JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS NOV. 2002, pp. 90-98

한국농공학회지
제44권 제6호

수중 콘크리트 구조물을 위한 광물질 혼화제를 첨가한 수중불분리성 콘크리트의 특성

Characteristics of Antiwashout Underwater Concrete with the Mineral Admixtures for Underwater Concrete Structures

원 종 필* · 임 경 하** · 박 찬 기** · 김 완 영***

Won, Jong-Pil · Lim, Kyung-Ha · Park, Chan-Gi · Kim, Wan Yong

Abstract

Recently the use of the antiwashout underwater concrete with the antiwashout admixture is increased considerably. Antiwashout underwater concrete is quite different in concept from conventional underwater concrete. By mixing an antiwashout admixture with concrete, the viscosity of the concrete is increased and its resistance to segregation under the washing action of water is enhanced.

The aim of this research is to evaluate the fundamental characteristics and permeability of antiwashout underwater concrete with fly ash and blast-furnace slag.

Test Results of antiwashout underwater concrete with fly ash and blast-furnace slag fluence can provide its excellent fundamental characteristics and resistance of permeability

Keywords : Antiwashout underwater concrete, Blast-furnace slag, Flg ash, Permeability.

I. 서 론

수중에 건설되는 신설 콘크리트 구조물 및 노후된 콘크리트 구조물의 보수 · 보강에 사용되는 수중불분리성 콘크리트는 일반 콘크리트와 다른 특수 콘크리트이다.[3),7)] 일반 콘크리트는 물과 접촉하면 재료 분리가 발생하며 많은 양의 시멘트 성분이 수중에 유출됨에 따라 수질오염을 발생시킨다. 또한 수중에 콘크리트를 타설할 때 발생하는 콘크리트의 재료 분리, 다짐의 어려움, 철근과의 부착력 저하, 콘크리트 타설 후에 구조물의 결함을 눈으로 직접 확인하기가 어려운 문제점이 있다. 수중불분리성 콘크리트는 수중에서 재료분리가 없어 일반 콘크리트로서 적용하기 어려운 수중 콘크리트 구조물의 시공 및 보수 등에 광범위하게 사용되고 있다.[2),4),5),6),8)] 이와 같은 특성을 가져 수중콘크리트

* 건국대학교 생명환경과학대학
** 건국대학교 대학원
*** 한국수자원공사
* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3750
fax: +82-2-2201-0907
E-mail address: jpwon@konkuk.ac.kr

구조물에 그 사용량이 증가되고 있는 현실에서 수중불분리성 콘크리트의 경제성 및 성능(내구성능 포함)을 향상시키기 위한 방안을 강구해야 할 필요성이 발생하였다.

따라서, 본 연구에서는 수중불분리성 혼화제를 첨가한 수중불분리성 콘크리트에 광물질 혼화제인 플라이애시(이하 FS) 와 고로슬래그(이하 BS)를 첨가하여 경제적이며, 분리저항성, 유동성, 충전성 및 내구특성이 우수한 수중불분리성 콘크리트를 개발하고자 한다.

Ⅱ. 실험 계획 및 방법

1. 실험 계획

본 연구에서는 수중불분리성 혼화제를 첨가한 수중불분리성 콘크리트에 대한 기본 실험을 통하여 적정 배합으로 선택된 배합을 기초로 하여 플라이애시 및 고로슬래그 치환율을 각각 시멘트 중량의 10, 20, 30 및 40, 50, 60%로 하였을 때의 성능 변화를 관찰하려 한다. 광물질 혼화재의 치환율에 따른 기초물성을 파악한 후 그 결과를 분석하여 최적의 치환율을 찾아내 그에 대한 투수특성을 평가하였다. 배합비 및 실험항목은 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 2 Test Items

	Test
Fresh Concrete	· Washout resistance - pH - Turbidity
	· Flowability - Slump flow
	· U-type box Test
Hardened Concrete	· Compressive strength - 7 days (air & water curing) - 28 days (air & water curing)

2. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 국내 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

나. 골 재

잔골재는 비중 2.60의 강모래를 사용하였고, 굵은골재는 비중 2.61, 최대치수 25 mm의 부순골재를 사용하였다.

