

강도변화에 따른 한중콘크리트 특성연구

Characteristic of Cold-Weather Concrete by the Variation of Compressive Strength

신 성 우* ○ 김 인 기** 안 종 문***
Shin, Sung-Woo Kim, In-Ki Ahn, Jong-Mun

Abstract

Cold weather concrete presents the many characteristic variation of quality, according to the mixing and cooling point, the cooling time and the quantity of air besides the compressive strength of concrete. Thus, in this study to verify the character of cold-weather concrete we make the concrete specimens at laboratory and cool them at cooling-melting machine and then test the 7days compressive strength of them, with the variation of compressive strength of concrete, cooling point, cooling time, cooling weather and air quantity. At the results, the compressive strength of concrete decrease in the case of early cooling point, long cooling time, low cooling temperature and the low design compressive strength

1. 서론

콘크리트 재료는 사용상의 우수한 특성에도 불구하고 물을 사용해야 하는 기본적인 한계를 갖고 있으며, 이는 겨울철 같이 온도가 낮은 경우에는 물이 동결되므로 해서 콘크리트가 수화반응을 일으키지 않는 등 한계점을 내포하고 있다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ 이러한 한중콘크리트는 콘크리트 강도 변화 이외에도 제조를 동결시점과 동결시간 그리고 공기량 유무에 따라 많은 품질 특성변화를 보이고 있는데⁵⁾, 국내의 경우 한중 콘크리트는 건설부 시방서에 의하면 하루 평균 기온이 4°C 이하인 날로 규정하고 있으며⁶⁾, 기온이 0°C 이하인 경우 불공사 중단을 실시 하도록 지방자치단체와 주택공사의 경우 조치하고 있다⁷⁾. 대개 공공지방단체인 경우 31日에서 160日이고 주택공사의 경우 20日에서 120日에 이르고 있어 공사중단에 따른 막대한 손실을 초래하고 있는 실정이다. 더욱이 근래 구조물의 고층화와 대형화에 따라 콘크리트의 고강도화가 되고 있으나, 아직 국내에서는 한중 고강도콘크리트의 특성 규명이나 시공방법에 관하여 실험이나 표준적 시공지침 조차 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 한중콘크리트에 대한 동결융해 실험을 통하여 한중콘크리트의 특성을 규명하고 이에 따른 결과를 토대로 콘크리트의 동결기 시공 가능성을 모색하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험

2.1 실험변수

콘크리트의 동결융해특성을 연구하기 위한 본 연구의 실험변수는 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 압축강도 : 240, 300, 500 kg/cm²
- 2) 공기량 : 1, 3, 6 %
- 3) 동결온도 : 0, -5, -10°C
- 4) 동결시점 : 반죽직후, 1, 4, 8, 24, 48 시간후
- 5) 동결시간 : 1, 10, 24, 48시간

이와 같은 각 변수에 따라 $\phi 10 \times 20$ 의 콘크리트 공시체를 제작하여 실험을 수행하였으며 본 연구에서 사용한 시험체의 표기 방법은 다음과 같다.

- 예) F1-A1-T1-S1-L1
F1 : 압축강도 240 kg/cm²
(F2 : 300, F3 : 500)
A1 : 공기량 1%(A2 : 3, A3 : 6%)
T1 : 온도 0°C(T2:-5, T3:-10°C)
S1 : 동결융해 시점 ; 반죽직후
(S2 ; 1, S3 : 2, S4 ; 8, S5 ; 24, S6 ; 48시간후)
L1 : 동결융해 시간 ; 1시간
(L2 ; 10, L3 ; 24 L4 ; 48시간)

2.2 사용 재료

본 실험에 사용한 시멘트는 S사의 보통포틀랜드시멘트 1종이었으며, 모래는 인천의 해사를 염분 함유량 0.01% 이하로 세척하여 사용하였으며, 굵은골재는 김포산 쇠석을, 혼화제는 피닉스150을 사용하였다. 그리고 공기연행제는 수입 공기연행제인 Air mix를, 물은 식수인 수도물을 사용전 24시

* 정희원, 한양대 건축공학과, 부교수
** 한양대 산업경영대학원, 석사과정
*** 정희원, 한양대 건축공학과, 박사과정

간 이상 정체하여 두었다가 사용하였다. 이
상과 같은 각 재료의 특성이 다음 표 2.1~

2.3에 나타나 있다.

