

광물질 혼화재료를 첨가한 수중불분리성 콘크리트의 특성에 관한 연구

백동일^{1)*} · 김명식¹⁾ · 장희석¹⁾

¹⁾ 부경대학교 건설공학부

(2004년 3월 24일 원고접수, 2004년 11월 19일 심사완료)

A Study on the Characteristics of Antiwashout Underwater Concrete with Mineral Admixture

Dong-Il Baek^{1)*}, Myung-Sik Kim¹⁾, and Hee-Suk Jang¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-739, Korea

(Received March 24, 2004, Accepted November 19, 2004)

ABSTRACT

In this study, for improving of concrete properties, those are used ground granulated blast slag(GGBS) and fly ash(FA). There are some advantage to add the GGBS and FA in plain concrete. The objective of this study is to find the characteristics of fresh and hardened antiwashout underwater concrete which is followed by blended ratio of GGBS and FA.

Experimental parameters were chosen that W/C was 50%, S/a was 40% and as the blended ratio of GGBS was set at 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60% and FA was set at 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35% in order to prove the properties of antiwashout underwater concrete can be changed by blended ratio of GGBS and FA.

It was measured pH, suspension and slump flow of fresh antiwashout underwater concrete and compressive strength of hardened antiwashout underwater concrete in age of 7 days, 28 days and 56 days.

The experimental results of fresh concrete show that pH, suspension and slump flow were all satisfied with KSCE (Korea Society of Civil Engineering) standard value and mix design standard value. To synthetically consider, the optimum blended ratio is about 30% of GGBS and FA.

Keywords : ground granulated blast slag, fly ash, antiwashout underwater concrete, pH, suspension

1. 서 론

20세기 이후 학문과 과학기술이 급속히 발전하면서 건설재료에 대한 연구가 더욱 활발해지고 있으며, 소재개발, 자원 재생산, 신기술 개발 및 보급 등이 수없이 쏟아져 나오고 있는 기술정보의 홍수 속에서 살아가고 있다고 하여도 과언이 아닐 것이다. 이와 같은 추세에 따라 콘크리트에 대해서도 다양한 연구가 이루어지고 있다. 그런데 우리나라는 삼면이 바다로 이루어진 지정학적인 조건으로 인하여 해양에 대한 개발이 필수적이며, 건설영역도 점차 해양쪽으로 확대되고 있는 실정이다.

이런 추세에 발맞추어 수중불분리성 콘크리트^{1,5,18)}의 제물성을 향상·개선시키기 위한 연구로 산업부산물인 고로슬래그미분말(ground granulated blast furnace slag,

GGBS)과 플라이애쉬(fly ash, FA)를 혼합한 수중불분리성 콘크리트를 착안하게 되었다^{6,8)}. 이들 자체는 수경성이 없으나 시멘트와 혼합하여 사용하게 되면 시멘트와 물의 수화반응에 의하여 생성되는 수산화칼슘과 반응하는 포졸란반응을 하게 된다. 이들은 시멘트의 초기수화반응을 지연·감소시키는 역할을 한다. 또한 이러한 잠재수경성 때문에 초기재령의 강도발현은 작으나 시멘트 수화물인 수산화칼슘 등과 상온에서 서서히 반응하기 때문에 오히려 장기재령의 강도증진은 클 뿐만 아니라 수밀성, 내해수성의 향상 등 콘크리트의 품질을 개선하는 여러 가지 장점들을 가지고 있는 재료이다. 아울러 이들을 사용하게 되면 산업부산물을 재활용하게 되는 것이고 환경보호, 에너지 절약 등의 효과를 갖고 있다^{11,12)}.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 물성을 향상시키기 위하여 고로슬래그미분말 및 플라이애쉬를 사용한 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트^{9, 10)}의 각종 물성변화를 살펴보고, 각각을 담수와 해수에서 제작·양생하여 경화한 수

* Corresponding author

Tel : 051-620-1440 Fax : 051-628-2231

E-mail : qt418@mail1.pknu.ac.kr

중불분리성 콘크리트의 재령 7일, 28일, 56일의 압축강도를 측정하였다. 이렇게 측정된 값을 중심으로 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬의 치환율, 담수 및 해수에서의 제작과 양생 및 재령에 따른 수중불분리성 콘크리트의 기초 특성들을 파악하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에서는 보통포틀랜드시멘트를 사용하며, 그 물리적 특성 및 화학적 조성은 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

굵은골재는 경남 용원 석산에서 채취한 최대치수 25mm의 부순자갈이고, 잔골재는 전남 진도 앞바다에서 채취한 바다모래를 상용수로 제염하여 사용하며, 물리적 특성은 Table 2와 같다.

