

● 論 文

Fly Ash를 사용한 수중불분리 콘크리트의 유동성에 관한 연구

권 중 현* · 배 기 성*

(98년 1월 6일 접수)

A Study on the Fluidity of Antiwashout Underwater Concrete Containing Fly Ash

Joong-Hyen Kwon* · Ki-Seong Bae*

Key Words : Binder : 결합재(시멘트와 플라이애쉬), AWA(Antiwashout Admixture) : 수중 불분리성 혼화제, SP(Superplasticizer) : 고유동화제, Self Levelling : 콘크리트의 유동성에 의한 자동평탄성, HPMC : (Hydroxy Proylene Methyl Cellulose), Plain Concrete : 혼화재료를 첨가하지 않은 무근콘크리트, W/B : W/(Cement+ Fly Ash), SF값 : 슬럼프 플로우값.

Abstract

This paper is to investigate the Fluidity of Antiwashout Underwater Concrete containing Fly Ash. The results of study are concluded as follows : the increase in Slump Flow value did not happen in the plain concrete which was replaced cement by Fly Ash ; however, the maximum value could reach in the replacement of 30% of Fly Ash by weight of cement in the Fly Ash replaced concrete. On the condition of Fly Ash-Antiwashout Underwater Concrete in expecting 50cm of the Slump Flow, it was necessary that the usage amount of Superplasticizer be around 1% of unit Binder, and 1.5% in 60cm of the Slump Flow, respectively.

1. 서 론

최근 활발한 해양개발의 추세에 따라 대형 수중 콘크리트구조물의 타설이 빈번해지고 있다.

해양 콘크리트 구조물은 그 용적이 크고, 일반 기중 콘크리트와 달리 시공의 어려움이 따르고 기상과 해수의 물리·화학적 작용에 따라 특히 내구

성이 요구된다.

수중 콘크리트의 공법으로는 밀열림상자, 포대 콘크리트, 프리팩트 콘크리트공법, 트레미 등을 주로 이용하여 왔으나, 1972년 독일에서 처음 수중불분리혼화제가 개발되어 구미 일본 등에서는 많은 시공실적이 있으며, 최근 국내에서도 수중불분리 콘크리트의 도입이 활발히 이루어지고 있다^{1), 2)}.

* 정회원 경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과
(경상대학교 해양산업연구소 연구원)

수중불분리 콘크리트는 기존의 콘크리트에 비하여 수중에서 재료분리 저감과 시멘트 유실방지에 의한 콘크리트 품질의 신뢰성 제고와 수질 오염을 방지할 수 있게 되었고, 유동성에 의한 자동평탄성(Self levelling)에 의해 충전성이 확보되므로 시공여건이 불리한 수중에서 내구적이고 우수한 고품질의 구조물 축조를 가능하게 하였다.

한편 제철 부산물인 플라이애쉬는 국내에서 95년 기준으로 연산 약 300만톤 정도 생산되고 있으며 선진국에서는 이를 시멘트 및 토목재료로 약 50~70% 정도 재활용하고 있으나, 국내에서는 95년도 기준으로 약 18% 정도가 재활용 되고 나머지는 폐기물로 처리되고 있는 추세이다⁴⁾.

플라이애쉬를 콘크리트의 혼화제로 첨가하면 수화열에 의한 발열량 감소로 온도응력을 받는 매스 콘크리트에 유리하며, 동결 용해에 대한 저항성 증가와 특히 해수작용에 대하여 내구성을 증가시키는 재료로 보고되고 있다^{5), 6)}. 한편 수중불분리 콘크리트는 수중불분리 혼화제의 사용으로 인한 콘크리트의 점성증가와 국내 골재사정으로 인한 부순돌의 사용이 불가피해짐에 따라 유동화제의 사용이 병행되어야 하며, 콘크리트의 품질과 시공상 적절한 유동성과 분리저항성을 확보하기 위해 실험을 통한 최적의 사용량이 결정되어야 한다. 유동성은 사용재료의 온도, 수온 등 기상조건과 배합방법 및 사용재료의 특성에 따라 현저하게 달라지며 특히 혼화재료의 사용량에 따라 민감하게 변화한다. 따라서 플라이애쉬를 단위시멘트중량의 0~50%까지 5단계 치환한 콘크리트의 배합에서, 수중불분리혼화제와 고유동화제를 각각 5단계로 변화시켜, 혼화재료의 사용량 변화에 따른 유동성을 슬럼프 플로우시험 결과를 분석하여 해양콘크리트 구조물축조에 플라이애쉬를 사용한 수중불분리 콘크리트의 배합설계와 수중콘크리트 시공에 적용할 수 있는 기초자료를 얻고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 변수

