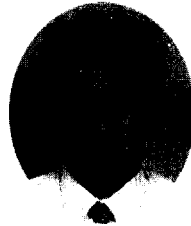


고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트의 내동해성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Frost Resistance of High-Flowing
Concrete Using Granulated Blast-Furnace Slag



김무한*
Kim, Moo-Han



권영진**
Kwon, Young-Jin



강석표***
Kang, Suk-Pyo

ABSTRACT

This study is to investigate for the frost resistance of high-flowing concrete using finely ground granulated blast-furnace slag with experimental parameters, such as type of binder, type of superplasticizer and method of curing.

The resistance to freezing and thawing of high-flowing concrete by type of binder and superplasticizer is presented differently. Though the frost resistance of high-flowing concrete is satisfactory under standard condition, it is required that high-flowing concrete has entrained air like plain concrete. Because the critical spacing factor, being capacity of frost resistance, of high-flowing concrete is longer than that of plain concrete, the frost resistance of high-flowing concrete, using finely ground granulated furnace blast slag, is superior to that of plain concrete.

Keywords : high-flowing concrete, granulated blast-furnace slag, frost resistance, freezing and thawing, critical spacing factor

* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수·공박
** 정회원, 쌍용엔지니어링 안전기술부 이사·공박
*** 정회원, 충남대학교 건축공학과 박사과정

· 본 논문에 대한 토의를 2000년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 2000년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

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

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

따라서 본 연구는 결합재종류, 고성능AE 감수제종류 및 양생조건에 따른 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트의 기포조직과 내동해성을 보통콘크리트와 실험적으로 비교·검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구의 실험계획은 Table 1에 나타낸 바와 같이 결합재종류, 고성능AE감수제종류 및 양생조건에 따른 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트와 보통콘크리트의 내동해성 및 기포조직을 비교·검토하기 위하여 공기량을 고유동콘크리트에서 2수준, 보통콘크리트에서 5수준으로 설정하였다. 또한 동결융해시험 전의 양생조건을 2주수중양생 및 4주수중양생, 4주기건양생(20℃, 60%RH), 2주수중양생 후 건습반복(35℃, 40시간 ⇔ 20℃, 8시간)을 2주간 반복하는 건습반복양생 등 4수준으로 설정하였다.

2.2 콘크리트 배합

고유동콘크리트의 배합은 물결합재비를 35% 전후로 하여 슬럼프 플로우 62~68 cm, VF값 20 cm 이상을 목표로 한 시험비빔을 통하여 결정하였다. 또한 비교용 보통콘크리트는 물시멘트비를 55%로 하고, 목표슬럼프를 18 cm로 하여 소정의 공기량이 되도록 시험비빔에 의하여 결정하였다. 콘크리트 배합은 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 1 Experimental factors and levels

Type of concrete	ID of mix.	Type of binder	Type of superplasticizer(SP)	Aiming air content (%)	Type of AE agent	Curing method
High-flowing concrete	6P	OPC+Granulated blast-furnace slag	Polycarboxylic ether type	2.0	A1	· Water curing for 2 weeks · Water curing for 4 weeks · Air curing for 4 weeks · Water curing for 2weeks + wet and dry
	6A		Aminosulfonates type		B1	
	6N		Naphthalene sulfonated formaldehyde type		C1	
	LB	Blast-furnace cement+Limestone grain	Polycarboxylic ether type	A1		
	SC	Blast-furnace cement				
Plain concrete	55	OPC	-	2.0 3.0 4.0 5.0 6.0	D1	

