

고로슬래그미분말을 사용한 고유동콘크리트의 시공을 위한 내동해성의 평가

A Study on the Evaluation of Frost Damage of High-Flowing Concrete using Blast-Furnace Slag

권 영 진*

Kwon, Young Jin

ABSTRACT

Recently, lots of studies for high flowing concrete have been suggested under practical use that it is only a way to solve the confronted problem. However, most studies have been concentrated on the manufacture method and properties of fresh concrete, but there is few studies for the durability of hardened concrete, specially for the freezing and thawing.

Therefore this study is to investigate for the resistance of high-flowing concrete using finely ground granulated furnace blast slag to frost with experimental parameters, such as binder, ratio of replacement of granulated furnace blast slag, superplasticizer, curing method and blain surface area of granulated furnace blast slag.

1. 서 론

고유동콘크리트의 실용화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 이제까지의 연구는 그 제조방법과 굳지않은 콘크리트의 특성에 편중되어 있고, 경화콘크리트의 내구성, 특히 동결융해저항성에 대해서는 거의 밝혀져 있지 않은 것이 현상이다. 물결합재비 30~35%정도의 고유동콘크리트를 구성하는 경화시멘트 페이스트 부분의 조직구조는 밀실하기 때문에 공기연행에 의한 동결융해저항성의 개선이 반드시 중요하지 않다는 지적이 있고, 공기량을 2% 이상으로 하면, 대체로 내동해성은 양호하다는 보고도 있다.¹⁾

그러나 보통콘크리트와 비교하여 고로슬래그 미분말을 혼입한 고유동콘크리트에서는 단위분체량이 많고, 건조에 의해서 생기는 매우 미세한 균열이 내동해성에 악영향을 미칠 가능성이 있다.

따라서 본 연구는 고로슬래그 미분말을 혼입한 고유동콘크리트의 기포조직과 내동해성에 관하여 결합재의 종류·고성능AE감수제의 종류 및 양생조건 등의 영향을 보통콘크리트와 비교·검토한 것이다.

* 정회원, 흥용리플래시건설(주) 전무이사, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구의 실험계획은 표 1에 나타난 바와 같이 고로슬래그미분말을 사용한 고유동 콘크리트와 보통콘크리트의 내동해성 및 기포조직을 비교·검토하고, 공기량은 고유동 콘크리트에서 2수준, 보통콘크리트에서 5수준으로 설정하였다. 또한 동결융해시험 전의 양생조건을 2주 수중양생 및 4주 수중양생, 4주 기중양생(20℃, 60%RH), 2주 수중양생 후 건조(35℃, 40시간) 및 흡수(20℃, 60%RH)를 2주간 반복하는 양생(건습양생)방법 등 4종류로 설정하였다.

2.2 콘크리트 배합

고유동콘크리트의 배합은 물결합재비를 35% 전후로 하여 슬럼프-플로우를 62~68cm, VF값 20cm 이상을 목표로 한 시험비빔을 통하여 결정하였다. 또한 비교용 보통 콘크리트는 물시멘트비를 55%로 하고, 목표슬럼프를 18cm로 하여 소정의 공기량이 되도록 시험비빔에 의해 결정하였다. 콘크리트의 배합은 표 2에서 보는 바와 같다.

표 1. 실험계획

콘크리트의 종류	기호	결합재	고성능AE감수제	공기량 (%)	양생조건
고유동 콘크리트	6P	OPC+고로슬래그미분말	폴리카르본산계	2.0	· 2주 수중 · 4주 수중 · 4주 기건 · 2주 수중 +건습반복
	6A		아미노설폰산계		
	6N		나프탈렌계		
	LB	고로슬래그시멘트+석회석미분말	폴리카르본산계	4.5	
	SC	고로슬래그시멘트			
보통 콘크리트	55	OPC	-	2.0	
				3.0	
				4.0	
				5.0	
				6.0	

2.3 사용재료 및 비빔방법
고유동 콘크리트에서는 시멘트로 보통포틀랜드시멘트 또는 고로슬래그시멘트를 사용하고, 미분체계의 혼화재로서 분말도 6000cm²/g 수준의

