

동절기 고강도콘크리트의 시공에 있어서 초기동해 방지에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Early Frost Resistance Properties of High-Strength Concrete in Winter Concreting

권 영 진*
Kwon, Young Jin

ABSTRACT

Recently, the structure is higher and larger, so that the application of high-strength concrete is increased. And as the development of construction skills, it is possible to place during the winter. Concrete work during winter is indispensable to shorten time of completion and cut costs.

When concrete work during winter is placed, it has anxiety that concrete freeze at low temperature. As repetition of concrete's freezing cause reduction of durability, it is necessary for mixing to pay attention to air content and W/C ratios.

Accordingly, in this study, we estimate the frost resistance by air content and W/C ratios, and development of strength after early-frost damage in the high-strength concrete during the cold weather.

In this study, it could be confirmed that factors which were air content, W/C ratios and early curing period, affected on the frost resistance.

1. 서 론

최근 콘크리트 제조기술의 발달 및 구조물의 고층화·대형화에 따른 사회적 요구에 의해 고강도콘크리트의 사용이 증가하고 있으며, 또한 콘크리트의 시공기술의 발달로 인해 동절기에도 콘크리트를 타설하는 경우가 증가하고 있다.

한중콘크리트를 타설할 경우 외기온의 변화에 따라 콘크리트가 동결 및 용해를 반복하며, 이러한 동결용해의 반복은 콘크리트의 내구성에 영향을 주고 결국 구조적으로 결함을 발생시킨다. 보통강도의 한중콘크리트에 있어서 이러한 동해는 일반적으로 콘크리트의 공기량 및 양생방법 등에 의해 억제시킬 수 있는 것으로 알려져 있으며¹⁾, 고강도콘크리트는 낮은 물결합재비로 인하여 동결용해저항성이 우수한 것으로 알려져 있지만^{2) 3)}, 한중콘크리트 타설 및 초기양생에 있어서 발생할 수 있는 초기동해에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 동절기에 고강도콘크리트를 타설할 경우 초기동해에 의해 발생되는 인장응력의 영향을 고려하여 인장강도비를 검토하고, 초기동해를 입은 경우

장기재령에 의한 강도회복성을 검토하여 동절기 고강도콘크리트의 현장적용을 위한 기초적 자료로서 제시하고자 한다.

* 정회원, 흥용리플래시건설(주) 전무이사, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1에 서 나타낸 바와 같이 물시멘트비 3수준, 목표공기량 3수준의 고강도콘크리트에 대하여 소정의 적산온도에서 동결융해를 행함으로써 초기동해를 받은 고강도콘크리트의 내동해성을 인장강도비 및 압축강도비로써 평가하고자 하였다.

2.2 콘크리트 배합

본 연구에 사용된 배합은 표 2에 나타낸 바와 같이 물시멘트비를 37%, 32%, 28% 3수준, 각각의 물시멘트비에 따른 목표공기량 2.5%, 4.0%, 5.5% 3수준을 설정하였으며, 목표공기량을 만족시키기 위해 소량의 소포제 및 AE제를 사용하였다. 목표슬럼프는 20±2cm로 하였으며, 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 2.0% 동일 첨가하고, 목표슬럼프를 만족시키기 위해 예비실험을 실시하여 각 배합에서 잔골재율을 변화시켰다.

2.3 사용재료 및 시험방법

본 실험에 사용된 재료는 표 3에 나타낸바와 같이 시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘트, 잔골재는 강모래, 굵은골재는 부순자갈, 혼화제는 폴리카르본산계 고성능AE감수제와 소포제를 사용하였다.

비빔방법은 강제식 팬타입믹서를 이용하여 모래 1/2+시멘트+모래 1/2(30초)→물+혼화제(2분)→굵은골재(30초)로 비빔을 하였으며, 비빔직후 공기량을 측정하여 목표공기량을 만족시키도록 소포제를 첨가한 후 토출하였으며, 총 비빔시간은 3분~3분30초가 소요되었다.