2.1.3 고로슬래그미분말(GGBS)

포항제철에서 생산되는 분말도 4,500 cm²/g인 고로슬래그 미분말을 사용하며, 물리·화학적 특성은 Table 3과 같다.

2.1.4 플라이애쉬(FA)

삼천포화력발전소에서 생산되는 분말도 4,440 cm²/g인 Class F 플라이애쉬를 사용하며, 물리·화학적 특성은 Table 4와 같다.

2.1.5 혼화제

혼화제는 셀룰로오스계 수중불분리성 혼화제 (Anti-washout underwater agent, AWA)와 멜라민계 유동화제 (superplasticizer, SP)를 사용하며, 각각의 물리·화학적 특성은 Table 5와 같다^{23,16,17}.

2.1.6 혼합수

제작환경에 따른 수중불분리성 콘크리트의 특성을 파악하기 위하여 담수 및 해수를 사용하는데, 담수는 상용수로 사용되는 수도수를 사용하며, 해수는 부산광안대교 부근의 천연해수를 채취하여 사용한다. 실험수들의 pH와 염화물 함유량은 Table 6과 같다.

2.2 실험계획

본 연구에서는 설계기준강도는 23.5MPa, W/C는 50%⁴⁵, 슬럼프플로우는 50±5cm, 공기량은 4%이하, 잔골재율은 40%, 단위수량은 220 kg/m³으로 고정한다. 그리고 GGBS

는 단위시멘트량의 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60%로, FA는 단위시멘트량의 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35%로 각각 치환하고, SP는 단위시멘트량의 1.5%를, AWA는 단위수량의 1.2%를 사용한다. 본 연구의 실험 파라미터는 Table 7과 같고, 배합설계를 수행한 결과 Table 8과 같은 기준시방배합표를 얻을 수 있었다.

Table 1 Physical properties & chemical composition of ordinary portland cement

Physical properties			Chemical composition (%)					
Specific gravity	Ignition loss (%)	Insoluble residue (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
3.14	0.5~1.3	0.2~0.9	21.0 ~ 22.5	4.5 ~ 6.0	2.5 ~ 3.5	63.0 ~ 66.0	0.9 ~ 3.3	1.0 ~ 2.0

Table 2 Physical properties of aggregates

Item Kind	G _{max} (mm)	Specific gravity	Water abs. (%)	FM	Unit weight (kg/m ³)	Shell content (%)	Chloride cont. (×10 ⁻³ %)	
							NaCl	Cl ⁻
Coarse aggregate	25	2.67	1.0	6.97	1520	-	-	-
Fine aggregate (sea sand)	-	2.58	1.8	2.75	1537	7.2	2.6	2.0

Table 3 Physical & chemical properties of GGBS

Blain (cm ² /g)	Specific gravity	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	CaO	MgO
4500	2.93	34.17	13.50	0.972	42.39	6.52
Blain (cm ² /g)	Specific gravity	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	-
4500	2.93	1.64	0.45	0.45	0.32	-

Table 4 Physical & chemical properties of FA

Blain (cm ² /g)	Specific gravity	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃
4440	2.15	49.66	22.88	0.38	8.91	3.97	0.70	0.27	8.16

Table 5 Physical & chemical properties of admixtures

Item Kind	Main ingredient	pH	Specific gravity	Phase
Antiwashout underwater agent	Hydroxy ethyl cellulose	7.1	1.07	white powder
Superplasticizer	Melamine	12.0	1.23	Light -brown liquid

Table 6 pH & chloride contents of experimental water

Item	Fresh water	Sea water
pH	8.426	8.097
Chloride content (%)	-	3.21~3.40

기준시방배합표의 배합사항을 기준으로 하고, W/C는 시방서에 규정되어 있는 “해수에서 내구성을 고려한 무근 콘크리트의 최대 W/C인 60% 이내”로 하며, S/a는 일본토목학회에 규정되어 있는 표준잔골재율인 40%로 하여 단위시멘트량에 따른 GGBS 및 FA의 치환율을 변화시켜 배합설계를 수행하였다. 각각의 시방배합표는 Table 9 및 Table 10과 같다.

