이 얻어지도록 현장내에서의 운반, 타설, 양생 및 가설재(거푸집, 동바리 외)등에 대하여서도 적절한 조치를 취하여야 하는데, 왜냐하면, 콘크리트가 초기동해를 받으면 그 후 양생을 계속하더라도 강도 및 내구성 증진이 어렵기 때문이다.

물론, 양생종료후에도 동결융해작용에 대하여 충분한 저항성을 가지도록 해야하며, 공사 중 각 단계에서 예상되는 하중에 대하여 충분한 강도를 가지도록 품질관리를 철저히 하여야 한다.

본 발표내용은 실제 아파트 시공현장에 조강시멘트를 사용한 한중콘크리트의 현장적용한 후 재령별 압축강도 및 적산온도의 모니터링을 통하여 수화열 해석 및 역학적 특성을 확인하고자 하였다.

또한, 해석값 및 실측값과의 상관성을 구하여 향후 한중콘크리트 시공현장의 품질관리 기초자료로 활용하고자 한다.

* 정희원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 콘크리트연구실 주임연구원

** 정희원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 콘크리트연구실 수석연구원, 공학박사

*** 정희원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사

**** 정희원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 소장

2. 수화열 해석이론 고찰 및 해석조건

2.1 수화열 해석 이론의 도입

콘크리트의 양생 과정에서 발생하는 재질특성의 변화는 온도와 시간의 함수 형태로 나타나게 된다. 이러한 현상을 반영하기 위해 등가재령 개념을 사용한다. 등가재령은 CEB-FIP MODEL CODE 90을 사용하여 산정하였다.

$$t_{eq} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \left[13.65 - \frac{4000}{273 + T(\Delta t_i) / T_0} \right]$$

여기서, t_{eq} : 등가재령(days)

Δt_i : 각 해석단계에서의 시간간격(days)

$T(\Delta t_i)$: 각 해석단계에서의 온도(℃)

T_0 : 1℃

등가재령을 사용하여 재령별 콘크리트 압축강도 및 인장강도는 콘크리트 표준시방서(2003)에 준하여 계산하였다.

2.2 해석 조건

적용된 배합, 측정한 외기온도 등을 엄밀하게 고려하여 실제와 유사한 조건의 해석을 실시하였다. 해석에 사용한 구조물 형상은 아파트 슬래브와 같이 단순매트 형식이다.

적용된 콘크리트 배합은 다음 표 1과 같다.

표 1 적용된 콘크리트 배합

| 배합 종류 (시멘트 종류) | W/B (%) | S/a (%) | Unit Weight(kg/m ³) | | | | | |
|-------------------|------------|------------|---------------------------------|-----|----|-----|-----|-----|
| | | | W | B | | S | G | AD |
| | | | | C | FA | | | |
| 1종 | 45.9 | 43.6 | 173 | 332 | 45 | 743 | 987 | 2.1 |
| 3종 | 56.8 | 45.2 | 188 | 331 | - | 777 | 968 | 2.0 |

콘크리트표준시방서를 근거로 다음 표 2와 같은 열특성 계수값을 사용하였다.

표 2 열특성 계수값

| 열계수 | 시방서 제안 값 | 해석에 사용된 값 |
|------------------------------|-------------|--------------------|
| 열전도율(kcal/mhr℃) | 2.2 ~ 2.4 | 2.3 |
| 비열(kcal/kg℃) | 0.25 ~ 0.30 | 0.25 |
| 단위 용적 중량(kg/m ³) | - | 2,500 |
| 열 팽창 계수 | - | 1×10 ⁻⁵ |

3. 실험결과 및 분석

3.1 한중콘크리트의 수화열 해석결과 분석

조기강도 발현에 대한 해석적인 측면에서 입증하기 위하여 유한요소법을 이용한 수화열 해석을 실시하였으며 이를 통하여 한중콘크리트의 역학적 특성인 압축강도 및 인장강도 등을 얻었다.

양생 과정에서 발생하는 재질특성의 변화는 온도와 시간의 함수 형태로 나타난 것을 반영하기 위하여 등가재령 개념을 사용하였다.

오른쪽 그림은 부재 중심부에서의 시멘트별 수화열 해석결과를 나타내고 있다.

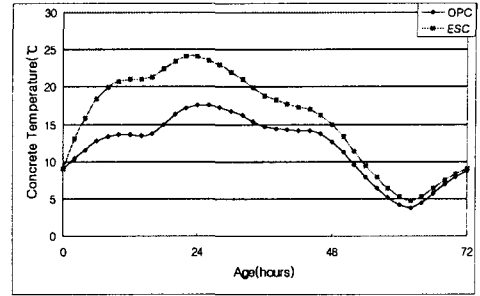


그림 1 수화열 해석결과(부재 중심부)

다음 그림은 타설 1일후의 1종 및 조강시멘트의 온도분포를 나타낸 것으로 편의상 cutting plain에서의 결과값이다.

