

동절기 초기재령에서 동해를 받은 고강도콘크리트의 내동해성 평가에 관한 실험적 연구

권영진^{1)*}

¹⁾홍용건설(주)

(2000년 12월 7일 원고접수, 2001년 3월 16일 심사완료)

Experimental Study on the Evaluation of Frost-Resistance of High-Strength Concrete Damaged by Frost at Early Age in Cold Climates

Young-Jin Kwon^{1)*}

¹⁾ Hongyong Construction Co., Ltd., Seoul, 134-030, Korea

(Received December 7, 2000, Revised March 16, 2001)

ABSTRACT

One of ways to make high-strength concrete is for the mix contain particles graded down to the finest size : this is achieved by the use of fly ash, silica fume which fills the spaces between the cement particle and between the aggregate and the cement particles. And, the mix needs a sufficient workability. This is achieved by the use of a superplasticizer.

This study is to investigate frost resistance of high-strength concrete at early age, with ratio of tensile strength and recovery of compressive strength, when high-strength concrete is placed in cold climates.

According to this study, it is necessary to ensure 4 % of air content, 5 kgf/cm² of tensile strength, at least, for frost resistance of high-strength concrete at early age.

Keywords : high-strength concrete, frost resistance, ratio of tensile strength, recovery of compressive strength, air content

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 융해를 반복하며, 이러한 동결융해의 반복은 콘크리트의 내구성에 영향을 주고 결국 구조적으로 결함을 발생시킨다^{1,2)}. 보통강도의 한중콘크리트에 있어서 이러한 동해는 일반적으로 콘크리트의 공기량 및 양생방법 등에 의해 억제시킬 수 있는 것으로 알려져 있으며¹⁾, 고강도콘크리트는 낮은 물결합재비로 인하여 동결융해 저항성이 우수한 것으로 알려져 있지만^{3,4,5)}, 동절기 고강도콘크리트의 타설 및 초기양생에 있어서 발생될 수 있는 초기동해에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 동절기에 고강도콘크리트를 타설

할 경우 초기동해에 의해 발생하는 인장응력의 영향을 고려하여 인장강도비를 검토하고, 초기동해를 입은 경우 장기재령에 의한 강도회복성을 검토하여 동절기 고강도콘크리트의 현장적용을 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1에서 나타난 바와 같이 물시멘트비 3수준, 목표공기량 3수준의 고강도콘크리트에 대하여 소정의 적산온도에서 동결융해를 행함으로써 초기동해를 받은 고강도콘크리트의 내동해성을 인장강도비 및 압축강도비로 평가하고자 한다.

2.2 콘크리트 배합

본 연구에서의 콘크리트 배합은 Table 2에 나타난 바와 같이 물시멘트비를 37%, 32%, 28%의 3수준, 각각의 물시멘트비에 따른 목표공기량은 2.5%, 4.0%, 5.5%의 3수준으로 설정하였으며, 목표공기량을 만족시키기 위해 소량의 소포제 및 AE제를 사용하였다. 목표슬럼프는 20±2cm로

* Corresponding author

Tel : 02-478-3606 Fax : 02-478-3609

E-mail : refrete@lycos.co.kr

Table 1 Experimental factor

W/C (%)		37, 32, 28
Aiming air-content (%)		2.5±0.3 4.0±0.3 5.5±0.3
Freezing and thawing temperature		-18 ~ 10
Maturity (°D·D)		16.67, 20.00, 26.27, 36.67
Test items	Fresh concrete	Air content, Slump, Slump-flow, Unit weight
	Hardened concrete	Tensile strength, Compressive strength

하였으며, 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 2.0 % 동일 첨가하고, 목표슬럼프를 만족시키기 위해 예비실험을 실시하여 각 배합에서 잔골재율을 변화시켰다.

23 사용재료 및 비빔방법

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

비빔방법은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 강제식 팬타입 믹서를 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.