* A1 : Air-detrainment agent
C1 : Air-entraining agent of resin type

B1 : Surface active agent of rosin type
D1 : Surface active agent of anion type

Table 2 Mix proportion of concrete

Type of concrete	ID of mix.	Aiming air content (%)	W/B (%)	s/a (%)	Unit weight(kg/m ³)					Dosage of SP (%)	Dosage of AE agent (%)
					Water	Cement	Ad.	Fine aggregate	Coarse aggregate		
High-flowing concrete	6P-2.0	2.0	33.7	55.0	163	218	266	967	779	1.5	1.0
	6P-4.5	4.5	33.7	53.0	155	207	253	919	803	1.5	0.5
	6A-2.0	2.0	35.9	55.0	173	217	265	954	768	2.5	-
	6A-4.5	4.5	35.9	53.0	165	207	253	906	789	2.5	0.4
	6N-2.0	2.0	34.3	55.0	163	214	261	970	784	1.8	-
	6N-4.5	4.5	34.3	53.0	158	207	253	914	800	1.8	7.0
	LB-2.0	2.0	32.6	55.0	163	350	150	954	768	1.6	1.0
	LB-4.5	4.5	32.6	53.0	155	332	143	909	792	1.5	0.4
	SC-2.0	2.0	32.0	55.0	160	500	-	967	779	1.5	1.0
SC-4.5	4.5	32.0	53.0	152	475	-	919	803	1.5	0.3	
Plain concrete	55-2.0	2.0	55.0	45.0	195	354	-	812	977	-	-
	55-3.0	3.0	55.0	44.7	191	347	-	801	977	-	1.0
	55-4.0	4.0	55.0	44.4	187	340	-	791	977	-	1.5
	55-5.0	5.0	55.0	44.1	183	333	-	783	977	-	2.0
	55-6.0	6.0	55.0	43.8	179	325	-	772	977	-	2.5

* Admixture : 6P, 6A, 6N(Granulated blast-furnace slag), LB(Limestone grain)

Table 3 Properties of using materials

Type	Remarks
Binder	Ordinary portland cement Specific gravity : 3.16 Fineness : 3320cm ² /g
	Blast-furnace cement Specific gravity : 3.05 Fineness : 3760cm ² /g
	Blast-furnace slag Specific gravity : 2.90 Fineness : 6080cm ² /g
	Limestone grain Specific gravity : 2.73 Fineness : 5460cm ² /g
Fine aggregate	River sand Specific gravity : 2.68 FM : 2.43 Pro. of absorption : 1.17%
Coarse aggregate	Crushed stone Specific gravity : 2.64 FM : 6.69 Pro. of absorption : 2.82%
Chemical admixture	Superplasticizer · Polycarboxylic ether type · Aminosulfonates type · Naphthalene sulfonated formaldehyde type

2.3 사용재료 및 비빔방법

고유동콘크리트의 경우, 결합재로서 시멘트는 보통포틀랜드시멘트 및 고로슬래그시멘트, 미분체계의

Table 4 Test results of flowing properties and compressive strength

Type of concrete	ID of mix.	Slump flow (cm)	Slump (cm)	VF (cm)	Air content (%)	Compressive strength (kgf/cm ²)	
						2 weeks	4 weeks
High-flowing concrete	6P-2.0	64.3	-	23.0	2.1	543	650
	6P-4.5	63.3	-	20.5	4.7	474	545
	6A-2.0	65.3	-	24.0	1.4	465	574
	6A-4.5	66.0	-	23.5	4.9	416	506
	6N-2.0	65.4	-	23.5	4.0	558	659
	6N-4.5	68.2	-	25.0	5.4	475	605
	LB-2.0	66.8	-	23.0	1.2	480	557
	LB-4.5	65.8	-	23.0	4.7	390	474
	SC-2.0	66.5	-	20.0	1.0	588	691
SC-4.5	67.8	-	24.5	5.1	442	540	
Plain concrete	55-2.0	27.2	16.8	-	1.2	262	334
	55-3.0	29.8	17.6	-	3.2	252	331
	55-4.0	30.4	17.9	-	4.2	232	315
	55-5.0	29.2	17.6	-	4.9	223	300
	55-6.0	28.2	17.8	-	6.1	214	289

혼화제는 고로슬래그 미분말 및 석회석미분말을 사용하였다. 또한, 혼화제로서 고성능AE감수제는 폴리카르본산계, 아미노설폰산계, 나프탈렌계 등 3종류를 설정하였으며, 목표공기량을 만족시키기 위하여 AE제 및 소포제를 시멘트중량의 백분율로 첨가하였다.

보통콘크리트의 경우, 시멘트는 보통포틀랜드시멘

트를 사용하고, 목표공기량을 만족시키기 위하여 AE제를 첨가하였으며, 본 실험에 사용한 각각의 재료물성은 Table 3에서 보는 바와 같다.

비빔방법은 강제식 팬타입믹서를 이용하여, 고유동콘크리트의 경우, 잔골재1/2+결합재+잔골재1/2(15초)→물+혼화제(3분45초)→굵은골재(2분)의 순서로 총 비빔시간은 6분이 소요되었으며, 보통콘크리트의 경우, 잔골재1/2+시멘트+잔골재1/2(30초)→물(30초)→굵은골재(2분)의 순서로 총 비빔시간은 3분이 소요되었다.