표 2.1 시멘트의 물리적 성질(S사 1종)

종류	비중	응결시간		안정율 (%)	분말도 (cm ² /g)	강도(kg/cm ²)		
		초결	종결			3일	7일	28일
보통1종	3.15	245	6:40	0.14	3250	196	287	374

표 2.3 골재의 물리적성질

종 류	최대치수 (mm)	비 중	흡수율 (%)	조립율	염분 함유량 (%)	마모율	산 지
조골재	25	2.6	0.6	6.5	-	19.8	김 포
세골재		2.59	0.61	2.9	0.01	-	인 천

표 2.4 AE감수제 및 공기연행제의 성분

종 류	형상	색 조	성 분	비중
퍼닉스150	액상	적갈색	표준형 AE감수제	1.18
AIR-MIX	액상	암적갈색	공기연행제	1.11

2.3 공시체 제작 및 양생, 실험방법
실험용 콘크리트 공시체(Ø10×20cm)는 Y사
라미콘공장 시험실에서 각 변수별로 동결
융해 시험용과 표준 수중양생 시험용으로
각 조별 3개씩 제작하였으며 제작 후 동결
융해 시험기에서 각 변수 별로 동결시켰으
며, 동결 후 실험실에서 난로를 이용하여
내부온도를 10℃-15℃로 습도는 40-60%를
유지하여 공시체 성형 후 24-48시간 양생
하여 Mould를 제거하고 시험진까지 표준
수중양생(20℃±2℃)한후 재령 7일의 압축
강도를 시험하였다.

결시작 시각과 동결 시간을 각각 구분하여
압축강도 실험을 실시하였으며, 동결시간
공시체의 압축강도와 표준 수중양생한 공
시체의 압축강도를 비교하였다

3.2 실험결과 및 고찰

시험체F1(Fc=240kg/cm², Ae=1,3,6%) 및
F2(Fc=300kg/cm², Ae=1,3,6%) 그리고 F3
(Fc=500kg/cm², Ae=1,3,6%)을 동결시점 및 동
결시간 변화에 따른 각 변수 별로 재령 7
일 압축강도 실험결과는 다음과 같다.

3.2.1 강도 및 공기량변화에 따른 영향

1) 동결온도 0℃ 인경우

동결온도 0℃에서 시험체의 압축강도와
공기량의 변화가 있는 경우를 그림 3.1에서
살펴보면 F1 및 F2에서 각 시험체의 압축

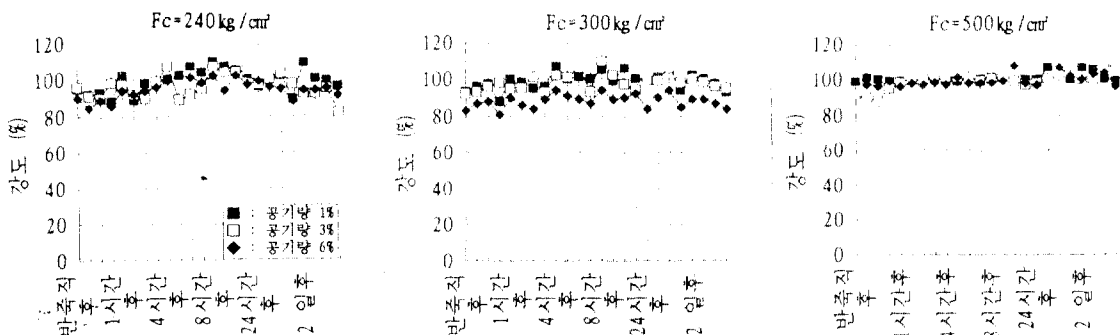


그림 3.1 동결시점 변화에 따른 콘크리트 강도 백분율 (온도=0℃)

강도는 상온양생한 압축강도의 85%이상으로 분포되어 있으며 특히 F3의 경우 상온양생한 압축강도의 100% 수준으로 고르게 나타나 있고, 공기량의 변화에서는 F2의 공기량 6%일 때 강도가 다소 낮게 나타나고 있다.