24 공시체 제작 및 양생방법

공시체 제작은 KS F 2403 “콘크리트의 강도시험용 공

Table 3 Properties of materials

Cement	<ul style="list-style-type: none"> • Ordinary portland cement • Specific gravity : 3.16 • Brain : 3,330cm²/g
Sand	<ul style="list-style-type: none"> • River sand • Specific gravity : 2.68, • F.M. : 2.40 • Absorption : 1.44%
Gravel	<ul style="list-style-type: none"> • Crushed stone • Specific gravity : 2.64, • F.M. : 6.73 • Absorption : 3.13% • Size : 20mm
Chemical admixture	<ul style="list-style-type: none"> • Superplasticizer • Polycarboxylic ether type • AE agent • Surface active agent of rosin type

시체 제작방법”에 준하여 제작하였으며, 한중콘크리트 시공을 고려하여 동결융해시험을 실시하기 전 소정의 적산 온도까지 10 °C 봉합양생을 실시하였다. 또한 동결융해를 받지 않은 공시체의 28일 압축강도를 측정하기 위해 공시체 제작 후 24시간 20 °C 봉합양생을 실시하고 탈형하여 표준수중양생을 실시하였다.

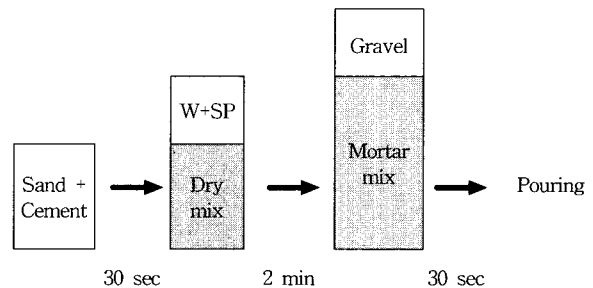


Fig. 1 Mixing method

Table 2 Mix proportion of concrete

W/C (%)	Aimed air content (%)	Dosage of SP (%)	s/a (%)	Water content (kg/m ³)	Unit volume (ℓ/m ³)			Unit weight (kg/m ³)		
					C	S	G	C	S	G
37	2.5	2.0	48.0	158	135	330	357	427	871	942
	4.0		47.3			320	357		845	942
	5.5		45.7			300	357		792	942
32	2.5		47.0	162	160	309	349	506	816	921
	4.0		46.1			299	349		789	921
	5.5		44.4			279	349		737	921
28	2.5		45.6	176	199	276	329	629	729	869
	4.0		44.7			266	329		702	869
	5.5		42.8			246	329		649	869

2.5 실험방법

Table 4는 ASTM C 666의 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.

2.6 초기동해 평가 지표

초기동해를 받은 고강도콘크리트의 평가지표로서 Fig. 2에 나타난 본 실험의 프로세스와 같이 인장강도비 및 초기동해를 받은 후 강도회복성능을 평가하기 위한 압축강도비를 산출하였다.

인장강도비의 경우 Fig. 3에 나타난 바와 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(F_c)를 측정하고, 동결융해를 받은 후 28일간 표준양생시켜 압축강도(F_c')를 측정하여 압축강도비(F_c'/F_c)를 산출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

고강도콘크리트의 굳지않은 정상 측정결과를 Table 5에 나타내었다.

3.1 인장강도비의 검토 및 분석

Fig. 4는 물시멘트비 및 공기량별 적산온도에 따른 동결융해 전후의 인장강도 변화를 나타낸 것으로서, 실선은 10℃ 수중양생한 시험체의 적산온도에 따른 인장강도를 나타낸 것이며, 파선은 동결융해 시험후의 인장강도를 나타낸 것이다.

Table 4 Method of freezing and thawing test

	ASTM C 666		This study	
	Freezing	Thawing	Freezing	Thawing
Freezing and thawing cycle	-17.8±1.7℃	4.4±1.7℃	-18℃	10℃
	6~12 cycle/day		6 cycle/day	
End of test	Relative D.M of elasticity 60% or 300 cycle		6 cycle/day	

물시멘트비가 낮아질수록, 동결융해를 받기전 초기양생이 길어질수록, 인장강도는 증가하고 있으며, 목표 공기량이 40%이상일 경우 동일적산온도에서 10℃ 수중양생을 실시한 시험체의 인장강도와 동결융해시험후의 인장강도의 차이는 작게 나타나고 있다.