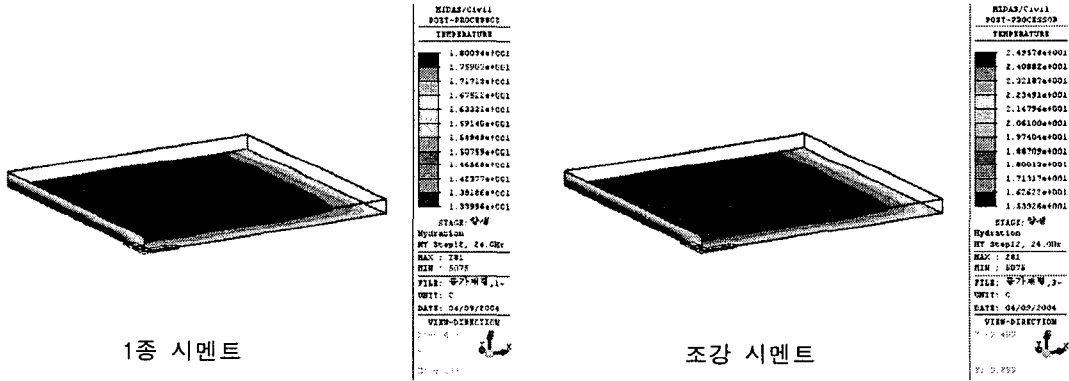


그림 2 시멘트별 온도 분포(타설 1일 후)

다음 그림은 재령별 1종 및 조강시멘트의 압축강도와 인장강도 해석결과를 나타낸 것이다.

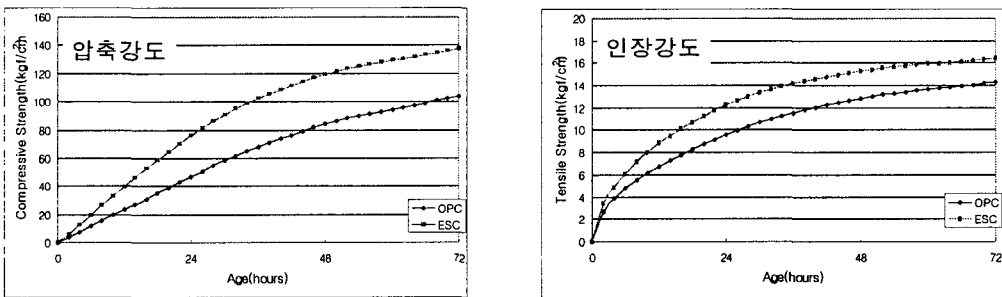


그림 3 시멘트별 강도해석 결과

이상의 해석결과, 동일재령에서 1종 대비 조강시멘트가 우수한 강도결과를 나타내고 있다.

3.2 한중콘크리트의 역학적 특성

본 현장적용시 콘크리트 타설 전, thermocouple 및 data logger를 대상 부재에 설치하였으며, 재령별 모니터링을 실시하여 적산온도(maturity)값을 구하였다.

한편, 콘크리트 타설전 1종 및 조강시멘트를 사용한 콘크리트의 재령별 압축강도를 구하고자 현장에서 공시체를 제작하였다.

오른쪽 그림은 상기에서 구한 압축강도와 적산온도(maturity)와의 상관성을 나타낸 것이다.

1종시멘트 대비 초기 수화열이 높은 조강시멘트가 초기동해를 방지하는 5MPa 강도 발현시점에서 빠른 적산온도(maturity)를 나타내고 있으며, 이는 한중콘크리트 적용시 유리한 요소이다.

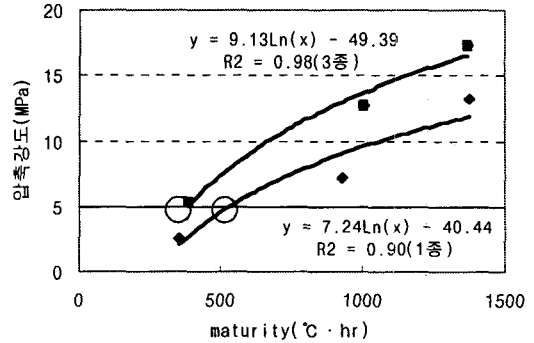


그림 4 시멘트별 압축강도와 maturity의 상관성

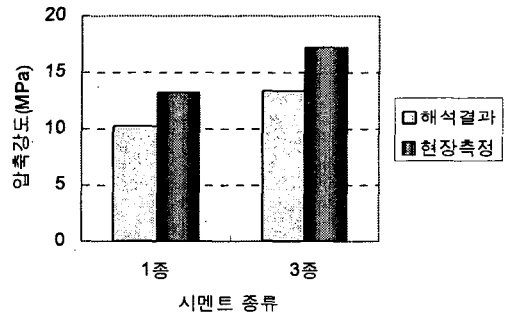
4. 결론 및 향후계획

조강시멘트를 사용한 한중콘크리트의 수화열 해석 및 역학적 특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 조기강도 발현을 해석적인 측면에서 입증하고자 유한요소법을 이용한 수화열 해석을 실시한 결과, 동일 재령에서 1종 대비 조강시멘트를 사용한 콘크리트가 우수한 강도결과를 나타내었다. 이러한 결과는 현장 측정값을 비교한 것에서도 확인할 수 있었다.

2) 시멘트별 압축강도 및 적산온도(maturity)의 상관성 검토 결과, 1종시멘트 대비 초기 수화열이 높은 조강시멘트가 초기동해를 방지하는 5MPa 강도 발현시점에서 빠른 적산온도(maturity)를 나타내었다.

이상의 수화열 해석 및 역학적 특성 분석을 통하여 조강시멘트를 사용한 한중콘크리트의 우수한 품질특성을 확인하였으며, 향후 동절기 공사의 수요확대가 기대된다.



감사의 글

본 연구는 대전 T아파트에 현장적용하여 얻은 결과로서 S건설 관계자 및 수화열 해석에 많은 도움을 주신 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, '콘크리트표준시방서', 2003.
2. ACI 306.1-90, 'Standard Specification for Cold Weather Concrete', 1998.
3. 김진근 외, '시멘트 및 콘크리트의 수화발열특성에 관한 연구', 콘크리트학회지, 1995.6.