2) 동결온도 -5℃ 인 경우

동결온도 -5℃에서 시험체의 압축강도와

공기량의 변화가 있는 경우는 그림 3.2에서와 같이 압축강도의 변화에서는 F3의 강도가 F1 및 F2보다 높게 나타나고 있으며,

공기량 변화에서는 각 시험체에서 공기량이 6%일 경우 강도가 다소 낮게 나타나고 있고, F2의 공기량 1% 조건에서 24시간후 동결시킨 값은 상온 양생한 압축강도보다 높게 나타나고 있다.

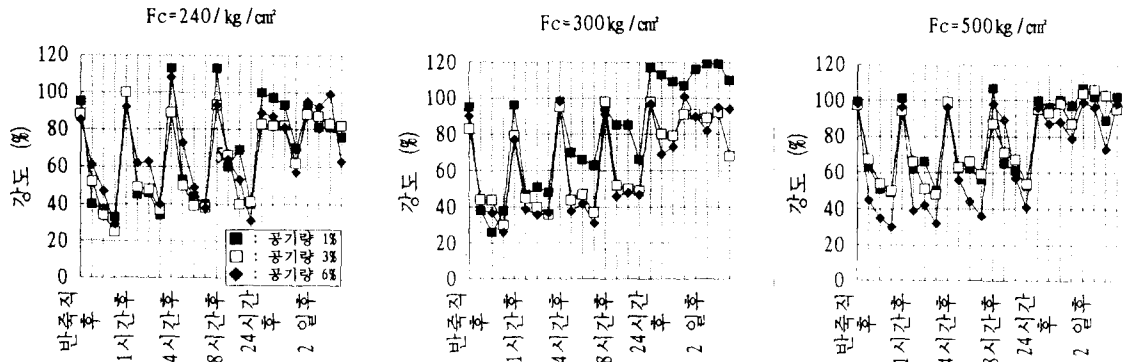


그림 3.2 동결시점 변화에 따른 콘크리트 강도 백분율 (온도=-5℃)

3) 동결온도 -10℃인 경우

동결온도 -10℃에서 시험체의 압축강도와 공기량의 변화가 있는 경우에는 그림 3.3과 같이 압축강도의 변화에서는 F3의 강도

가 F1 및 F2보다 높게 나타나고 있으며, 공기량 변화에서는 F2의 공기량 3%와 F3의 공기량 6%에서 강도가 다소 낮게 나타나 있다.

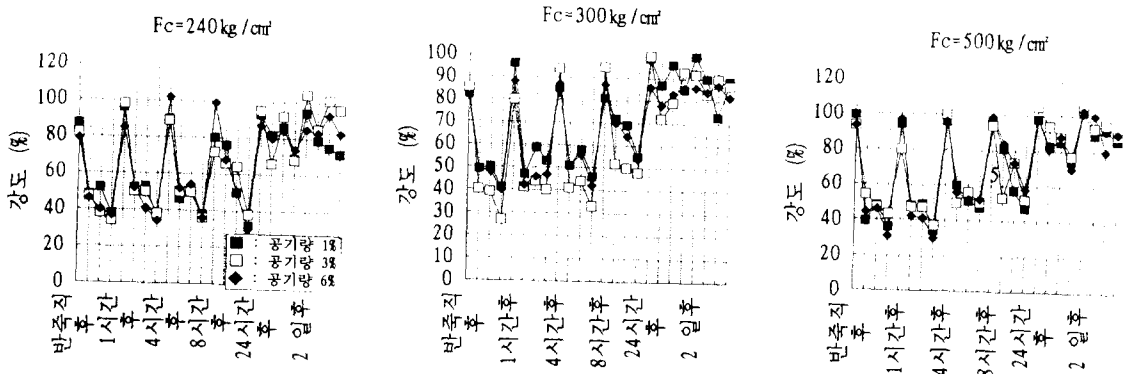


그림 3.3 동결시점 변화에 따른 콘크리트 강도 백분율 (온도=-10℃)