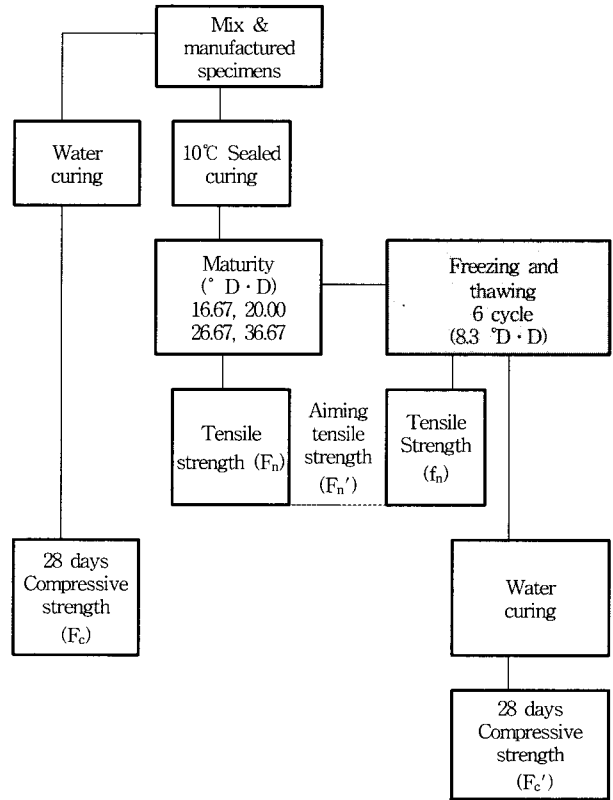
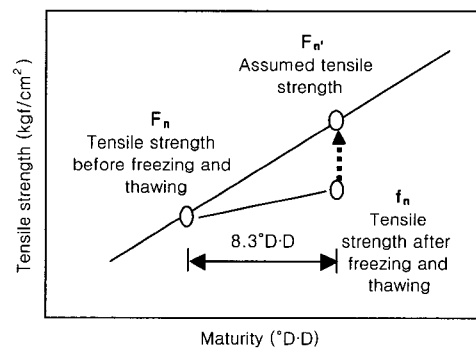


Fig. 2 Process of experiment



$$\text{Ratio of tensile strength (\%)} = \frac{f_n}{F_n'} \times 100$$

F_n : Tensile strength before freezing and thawing test
 F_n' : Assumed tensile strength
 f_n : Tensile strength after freezing and thawing test

Fig. 3 Output method of ratio of tensile strength

Table 5 Test results of fresh concrete

W/C (%)	Dosage of SP (%)	Aiming air content (%)	Slump (cm)	Air content (%)	Slump-flow (cm)	Unit weight (kg/ℓ)	Mixing temperature (°C)
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