3. 공시체 제작 및 시험방법

3.1 공시체 제작 및 양생

3.1.1 콘크리트 제조

콘크리트의 제조는 혼합용적(mixing capacity) 60ℓ인 강제식 믹서를 사용하였다. 먼저 잔골재, 굵은골재, 시멘트 및 수중불분리성 혼화제를 투입하고 30초간 건비빔을 실시하였고, 다음으로 혼합수를 투입한 뒤 60초간 1차 혼합비빔을 실시하였으며, 최종적으로 유동화제를 투입하여 90초간 2차 혼합비빔을 실시하였다. 그 과정은 Fig. 1과 같다.

3.1.2 공시체 제작

압축강도측정용 공시체의 제작은 「KS F 2403 콘크리트 강도 시험용 공시체 제작 방법」의 규정에 따랐으나 특별히, 수중불분리성 콘크리트의 공시체 제작 방법은 수조에 몰드를 거치하고 몰드의 상단에서 10cm위까지 물을 채운 후, 비벼진 콘크리트를 핸드스쿠프를 이용하여 10등분 이상 분할할 양만큼 수면에서 조용히 수중·낙하시켜 공시체(φ10×20cm)를 제작하였다.

3.1.3 양생

양생은 20±3℃의 담수와 해수에서 각각 구분하여 7일, 28일, 56일간 실시하였다.

3.2 시험방법

3.2.1 재료분리저항성시험

재료분리저항성시험은 대한토목학회에서 규정한 「콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질기준」의 「수중낙하시험 방법」에 준하였다. 시험방법은 1000cc비이커(외경 110mm, 높이 150mm)에 800cc의 증류수를 채우고, 500g의 콘크리트를 10등분 이상 되도록 수면에서 수중으로 조용히 분할 투입한 다음, 비이커에 600cc의 현탁액을 채취하여 각 혼화재료의 첨가량에 따른 수중불분리성 콘크리트의 현탁액의 pH와 현탁물질량을 측정하였다. 또한 본 연구에서는 실제 시공현장을 감안하여 같은 방법으로 담수와 해수에서 각각 재료분리저항성시험을 실시하였고, 참고하기 위하여 증류수에서도 실시하였다^{13,14)}.

Table 7 Experimental parameter

Symbol	Blended of GGBS (%) (by unit weight of cement)	Symbol	Blended of FA (%) (by unit weight of cement)
ST	0	ST	0
GGBS10	10	FA10	10
GGBS20	20	FA15	15
GGBS30	30	FA20	20
GGBS40	40	FA25	25
GGBS50	50	FA30	30
GGBS60	60	FA35	35

Table 8 Standard mix proportion

f _{ck} (MPa)	W/C (%)	Slump flow (cm)	Air cont. (%)	G _{max} (mm)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
						W	C	S	G	A W A	SP
23.5	50	50±5	below 4.0	25	40	220	440	619	961	2.64	8.80

Table 9 Mix proportion of GGBS with blended ratio

Symbol	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						
			W	C	S	G	Admixture		
							GGBS	AWA	SP
ST	50	40	220	440	619	961	0	2.64	6.6
GGBS 10	50	40	220	396	619	961	44	2.64	6.6
GGBS 20	50	40	220	352	619	961	88	2.64	6.6
GGBS 30	50	40	220	308	619	961	132	2.64	6.6
GGBS 40	50	40	220	264	619	961	176	2.64	6.6
GGBS 50	50	40	220	220	619	961	220	2.64	6.6
GGBS 60	50	40	220	176	619	961	264	2.64	6.6

Table 10 Mix proportion of FA with blended ratio

Symbol	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						
			W	C	S	G	Admixture		
							FA	AWA	SP
ST	50	40	220	440	619	961	0	2.64	6.6
FA 10	50	40	220	396	619	961	44	2.64	6.6
FA 15	50	40	220	374	619	961	66	2.64	6.6
FA 20	50	40	220	352	619	961	88	2.64	6.6
FA 25	50	40	220	330	619	961	110	2.64	6.6
FA 30	50	40	220	308	619	961	132	2.64	6.6
FA 35	50	40	220	286	619	961	154	2.64	6.6

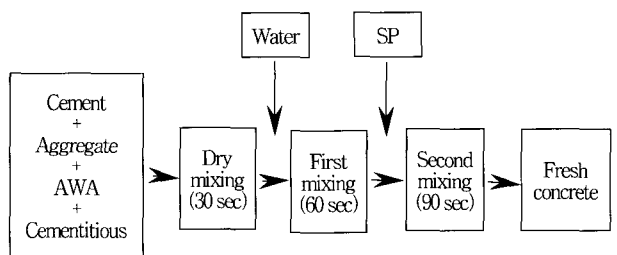


Fig. 1 Production flow of antiwashout underwater concrete

3.2.2 유동성시험

유동성을 파악하기 위한 수중불분리성 콘크리트의 유동성 시험(slump flow)은 대한토목학회에서 규정한 「콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질기준」의 「수중불분리성 콘크리트의 슬럼프플로우 시험방법」에 준하여 실시하였다.