3.2.2 동결온도 및 강도변화에 따른 영향

1) 공기량 1%인 경우

공기량이 1%이고, 동결온도 및 강도의 변화가 있는 경우가 그림 3.4에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 동결온도를 -5℃로 하였을 경우가 -10℃일 때보다 압축강도가 높게 나타나고 있으며, 강도의

변화가 있는 경우에는 동결온도 -5℃와 -10℃에서 F2 및 F3의 강도가 F1보다 높게 나타나고 있다.

2) 공기량 3%인 경우

공기량이 3%이고, 동결온도 및 강도의 변화가 있는 경우를 그림 3.5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 동결온도 0℃

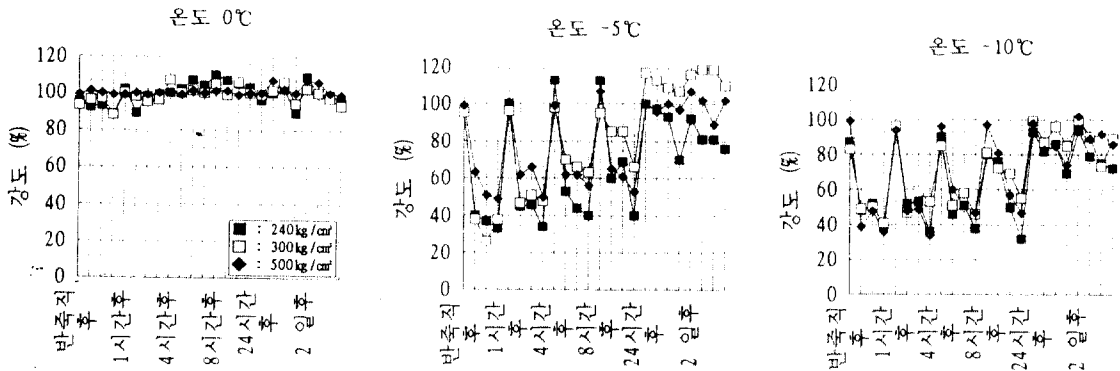


그림 3.4 동결시점 변화에 따른 콘크리트 강도 백분율 (Ae=1%)

에서는 각 시험체 별로 강도가 비교적 크게 나타나고 있으며, 온도 -5°C 가 -10°C 보다 비교적 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 강도의 변화가 있는 경우에는 동결온도 -5°C 에서 F3의 강도가 높게 나타나고 있고 동결온도 -10°C 경우는 각 시험체의 값이 상호 교차되어 나타난다.

3) 공기량 6%인 경우

공기량이 6%이고, 동결온도 및 강도의 변화가 있는 경우가 그림 3.6에 나타나 있다. 그림에서 동결온도의 변화가 있는 경우를 분석하여 보면 동결온도 -5°C 가 -10°C 보다 다소 높은 값을 보이고 있으며, 강도의 변화가 있는 경우에는 F3의 강도가 높게 나타나고 있다.