표 2. 콘크리트 배합

종류	기호	목표 공기량 (%)	물결합재비 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위중량(kg/m ³)				고성능 감수제 (%)
						시멘트	고로 슬래그	잔골재	굵은골재	
고유동 콘크리트	6P-2	2.0	33.7	55.0	163	218	266	967	779	1.5
	6P-4	4.5	33.7	53.0	155	207	253	919	803	1.5
	6A-2	2.0	35.9	55.0	173	217	265	954	768	2.5
	6A-4	4.5	35.9	53.0	165	207	253	906	789	2.5
	6N-2	2.0	34.3	55.0	163	214	261	970	784	1.8
	6N-4	4.5	34.3	53.0	158	207	253	914	800	1.8
	LB-2	2.0	32.6	55.0	163	350	150	954	768	1.6
	LB-4	4.5	32.6	53.0	155	332	143	909	792	1.5
	SC-2	2.0	32.0	55.0	160	500	-	967	779	1.5
SC-4	4.5	32.0	53.0	152	475	-	919	803	1.5	
보통 콘크리트	55-2	2.0	55.0	45.0	195	354	-	812	977	-
	55-3	3.0	55.0	44.7	191	347	-	801	977	-
	55-4	4.0	55.0	44.4	187	340	-	791	977	-
	55-5	5.0	55.0	44.1	183	333	-	783	977	-
	55-6	6.0	55.0	43.8	179	325	-	772	977	-

고로슬래그미분말과 석회석미분말을 사용하였다. 고성능AE감수제로는 3종류, 목표 공기량을 만족시키기 위하여 AE제를 사용하였으며, 본 실험에 사용한 각각의 재료물성은 표 3에서 보는 바와 같다.

표 3. 사용재료의 물성

	종류	비고
시멘트	보통포틀랜드시멘트	비중 : 3.16 분말도 : 3320cm ² /g
	고로시멘트B종	비중 : 3.05 분말도 : 3760cm ² /g
잔골재	강모래	비중 : 2.68 FM : 2.43 흡수율 : 1.17%
굵은골재	쇄석	비중 : 2.64 FM : 6.69 흡수율 : 2.82%
혼화제	고로슬래그미분말	비중 : 2.90 분말도 : 6080cm ² /g
	석회석분	비중 : 2.73 분말도 : 5460cm ² /g
혼화제	고성능(AE)감수제	폴리카르본산계 아미노설폰산계 나프탈렌계

비빔방법은 강제식 팬타입믹서를 이용하여, 고유동콘크리트는 모래 1/2 + 결합재 +모래/2(15초)→물 + 혼화제(3분 45초)→자갈(2분) 6분이 소요되고, 보통콘크리트는 모래/2 + 시멘트 +모래/2(30초) → 물(30초) → 자갈(2분)로서 총 3분 소요되었다. .

2.4 실험방법

고유동콘크리트에서는 타설 후 48시간에서, 보통콘크리트에서는 타설 후 24시간에서 탈형하고, 소정의 양생 후 시험을 행하였다. 경화콘크리트의 측정항목은 표준수중양생 재령 2주와 4주의 압축강도 시험, ASTM C 666에 준한 동결융해시험 및 ASTM C 457 Liner