2.4 실험방법

고유동콘크리트의 경우 치기 후 48시간, 보통콘크리트의 경우 치기 후 24시간에 탈형하여, 소정의 양생을 실시한 후 동결융해시험을 행하였다. 경화된 콘크리트의 측정항목으로서는 표준양생 재령 2주 및

4주에서 압축강도, ASTM C 666에 준한 동결융해 시험 및 ASTM C 457 Liner Traverse법에 의하여 기포조직을 측정하였다.

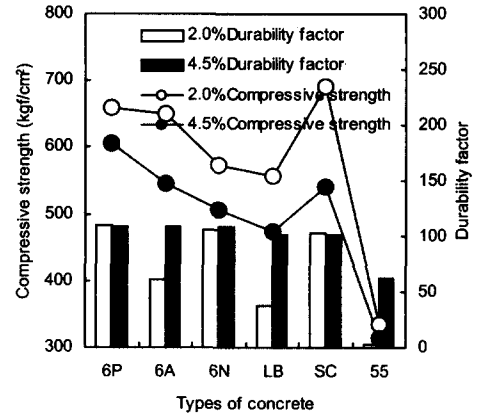


Fig. 1 Compressive strength and durability factor of the high-flowing concrete

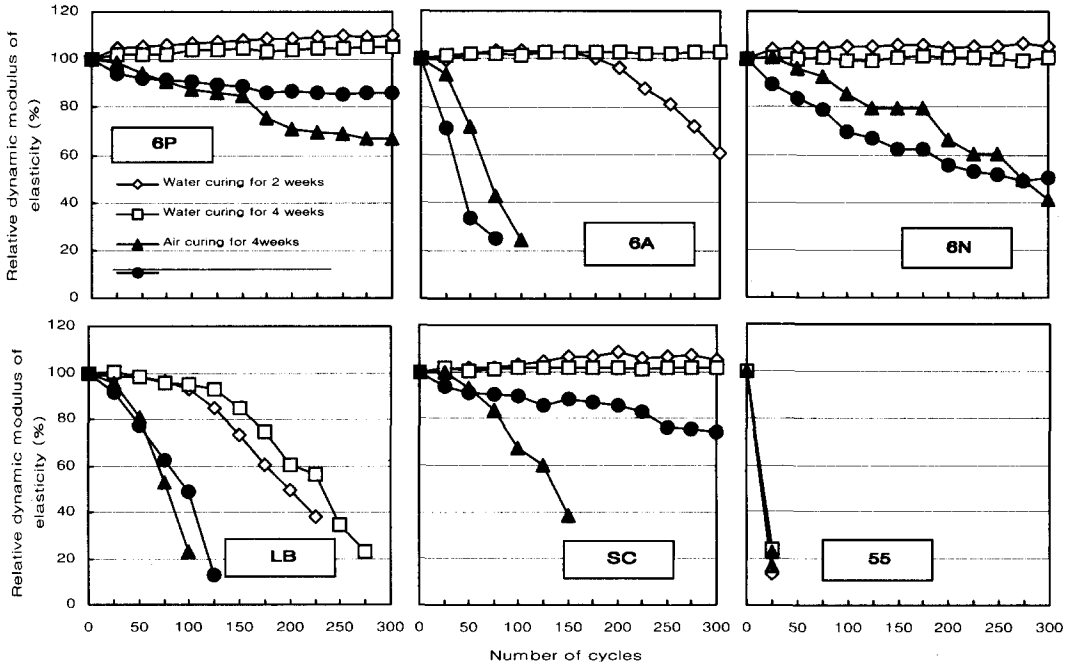


Fig. 2 Test results of relative dynamic modulus of elasticity

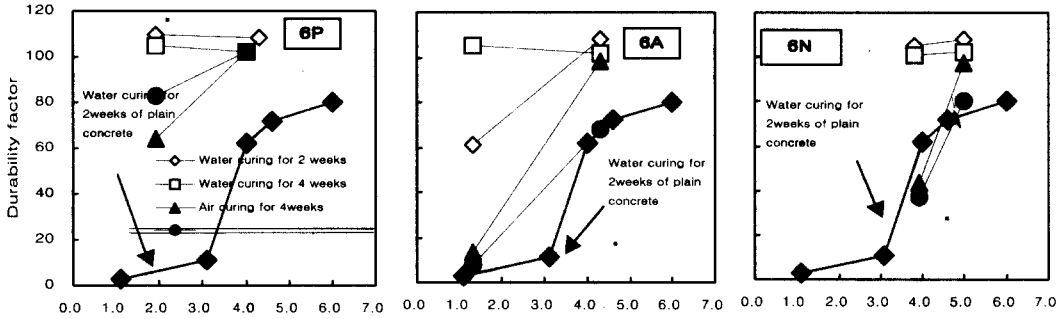


Fig. 3 Durability factor according to types of superplasticizer

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고유동콘크리트의 내동해성

고유동콘크리트와 보통콘크리트의 유동성상 및 압축강도 측정결과를 Table 4에 나타내었다.

Fig. 1은 콘크리트 종류별 목표공기량에 따른 압축강도와 내구성 지수를 나타낸 것으로서 4주 압축강도 400kgf/cm^2 이상의 고유동콘크리트에서는 전반적으로 내구성지수가 양호하게 나타나고 있다.

그러나 물시멘트비 55%인 보통콘크리트 및 목표공기량이 2.0%인 고유동콘크리트 일부(LB, 6A)에서는 내구성 지수가 60이하를 나타내고 있어, 보통콘크리트와 비교하여 조직구조가 밀실한 고유동콘크리트에서도 내구성 확보라는 측면에서 공기연행이 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 2는 목표공기량 2.0%인 고성능AE감수제종류 및 결합제종류에 따른 고유동콘크리트와 비교용 보통콘크리트의 상대동탄성계수 변화를 양생조건에 따라 나타내었다.