본 연구에서는 물 결합재비는 50%로 정하고 단위수량 및 단위결합재 사용량을 220kg/m³과 440kg/m³으로 고정하였다. 잔골재율(s/a)은 표준상태의 잔골재와 굵은골재의 혼합비를 변경하여 단위중량 실험을 통하여 최대 단위중량값을 나타내는 골재의 비율을 기준으로 43%로 결정하여 고정하였다. 수중불분리 콘크리트에 적용하는 일반적 잔골재율은 35~45% 정도이다⁹⁾.

유동성과 탁도의 허용범위를 만족 시키는 배합 결정을 위하여 수중불분리혼화제 및 고유동화제는 제조회사의 추천량과 문헌을 참고하여 예비실험을 하였다. 적정 사용량 확인을 위한 실험결과 불분리 혼화제 사용량 8.8kg/m³, 5.2kg/m³, 5.0kg/m³을 사용할 때 탁도 0.3ppm, 110ppm, 160ppm으로 예민하게 변화하였으므로, 5.1kg/m³을 기준으로 하여, 4.9kg/m³, 5.0kg/m³, 5.1kg/m³, 5.2kg/m³, 5.3kg/m³으로 5단계로 나누어 적용하였다. 고유동화제의 사용량은 플라이애쉬를 시멘트 중량비로 치환함에 따라 단위결합재(시멘트와 플라이애쉬) 중량의 1%를 기준으로 0.5%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50%로 변화시켜 5단계로 나누어 배합하였다. 플라이애쉬 치환량은 문헌⁸⁾을 참고하여 단위시멘트 중량의 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 치환하여 총 156 배합을 결정하였다.

2.2 실험 재료

2.2.1 시멘트

1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 국내 S사 제품으로 그 물리적 성질 및 화학적 조성은 Table 1, 2와 같다.

Table 1. Physical Properties of Cement and Fly Ash

시멘트 종류	비중	Blaine (cm ³ /g)	응결(시간:분)				압축강도(kg/cm ²)				Median size(μm)	수분 (%)	강열 감량 (%)
			초결		종결		3일	7일	28일	91일			
			비카	길모아	비카	길모아							
1종 시멘트	3.15	3,250	2:33	3:54	5:59	6:19	213	271	410	452	15.8	0.39	1.38
			3:13	6:09									
Fly Ash	2.15	4,440									30.2	0.27	2.35

Table 2. Chemical Composition of Cement and Fly Ash

시료명	Chemical composition(%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI
1종시멘트	20.20	5.80	3.00	63.30	3.40	0.12	0.92	2.10	1.20
Fly Ash	49.66	22.88	8.16	8.91	3.79	0.38	0.70	0.27	4.97

Table 4. Physical Properties of Aggregates

종류	최대 치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 FM	단위중량 (kg/m ³)	공극율 (%)	입형편정 실적율(%)	염화물 함유율 (%)	패각 함유율 (%)	안정성 (%)	잔입자 함유율 (%)	알카리반응		
												RC	SC	판정
잔골재		2.58	1.50	2.71	1535	40.69		0.0053	3.46		0.37	72	51.0	무해
굵은골재 (부순돌)	19	2.56	1.63	6.83	1454	41.48	56.83			5.0	1.00	95	32.3	무해

2.2.2. 플라이애쉬

플라이애쉬의 성질은, 원탄의 종류, 보일러 형식과 연소 방법에 따라 그 성질이 다르다⁴⁾. 사용한 플라이애쉬는 삼천포 화력발전소 산으로 사용 원탄은 인도네시아 Adaro와 호주 Bayswater탄을 4:6 비율로 혼합·연소한 것이다. KS L 5405의 규정에 의하면 비중은 1.95이상 분말도 2400cm³/g 이상, 습분 1.0%이하 강열감량 5.0%로 정하고 있으며 실험결과 규정을 만족하였으며 그 결과는 Table 1, 2와 같다.

2.2.3 혼화제

수중불분리혼화제(AWA)는 크게 나누면 아크릴계와 세룰로우스계로 나누어진다.