3.2.3 압축강도시험

정확한 수중불분리성 콘크리트의 성질을 평가하기 위하여 「KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법」에 준하여 담수 및 해수에서 각각 제작·양생한 공시체를 재령 7일, 28일, 56일에 압축강도시험을 실시하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 특성

Table 11은 GGBS를 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60%로, FA를 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35%로 치환한 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 재료분리저항성을 파악하기 위하여 현탁액의 pH와 현탁물질량을, 유동성을 파악하기 위하여 슬럼프플로우를 측정된 결과이다.

4.1.1 재료분리저항성

Fig. 2는 GGBS 및 FA의 치환율에 따른 pH를 측정된 결과이고, Fig. 3은 GGBS 및 FA의 치환율에 따른 현탁물질량을 측정된 결과이다. Figs. 2, 3을 참조하면 실험조건에 변화에 관계없이 pH와 현탁물질량은 대한토목학회에서 규정한 「콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질기준」의 기준치인 pH는 12이하, 현탁물질량은 150 mg/l 이하를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 물의 셋김작용으로

Table 11 Results of fresh antiwashout underwater concrete

Symbol	pH			Suspended solids (mg/l)			Slump flow (cm)
	Distilled water	Fresh water	Sea water	Distilled water	Fresh water	Sea water	
ST(GGBS)	11.59	11.49	9.34	47.70	45.00	33.30	51
GGBS 10	11.54	11.48	9.08	50.00	46.70	33.30	52
GGBS 20	11.50	11.42	9.21	53.30	46.70	33.30	52
GGBS 30	11.32	11.21	9.25	55.00	48.30	41.00	54
GGBS 40	11.30	11.14	9.13	58.30	55.00	46.00	52
GGBS 50	11.29	11.13	9.01	63.30	57.30	47.00	52
GGBS 60	11.14	11.00	8.83	71.70	68.30	50.00	52
ST(FA)	11.47	11.45	9.35	27.35	30.24	22.29	46
FA 10	11.47	11.33	9.30	36.75	72.17	28.80	46
FA 15	11.45	11.28	9.28	45.42	90.24	32.41	47
FA 20	11.40	11.26	9.04	44.70	100.36	33.86	47
FA 25	11.39	10.97	8.67	56.99	107.59	36.02	48
FA 30	11.39	10.83	8.55	82.29	118.43	36.75	50
FA 35	11.35	10.71	8.36	99.64	124.94	38.19	48

인하여 현탁액 내에 pH가 낮은 GGBS 및 FA의 유실량의 증가하여 pH는 GGBS 및 FA의 치환율이 증가할수록 감소하였다. 특히 해수에서의 pH는 해수 중에 포함된 탄산이온들의 결합으로 인하여 약알칼리성으로 변화하여 담수와 증류수에 비해 상대적으로 낮은 값을 보였다. 현탁물질량은 전체적으로 GGBS와 FA의 치환을 증가에 따라 전체적으로는 증가하는 경향이였다. GGBS로 치환한 경우에는 비슷한 경향으로 증가하였으나, FA로 치환한 경우에는 함유탄소분에 의한 흡착성질을 가진 FA 분산정도의 차이에 의해 증류수, 담수, 해수에서 큰 차이를 보였다.

4.1.2 유동성

Fig. 4는 GGBS 및 FA의 치환을 변화에 따른 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 유동성을 파악하기 위하여 슬럼프플로우를 측정된 결과이다. 이 결과를 살펴보면, 슬럼프플로우는 본 연구에서 요구하는 50±5cm를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 GGBS 및 FA의 치환을 30%까지 슬럼프플로우가 점차 증가하다가 치환율이 30%를 초과하면, 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이는 혼입물 30%까지는 GGBS 및 FA의 미립자에 의한 볼베어링 효과로 시멘트 페이스트의 유동성을 개선한 것으로 생각된다.