2.4 공시체 제작 및 양생방법

표 1 실험계획

물시멘트비 (%)	37, 32, 28	
목표공기량 (%)	2.5±0.3, 4.0±0.3, 5.5±0.3	
동결융해온도 (°C)	-18 ~ 10	
초기양생적산온도 (°D·D)	16.67, 20.00, 26.27, 36.67	
측정 항목	굳지않은 콘크리트	공기량, 슬럼프, 슬럼프-플로우, 단위용적중량
	경화 콘크리트	인장강도비, 압축강도비

표 2 콘크리트 배합

W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	감수제 첨가율 (%)	목표 공기량 (%)	잔골재율 (%)	단위량 (kg/m ³)			
					W	C	S	G
37	20±2	2.0	2.5	48.0	158	427	877	936
			4.0	47.3			845	928
			5.5	45.7			798	934
32			2.5	47.0	162	506	822	913
			4.0	46.1			788	908
			5.5	44.4			741	914
28			2.5	45.6	176	629	733	862
			4.0	44.7			701	854
			5.5	42.8			654	861

표 3 사용재료의 물성

시멘트	1종 보통 포틀랜드시멘트	비중 : 3.16 분말도 : 3,330cm ² /g
잔골재	강모래	비중 : 2.64, FM : 2.40 흡수율 : 1.44
굵은골재	부순자갈	비중 : 2.64, FM : 6.73 흡수율 : 3.13, 최대치수 20mm
혼화제	고성능감수제	폴리카르본산계
	AE제	로진계 계면활성제

공시체 제작은 KS F 2403 「콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법」에 준하여 제작하였으며, 한중콘크리트 시공을 고려하여 동결융해시험을 실시하기 전 소정의 적산온도까지 10℃ 봉합양생을 실시하였다. 또한 동결융해를 받지 않은 공시체의 28일 압축강도를 측정하기 위해 공시체 제작 후 24시간 20℃ 봉합양생을 실시하고 탈형하여 표준수증양생을 실시하였다.

2.4 실험방법

표 4는 ASTM C 666 「급속동결융해에 대한 콘크리트의 내구성에 관한 표준시험」 시험방법과 본 연구에 적용한 급속동결융해 시험방법을 비교한 것으로서 본 연구에서는 최저온도 -18℃, 최고온도 10℃에서 동결융해시험을 실시하였으며, 동결융해 반복은 1일 6회 실시하였다. 동결융해시험에 소요되는 재령을 적산온도로 환산한 결과 약 8.3 °D·D가 소요된 것으로 나타났다.

2.4 초기동해 평가지표

초기동해를 받은 고강도콘크리트의 평가지표로서 그림 1에 나타난 본 실험의 프로세스와 같이 초기동해를 평가하기 위한 인장강도비와 초기동해를 받은 후 강도회복성능을 평가하기 위한 압축강도비를 구하였다.

인장강도비의 경우 그림 2에서와 같이 소정의 적산온도에서 동결융해를 받지 않은 공시체의 인장강도(F_n) 및 동결융해시험을 실시한 후의 인장강도(f_n)를 측정하였으며, 동결융해시험 종료시의 적산온도에서 동결융해를 받지 않은 경우의 인장강도(F_n')를 추정하여 인장강도비(f_n/F_n')를 산출하였다.

표 4. 촉진동결융해 시험

동결융해 사이클	ASTM C 666		본 실험	
	동결 -17.8±1.7℃	융해 4.4±1.7℃	동결 -18℃	융해 10℃
6~12 cycle/day		2.5시간	1.5시간	
6 cycle/day				
시험종료	상대동탄성계수 60% 혹은 300 cycle		6 cycle	