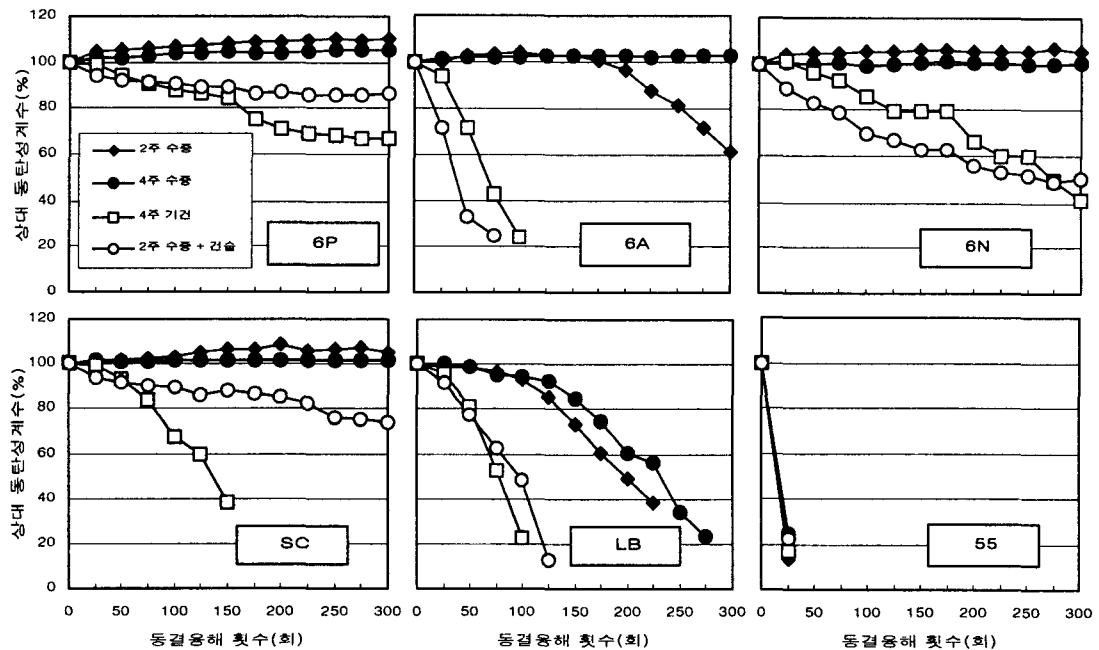


그림 1. 상대 동탄성계수 측정 결과

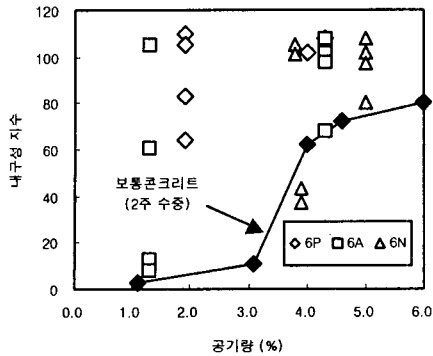


그림 2. 고성능AE감수제 종류별 내구성 지수

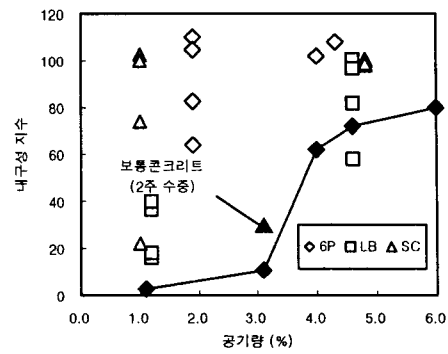


그림 3. 결합재 종류별 내구성 지수

Traverse법에 의한 기포조직의 측정을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고유동콘크리트의 내동해성

그림 1은 공기량 2%를 목표로 한 고성능AE감수제 종류 및 결합재 종류별 고유동콘크리트와 비교용 보통콘크리트의 상대동탄성계수 변화를 양생조건에 따라 나타내었다.

보통콘크리트의 경우 양생조건에 상관없이 동결융해 25사이클 전후에서 급격한 동탄성계수의 저하현상을 보이고 있으나, 고유동콘크리트에서는 2주 수중양생 및 4주 수중양생의 경우 공기를 연행시키지 않더라도 동탄성계수가 저하하지 않는 양호한 결과를 나타내고 있다. 이는 저물시멘트비의 콘크리트를 충분히 양생시킴으로써 동결 가능한 수분이 감소되어 내동해성이 향상되었기 때문으로 사료된다. 따라서 4주 기건양생의 경우 불충분한 수화 진행, 2주 수중+건습반복 양생의 경우 건습반복에 따른 균열발생에 의하여 내동해성이 저하된 것으로 판단된다.

(1) 고유동콘크리트의 내동해성에 미치는 고성능AE감수제의 영향

그림 2는 결합재로써 분말도 6000cm³/g 수준의 고로슬래그미분말을 혼입한 고유동콘크리트 및 비교용 보통콘크리트에 있어서 나프탈렌계, 폴리카르본산계 및 아미노설폰산계 등의 고성능AE감수제 종류에 따른 내구성지수를 나타낸 것이다.