Table 3. Chemical Admixtures

혼화제명	성분	성상	비중	수용액의 PI	고형분 (%)
불분리제 (AWA)	HPMC	백색 분말	0.70	8.0	
고유동화제 (SP)	Melamine	황색 액체	1.30	7.5	35

세룰로우스계는 그 화학적 조성에 따라 HPMC (Hydroxy Proylene Methly Cellulose), HEMC(Hydroxy Ethyl Methyl Cellulose), HEC(Hydroxy Ethyl Cellulose)로 나누어지며 주 성분은 세룰로우스 에-텔(Cellulose Ether)이다¹⁾. 실험에 사용한 불분리혼화제 및 고유동화제는 국내 J사 제품으로

성분 및 성상은 Table 3과 같다.

2.2.4 골재

본 연구에 사용된 골재는 고성산 부순돌과 바다모래를 사용하였으며 굵은골재는 최대치수가 19mm 이고, 바다모래는 패각이 포함되어 있으며 패각 함유율은 3.46%이다. 문헌에 의하면 5~10mm 정도의 패각이 4% 이하이면 강도에 무해한 것으로 보고 되어있다¹⁰⁾. 골재의 물리적 특성은 Table 4와 같다.

3. 배합설계 및 혼합

3.1 배합설계

본 연구에서 목표하는 콘크리트의 설계기준 강도는 210kg/cm²이며, 해양 및 수중타설 콘크리트를 기준함에 따라 변동계수는 12%로 정하고 해당 증가계수(α) 1.25를 고려한 배합강도는 263kg/cm²이다. 배합강도, 내구성, 수밀성을 고려한 물시멘트비(W/C)는 Table 5와 같으며 사용 물시멘트비(W/C)는 50%로 정하였다^{11),12)}.

Table 5. Water Cement Ratio(W/C)

구분	σ_r 기준	내구성고려				수밀성	사용 W/C (%)
		물함양산 염접지	해양구조 수중	해양구조 물보라	AE 내동해성		
W/C (%)	51	50	50	45	55	55	50

Table 6. Using Quantity of Admixture and Mixing Sign

부 호	단 위	단계별 사용량					
		0	1	2	3	4	5
F: Fly Ash	kg/m ³ (F/B)%	0	44 (10)	88 (20)	132 (30)	176 (40)	220 (50)
A:(AWA)	kg/m ³ (A/B)%	0	4.9 (1.114)	5.0 (1.136)	5.1 (1.159)	5.2 (1.162)	5.3 (1.205)
S:(SP)	kg/m ³ (S/B)%	0	2.2 (0.50)	3.3 (0.75)	4.4 (1.00)	5.5 (1.25)	6.6 (1.50)

(주), F₂A₁S₃ : Plain Concrete (F₀A₀S₀)에 혼화재료를 첨가한 배합 : Fly Ash 20%치환, AWA는 Binder의 1.114%(4.9 kg/m³), SP는 Binder의 1.0%(4.4kg/m³)을 첨가한 배합.

단위수량은 실험을 통하여 가급적 적게 사용함을 원칙으로 하며 슬럼프 플로우(이하 SF) 45±5 cm 범위를 기준으로 210~230kg/m³이 일반적으로 적용되므로^{11), 13)} 본 실험에서는 220kg/m³으로 정하고 단위시멘트량은 물시멘트비로부터 440kg/m³으로 정하였으며, 문헌 및 시공사례를 참고하면 수중불분리 콘크리트의 경우 350~550kg/m³을 사용하고 있다^{11)~16)}.

공기량은 수중불분리 콘크리트의 경우 6% 이하를 원칙으로 하며 불분리혼화제의 증점작용으로 인하여 일반 콘크리트에 비하여 다소 높아지는 경향이 있으므로 공기량 시험을 통하여 배합조정이 필요하다⁹⁾. 목표 공기량은 4±1%로 정하였고 실험 결과 이 범위를 만족하였다.

잔골재율은 문헌 및 시공사례에 의하면 수중불분리콘크리트의 경우 35~45% 범위를 적용하고

있다^{7), 9)}.

해양콘크리트 구조물의 경우 수밀성과 내구성이 요구되므로 본 연구에서는 표면건조포화상태의 잔골재와 굵은골재의 혼합골재의 단위용적중량 시험을 통하여 최대 밀도를 얻을 수 있는 골재비율을 근거로 잔골재율(s/a)를 정한 결과 43%가 나왔다.

수중불분리혼화제(AWA)는 단위량 5.0kg/m³ 정도 사용할 때 탁도 150ppm 이하로 만족하였으며, 고유동화제는 단위결합재 중량의 1%를 사용함으로써 SF값 50cm 이상을 얻을 수 있었다. 배합표는 Table 7과 같다.