보통콘크리트의 경우 양생조건에 상관없이 동결융해 25사이클 전후에서 급격한 상대동탄성계수 저하를 보이고 있으나, 고유동콘크리트의 경우 2주수중양생 및 4주수중양생에서는 공기를 연행시키지 않더라도 동탄성계수가 저하하지 않는 양호한 결과를 나타내고 있다. 이는 저물시멘트비의 콘크리트를 충분히 양생시킴으로써 동결 가능한 수분이 감소되어 내

동해성이 향상되었기 때문으로 사료된다. 한편 4주기건양생의 경우 불충분한 수화 진행, 건습반복양생의 경우 건습반복에 따른 균열발생에 의하여 내동해성이 저하된 것으로 판단된다.

3.1.1 고유동콘크리트의 내동해성에 미치는 고성능AE감수제의 영향

Fig. 3은 고성능AE감수제 종류에 따른 고유동콘크리트 및 보통콘크리트의 공기량과 내구성지수의 관계를 나타낸 것이다.

폴리카르본산계인 경우(6P) 공기를 연행시키지 않은 공기량 2.0% 수준의 고유동콘크리트에서도 내구성지수는 60이상을 유지하고 있어 내동해성이 우수한 것으로 판단된다. 그러나 이미노설폰산계인 경우(6A) 공기를 연행시키지 않은 공기량 1.0% 수준의 고유동콘크리트는 양생방법에 따라서 큰 차이를 보이고 있는데 4주수중양생만이 내구성지수 60 이상을 유지하고 있다. 이러한 경향은 나프탈렌계인 경우(6N)에 더욱 현저하여 공기량 4% 수준의 4주기건양생 및 건습반복 양생에 있어서는 내구성지수가 보통콘크리트 값을 하회하고 공기량 5% 수준을 유지하더라도 보통콘크리트와 큰 차이는 없다. 이와 같이 동일 골재, 동일 수준의 물결합제비에 있어서도 고성능AE감수제의 종류에 따라서 고유동콘크리트의 내동해성은 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다.