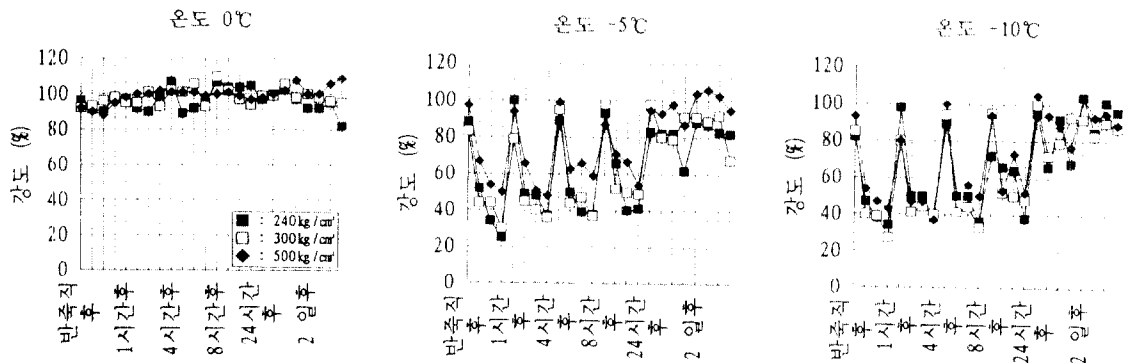


그림 3.5 동결시점 변화에 따른 콘크리트 강도 백분율 (Ae=3%)

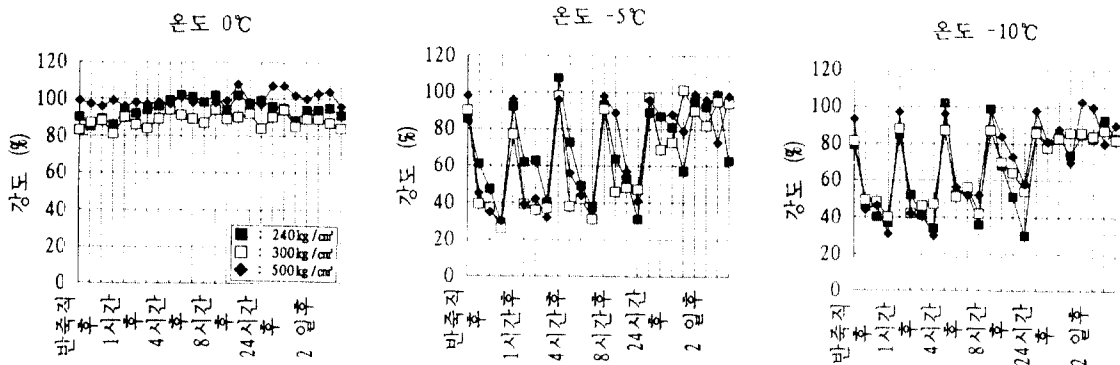


그림 3.6 동결시점 변화에 따른 콘크리트 강도 백분율 (Ae=6%)

3.2.3 공기량 및 온도변화에 따른 영향

1) F1(240kg/cm²)의 경우

F1에서 공기량 및 동결온도의 변화가 있는 경우를 그림 3.7에서 살펴보면 공기량이 낮은 쪽에서 강도가 높게 나타나고 있으며, 동결온도 차이에서는 온도-10℃의 압축강도가 대체로 낮게 나타나고 있다.

2) F2(300kg/cm²)의 경우

F2에서 공기량 및 동결온도의 변화가 있

는 경우를 그림 3.8에서 살펴보면 공기량 변화에 따른 압축강도의 차이는 공기량이 낮은 쪽에서 온도가 -5℃일때 강도가 높게 나타나고 있으며 공기량 6%의 강도가 동결시점 변화에 따라 비교적 고르게 상승하고 있으며, 동결온도 차이는 공기량이 많을 수록 온도 -10℃가 -5℃보다 압축강도 실험값이 높게 나타나고 있다.

