

한랭지에 있어서 고유동콘크리트의 동해에 관한 연구

Study on the Frost Damage of Self-Compacting Concrete in Cold Weather Regions

고 경 택^{*} 이 장 화^{**} 한 상 목^{***} 장 일 영^{***} 三 浦 尙^{****}
Koh, Kyung Taeg Lee, Jang Hwa Han, Sang Mook Jang, Il Young Miura, Takashi

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the influence of low temperature curing on resistance to freezing and thawing of self-compacting concrete placed in cold weather regions. The experimental study results indicated that the self-compacting concrete incorporating ground granulated blast-furnace slag showed good resistance to freezing and thawing, and the self-compacting concrete containing cellulose viscous agent had relatively poor resistance to freezing and thawing.

1. 서론

최근 일본에서는 콘크리트 시공의 합리화와 내구성 향상의 관점으로 다짐을 실시하지 않더라도 거푸집 구석구석까지 충전될 수 있는 고유동콘크리트가 개발¹⁾되어 실제 구조물에 많이 적용되고 있다.²⁾ 또한, 한랭지에 있어서도 고유동콘크리트가 구조물에 적용되고 있으며 앞으로도 계속 증가될 것이라고 기대된다. 이처럼 한랭지에서 시공하는 콘크리트구조물에 대해서는 초기동해를 받지 않은 것이 상당히 중요하다. 고유동콘크리트는 유동성을 확보하기 위해 고성능 AE감수제를 비교적 다량으로 사용하고, 점성을 부여하기 위해 고로슬래그미분말등의 미분말 재료 및 증점제가 이용되어지고 있다. 이러한 재료의 사용으로 고유동콘크리트는 일반적으로 응결 및 경화가 지연되는 경향이 있으며 이 경향은 저온 환경하에서 보다 현저하게 나타난다.³⁾ 그 때문에 고유동콘크리트를 한랭지에서 타설할 경우 보통콘크리트보다 초기동해를 받을 위험성이 높아진다.

본 연구에서는 한랭지에 있어서 고유동콘크리트를 타설할 경우를 상정하여, 저온양생을 실시한 콘크리트 공시체에 대해서 동결융해시험을 실시하여 저온양생이 콘크리트의 동결융해 저항성에 미치는 영향에 대해서 검토하였다.

2. 시험개요

2.1 사용재료 및 배합

표 1과 표 2에 사용재료의 물성과 배합비를 나타내었다. 본 연구에서 사용한 고유동콘크리트는 물결합재비 35%, 비표면적 4240cm²/g, 8240cm²/g의 고로슬래그미분말 치환율을 각각 50%와 80%로 변환시킨 4종류의 분체계 고유동콘크리트와 물시멘트비 50%, 셀룰로오스 증점제를 첨가한 1종류의 증점제계

*정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원

**정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원

***정회원, 금오공과대학교 토목공학과 교수

****일본 동북대학교 토목공학과 교수

고유동콘크리트이다.

아직 굳지 않은 콘크리트의 특성으로서 고유동콘크리트에서는 슬럼프 플로우치 $65 \pm 5\text{cm}$, O형 깔대기의 유하시간은 $10 \pm 5\text{초}$, 공기량은 한랭지에서 콘크리트를 고려하여 $4.5 \pm 0.5\%$ 의 범위를 만족하도록 하였다.

2.2 시험방법

시험은 한랭지에 있어서의 기온을 상정한 5°C 에서 콘크리트 공시체를 7일간 밀봉양생을 실시하여 2일간 침수시킨 다음에 동결융해시험을 시작하였다. 여기서, 동결융해시험을 실시하기 전에 2일간 침수시킨 이유는 동결융해사이클 초기에는 밀봉양생을 실시한 공시체에 충분한 수분이 존재하지 않으므로 정확한 내구성능 저하가 얻어지지 않는다고 판단되었