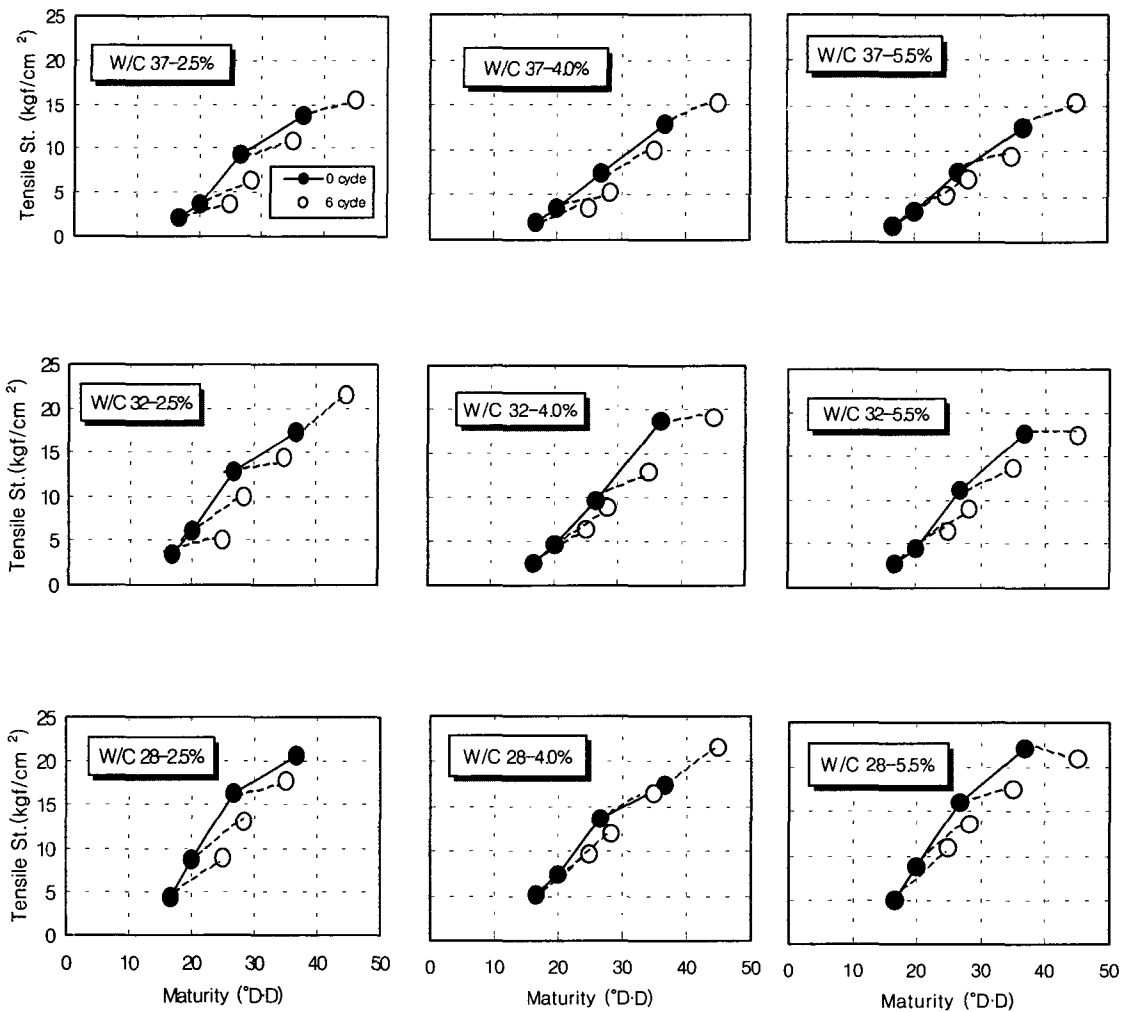


Fig. 4 Test results of tensile strength

물시멘트비가 낮아질수록, 동결융해를 받기 전 초기양생이 길어질수록, 인장강도는 증가하고 있으며, 목표 공기량이 4.0% 이상일 경우 동일적산온도에서 10℃ 수중양생한 시험체의 인장강도와 동결융해시험후의 인장강도의 차이는 작게 나타나고 있다.

Fig. 5는 물시멘트비별 공기량에 따른 동결융해를 받기 전 인장강도와 인장강도비의 관계를 나타낸 것으로서 각 물시멘트비에서 목표공기량 4% 이상에서는 동결융해 받기 전 인장강도에 관계없이 인장강도비 70% 수준을 보이고 있지만 목표공기량 2.5%에서는 초기동해 평가지표인 인장강도비가 동결융해를 받기 전 인장강도의 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 목표공기량이 2.5% 수준에서는 인장강도 6 kgf/cm² 이하의 재령에서 동결융해를 받은 경우, 목표공기량 4% 이상 시험체의 인장강도비와 비교하여 낮게 나타나고 있다.