3.2 콘크리트의 혼합

재료투입방법과 혼합 시간에 따라 콘크리트의 성질은 크게 변화한다. 믹서는 강제식 팬믹서를 사용하였으며, 혼합수 투입시는 믹서를 정지 시키고, 고유동화제의 용해 촉진을 위해 혼합수 1/5에 고유동화제를 미리 용해시켜 두었다가 투입하였으며,

Table 8. The Results of Mixing Method

배합구분	배합시간 (분초)	S F (cm)	Air (%)	단위중량 (kg/m ³)	P H	탁도 (ppm)	σ ₂₈ (kg/cm ²)	강도비 (%)
F ₃ A ₃ S ₃ *	1·30	58.5	3.1	2188	11.36	153	161	100
	10·00	66.5	3.3	2195	11.39	100	310	192

(주), * : F₃A₃S₃ : Table 6의 (주) 참조

혼합시간은 문헌¹⁶⁾에 의하면 180분까지 혼합시간이 길수록 강도가 증가하였으므로 Table 8과 같

Table 7. Mixture Properties

Mixture Sign	Aggregate Max.(mm)	S F (cm)	Air (%)	W/C (%)	W/(C+F) (%)	s/a (%)	F/(C-F) (%)	F/C (%)	Unit Weight(kg/m ³)				
									W	C	S	G	FA
F ₀ A ₀ S ₀	19	45±5	4±1	50	50	43	0	0	220	440	666	876	0
F ₁ A ₀ S ₀	19	45±5	4±1	56	50	43	10	11	220	396	657	867	44
F ₂ A ₀ S ₀	19	45±5	4±1	63	50	43	20	25	220	352	650	858	88
F ₃ A ₀ S ₀	19	45±5	4±1	71	50	43	30	43	220	308	645	847	132
F ₄ A ₀ S ₀	19	45±5	4±1	83	50	43	40	67	220	264	637	837	176
F ₅ A ₀ S ₀	19	45±5	4±1	100	50	43	50	100	220	220	630	829	220

이 일반적으로 적용하는 혼합시간보다 긴 10분으로 정하였다.

4. 유동성 시험

콘크리트의 유동성은 컨시스턴시에 밀접한 관계

가 있으며 특히 수중불분리 콘크리트에서는 우수한 유동성이 요구된다⁹⁾. 유동성을 평가하기 위한 시험의 종류로는 슬럼프 플로우시험, 스프레이드 시험, L형 플로우 시험, Ring 관입시험, U형 충진 시험, Box 시험, O형 롯드 시험, 체가름 시험 등이 있으나 본 연구에서는 수중불분리 콘크리트의 유