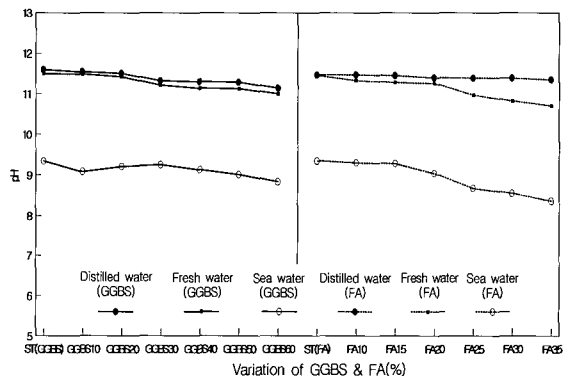


Fig. 2 pH as to variation of GGBS & FA blended (%)

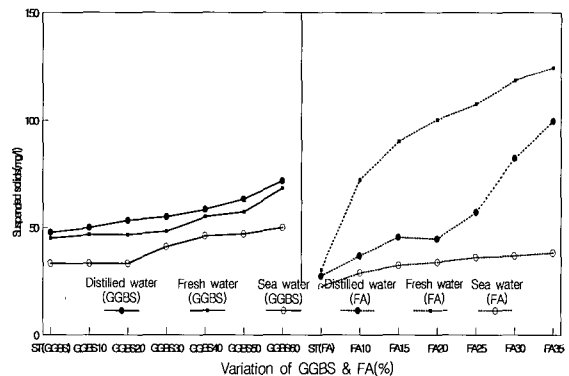


Fig. 3 Suspended solids as to variation of GGBS & FA blended (%)

반면에 치환율이 30%를 초과하는 경우, 치환율 증가에 따른 상대적인 수량의 감소 및 미연소탄소와 AE제의 흡착으로 인한 공기량의 감소로 슬럼프는 감소한 것으로 사료된다.

4.2 경화한 수중불분리성 콘크리트의 특성

Table 12는 GGBS 및 FA의 치환율 변화에 따른 재령 7일, 28일, 56일의 수중불분리성 콘크리트의 압축강도를 측정된 결과이다.

Figs. 5, ~ 7은 GGBS 및 FA의 치환율 변화에 따라 각각 담수 및 해수에서 제작·양생된 경화한 수중불분리성 콘크리트의 재령 7일, 28일, 56일의 압축강도를 측정된 결과이다.

본 연구에 의하면 GGBS나 FA, 재령 및 치환율의 변화에 관계없이 담수에서 제작·양생한 경우의 압축강도가 해수에서 제작·양생한 경우보다 높게 나왔다. 이는 해수에서 제작·양생한 콘크리트의 내부에는 이미 해수가 존재하기 때문에 해수에 포함된 염류에 의한 수화반응의 지연과 침식작용(해수에 가용성인 수산화석회 가 용출되는 현상)으로 인하여 경화체 조직의 틈을 만들어 다공질화가 됨으로 인해 담수에 비해 낮은 압축강도가 발현되었다. 그리고 담수·해수, GGBS나 FA의 치환율 변화에 관계없이 재령 7일의 압축강도는 GGBS로 치환한 경우보다 FA로 치환한 경우가 높게 나왔으나, 재령 28일, 재령 56일로 시간이 경과하게 되면 GGBS로 치환한 경우보다 FA로 치환한 경우가 차차로 낮은 강도발현을 보였다. 또한 시간이 경과할수록 GGBS의 경우에는 담수에서 제작·양생한 압축강도가 해수에 비해 상대적으로 그 차이가 커지는 경향(재령 28일에서는 약 12%, 재령 56일에서는 약 17%)이었으며, FA

Table 12 Results of compressive strength

Symbol	Compressive strength in fresh water(MPa)			Compressive strength in sea water(MPa)		
	7days	28days	56days	7days	28days	56days
ST (GGBS)	13.7	28.4	30.6	12.6	23.9	26.0
GGBS 10	13.5	28.3	30.7	12.6	24.5	26.1
GGBS 20	13.4	28.3	30.7	12.5	25.1	26.0
GGBS 30	12.3	30.6	32.3	12.4	27.7	28.4
GGBS 40	11.0	29.7	31.1	10.2	26.8	27.0
GGBS 50	10.3	29.1	29.9	8.5	26.0	26.5
GGBS 60	9.8	25.5	28.4	7.0	24.2	26.4
ST (FA)	17.9	26.1	29.0	18.4	25.4	26.0
FA 10	16.3	23.4	25.5	15.5	23.0	25.1
FA 15	15.3	22.8	24.3	14.9	21.4	23.9
FA 20	14.9	21.1	23.7	14.3	19.4	23.5
FA 25	14.6	17.8	21.7	13.7	15.0	21.4
FA 30	14.5	16.6	19.5	12.5	14.6	18.8
FA 35	9.9	13.3	18.3	9.8	12.2	17.8

의 경우에도 담수에서 약간 높은 것으로 나타났다. 이는 해수에서 제작·양생한 경우 해수에 포함된 염류 중에 황산마그네슘(MgSO₄)이 콘크리트의 수화시 발생하는 수산화칼슘(Ca(OH)₂)과 반응하여 에트링자이트(ettringite)를 생성하게 되고 이로 인하여 콘크리트의 부피를 팽창시켜 열화를 일으켜 콘크리트의 강도를 저하시킨 것으로 사료된다.