폴리카르본산계인 경우 공기를 연행시키지 않은 목표 공기량 2%인 고유동콘크리트에서도 내구성지수는 60 이상이 확보되고 있어 내동해성이 우수한 것으로 나타나고 있다. 그러나 아미노설폰산계인 경우에는 공기를 연행시키지 않았을 경우 양생방법에 따라서 큰 차이를 보이고 있는데 4주 수중양생만이 내구성지수 60 이상을 유지하고 있으며, 이러한 경향은 나프탈렌계인 경우에 더욱 현저하여 4주 기건양생 및 2주수중+건습반복 양생에 있어서는 내구성지수가 보통콘크리트 값을 하회하고 공기량 5% 수준을 유지하더라도 보통콘크리트와 큰 차이를 보이고 있지는 않는다. 이와 같이 동일 골재, 동일 수준의 물결합재비에 있어서도 고성능AE감수제의 종류에 따라서 고유동콘크리트의 내동해성은 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다.

(2) 고유동콘크리트의 내동해성에 미치는 결합재의 영향

그림 3은 결합재의 종류에 따른 공기량과 내구성지수와의 관계를 나타낸 것으로서

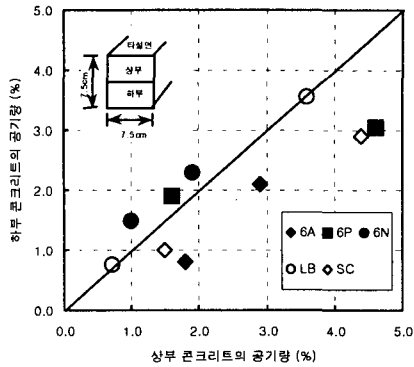


그림 4. 고유동콘크리트 경화 후 상부와 하부의 공기량 비교

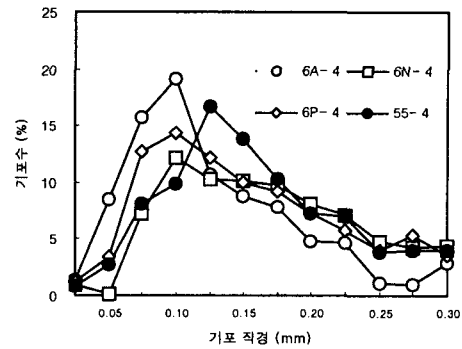


그림 5. 보통콘크리트 및 고유동 콘크리트에서의 기포분포

고로슬래그만을 사용한 경우(SC), 공기량 1%수준의 4주 기건양생에 있어서는 내구성 지수의 저하현상이 나타나고 있지만, 공기량이 증가함에 따라서 내구성지수는 향상되어 보통포틀랜드시멘트에 분말도 6000cm³/g수준의 고로슬래그미분말을 사용한 고유동 콘크리트(6P) 수준에 도달하였다. 한편, 고로슬래그시멘트에 석회석미분말(LB)의 경우 공기량 1% 수준에서는 내구성지수가 양생방법에 상관없이 40%미만으로 매우 열악한 상태를 보이고 있으며, 공기량 5% 수준의 경우에도 4주기건양생은 보통콘크리트보다 내구성지수가 낮은 것으로 나타났다.

일반적으로 석회석미분말을 혼입함으로써 초기 압축강도를 증가시킬수 있으며, 그 개선효과는 고로슬래그시멘트를 사용한 경우에 있어서 더욱 현저하게 나타난다고 알려져 있지만²⁾, 본 실험의 결과에서는 고로슬래그시멘트에 석회석미분말을 치환한 고유동콘크리트(LB)가 보통포틀랜드시멘트에 고로슬래그미분말을 치환한 고유동콘크리트(6P) 및 고로슬래그시멘트만을 사용한 고유동콘크리트(SC)보다 압축강도 및 내구성지수가 낮게 나타나고 있는데 이는 석회석미분말이 포졸란반응을 거의 일으키지 못하였기 때문으로 사료된다.

3.2 고유동콘크리트의 기포조직

그림 4는 고유동콘크리트 경화 후 상부와 하부의 공기량을 비교한 것으로서 고유동 콘크리트에서 상부와 하부의 공기량이 다르게 나타나고 있으며, 또한 콘크리트의 종류에 따라서 상이한 경향을 보이고 있다. 이는 고유동콘크리트에서의 공기량 및 그 성질은 비빔 및 타설조건, 재료상태, 비빔 후 경과시간 등에 민감하게 반응하기 때문으로 사료되며, 고유동콘크리트의 품질관리 시에 유의할 점으로 판단된다.