다. 혼화제

수중불분리성 혼화제는 셀룰로오스계를 사용하였으며 기초물성은 Table 3과 같다.

Table 3 Properties of antiwashout admixture

Ingredient	Appearance	Specific gravity	Viscosity (cPs)	Cl^- content (%)
Hydroxyethyl cellulose(HEC)	White colored powder	1.3	40,000 ~ 60,000	less than 1

Table 1 Mix Proportions

No.	FA, BS/C (%)	C (kg/m³)	FA* or BS** (kg/m³)	W (kg/m³)	G (kg/m³)	S (kg/m³)	Antiwashout admixture (kg/m³)	Admixtures (C×%)
Control	0	420	-	220	903	678	2.5	2
FA 10	10	378	42	220	894	672	2.5	2
FA 20	20	336	84	220	884	664	2.5	2
FA 30	30	294	126	220	875	657	2.5	2
BS 40	40	252	168	220	893	671	2.5	2
BS 50	50	210	210	220	890	669	2.5	2
BS 60	60	168	252	220	888	667	2.5	2

* FA : Fly ash

** BS : Blast-furnace slag

Table 4 Physical and chemical properties of Fly ash(FA) and Blast-furnace slag(BS)

Items / Type	Specific gravity	Ig. loss	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	$Al2O_3$ (%)	Tio_2 (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	K2O (%)	Na_2O (%)	P_2O5 (%)
FA	2.15	3.00	61.35	5.56	23.20	1.16	0.10	3.12	0.92	1.16	0.19	0.17
BS	2.80	1.28	33.35	0.22	12.88	0.80	0.22	45.42	6.03	0.59	0.11	0.02

라. 광물질 혼화재

광물질 혼화재로서 플라이애시와 고로슬래그가 사용되었으며, 각각의 물리·화학적 성질은 Table 4와 같다.

3. 실험방법

수중불분리성 콘크리트의 혼합은 20±3℃의 실험실에서 팬형 강제식 믹서를 사용하여 배합을 실시하였다. 재료투입 순서 및 혼합은 시멘트, 골재 및 수중불분리성 혼화제를 투입하여 30초간 건비빔을 한 후에 물과 고성능감수제를 넣고 2분 30초간 총 3분에 걸쳐 혼합하였다(Fig. 1). 공시체 제작은 배합별로 2회 반복 실시하였다.

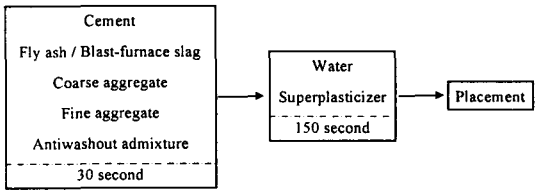

Fig. 1 Mixing procedure of antiwashout underwater concrete

가. 공기량

공기량 시험은 KS F 2417의 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법으로 측정하였다.

나. 탁 도

1,000cc 비이커에 800cc의 증류수를 채우고 수중불분리성 콘크리트 500 g을 10 등분으로 분할하여 수면에서부터 자유 낙하시켰다. 콘크리트를 자유 낙하시키는 시간은 10~20초에 끝냈다. 이후 3분간 정치 후 비이커 내의 물을 스포이드를 이용하여 비이커 내부의 콘크리트가 혼탁 되지 않도록 가만히 600cc를 분취하였다. 이 600cc의 물에 대하여 탁도계를 이용하여 탁도를 측정하였다.

다. pH

탁도 측정과 동일한 방법으로 채취한 물에 대하여 pH meter를 사용하여 pH를 측정하였다.

라. 슬럼프 플로우

슬럼프 플로우 시험은 대한토목학회 규준 "콘크리트용 수중불분리성 혼화제의 품질규준(안)"의 「수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 시험」에 따라서 실시하였다.[1] 슬럼프 플로우 시험은 슬럼프 시험과 같은 시험기구를 사용하여 슬럼프 콘을 제거하고 5분 경화 후에 콘크리트가 가장 길게 퍼진 길이와 이에 직각방향의 길이를 측정하여 평균값을 계산하며 이를 슬럼프 플로우 값으로 하였다.