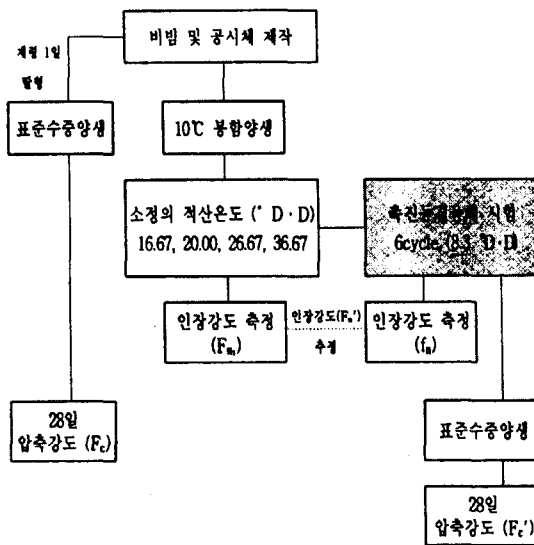


그림 1 본 실험의 프로세스

표 5 굳지않은 성상 측정결과

W/C (%)	SP제 첨가율 (%)	목표 공기량 (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	슬럼프 플로우 (cm)	단위용 적중량 (kg/l)	비빔 온도 (℃)
37	2.0	2.5	20.3	2.4	34.5	2.42	10.0
		4.0	19.8	3.7	33.0	2.39	12.0
		5.5	21.7	5.2	41.5	2.36	10.0
32		2.5	20.8	2.6	34.0	2.43	12.5
		4.0	21.0	3.8	33.5	2.40	11.0
		5.5	21.9	5.5	34.5	2.35	12.0
28		2.5	16.8	2.3	26.0	2.44	17.0
		4.0	20.1	3.9	30.5	2.39	19.0
		5.5	18.2	5.4	27.0	2.37	12.5

인장강도비의 경우 그림 2에서와 같이 소정의 적산온도에서 동결융해를 받지 않은 공시체의 인장강도(F_n) 및 동결융해시험을 실시한 후의 인장강도(f_n)를 측정하였으며, 동결융해시험 종료시의 적산온도에서 동결융해를 받지 않은 경우의 인장강도(F_n')를 추정하여 인장강도비(f_n/F_n')를 산출하였다.

또한 압축강도비의 경우 공시체 제작 후 표준양생을 실시한 재령 28일 압축강도(Fc)를 측정하고, 동결융해를 받은 후 28일간 표준양생시켜 압축강도(Fc')를 측정하여 압축강도비(Fc'/Fc)를 산출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인장강도비의 검토 및 분석

물시멘트비 및 목표공기량별 동결융해를 받기 전 적산온도에 따른 동결융해를 받은 후의 인장강도비를 그림 3에 나타낸바와 같이, 인장강도비는 목표공기량 2.5%, 동결융해를 받기 전 적산온도 16.67 °D·D에서 가장 낮은 인장강도비를 나타내고 있다.

목표공기량이 2.5%의 경우 물시멘트비 28%를 제외하고는 적산온도 16.67 °D·D에서 동결융해를 받은 후의 인장강도비는 50%를 넘지 못하는 것으로 나타났다.

목표공기량이 4.0%와 5.5%의 경우 물시멘트비 37%를 제외하고는 동결융해를 받기 전 적산온도 16.67 °D·D에서 인장강도비가 70~80%의 범위를 나타내고 있으며, 동결융해를 받지 않은 적산온도가 증가하여도 인장강도비는 유사하게 나타나고 있다.

따라서 초기동해에 의해 발생하는 인장응력에 대한 영향을 고려한다면 초기동해에 대한 내동해성을 확보하기 위해 고강도콘크리트의 동결시 시공에 있어서 공기량 4% 이상을 확보할 필요가 있는 것으로 사료된다.