Table 9. The Relation Between Fluidities and Quantity of Admixtueres

Mix Sign	S F(cm)	Mix Sign	S F(cm)	Mix Sign	S F(cm)	Mix Sign	S F(cm)	Mix Sign	S F(cm)	평균
F ₀ A ₀ S ₀	43.0									
F ₀ A ₁ S ₁	49.0	F ₀ A ₁ S ₂	54.5	F ₀ A ₁ S ₃	61.5	F ₀ A ₁ S ₄	61.5	F ₀ A ₁ S ₅	63.5	58.0
F ₀ A ₂ S ₁	52.5	F ₀ A ₂ S ₂	51.5	F ₀ A ₂ S ₃	61.0	F ₀ A ₂ S ₄	61.0	F ₀ A ₂ S ₅	60.0	57.0
F ₀ A ₃ S ₁	53.5	F ₀ A ₃ S ₂	55.5	F ₀ A ₃ S ₃	58.5	F ₀ A ₃ S ₄	61.0	F ₀ A ₃ S ₅	61.0	58.0
F ₀ A ₄ S ₁	50.5	F ₀ A ₄ S ₂	54.0	F ₀ A ₄ S ₃	54.5	F ₀ A ₄ S ₄	61.0	F ₀ A ₄ S ₅	61.5	56.5
F ₀ A ₅ S ₁	51.0	F ₀ A ₅ S ₂	53.5	F ₀ A ₅ S ₃	57.5	F ₀ A ₅ S ₄	61.0	F ₀ A ₅ S ₅	61.5	57.0
평균	51.5		54.0		58.5		61.0		61.5	57.5
F ₁ A ₀ S ₀	38.5									
F ₁ A ₁ S ₁	53.0	F ₁ A ₁ S ₂	54.5	F ₁ A ₁ S ₃	53.0	F ₁ A ₁ S ₄	58.5	F ₁ A ₁ S ₅	58.0	55.5
F ₁ A ₂ S ₁	51.0	F ₁ A ₂ S ₂	52.0	F ₁ A ₂ S ₃	57.5	F ₁ A ₂ S ₄	59.0	F ₁ A ₂ S ₅	61.0	56.0
F ₁ A ₃ S ₁	48.0	F ₁ A ₃ S ₂	51.0	F ₁ A ₃ S ₃	59.0	F ₁ A ₃ S ₄	59.0	F ₁ A ₃ S ₅	59.0	55.0
F ₁ A ₄ S ₁	49.5	F ₁ A ₄ S ₂	51.5	F ₁ A ₄ S ₃	55.0	F ₁ A ₄ S ₄	58.5	F ₁ A ₄ S ₅	62.0	55.5
F ₁ A ₅ S ₁	49.0	F ₁ A ₅ S ₂	50.5	F ₁ A ₅ S ₃	54.0	F ₁ A ₅ S ₄	59.5	F ₁ A ₅ S ₅	61.5	55.0
평균	50.0		52.0		55.5		59.0		60.5	55.5
F ₂ A ₀ S ₀	32.0									
F ₂ A ₁ S ₁	52.0	F ₂ A ₁ S ₂	48.0	F ₂ A ₁ S ₃	55.5	F ₂ A ₁ S ₄	61.0	F ₂ A ₁ S ₅	62.0	56.0
F ₂ A ₂ S ₁	51.5	F ₂ A ₂ S ₂	50.5	F ₂ A ₂ S ₃	55.5	F ₂ A ₂ S ₄	60.0	F ₂ A ₂ S ₅	61.0	55.5
F ₂ A ₃ S ₁	49.5	F ₂ A ₃ S ₂	51.5	F ₂ A ₃ S ₃	56.0	F ₂ A ₃ S ₄	63.5	F ₂ A ₃ S ₅	62.5	56.5
F ₂ A ₄ S ₁	45.0	F ₂ A ₄ S ₂	53.0	F ₂ A ₄ S ₃	56.0	F ₂ A ₄ S ₄	61.0	F ₂ A ₄ S ₅	62.5	55.5
F ₂ A ₅ S ₁	47.5	F ₂ A ₅ S ₂	49.5	F ₂ A ₅ S ₃	57.0	F ₂ A ₅ S ₄	61.0	F ₂ A ₅ S ₅	64.0	56.0
평균	49.0		50.5		56.0		61.5		62.5	56.0
F ₃ A ₀ S ₀	37.5									
F ₃ A ₁ S ₁	51.5	F ₃ A ₁ S ₂	56.5	F ₃ A ₁ S ₃	57.0	F ₃ A ₁ S ₄	61.5	F ₃ A ₁ S ₅	64.5	58.5
F ₃ A ₂ S ₁	49.5	F ₃ A ₂ S ₂	54.0	F ₃ A ₂ S ₃	50.5	F ₃ A ₂ S ₄	61.5	F ₃ A ₂ S ₅	64.0	56.0
F ₃ A ₃ S ₁	51.5	F ₃ A ₃ S ₂	54.5	F ₃ A ₃ S ₃	57.0	F ₃ A ₃ S ₄	62.5	F ₃ A ₃ S ₅	64.0	58.0
F ₃ A ₄ S ₁	48.5	F ₃ A ₄ S ₂	53.5	F ₃ A ₄ S ₃	55.0	F ₃ A ₄ S ₄	59.5	F ₃ A ₄ S ₅	63.5	56.0
F ₃ A ₅ S ₁	50.5	F ₃ A ₅ S ₂	53.0	F ₃ A ₅ S ₃	55.0	F ₃ A ₅ S ₄	60.0	F ₃ A ₅ S ₅	63.0	56.5
평균	50.5		54.5		56.0		61.0		64.0	57.0
F ₄ A ₀ S ₀	39.5									
F ₄ A ₁ S ₁	49.5	F ₄ A ₁ S ₂	49.0	F ₄ A ₁ S ₃	55.5	F ₄ A ₁ S ₄	60.5	F ₄ A ₁ S ₅	63.0	55.5
F ₄ A ₂ S ₁	44.0	F ₄ A ₂ S ₂	50.0	F ₄ A ₂ S ₃	58.8	F ₄ A ₂ S ₄	59.0	F ₄ A ₂ S ₅	64.0	55.0
F ₄ A ₃ S ₁	51.0	F ₄ A ₃ S ₂	50.0	F ₄ A ₃ S ₃	52.0	F ₄ A ₃ S ₄	59.0	F ₄ A ₃ S ₅	64.5	55.5
F ₄ A ₄ S ₁	46.0	F ₄ A ₄ S ₂	50.5	F ₄ A ₄ S ₃	53.0	F ₄ A ₄ S ₄	58.5	F ₄ A ₄ S ₅	63.5	54.5
F ₄ A ₅ S ₁	48.5	F ₄ A ₅ S ₂	48.0	F ₄ A ₅ S ₃	52.5	F ₄ A ₅ S ₄	59.5	F ₄ A ₅ S ₅	66.0	55.0
평균	48.0		49.5		54.5		59.5		64.0	55.0
F ₅ A ₀ S ₀	41.0									
F ₅ A ₁ S ₁	51.5	F ₅ A ₁ S ₂	50.0	F ₅ A ₁ S ₃	52.0	F ₅ A ₁ S ₄	59.0	F ₅ A ₁ S ₅	56.0	53.5
F ₅ A ₂ S ₁	51.5	F ₅ A ₂ S ₂	49.5	F ₅ A ₂ S ₃	52.0	F ₅ A ₂ S ₄	52.5	F ₅ A ₂ S ₅	68.0	52.5
F ₅ A ₃ S ₁	49.5	F ₅ A ₃ S ₂	48.5	F ₅ A ₃ S ₃	53.0	F ₅ A ₃ S ₄	57.5	F ₅ A ₃ S ₅	57.5	53.0
F ₅ A ₄ S ₁	49.5	F ₅ A ₄ S ₂	47.5	F ₅ A ₄ S ₃	52.0	F ₅ A ₄ S ₄	57.0	F ₅ A ₄ S ₅	59.5	53.0
F ₅ A ₅ S ₁	49.5	F ₅ A ₅ S ₂	48.0	F ₅ A ₅ S ₃	51.5	F ₅ A ₅ S ₄	57.5	F ₅ A ₅ S ₅	61.0	53.5
평균	50.5		48.5		52.0		56.5		58.5	53.0