마. U형 박스 충전성

수중불분리성 콘크리트의 셀프레벨링과 충전성을 측정하기 위해서 박스형 충전장치를 이용하였다. 실험 방법은 물을 채운 박스의 한쪽 공간에 40 cm까지 콘크리트를 채우고 3분간 정치한 후 분리판을 들어 올려 5분 및 10분 후의 높이 차이를 측정하였다.

바. 압축강도

압축강도는 KS F 2405 「콘크리트 압축강도 시

험방법」에 의하여 재령 7일 및 28일에 공기중 및 수중 제작 공시체에 대하여 각각 측정하였다. 공기중 공시체의 제작 방법은 KS F 2403에 따라 ⌀ 10×20 cm의 원추형 몰드를 이용하였고, 다짐 없이 공시체를 제작하였다. 수중 공시체의 제작은 대한토목학회 "콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질규준(안)"의 「수중 제작 공시체」에 따라 제작하였다.[1),2)]

사. 투수성

수중불분리성 콘크리트의 투수성 시험은 ASTM C 1202-91(Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Peneration)과 AASHTO T 259(Rapid Determination of Chloride Permeability of Concrete)에 준하여 실시하였다. 공시체는 수중 및 공기중에서 ⌀ 10×20 cm의 크기로 제작하여 28일 동안 수중에서 양생한 후 길이방향으로 5cm가 되도록 절단하였으며, 공시체 내부에 존재하는 갇힌공기를 완전히 제거한 후 물로 포화시키기 위해서 공시체를 데시게이터 안에 넣고 진동펌프를 3시간 동안 작동시킨 후 공시체가 물로 완전히 침수될 때까지 넣은 다음 진동펌프를 1시간 동안 더 작동시켰다. 그리고 진공펌프를 끄고 물 속으로 완전히 포화시킨 상태에서 18±1시간 동안 유지하였다. 실험은 공시체에 직류 60±1V 정도로 안정적인 직류전압이 공급될 수 있도록 하였다. 전극용기의 (+)전극에는 0.3M의 NaOH 용액을 채우고, (-)전극에는 3.0%의 NaCl 용액을 채웠다. 0.3M의 MaOH 용액은 물 1000 ㎖에 NaOH 12 g을 용해시켜 제조하였고 3%의 NaCl 용액은 물 900 ㎖에 NaCl 30 g을 용해시킨 후 물을 가하여 1000 ㎖의 용액을 만들었으며 총 6시간 동안 전류값을 읽었다. Fig. 2는 염화물 투수 시험을 실시한 모습을 보여준다. 실험은 각 배합에 대해서 3개의 공시체를 제작하여 실시하였다.

Fig. 2 The chloride permeability test set-up

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

1. 공기량

Table 5는 플라이애시 및 고로슬래그 치환율에 따른 공기량 실험결과이다. 실험결과 치환율이 증가함에 따라 공기량이 감소하는 경향을 나타내었다. 기준배합에서 높은 공기량을 보인 것은 시멘트가 수중불분리성 혼화제와 반응하여 점성이 증가함에 따라 콘크리트 내에 갇힌공기로 인하여 공기량이 커진 것으로 사료된다. 반면에 플라이애시 및 고로슬래그로 치환할 경우 유동성 및 충전성의 증가 및 플라이애시와 고로슬래그의 미세한 구상입자들이 콘크리트 내에서 충전효과를 발휘하여 콘크리트 내부의 갇힌공기가 감소한 것으로 사료된다. 적정양의 플라이애시 및 고로슬래그로 시멘트를 치환할 경우에 시방서 기준에서 제시된 4.5% 이하의 적절한 공기량을 만족시킬 수 있는 수중불분리성 콘크리트를 얻을 수 있었다.