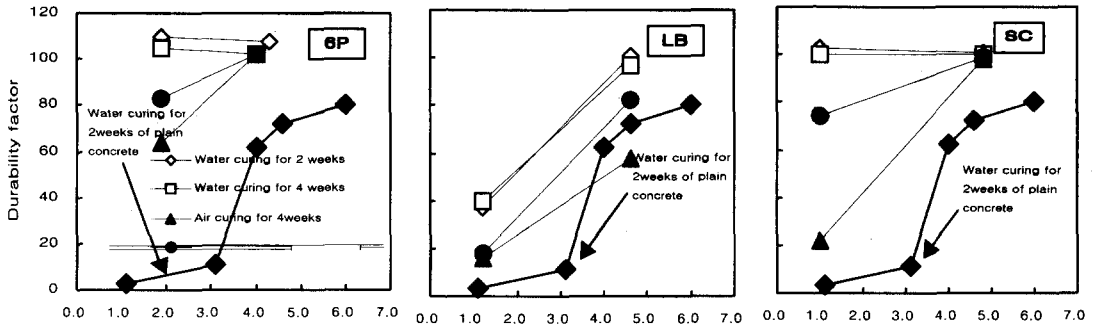


Fig. 4 Durability factor according to types of binder

3.1.2 고유동콘크리트의 내동해성에 미치는 결합재의 영향

Fig. 4는 결합재의 종류에 따른 고유동콘크리트 및 보통콘크리트의 공기량과 내구성지수와와의 관계를 나타낸 것으로서, 고로슬래그시멘트만을 사용한 경우(SC) 공기량 1%수준의 4주기건양생에 있어서는 내구성지수가 저하하고 있지만, 공기량이 증가함에 따라서 내구성지수는 향상되어 보통포틀랜드시멘트에 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트(6P) 수준에 도달하였다. 한편, 고로슬래그시멘트에 석회석미분말을 혼입한 경우(LB) 공기량 1% 수준에서의 내구성지수는 양생방법에 상관없이 40미만으로 매우 열악한 상태를 보이고 있으며, 공기량 5% 수준에서도 4주기건양생은 보통콘크리트보다 내구성지수가 낮은 것으로 나타났다.

일반적으로 석회석미분말을 혼입함으로써 초기 압축강도를 증가시킬 수 있다고 알려져 있지만⁽²⁾, 본 실험의 결과에서는 잠재수경성을 지닌 고로슬래그가 상대적으로 적은 고로슬래그시멘트에 석회석미분말을 사용한 고유동콘크리트(LB)가 보통포틀랜드시멘트에 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트(6P) 및 고로슬래그시멘트만을 사용한 고유동콘크리트(SC)보다 재령 14일 이후 압축강도 및 내구성지수가 낮게 나타나고 있다.⁽³⁾

3.2 고유동콘크리트의 기포조직

Fig. 5는 Liner Traverse법에 의하여 측정된 경화된 콘크리트의 공기량과 굳지않은 콘크리트에서의 공기량을 비교한 것이다. 보통콘크리트에서는 굳지않은 상태의 공기량과 경화 후의 공기량이 거의 동일하게 나타나고 있지만, 고유동콘크리트에서는 경화된 공기량이 굳지않은 상태에서의 공기량에 비하여 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 고유동콘크리트의 경우, 공기량의 변동에 따른 유동성의 변

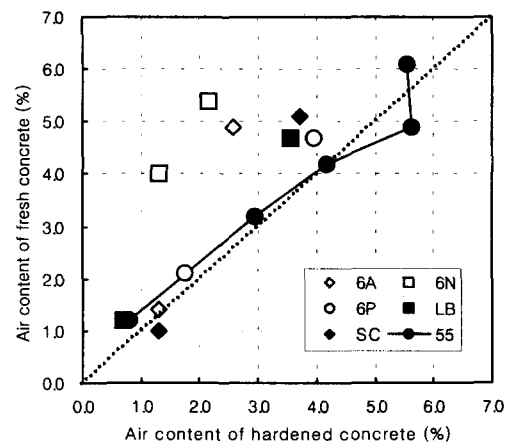


Fig. 5 Relationship between air content of fresh concrete and hardened concrete

화가 매우 현저하고, 일부 고유동콘크리트에서는 비빔 직후에 공기가 거품으로 떠오르는 현상이 관찰되기도 하였다.

Fig. 6은 경화된 고유동콘크리트 시험체의 상부와 하부 공기량을 비교한 것으로서, 상부와 하부의 공기량이 다르게 나타나고 있으며, 또한 고성능AE 감수제종류 및 결합제종류에 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.