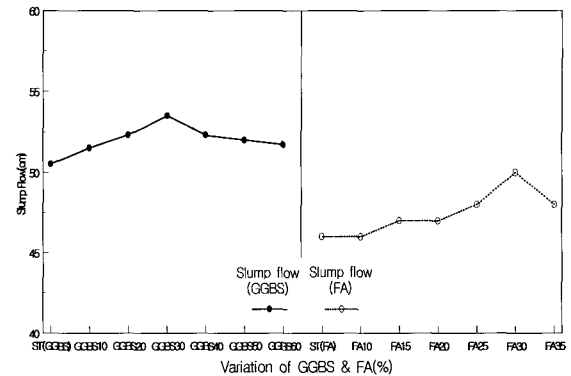


Fig. 4 Slump flow as to variation of GGBS & FA blended (%)

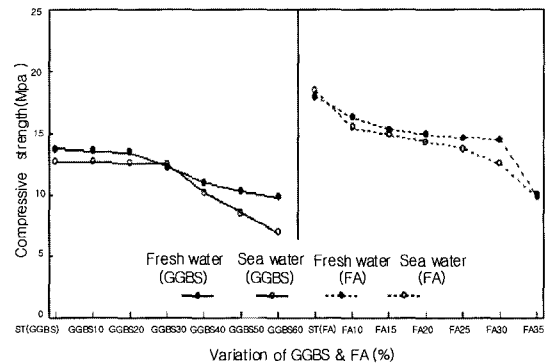


Fig. 5 Compressive strength as to variation of GGBS & FA blended (7days)

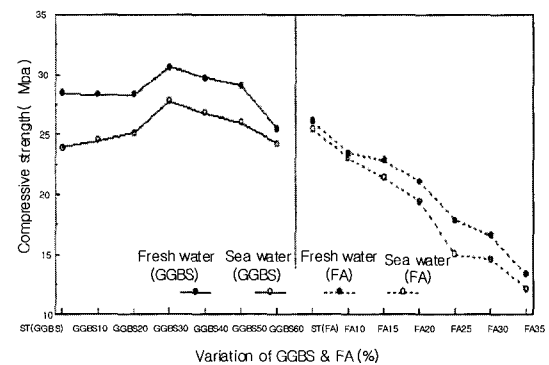


Fig. 6 Compressive strength as to variation of GGBS & FA blended (28days)

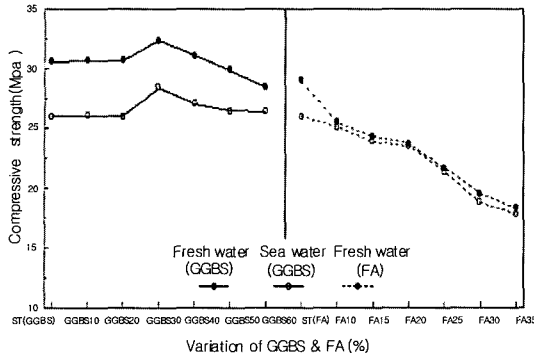


Fig. 7 Compressive strength as to variation of GGBS & FA blended (28days)

본 연구의 설계기준강도인 23.5MPa를 중심으로 검토해 보면, GGBS를 혼입한 경우에는 담수·해수, 치환율 변화에 관계없이 재령 28일 이후에는 모두 기준강도이상의 강도 발현을 보였다. 그러나 FA로 치환한 재령 28일의 경우에는 치환율이 10%이고, 담수에서 제작·양생한 경우에는 기준강도에 거의 근접하였으나, 해수인 경우에는 치환율에 관계없이 모두 기준강도 이하이었다. 그러나 재령 56일에서 치환율이 20%이하인 경우에는 담수·해수에 관계없이 기준강도이상의 강도발현을 보였으나, 그 이외의 경우에는 모두 기준강도 이하이었다. 본 연구에서는 재령 91일의 압축강도를 측정하지 않아 단정 지을 수는 없지만, 상기한 분석결과를 참조하면 수중불분리성 콘크리트에 FA로 치환할 경우에는 설계기준강도를 재령 91일의 강도로 하여야 할 것으로 생각된다.