Table 5 Results of air content test according to replacement of FA and BS

TEST		Mix						
		Control	FA 10	FA 20	FA 30	BS 40	BS 50	BS 60
Air content (%)	1	5.50	4.20	3.20	2.80	3.20	2.90	2.80
	2	5.30	5.00	3.80	3.50	3.50	3.50	3.60
	Average	5.40	4.60	3.50	3.15	3.35	3.20	3.20

2. 수중분리도

플라이애시와 고로슬래그로 치환한 수중불분리성 콘크리트의 pH 와 탁도 실험결과는 Table 6과 같다. 시험결과 플라이애시와 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 pH는 낮아지는 반면 탁도는 증가하는 경향을 보였다. 이는 수중불분리성 혼화제가 시멘트에 흡착하여 점성을 증가시키는 반면에 플라이애시 및 고로슬래와는 반응을 하지 않기 때문이다. 따라서 이들 광물질 혼화재 치환율이 증가함에 따라서 pH가 높은 시멘트는 점성의 증가로 유실되는 양이 감소하고 상대적으로 pH가 낮은 광물질 혼화재의 유실량이 증가하게 된다. 이러한 이유로 플라이애시 및 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 pH는 감소하고 탁도는 증가하게 되는 것이라 사료된다.

3. 유동성

수중불분리성 혼화제를 사용한 수중불분리성 콘크리트는 보통 콘크리트와 비교하여 높은 점성을 가지고 있기 때문에 다량의 고성능감수제를 필요로 한다. 이러한 높은 점성을 가진 수중불분리성 콘크리트에 플라이애시 및 고로슬래그를 사용하였을 때의 수중불분리성 콘크리트의 유동성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 슬럼프 플로우 시험을 실시하였다.

플라이애시와 고로슬래그로 치환한 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 실험결과는 Table 7과 같다. 실험결과 플라이애시 및 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 기준배합과 비교해서 슬럼프 플로우가 증가함을 알 수 있다. 이는 플라이애시 및 고로슬래그의 미세한 구상입자가 볼베어링 작용을 함으로 해서 유동성이 향상되는 것으로 사료된다. 플라이애시를 10, 20 및 30% 치환했을 경우 기준배합과 비교해서 각각 3.25, 5, 5.75 cm의 슬럼프 플로우가 증가했다. 고로슬래그의 경우 40% 치환했을 경우 기준배합보다 3.75 cm의 슬럼프 플로우가 증가했으며 치환율 50%, 60%에서는 기준배합과 비교해서 모두 5.5 cm의 증가를 보였다. 본 실험

Table 6 The pH and turbidity test according to replacement of FA and BS

TEST	Repeated No.	Mix						
		Control	FA 10	FA 20	FA 30	BS 40	BS 50	BS 60
pH	1	11.070	11.060	11.030	10.980	11.040	11.040	10.960
	2	11.120	11.090	11.040	11.000	11.080	11.070	10.990
	average	11.095	11.075	11.035	10.990	11.060	11.055	10.975
Turbidity (ppm)	1	100.0	115.0	125.0	130.0	110.0	140.0	160.0
	2	105.0	110.0	120.0	135.0	115.0	145.0	155.0
	average	102.5	112.5	122.5	132.5	112.5	142.5	157.5

Table 7 Results of slump flow test according to replacement of FA and BS

TEST		Mix						
		Control	FA 10	FA 20	FA 30	BS 40	BS 50	BS 60
Slump flow (cm)	1	52.00	56.00	58.00	58.00	56.00	57.50	58.00
	2	52.00	54.50	56.00	57.50	55.50	57.50	57.00
	Average	52.00	55.25	57.00	57.75	55.75	57.50	57.50

을 통하여 수중불분리성 콘크리트에 플라이애시 및 고로슬래그로 시멘트량의 일정량을 치환함으로 해서 양호한 유동성을 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.

4. 충전성

수중에 콘크리트를 타설할 경우 다짐을 한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 수중불분리성 콘크리트에 있어서 양호한 충전성을 확보하는 것은 상당히 중요하다.