표 1 사용재료의 물성

사용재료명	기호	종류 및 성질
시멘트	C	보통포틀랜드시멘트, 비표면적: $3250\text{cm}^2/\text{g}$, 비중: 3.16
고로슬래그 미분말	BS4000	비표면적: $4240\text{cm}^2/\text{g}$, 비중: 2.92
	BS8000	비표면적: $8240\text{cm}^2/\text{g}$, 비중: 2.92
잔골재	S	산사, 비중: 2.53, 흡수율: 2.64%
굵은골재	G	쇄석, 비중: 2.86, 흡수율: 0.98% G_{max} : 20mm
증점제	V	셀룰로오스계 수용성고분자
고성능 AE감수제	SP	포리칼본산 에테르계와 가교 폴리마의 복합체
공기량 조절제	AE	변성 알킬칼본산계

표 2 콘크리트의 배합비 및 아직 굳지 않은 콘크리트의 특성

고유동 콘크리트의 종류	기호	W/B (%)	s/a (%)	단위량 (kg/m^3)				V ($\text{W} \times \text{wt}\%$)	SP ($\text{B} \times \text{wt}\%$)	AE ($\text{B} \times \text{wt}\%$)	슬럼프 플로우치 (cm)	O형 깔대기 (초)	공기량 (%)	
				W	B		S							G
					C	BS								
분체계	BS4000/50	35	52	175	250	250	810	843	-	1.65	0.004	66.0	9.8	4.7
	BS4000/80				100	400	804	839	-	1.65	0.005	66.0	11.1	4.5
	BS8000/50				250	250	810	843	-	1.55	0.005	60.5	8.7	4.9
	BS8000/80				100	100	804	839	-	1.65	0.006	64.0	11.4	5.0
증점계	VC	50	50	190	380	-	816	922	0.25	2.40	0.005	65.5	7.1	4.0

기 때문이다. 그리고, 기본양생으로는 한랭지에 있어서 현장의 상황을 고려하여 바람직하다고 판단되는 밀봉양생을 채용했다. 그 이유로는 한랭지에서 콘크리트를 시공할 경우 기중양생에서는 충분한 강도가 얻어지지 않으며, 실제 시공에서 수중양생을 항상 실시한다는 것은 어렵기 때문이다⁴⁾. 급속동결융해시험은 ASTM C 666 A법에 준하여 실시하였다. 동결융해시험의 온도범위는 공시체의 중심온도를 $-18.7^\circ\text{C} \sim +5^\circ\text{C}$ 로 하고, 1사이클의 시간은 3시간 20분으로 하였다. 측정은 30사이클마다 가로진동의 일차공명진동수와 중량에 대해서 300사이클까지 실시하여 상대동탄성계수 및 중량변화율을 구하였다. 또한, 본 연구에서는 채용한 콘크리트중에는 반응이 늦은 고로슬래그미분말을 다량으로 혼합한 배합이 포함되어 있고, 또 규정된 시험방법보다 저온에서 양생을 짧게 실시하였기 때문에 급속동결융해시험중에 수화가 상당히 진행되어 정확한 내구성을 평가하는 것이 어렵다고 생각된다. 그 때문에 본 연구에서는 浦 등⁵⁾이 제안한 완속동결융해시험을 이용해서 급속동결융해시험중에 발생하는 수화의 영향을 보정하였다. 완속동결융해시험의 온도범위는 급속동결융해시험의 평균온도(공시체 깊이방향의 온도분포를 고려한 평균온도)인 $-19^\circ\text{C} \sim +7.6^\circ\text{C}$ 로 하고 1사이클시간은 급속동결융해시험을 30배로 한 100시간으로 하고 측정은 1사이클마다 10사이클까지 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압축강도의 결과

그림 1에 각 배합의 동결융해시험 개시 재령에서의 압축강도를 나타내었다. 고로슬래그미분말을 혼합한 분체계 고유동콘크리트는 고로슬래그미분말의 분말도가 낮을수록, 치환율이 높을수록 강도가 작아지고 있다. 특히 물결합재비 W/B가 35%인 BS4000/80의 강도는 물시멘트비 W/C가 50%인 셀룰로오스 증점제를 첨가한 증점제계 고유동콘크리트의 강도보다도 훨씬 작은 결과를 나타내고 있으며 강도발현이 상당히 지연되는 것을 알 수 있다.