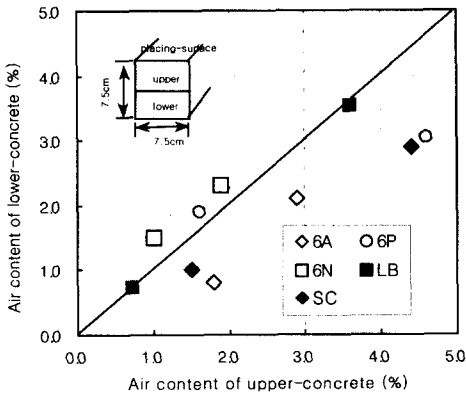
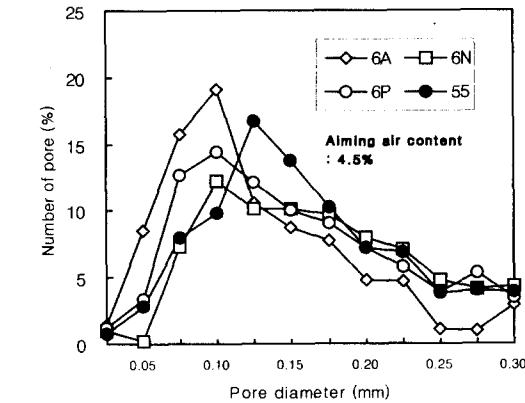
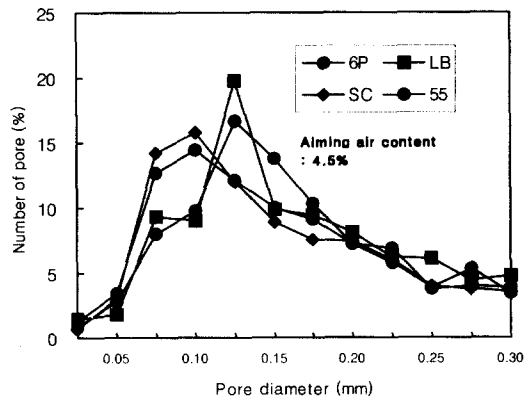


Fig. 6 Relationship between air content in upper-concrete and lower-concrete



(a) Types of superplasticizer



(b) Types of binder

Fig. 7 Pore distribution of plain concrete and high-flowing concrete

Fig. 7은 고성능AE감수제종류 및 결합제종류에 따른 고유동콘크리트와 보통콘크리트의 기포분포를 비교한 것으로서, 고유동콘크리트의 경우 기포직경 0.1 mm이하의 미세한 기포 비율이 보통콘크리트와 비교하여 많은 경향을 보이고 있다. 이것은 동일 공기량의 경우 고로슬래그 미분말을 사용함으로써 기포직경 0.1 mm 이하의 미세한 기포가 증가되어 기포간격계수가 작아지게 되어 콘크리트의 내동해성을 향상시킨다는 기존의 보고⁴⁾와 일치하고 있다.

Fig. 8은 양생조건별 기포간격계수와 내구성시수의 관계를 나타낸 것으로서 일반적으로 기포간격계수 0.25mm이하에서 충분한 내동해성이 얻어지는

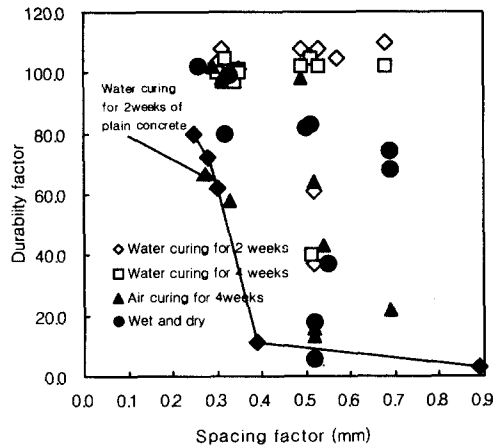


Fig. 8 Relationship between spacing factor and durability

것으로 알려져 있다⁽⁴⁾. 보통콘크리트의 경우 기포간격계수 0.30 mm이하에서 내구성지수 60 이상을 나타내고 있는 것에 반하여, 고유동콘크리트의 경우 2주수중양생 및 4주수중양생에서는 기포간격계수 0.70 mm에서도 내구성지수가 양호한 것으로 판단된다. 그러나 4주기전, 진습반복양생에서는 미세한 균열이 발생되어 내동해성을 얻기 위해서는 0.40 mm 정도의 기포간격계수가 필요하게 된다.