GGBS 및 FA의 치환율에 따른 압축강도의 특성을 검토해 보면 GGBS의 경우에는 치환율이 증가할수록 압축강도는 약간씩 증가하는 경향이었는데, 치환율 30%에서 최고 강도를 나타냈다. 그러나 그 이상의 치환율에서는 오히려 조금씩 감소하였다. FA의 경우에는 재령, 해수·담수에 관계없이 치환율이 증가할수록 압축강도는 비례적으로 감소하는 경향을 나타냈다.

상기한 재료분리저항성, 유동성 및 압축강도 특성들을 종합적으로 참조하고 수중공사에 사용되는 수중불분리성 콘크리트이므로 설계기준강도를 재령 91일의 강도로 할 경우 GGBS나 FA의 최적 치환율은 대략 30%정도인 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 GGBS 및 FA의 치환율 변화에 따른 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 각종 물성변화와 재령에 따른 경화한 수중불분리성 콘크리트의 기초특성을 분석해본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) pH는 GGBS 및 FA의 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였고, 특히 물의 씻김작용으로 인하여 현탁액 내에 pH가 낮은 GGBS 및 FA의 유실량의 증가하여 pH는 GGBS 및 FA의 치환율이 증가할수록 감소하였다. 특히 해수에서의 pH는 해수 중에 포함된 탄산이온들의 결합으로 인하여 약알칼리성으로 변화하여 담수와 증류수에 비해 상대적으로 낮은 값을 보였다.
- 2) 현탁물질량은 GGBS와 FA의 치환율 증가에 따라 전체적으로는 증가하였다. 특히 GGBS로 치환한 경우에는 비슷한 경향으로 증가하였으나, FA로 치환한 경우에는 함유탄소분에 의한 흡착성질을 가진 FA의 분산정도의 차이에 의해 증류수, 담수, 해수에서 큰 차이를 보였다.
- 3) 슬럼프플로우는 GGBS 및 FA의 미립자에 의한 볼베어링 효과로 시멘트 페이스트의 유동성을 개선으로 치환율이 증가할수록 슬럼프플로우는 차차로 증가하다가 치환율 30%에서 최대의 유동성을 나타냈다. 반면에 치환율이 30%를 초과하는 경우, 치환율 증가에 따른 상대적인 수량의 감소 및 미연소탄소와 AE제의 흡착으로 인한 공기량의 감소로 오히려 감소하는 것으로 나타났다.
- 4) 전체적으로 해수에서 제작·양생한 수중불분리성 콘크리트의 압축강도는 해수에 포함된 염류 중에 황산마그네슘(MgSO₄)이 콘크리트의 수화시 발생하는 수산화칼슘(Ca(OH)₂)과 반응하여 에트링자이트(ettringite)를 생성하게 되고 이로 인하여 콘크리트의 부피를 팽창시켜 열화를 일으켜 담수에서 제작·양생한 수중불분리성 콘크리트의 압축강도보다 낮게 발현되었다.
- 5) GGBS로 치환한 경우 재령 7일에서는 담수와 해수의 압축강도차가 미미하였으나, 재령 28일에서는 약 12%, 재령 56일에서는 약 17%로 양생기간이 길어질수록 압축강도차가 차차로 크게 나타남을 알 수 있었고, FA로 치환한 경우에는 재령에 따른 담수와 해수의 압축강도차는 거의 없는 것으로 나타났다.
- 6) 설계기준강도를 중심으로 GGBS나 FA의 치환율 변화에 따른 강도발현특성을 검토한 결과 GGBS의 경우에는 재령 28일 강도를 설계기준강도로 하여도 별 무리가 없었으나, FA의 경우에는 낮은 강도발현 특성으로 인하여 재령 91일 강도를 설계기준강도로 함이 좋을 것으로 판단된다.
- 7) GGBS 및 FA의 치환율 변화에 따른 압축강도특성을 검토한 결과 GGBS의 경우에는 치환율 30%에서 최고 강도를 나타내었고, FA의 경우에는 치환율이 증가할수록 비례적으로 감소하였다.
- 8) 수중공사의 특성상 수질오염(pH, 현탁물질량), 다짐의 어려움이 큰 시공상의 특성(슬럼프플로우, 공기량) 및 압축강도 특성 등을 종합적으로 고려해 볼 때, GGBS 및 FA의 최적 치환율은 대략 30% 정도인 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김명식, "수중비분리콘크리트의 특성에 대한 기초적 연구", 한국농공학회지, 38권, 6호, 1996, pp.74~82.
2. 문한영, "콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질기준", 대한토목학회지, 45권, 3호, 1997, pp.71~77.
3. 대한토목학회, "콘크리트용 유동화제 품질기준", 대한토목학회지, 45권, 3호, 1997, pp.93~97.
4. 어영선, "수중불분리콘크리트의 최적 물-시멘트비에 관한 실험적 연구", 부경대학교 산업대학원, 1998.
5. 김명식 외 3인, "W/C변화에 따른 수중불분리 콘크리트의 기초특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 논문집, 11권, 4호, 1998, pp.21~30.
6. 권중현, "플라이애쉬를 혼입한 해수중 불분리성 콘크리트의 특성", 경상대학교 토목공학과, 1999.
7. 문한영 외 3인, "고로슬래그미분말을 활용한 수중불분리성 콘크리트", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 10권, 2호, 1998, pp.83~86.
8. 이승환, "플라이애쉬 및 고로슬래그를 사용한 고성능콘크리트의 특성", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 10권, 2호, 1998, pp.275~280.
9. 윤재범, "배합조건과 양생수에 따른 수중불분리성 콘크리트의 특성에 관한 연구", 부경대학교 일반대학원, 2003.
10. 이상명, "제작환경에 따른 수중불분리성 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구", 부경대학교 일반대학원, 2000.
11. 한국콘크리트학회, "최신콘크리트공학", 한국콘크리트학회, 1997, pp.109~170.
12. 한국콘크리트학회, "콘크리트표준시방서 해설", 한국콘크리트학회, 2000, pp.466~480.
13. 財團法人沿岸開發技術研究センターほか, "水中不分離性コンクリート マニユアル(設計 施工)", 山海堂, 1990, pp.41~52.
14. 關博, "日本土木學會, 水中不分離性 콘크리트設計施工指針(案)のアウトラインセメント・コンクリート," No.541, 1992, pp.49~52.
15. 中川良隆, "水中コンクリート," 日本土木學會論文集, Vol.31, No.3, 1993, pp.67~72.
16. Ksmal Henri Khayat, "Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties," *ACI Materials Journal*, Vol.92, No.2, March-April 1995, pp.164~171.
17. Takeshi Ohtomo, Yasunori Matsuoka, Yoshitaka Nakagawa, and Jun Nakahira "Influence of Materials on the Action of Admixtures in Antiwashout Underwater Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol.92, No.3, May-June 1995, pp.315~320.
18. Nobuaki Otsuki, Makoto Hisada, Shigeyoshi Nagataki, and Toshiro Kamada, "An Experimental Study on the Fluidity of Antiwashout Underwater Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol.93, No.1, January-February 1996, pp.20~25.