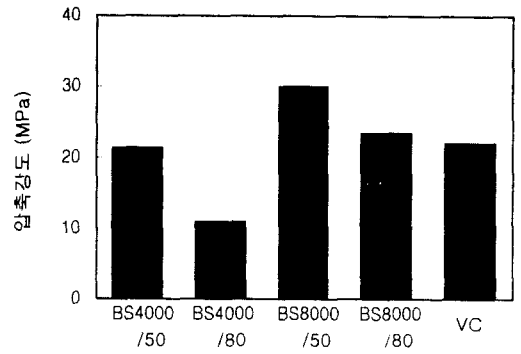


그림 1 동결융해시험 개시 재령의 압축강도

3.2 동결융해시험의 결과

그림 2에 분체계 고유동콘크리트의 상대동탄성계수의 결과, 그림 3에 증점제계 고유동콘크리트의 상대동탄성계수의 결과, 그림4에 각 배합의 중량변화율의 결과를 나타내었다.

3.2.1 동결융해시험중에 수화의 영향

그림2~그림 3에서 급속동결융해시험을 실시한 결과, 고로슬래그미분말을 혼합한 분체계 고유동콘크리트는 배합에 관계없이 상대동탄성계수가 100%이상의 값을 나타내고 있다. 그 이유로는 급속동결융해시험중에 내구성능 저하에 의한 동탄성계수의 감소량보다도 수화진행에 의한 동탄성계수의 증가량이 크게 되었기 때문이다. 三浦가 제안한 완속동결융해시험을 실시하여 보정한 값과 급속동결융해시험의 값과의 차이는 12%~17%이었다. 즉, 동결융해시험중에 수화 영향이 큰 콘크리트의 공시체에 대해서는 동결융해 저항성을 정확하게 평가하기 위해서는 본 연구에서처럼 보정을 실시할 필요가 있다고 판단된다.

3.2.2 분체계 고유동콘크리트

고로슬래그미분말을 혼합한 분체계 고유동콘크리트의 동결융해 저항성은 대체로 양호한 결과를 나타내고 있지만, BS4000/80의 중량감소율이 다른 배합보다 큰 값을 나타내고 있다. 이 원인으로는 그림 1에 나타난 것처럼 동결융해시험을 시작할 때의 압축강도가 11MPa으로 작았기 때문이라고 생각된다.

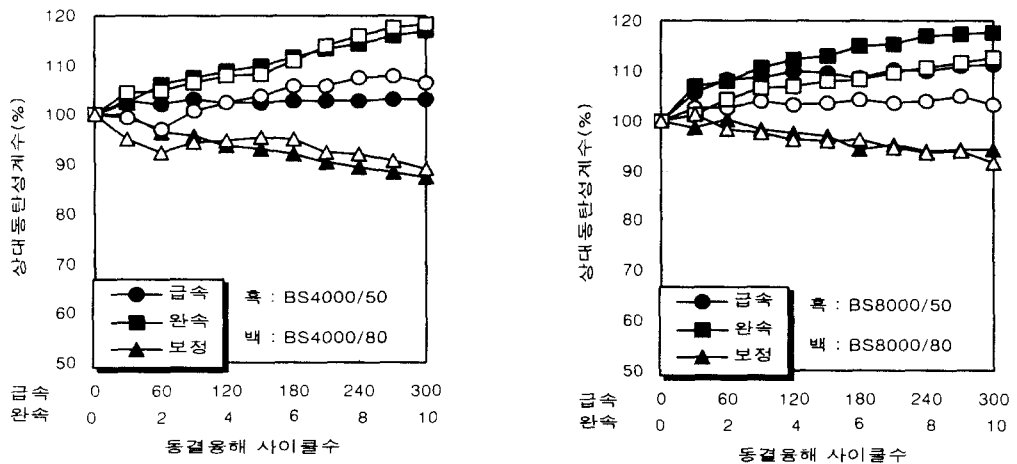


그림 2 분체계 고유동콘크리트의 상대동탄성계수의 결과

배합 BS4000/80의 상대동탄성계수의 결과(그림 2)를 보면, 급속동결융해시험에서는 30, 60사이클에서 상대동탄성계수가 저하되고 있으며, 완속동결융해시험에서는 30사이클부터 150사이클까지 거의 증가되지 않고 있다. 이것은 동결융해시험을 시작할 때의 압축강도가 작아서 동결융해시험중에 초기동해를 받았기 때문이라고 생각된다. 그래서, 콘크리트의 표면에서는 초기동해의 영향에 의해서 스켈링(scaling)이 발생하여 표면의 내구성능 저하가 크게 되었다고 생각된다.