3.2 압축강도비의 검토 및 분석

물시멘트비 및 공기량별 동결융해를 받기 전 적산온도에 따른 동결융해를 받은 후 28

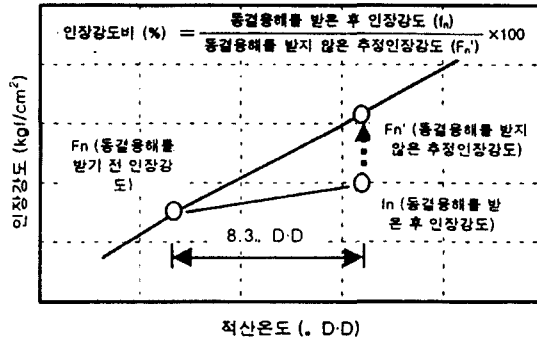


그림 2 인장강도비의 산출 방법

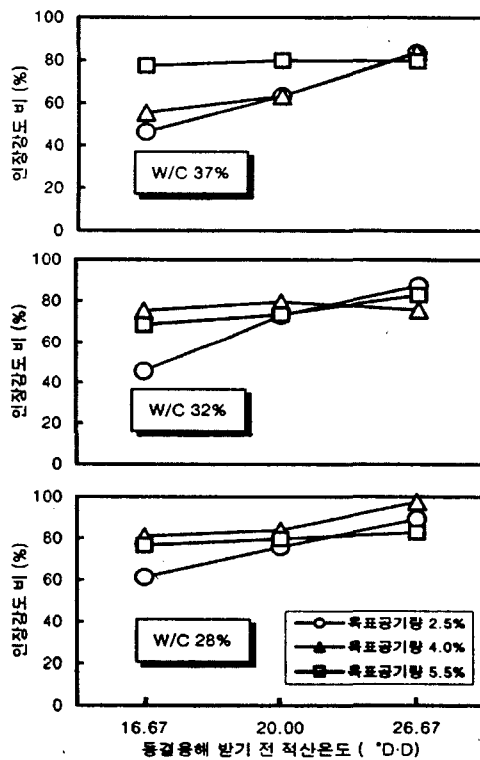


그림 3 물시멘트비 및 목표공기량별 동결융해를 받기 전 적산온도에 따른 인장강도비

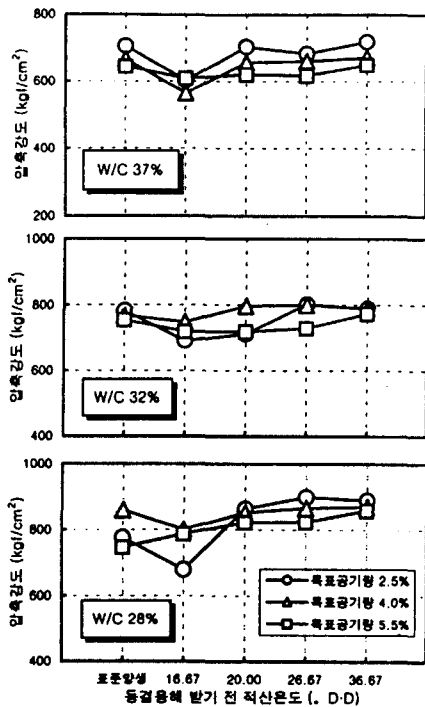


그림 4 물시멘트비 및 목표공기량에 따른 동결융해 후 재령 28일 압축강도

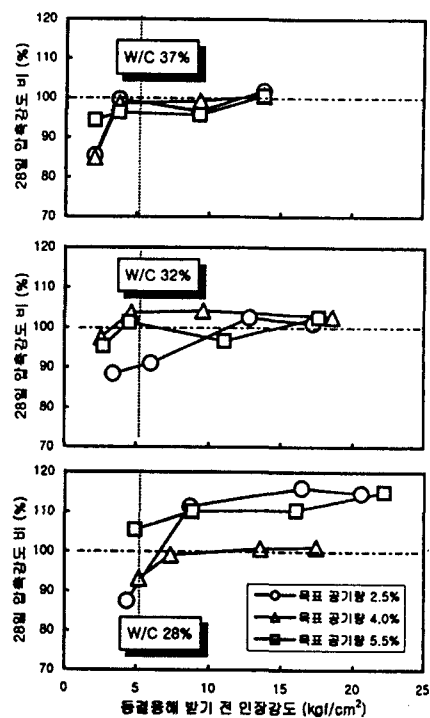


그림 5 동결융해 받기 전 인장강도와 동결융해 후 28일 압축강도 비의 관계

일 표준양생 압축강도를 그림 4에 나타내었다.