이에 본 실험에서는 플라이애시 및 고로슬래그 치환율에 따른 U형 박스에 의한 충전 높이 차이를 측정하여 충전성을 평가했으며, Table 8에 결과를 정리하였다. 실험결과 플라이애시 및 고로슬래그로 치환함으로 해서 기준배합보다 양호한 충전성을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있었으나, 플라이애시 및 고로슬래그 치환율이 각각 20%, 50%이상이 될 경우 재료분리에 의하여 굵은골재가 침전됨에 따라 박스 사이에서 재료가 유동되는 것을 방해하는 것으로 나타났다. 이는 플라이애시 및 고로슬래그를 치환할 경우 양호한 충전성을 얻기 위해서 적절한 점도를 유지시켜서 재료분리 저항성을 향상시켜야 할 것으로 사료된다.

5. 압축강도

재령 7일과 28일에 측정한 수중 및 공기중 압축강도 실험결과 및 수중/공기중 강도비를 Table 9에 정리하였다. 수중/공기중 강도비는 수중제작 공시체의 품질을 확인하기 위한 것으로서 시방기준에 제시된 재령 7일과 28일에서 각각 0.7과 0.75이상으로 제한하였다. 기준배합과 비교해서 플라이애시 및 고로슬래그로 치환한 수중불분리성 콘크리트의 재령 7일에서의 수중 및 공기중에서의 압축강도는 치환율이 증가함에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 치환율 증가에 따라 초기재령에서 수화반응을 할 수 있는 단위시멘트량이 감소한 결과라고 생각되며, 수중제작 공시체의 경우 수중 타설시 시멘트 및 광물질 혼화재의 재료분리가 영향을 준 것으로 분석된다. 재령 28일에서의 압축강도 발현경향을 보면 고로슬래그를 치환한 경우에서 가장 큰 압축강도 발현율을 보였는데 이는 고로슬래그의 잠재수경성에 의한 것으로 판단된다. 수중/공기중 강도비의 경우 플라이애시 및 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 낮아지는 경향을 보였으며, 재령 7일보다 재령 28일에서 증가하는 경향을 보였다. 압축강도 시험결과를 분석한 결과 시멘트를 일정량의 고로슬래그로 치환한 수중불분리성 콘크리트가 초기재령에서는 낮은 압축강도를 나타내지만 재령이 증가함에 따라 양호한 압축강도 및 수중/공기중 압축강도비를 발현하는데 유효할 것으로 사료된다. 이상의 광물질 혼화재 치환율에 따른 기초물성을 기초로 배합 중에서 치환율이 높으면서 양호한 기초물성을 보인 플라이애시 20% 및 고로슬래그

Table 8 Results of U-type box test according to replacement of FA and BS

TEST	Repeated No.		Mix						
			Control	FA10	FA20	FA30	BS 40	BS 50	BS 60
Box test (cm)	After 5 minutes	1	13.00	6.00	13.00	14.00	4.00	9.00	14.50
		2	14.50	8.50	11.50	16.00	7.00	11.00	12.00
	average		13.75	7.25	12.25	15.00	5.50	10.00	13.25
	After 10 minutes	1	11.50	4.50	12.00	13.00	3.50	12.50	13.00
		2	12.00	6.00	10.00	14.50	5.50	11.00	11.00
	average		11.75	5.25	11.00	13.75	4.50	11.75	12.00

Table 9 Results of compressive strength test according to replacement of FA and BS