Fig. 6은 동결융해를 받기 전 적산온도별 공기량에 따른 인장강도비를 나타낸 것이다.

16.67° D·D에서는 75%~80%, 20.00° D·D에서는 60~85%, 26.67° D·D에서는 75% 이상으로 초기양생에 상당하는 동결융해를 받기 전 재령과 더불어 인장강도비가 증가하는 경향이 보여진다. 또한 동결융해를 받기 전 재령 16.67° D·D 및 20.00° D·D에 있어서는 공기량 4% 이내에 있어서는 공기량이 감소할수록 인장강도비가 저하하는 것으로 나타나 공기량이 초기동해를 방지할 수 있을 것으로 보여진다.

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

3.2 압축강도비의 검토 및 분석

물시멘트비 및 공기량별 동결융해를 받기 전 적산온도

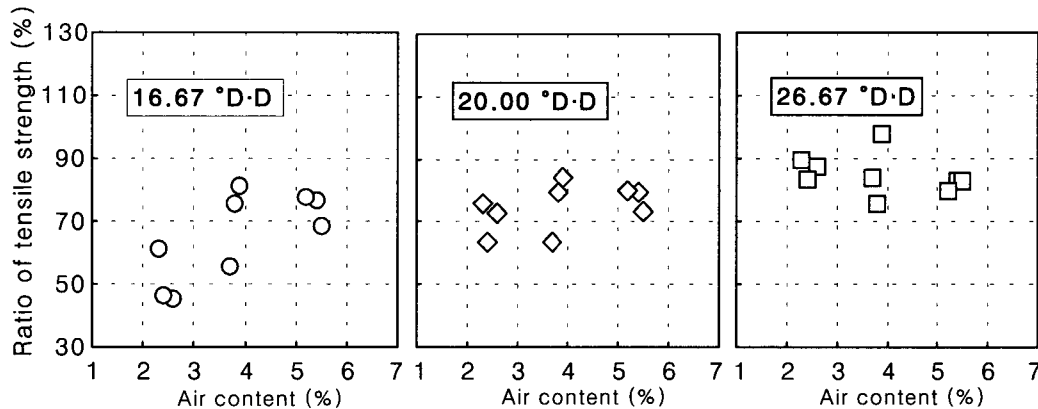


Fig. 6 Effect of air content according to maturity before freezing and thawing

에 따른 동결융해를 받은 후 28일 표준양생 압축강도를 Fig. 7에 나타내었다.

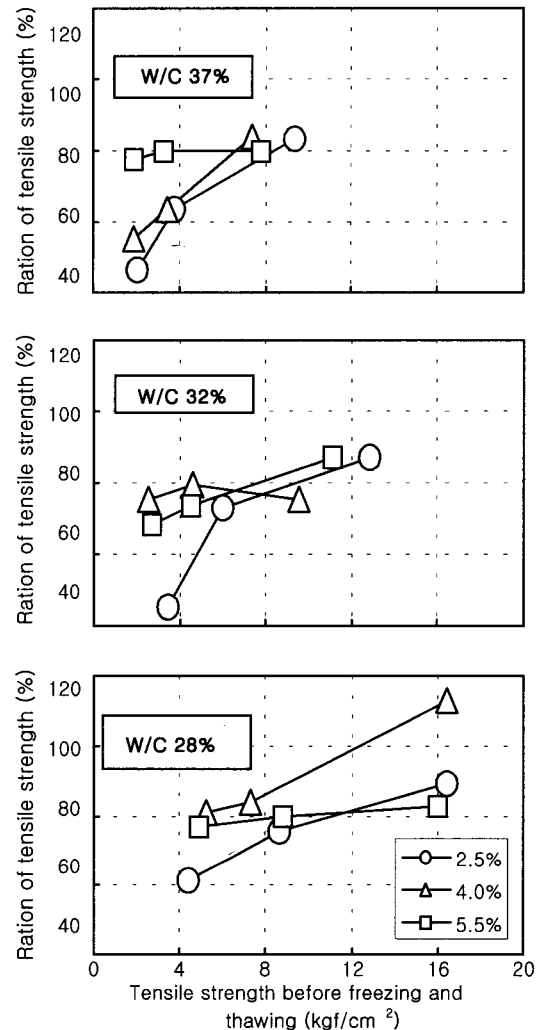


Fig. 5 Relationship between tensile strength and ratio of tensile strength according to water cement ratio