요 약

본 연구에서는 고로슬래그미분말과 플라이애쉬의 치환율 변화에 따른 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트와 경화한 수중불분리성 콘크리트의 특성에 관하여 연구하고자 하였다.

실험변수는 W/C비는 50%로, S/a는 40%로 고정하고, 고로슬래그는 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60%로 치환하였으며, 플라이애쉬는 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35%로 치환하여 고로슬래그미분말과 플라이애쉬의 치환율 변화에 따른 수중불분리성 콘크리트의 특성에 관하여 연구하였다.

굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 pH, 현탁물질량 그리고 슬럼프플로우를 측정하였으며, 경화한 수중불분리성 콘크리트의 재령 7일, 28일, 56일의 압축강도를 측정하였다.

굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 pH, 현탁물질량, 그리고 슬럼프플로우를 측정한 결과, 모두 대한토목학회에서 제시한 기준값과 배합설계기준값을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 재령에 따른 경화한 수중불분리성 콘크리트의 압축강도는 전체적으로 해수에서 제작·양생한 것이 해수에 포함된 염류 중에 황산마그네슘(MgSO₄)이 콘크리트의 수화시 발생하는 수산화칼슘(Ca(OH)₂)과 반응하여 생성된 에트링자이트(ettringite)로 인하여 콘크리트의 부피를 팽창시켜 열화를 일으켜 담수에서 제작·양생한 콘크리트의 압축강도보다 낮게 발견되는 것으로 나타났다.

종합적으로 검토해 본 결과, 수중공사의 특성상 수질오염, 다짐의 어려움이 큰 시공상의 특성 및 압축강도특성 등을 고려할 때 고로슬래그미분말 및 플라이애쉬의 최적 치환율은 30%인 것으로 판단된다.

핵심어 : 고로슬래그미분말, 플라이애쉬, 수중불분리성 콘크리트, pH, 현탁물질량