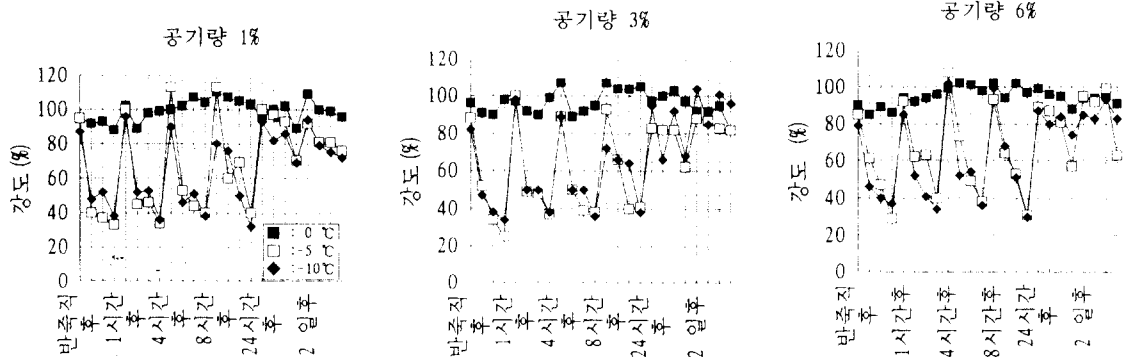


그림 3.7 동결시점 변화에 따른 콘크리트 강도 백분율 (Fc=240kg/cm²)

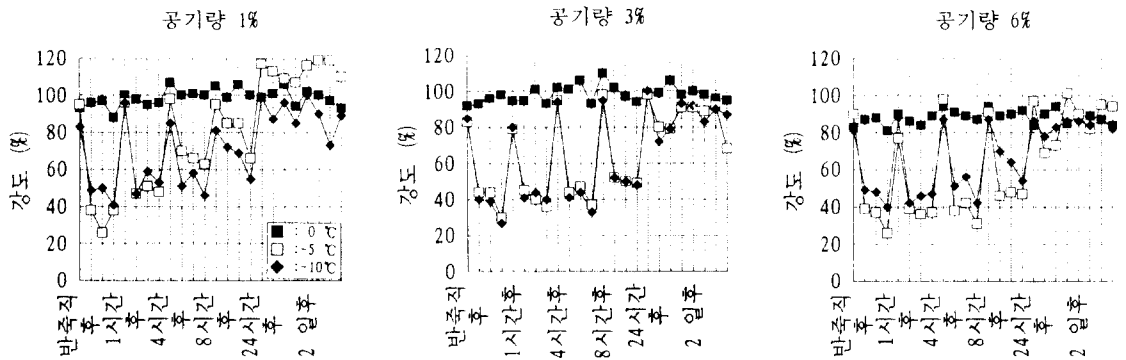


그림 3.8 동결시점 변화에 따른 콘크리트 강도 백분율 (Fc=300kg/cm²)

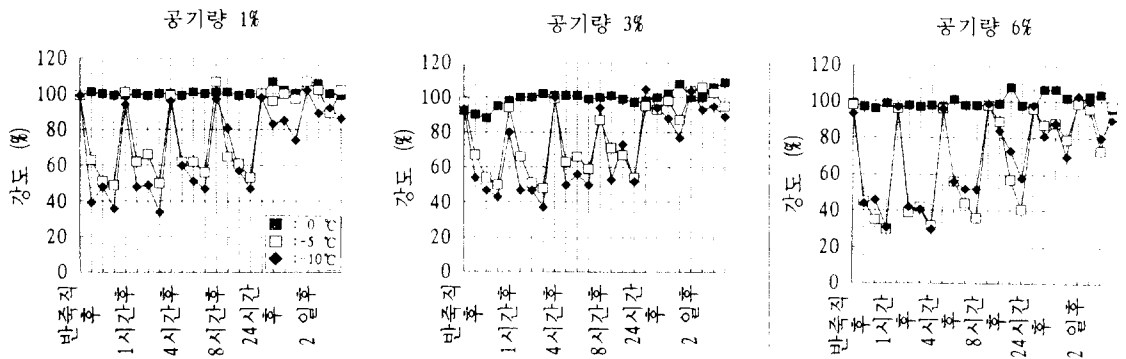


그림 3.9 동결시점 변화에 따른 콘크리트 강도 백분율 (Fc=500kg/cm²)

3) F3(500kg/cm²)의 경우

F3에서 공기량 및 동결온도의 변화가 있는 경우를 그림 3.9에서 살펴보면 공기량 변화에 따른 압축강도의 차이는 공기량이 낮은 쪽에서 온도가-5℃일 때 강도가 높게 나타나며, 공기량 6%에서는 동결온도 -10℃일때의 강도가 다소 높게 나타났다. 공기량 3%일때의 강도는 동결시점 변화에 따라 비교적 고르게 상승하고 있는 것으로 나타났다. 동결온도 차이에서는 공기량의 변화에 따라 동결온도

-5℃와 -10℃의 최저 압축강도 실험값이 상호 교차되어 나타나고 있다.