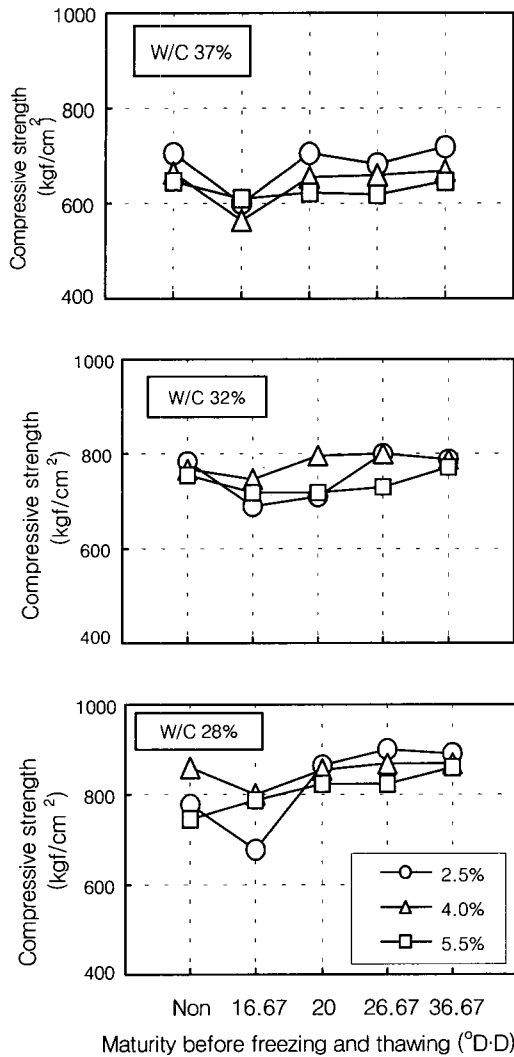


Fig. 7 Compressive strength after freezing and thawing according to water cement ratio

동결융해를 받은 후 28일 표준양생한 공시체의 압축강도의 경우 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 증가하였기 때문으로 사료된다.

초기동해를 받은 경우 양생에 의한 강도회복성능을 검토하기 위해 동결융해를 받기 전 인장강도와 압축강도비의 관계를 Fig. 8에 나타내었다.