동결융해를 받은 후 28일 표준양생한 공시체의 압축강도는 동결융해를 받기 전 적산온도 16.67 °D·D에서는 대부분 동결융해를 받지 않은 공시체의 압축강도보다 낮게 발현하고 있으나, 동결융해 받기 전 적산온도가 증가할수록 동결융해를 받은 후 28일 표준양생한 공시체의 압축강도는 동결융해를 받지 않은 공시체와 유사한 강도수준을 보이고 있다. 특히 물시멘트비 28%, 적산온도 20.00 °D·D이상의 경우 동결융해를 받은 후 28일 양생한 공시체의 압축강도가 동결융해를 받지 않은 공시체보다 높게 나타나고 있으며, 이는 낮은 물시멘트비에 의해 수화의 진행이 빠르고 동결융해 후 표준양생을 실시한 경우 동결융해를 받지 않은 공시체에 비해 양생기간이 다소 증가한데에 기인하는 것으로 사료된다.

초기동해를 받은 경우 양생에 의한 강도회복성능을 검토하기 위해 동결융해를 받기 전 인장강도와 28일 압축강도비의 관계를 그림 5에 나타내었다.

동결융해를 받은 후 양생에 의한 압축강도비는 동결융해를 받기 전 인장강도 5kgf/cm² 이하에서 압축강도가 회복하지 않는 것으로 나타났으며, 특히 목표공기량 2.5%의 경우 재령 28일 압축강도비는 90%를 넘지 못하는 것으로 나타났다.

동결융해를 받기 전 인장강도가 5kgf/cm² 이상인 경우 대부분 압축강도가 회복되는 경향을 나타내고 있으며, 특히 물시멘트비 28%에서는 동결융해를 받지 않은 공시체에 비해 동결융해를 받은 공시체의 압축강도가 높게 나타나고 있어서 물시멘트비가 낮을수록 초기동해에 대한 내동해성이 우수한 것으로 사료된다.

따라서 동결용해를 받기 전 인장강도가 5kgf/cm^2 이상에서는 동결용해를 받은 후의 압축강도 회복성능이 양호한 것으로 나타났으며, 일본건축학회⁴⁾에서 제안하고 있는 한중콘크리트의 초기재령에서 압축강도는 인장강도의 8배라는 관계를 이용한다면 초기동해의 영향을 받지 않기 위한 고강도콘크리트의 압축강도는 40kgf/cm^2 이상을 확보해야 될 것으로 사료된다.

4. 결 론

초기동해를 입은 고강도콘크리트의 내동해성에 관한 실험의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 초기동해를 입은 고강도콘크리트의 내동해성은 동해를 받은 시점이 빠를수록 공기량이 적을수록 저하하는 것으로 나타났으며, 내동해성을 확보하기 위해서는 공기량 4% 이상을 확보해야 할 것으로 사료된다.
2. 초기동해를 받기 전 양생기간이 증가할수록, W/C가 낮을수록 동해를 받은 후 양생에 의한 압축강도의 회복성능이 향상되는 것으로 나타났다.
3. 고강도콘크리트의 동결기 시공에 있어서 초기동해에 대한 내동해성을 지니기 위해서는 인장강도 5kgf/cm^2 와 압축강도 40kgf/cm^2 이상을 확보해야 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김무한, 콘크리트의 동해와 초기동해기구에 관한 기초적 고찰, 한국레미콘공업협회 레미콘 23호, 1993.3, pp.8~23
2. 權寧進 外, 高强度コンクリートの耐凍害性に及ぼす諸要因に関する研究, 日本建築學會材料施工委員會, 콘크리트構造物の凍害とその對策シンポジウム論文集, 1993.2, pp.33~38
3. 飛坂基夫 外, 低水セメント比化によるコンクリートの耐凍結融解性の向上, 日本建築學會材料施工委員會, 콘크리트構造物の凍害とその對策シンポジウム論文集, 1993.2, pp.19~26
4. 日本建築學會, 建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5), 1997, pp.351~361
5. 鎌田英治, 콘크리트의凍害とは—その現像とメカニズムについて、日本建築學會材料施工委員會 콘크리트構造物の凍害とその對策シンポジウム論文集、1993.2, pp.59~170