TEST		Repeated No.	Mix						
			Control	FA 10	FA 20	FA 30	BS 40	BS 50	BS 60
7 Days (kgf/cm^2)	Water	1	204.0 209.0 212.0	158.0 164.0 167.0	137.0 140.0 136.0	115.0 118.0 119.0	162.0 155.0 163.0	138.0 142.0 144.0	133.0 130.0 136.0
		2	210.0 213.0 208.0	164.0 161.0 168.0	135.0 139.0 -	121.0 119.0 119.0	159.0 162.0 -	144.0 145.0 144.0	129.0 135.0 132.0
		Average (St.Dev.)	209.3 (3.204)	163.6 (3.724)	137.4 (2.074)	118.5 (1.970)	160.2 (3.271)	142.8 (2.563)	132.5 (2.739)
	Air	1	270.0 251.0 260.0	220.0 219.0 217.0	178.0 198.0 193.0	166.0 158.0 168.0	203.0 207.0 192.0	182.0 179.0 177.0	182.0 174.0 -
		2	264.0 258.0 257.0	214.0 219.0 -	185.0 191.0 186.0	155.0 163.0 -	198.0 201.0 -	185.0 179.0 -	176.0 175.0 180.0
		Average (St.Dev.)	260.0 (6.481)	217.8 (2.387)	188.5 (7.007)	162.0 (5.430)	200.2 (5.630)	180.4 (3.131)	177.4 (3.435)
		Water/Air (%)	80.5	75.1	72.9	73.1	80.0	79.2	74.7
28 Days (kgf/cm^2)	Water	1	256.0 253.0 259.0	229.0 236.0 216.0	202.0 205.0 204.0	169.0 172.0 163.0	255.0 245.0 247.0	232.0 255.0 242.0	227.0 236.0 232.0
		2	258.0 262.0 -	221.0 226.0 220.0	204.0 200.0 212.0	167.0 171.0 166.0	243.0 242.0 239.0	240.0 248.0 238.0	231.0 233.0 226.0
		Average (St.Dev.)	257.6 (3.362)	224.7 (7.202)	204.5 (4.087)	168.0 (3.350)	245.7 (5.529)	242.5 (8.044)	230.8 (3.764)
	Air	1	310.0 312.0 314.0	296.0 274.0 293.0	276.0 261.0 259.0	233.0 215.0 224.0	324.0 330.0 333.0	316.0 306.0 297.0	290.0 284.0 296.0
		2	304.0 306.0 -	284.0 281.0 283.0	267.0 268.0 261.0	221.0 218.0 217.0	320.0 324.0 318.0	307.0 309.0 299.0	285.0 297.0 301.0
		Average (St.Dev.)	309.4 (4.147)	285.2 (8.643)	265.3 (6.346)	221.3 (6.530)	324.8 (5.742)	305.7 (6.919)	292.2 (6.911)
		Water/air (%)	83.3	78.8	77.2	75.9	75.5	79.3	79.0

(St.Dev.) : Standard deviation

60%로 치환한 수중불분리성 콘크리트를 최적의 배합으로 선택하였다.

6. 투수특성

본 연구에서는 기준배합과 광물질 혼화재를 치환한 수중불분리성 콘크리트 배합 중에서 양호한 유동성 및 압축강도 발현율을 가진 플라이애시 20% 및 고로슬래그 60%를 치환한 배합에 대한 투수성 시험을 실시하였다.

염소이온 투과에 의한 전하량 측정방법에 따라서 수중불분리성 콘크리트의 투수성을 측정하였으며

Table 10은 ASTM에서 제시된 통과전하량으로 투수성을 평가하는 기준이다. 염화물 투수시험결과는 Table 11과 같다. ASTM에서 제시된 평가기준과 비교해서 기준 및 플라이애시를 20%로 치환한 수중불분리성 콘크리트는 높은 투수성을 나타냈으며, 고로슬래그를 60%로 치환한 수중불분리성 콘크리트는 보통의 투수성을 나타내었다. 플라이애시를 20%로 치환한 수중불분리성 콘크리트의 경우 기준배합과 비교해서 약간 낮은 통과 전하량을 나타냈으며, 고로슬래그를 60%로 치환한 수중불분리성 콘크리트의 경우 기준 및 플라이애시를 20%로 치환한 수중불분리성 콘크리트보다 훨씬 낮은 통과 전하량이 측정되었다. 결과적으로 플라이애시로 치환할 경우 투수저항성의 향상은 크게 기대할 수 없었으나, 고로슬래그로 치환할 경우 큰 투수저항성의 향상을 볼 수 있었다. 이는 플라이애시로 치환할 때보다 고로슬래그로 치환할 경우에 콘크리트 내부가 재령 28일에서 더욱 치밀해졌음을 알려주는 것이며, 이는 이들 수중불분리성 콘크리트의 압축강도 발현경향과도 일치하는 결과이다.