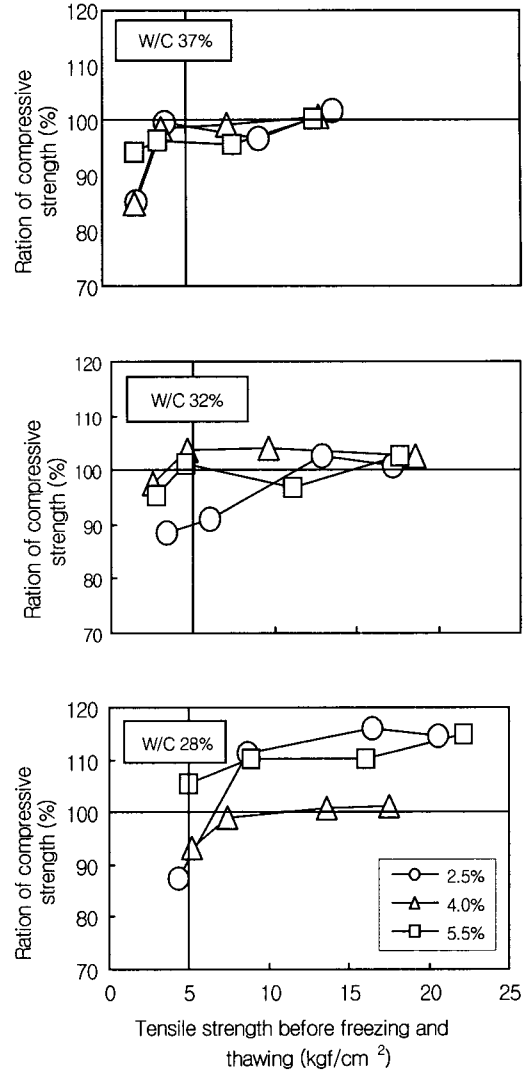


Fig. 8 Relationship between ratio of tensile strength and ratio of compressive strength

동결융해를 받은 후 양생에 의한 압축강도비는 동결융해를 받기 전 인장강도 5 kgf/cm² 이하에서 압축강도가 회복하지 않는 것으로 나타났으며, 특히 목표공기량 25%의 경우 압축강도비는 90%를 넘지 못하는 것으로 나타났다.

동결융해를 받기 전 인장강도가 5 kgf/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 동결융해를 받기 전 인장강도가 5 kgf/cm² 이상에서는 동결융해를 받은 후의 압축강도 회복성능이 양호한 것으로 나타나고 있어 초기동해의 영향을 받지 않기 위한 고강도콘크리트의 인장강도는 5 kgf/cm² 이상을 확보해야 될 것으로 사료된다.

4. 결 론

참고문헌

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 동절기 시공에 있어서 초기동해에 대한 내동해성을 지니기 위해서는 인장강도 5 kgf/cm² 이상을 확보해야 할 것으로 사료된다.

1. 김무한, 콘크리트의 동해와 초기동해기구에 관한 기초적 고찰, 한국레미콘공업협회 레미콘 23호, 1993, pp.8~23.
2. 権寧進 外, 高強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, 日本建築学会材料施工委員会, コンクリート構造物の凍害とその対策シンポジウム論文集, 1993, 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, 日本建築学会材料施工委員会, コンクリート構造物の凍害とその対策シンポジウム論文集, 1993, pp.19~26.
4. 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・解説(JASS 5), 1997, pp.351~361.
5. 鎌田英治, コンクリートの凍害とは一その現像とメカニズムについて, 日本建築学会材料施工委員会 コンクリート構造物の凍害とその対策シンポジウム論文集, 1993, pp.59~170.

요 약

보통강도의 한중콘크리트에 있어서 동해는 일반적으로 콘크리트의 공기량 및 양생방법 등에 의해 억제시킬 수 있는 것으로 알려져 있으며, 고강도콘크리트는 낮은 물결합재비로 인하여 동결융해저항성이 우수한 것으로 알려져 있지만, 한중콘크리트 타설 및 초기양생에 있어서 발생할 수 있는 초기동해에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 동절기에 고강도콘크리트를 타설할 경우 초기동해에 의해 발생하는 인장응력의 영향을 고려하여 인장강도비를 검토하고, 초기동해를 입은 경우 장기재령에 의한 강도회복성을 검토하여 동절기 고강도콘크리트의 현장적용을 위한 기초적 자료로서 제시하고자 한다.

본 연구의 결과 초기동해를 입은 고강도콘크리트의 내동해성을 동해를 받은 시점이 빠를수록 공기량이 적을수록 저하하는 것으로 나타났으며, 내동해성을 확보하기 위해서는 공기량 4% 이상을 확보해야 할 것으로 사료되며, 동해를 받은 후 양생에 의한 압축강도의 회복성능은 W/C가 낮을수록 초기동해를 받기 전 양생기간이 증가할수록 향상되는 것으로 나타났다. 또한 향후 고강도콘크리트의 동절기 시공에 있어서 초기동해에 대한 내동해성을 지니기 위해서는 인장강도 5 kgf/cm² 이상을 확보해야 할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 고강도콘크리트, 내동해성, 인장강도비, 강도회복성, 공기량