3.2.3 증점제계 고유동콘크리트

셀룰로오스 증점제를 첨가한 증점제계 고유동콘크리트의 상대동탄성계수는 최초의 사이클부터 서서히 감소하여 300사이클에서는 60%까지 저하되고 있다(그림 3). 중량감소율도 300사이클에서 5%정도로 큰 값을 나타내고 있다(그림 4). 이처럼, 증점제계 고유동콘크리트가 동결융해 작용에 의해서 내구성능이 저하하는 것은 증점제계 고유동콘크리트의 물시멘트비가 50%으로 비교적 크고, 아직 굳지 않은 콘크리트의 공기량이 4.0%으로 비교적 작기 때문이라고 추정된다.

4. 결론

- (1) 동결융해시험중에 수화의 영향이 큰 콘크리트에 대해서는 본 연구와 같은 방법을 이용해서 그 영향을 보정할 필요가 있다.
- (2) 고로슬래그미분말을 혼합한 분체계 고유동콘크리트는 대체로 양호한 동결융해 저항성을 가진다. 다만, 분말도 4240cm³/g, 치환율 80%의 배합은 중량감소율이 크며, 이것은 동결융해시험을 시작할 때의 강도가 작아서 시험중에 초기동해를 받았기 때문이라고 판단된다.
- (3) 본 연구에서 이용한 배합조건에 있어서 저온양생을 실시한 셀룰로오스 증점제를 첨가한 증점제계 고유동콘크리트는 내구성능이 저하되는 경향을 나타내었다.

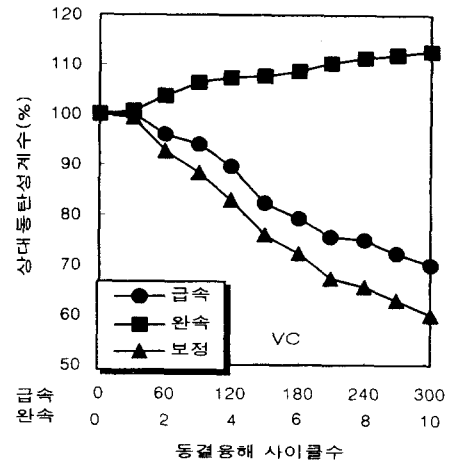


그림 3 증점제계 고유동콘크리트의 상대동탄성계수의 결과

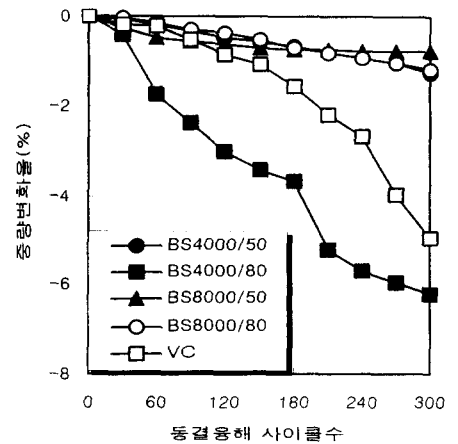


그림 4 각 배합의 중량변화율의 결과

참고문헌

- (1) 小沢, 岡村, 前川, “ハイパフォーマンスコンクリートの開発,” 콘크리트工学年次論文集, Vol. 11, No.1, 1989,
- (2) 糸日谷, 後藤, 十河, “巨大アンカレイジをつくる-世界最長のつり橋・明石海峡大橋1Aのコンクリートを見る,” セメント・コンクリート, No.561, 1993
- (3) 土木学会콘크리트위원회, “高炉슬래그微粉末を用いたコンクリートの施工指針,” 콘크리트 라이브러리-86, 土木学会, 1996
- (4) 岩城, 三浦, “低温養生を行った高炉슬래그微粉末混合コンクリートの強度回復特性,” 콘크리트工学年次論文集, Vol. 20, No.1, 1989
- (5) 三浦, 黒川, “高炉슬래그微粉末コンクリートの耐凍害性に関する一考察,” セメント技術年報 42, 1988