3.2.4 동결시점 변화에 따른 영향

1) 동결시점이 S1부터 S4인 경우

콘크리트를 반죽하여 동결시점이 S1(반죽직후)에서 S4(반죽하여 8시간경과후)의 범위에서 압축강도 특성을 그림 3.7 및 3.8 그리고 3.9에서 살펴보면, F1에서는 상온 양생한 압축강도 값의 30~60%, F2 및 F3에서는 상온 양생한 공시체 압축강도의 40~60%를 나타내고 있다.

2) 동결시점이 S5부터 S6인 경우

동결시점이 S5(반죽하여 24시간 경과후 동결)~S6(2일 경과후 동결)은 각 시험체 별로 상온 양생한 압축강도 값의 80~110%를 나타내고 있으며, F2 및 F3의 압축강도 값이 시험체 F1보다 대체로 높게 나타나고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 고강도 콘크리트를 겨울철에 시공할 수 있는 기초 자료를 알아보기 위하여 콘크리트 압축강도(240, 300, 500kg/cm²), 공기량(1, 3, 6%), 온도 (0, -5, -10℃), 동결시점(반죽직후, 1, 2, 8, 24, 48 시간 후), 동결시간(1, 10, 24시간, 2일)을 변수로 하여 각각의 변수에 따른 콘크리트 공시체의 압축강도를 살펴 보았고 상온에서 양생한 콘크리트 공시체와 비교하여 압축강도 백분율로 환산한 후 초기 압축강도 및 공기량의 변화를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다

1) 강도 및 공기량의 변화가 있는 경우 온도 일정하고 동결온도가 0℃일 때 각 시험체(F1, F2, F3)의 압축강도는 상온양생한 압축강도 값의 85~100%를 나타내고

있으며, 동결온도가 -5℃와 -10℃에서는 F3의 압축강도 비율이 F1 및 F2보다 평균 값으로 다소 높게 나타나고 있다.

2) 공기량이 일정하고 동결온도 및 강도의 변화가 있는 경우에는 대체로 F3의 압축강도가 F1 및 F2의 압축강도 보다 비교적 높게 나타나고 있다.

3) 압축강도가 동일하고 공기량 및 동결온도의 변화가 있는 경우 공기량 1% 및 3%에서는 동결온도 -10℃일때의 압축강도가 -5℃일 때 보다 낮게 나타나고 있으며 공기량 6%에서는 동결온도 -5℃가 -10℃보다 낮게 나타나고 있다.

4) 콘크리트를 반죽하여 8시간 경과후에 10시간 이상 동결시킨 압축강도 값은 상온 양생한 값의 30%~60%를 나타내고 있으며, 콘크리트를 반죽하여 24시간 경과후 10시간 이상 동결시킨 압축강도 값은 상온 양생한 압축강도 값의 80% 이상이 나타나고 있다.

■ 감사의 글

본 실험연구를 위하여 B/P 및 각종 실험 장비와 실험실을 제공하며 헌신적으로 도와주신 유진레미콘 인천공장 정 찬영 공장장님과 유 득현 실험실장님, 그리고 대한주택공사 부천 소사현장 김 건호 소장님을 비롯한 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

■ 참고문헌

- 1) Pink, Winter Concreting, Cement and Concrete Association, London, 1974
- 2) RILEM, Winter concreting, Symposium, Copenhagen, 1956
- 3) Cordon, W. A., Freezing and Thawing of concrete-Mechanism and control, ACI Monograph No. 3, America Institute, Detroit, Michigan, 1966
- 4) 유재환, 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, 1994
- 5) 신성우, 고강도 콘크리트의 기술현황, 한국과학재단, 1994
- 6) 대한건축학회, 건축공사 표준시방서(건설부 제정), 1994
- 2) 대한주택공사, 감독실무요령, 1995