4. 결 론

결합재 종류, 고성능AE감수제 종류 및 양생조건에 따른 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트의 기포조직과 내동해성을 보통콘크리트와 실험적으로 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고유동콘크리트의 내동해성은 결합재·고성능 AE감수제의 종류에 따라서 상이하게 나타나고 있으며, 또한 양생조건에 따라서 공기를 연형시키지 않은 콘크리트의 내동해성이 현저하게 저하하는 경우도 있기 때문에, 표준조건의 동결융해시험결과가 우수하더라도 보통콘크리트와 같은 공기연행이 필요하다.
- 2) 고유동콘크리트에서 상부와 하부의 공기량은 다르게 나타나고 있으며, 또한 콘크리트의 종류에 따라서 상이한 경향을 보이고 있어 고유동콘크리트의 품질관리에 유의할 점으로 판단된다.
- 3) 고유동콘크리트의 경우, 고로슬래그 미분말을 사용함으로써 보통콘크리트보다 미세한 기포의 비율이 증가하고, 특히 저물결합재비의 경우 동해를 받는 한계기포간격계수는 보통콘크리트보다 증가한다. 이로 인하여 전반적으로 고로슬래그 미분말을 이용한 고유동콘크리트의 내동해성은 보통콘크리트보다 우수한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 日本コンクリート工学協会, 超流動コンクリート研究委員会報告書(1), 1993, pp.187~196.
2. セメント協会, わかりやすいセメント科学, 1993, pp.54~61.
3. 谷口ら, 高炉セメントB種および石灰石石粉を使用した超流動コンクリートの諸性質, 第2回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, 日本コンクリート工学協会, 1994, pp.77~82.
4. 権・浜・鎌田・金, 高炉スラグ微分末を混入した高強度コンクリートの気泡組織と耐凍害性, 自然暴露とコンクリート性能に関するシンポジウム論文集, 1993, pp.77~84.
5. 洪悦郎, 鎌田英治, コンクリートの凍害と初期凍害, コンクリート工学, Vol.16, No.5, 1978, pp.1~10.
6. 鎌田英治, 콘크리트의 동해, 철근 콘크리트 구조물의 내구성 향상에 관한 심포지엄 논문집, 대한건축학회, 1995, pp. I ~ XXII
7. 長谷川寿夫, 콘크리트構造物の耐久性シリーズ, 凍害, 技報堂出版, 1988.
8. 金武漢 外, 高流動コンクリートの流動特性に及ぼすセメント及び高性能AE減水剤の効果に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, 1998, pp.385~390.
9. 김무한, 고유동콘크리트의 제조시스템 및 개발에 관한 실험적 연구-고성능감수제 종류 및 첨가율에 따른 고유동특성 및 평가-, 대한건축학회 논문집, 1997. 5, pp.279~288.
10. 김무한, 고유동콘크리트의 제조시스템 및 개발에 관한 실험적 연구-잔골재의 종류에 따른 고유동콘크리트특성의 분석 및 평가- 대한건축학회 논문집, 1998. 5, pp.341~346.

요 약

고유동콘크리트의 실용화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 이제까지의 연구는 그 제조방법과 굳지않은 콘크리트의 특성에 편중되어 있고, 경화된 콘크리트의 내구성, 특히 동결융해저항성에 대해서는 거의 밝혀져 있지 않은 현시점에서 본 연구는 결합재 종류, 고성능AE감수제 종류 및 양생조건 등에 따른 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트의 기포조직과 내동해성을 보통콘크리트와 실험적으로 비교·검토한 것이다.

고유동콘크리트의 내동해성은 결합재·고성능AE감수제의 종류에 따라서 상이하게 나타나고 있으며, 또한 양생조건에 따라서 공기를 연행시키지 않은 콘크리트의 내동해성이 현저하게 저하하는 경우도 있기 때문에, 표준조건의 동결융해시험결과가 우수하더라도 보통콘크리트와 같은 공기연행이 필요하다. 고유동콘크리트의 경우, 고로슬래그 미분말의 사용에 의하여 보통콘크리트보다 미세한 기포의 비율이 증가하고, 특히 저물결합재비의 경우 동해를 받는 한계기포간격계수는 보통콘크리트보다 크다. 이로 인하여 전반적으로 고로슬래그 미분말을 이용한 고유동콘크리트의 내동해성은 보통콘크리트보다 우수한 것으로 나타났다.

(접수일자 : 1999. 11. 1)