그림 5는 고유동콘크리트의 기포분포를 보통콘크리트와 비교하여 나타낸 것으로서, 고유동콘크리트의 경우, 기포직경 0.1mm 이하의 미세한 기포 비율이 보통콘크리트와 비교하여 많은 경향을 보이고 있다. 이것은 고로슬래그 미분말을 치환함으로써 기포 직경 0.1mm 이하의 미세한 기포를 증가시킨 것으로 동일 공기량의 경우 기포간격계수를 작아지게 함으로써, 콘크리트의 내동해성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

그림 6은 양생조건별 기포간격계수와 내구성지수의 관계를 나타낸 것으로서 일반적

으로 기포간격계수 $250\mu\text{m}$ 이하에서 충분한 내동해성이 얻어지는 것으로 알려져 있다³⁾. 보통콘크리트에서는 기포간격계수 $300\mu\text{m}$ 이하에서 내구성지수 60 이상을 나타내고 있는 것에 반하여, 고유동콘크리트의 2주 수중양생과 4주 수중양생에서는 기포간격계수 $700\mu\text{m}$ 에서도 내구성지수가 우수하다는 것이 확인되었다. 그러나 4주 기건, 2주수중+건습반복 양생에서는 미세한 균열이 발생되어 내동해성을 얻기 위해서는 $400\mu\text{m}$ 정도의 기포간격계수가 필요하게 된다.

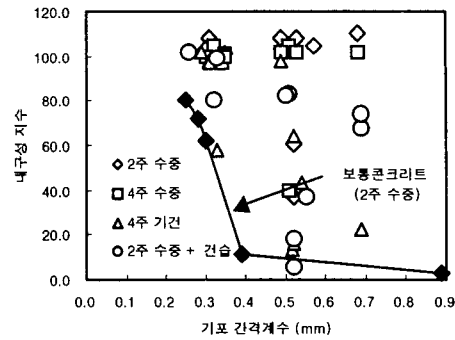


그림 6. 기포간격계수와 내구성지수의 관계

4. 결론

고로슬래그미분말을 혼입한 고유동콘크리트의 기포조직 및 내동해성에 관한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 고유동콘크리트의 내동해성은 결합재·고성능AE감수제의 종류에 따라서 다르게 나타나고 있으며, 또한 양생조건에 있어서는 공기를 연해시키지 않은 콘크리트의 경우 내동해성이 현저하게 저하하고 있기 때문에, 표준조건의 동결융해시험 결과가 우수하더라도 보통콘크리트와 같은 공기연행이 필요하다.
- 2) 고유동콘크리트에서 상부와 하부의 공기량은 다르게 나타나고 있으며, 또한 콘크리트의 종류에 따라서 상이한 경향을 보이고 있어 고유동콘크리트의 품질관리 시에 유의할 점으로 판단된다.
- 3) 고유동콘크리트의 경우, 고로슬래그미분말의 혼입에 의하여 보통콘크리트보다 미세한 기포의 비율이 증가하고, 특히 저물결합재비의 경우 동해를 받는 한계 기포간격계수는 보통콘크리트보다 크다. 이로 인하여 전반적으로 고로슬래그미분말을 이용한 고유동콘크리트의 내동해성은 보통콘크리트보다 우수한 것으로 나타났다.

<참고문헌>

- 1) 日本コンクリート工學協會, 超流動コンクリート研究委員會報告書 (1), 1993, PP. 187~196
- 2) セメント協會, わかりやすいセメント科學, 1993, PP. 54~61
- 3) 洪悅郎, 鎌田英治, 콘크리트의凍害と初期凍害, 콘크리트工學, Vol.16, No.5, 1978, PP.1~10
- 4) 鎌田英治, 콘크리트의 동해, 철근 콘크리트 구조물의 내구성 향상에 관한 심포지엄 논문집. 대한 건축학회, 1995
- 5) 長谷川壽夫, 콘크리트構造物의耐久性シリーズ, 凍害, 技報堂出版 1988
- 6) 金武漢 外, 高流動コソクリートの流動特性に及ぼすセメント及び高性能AE減水劑の效果に関する實驗的研究, コソクリート工學年次論文報告集, Vol. 20, No1, 1998, pp385~390
- 7) 김무한, 고유동콘크리트의 제조시스템 및 개발에 관한 실험적 연구-고유동콘크리트의 유동 특성에 미치는 시멘트 및 고성능AE감수제의 효과-, 대한건축학회 논문집, 1999. 1