Table 10 Chloride permeability based on charge passed

Charge passed(coulombs)	Chloride permeability
〉 4,000	High
2,000~4,000	Moderate
1,000~2,000	Low
100~1,000	Very low
〈100	Negligible

Table 11 Result of chloride permeability test

(Unit : coulombs)

Repeated No.		Mix		
		Control	FA 20	BS 60
Water	1	9472	9142	3836
	2	9220	8750	3191
	3	9556	9526	4531
Average		9416	9139	3852
Permeability evaluation according to ASTM		High	High	Moderate
Air	1	8869	8004	2412
	2	8819	6952	2312
	3	8937	8057	2966
Average		8875	7671	2563
Permeability evaluation according to ASTM		High	High	Moderate

Ⅳ. 결 론

광물질 혼화재를 사용한 수중불분리성 콘크리트의 기본 특성 및 내구특성을 파악하기 위하여 본 연구에서는 기초물성 시험을 통하여 도출된 최적배합을 기초로 플라이애시 및 고로슬래그를 시멘트량의 일정량을 치환하여 경제성 및 기초물성, 내구특성을 향상시키고자 하였으며 시험을 통한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공기량의 경우 플라이애시 및 고로슬래그 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였는데, 이는 이들 광물질 혼화재를 이용함으로써 양호한 공기량을 얻을 수 있다는 것을 보여주었다.

2. 수중분리도 시험결과 플라이애시 및 고로슬래그 치환율이 증가할수록 pH는 감소하고, 탁도는 증가하는 경향을 보였다.

3. 플라이애시 및 고로슬래그를 치환하였을 경우 유동성은 향상되었다.

4. 적정량의 플라이애시 및 고로슬래그로 치환한 경우 충전성이 향상되는 것을 확인하였으나, 너무 많은 양을 치환한 경우 재료분리의 문제를 일으켰다.

5. 플라이애시 및 고로슬래그로 치환한 수중불분리성 콘크리트의 경우 기준배합과 비교해서 초기재령에서 압축강도가 작았으나, 재령이 증가함에 따라 압축강도의 차이가 감소하는 경향을 보였다. 특히, 고로슬래그로 치환한 경우 압축강도가 기준배합보다 더 크거나 비슷하였다.

6. 광물질 혼화재로 치환한 수중불분리성 콘크리

트의 경우 투수저항성의 향상을 나타내었으며, 특히 고로슬래그로 치환한 경우 기준배합과 플라이애시로 치환한 수중불분리성 콘크리트와 비교해서 상당히 우수한 투수저항성을 나타내었다.

References

1. Ministry of construction & transportation. 1996. Concrete standard specifications. KSCE.
2. Won, Jong-Pil, Kyung-Ha Lim, Chan-Gi Park. 2001. Statistical Evaluation of Mix Proportion Factor of Antiwashout Underwater Concrete. *Journal of the korean society of agricultural engineers* 43(3): 66-76. (in Korean)
3. Billy D. needly and Jerry Wickersham. 1989. *Repairs of red rock dam*. Concrete International: 36~39.
4. Kawai, T. 1987. Non-dispersible underwater concrete using polymers. *Marine Concrete International Congress on Polymers in Concrete*. Chapter 11.5. 23. Brighton, England
5. Kenneth L. Saucier and Billy D. Needly. 1987. *Antiwashout admixtures in underwater concrete*. Concrete international 9(5): 42~47.
6. Khayat, K. H., and A. Yahia. 1997. *Effect of welan gum high-range water reducer combinations on rheology of cement grout*. ACI Materials Journal 94(5): 365~372.
7. Khayat, K. H., and W. T. Hester. 1990. *Evaluation of concrete mixtures for underwater pile repairs*. Cement, Concrete, and Aggregate Journal 13(1): 32~41.
8. Khayat, K. H., and Z. Guizani. 1997. *Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete*. ACI Material Journal 94(4): 332~340.