동성의 지표로 되어 있는 슬럼프 플로우시험을 택하였다.

사용 기구는 KS F 2402에 준하나 평판은 수밀하고 평활한 것으로 폭 1m 정도의 크기를 가진 강판을 사용했으며, L형 스테인레스 강재의 보조측정기구를 사용했다. 실험은 KS F 2402에 준하나 다짐이 완료된 후, 슬럼프콘을 제거하고 5분 후 최대 지름과 이의 직각 지름을 0.5cm 단위로 읽고 이를 평균하여 슬럼프 플로우값으로 정하였다^{3),17)}. 각 배합별 슬럼프 플로우시험 결과는 Table 9의 내용과 같다.

5. 결과 및 고찰

Fly Ash 사용량과 혼화제 사용량의 변화에 따른 유동성평가를 하기 위해 잔골재율(s/a)는 43%로 정하고 W/B는 50%, 단위 수량은 220kg/m³으로 고정하였으며, Fly Ash 사용량과 혼화제 사용량을 5단계씩 변화시켜 슬럼프 플로우 시험을 한 결과는 Fig. 3부터 Fig. 8에 정리하였다.

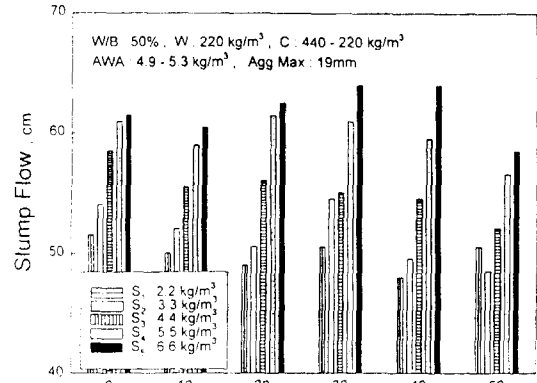
플라이애쉬 사용시의 유동성을 비교 평가하기 위해, 혼화제를 전혀 사용하지 않은 Plain concrete의 슬럼프 플로우 시험을 한 결과, Table 9의 F₁₋₃AoSo 배합란과 같다.

혼화제료를 전혀 사용하지 않은 배합의 SF값은 43cm이다. 플라이애쉬를 첨가하지 않고 수중불분리 혼화제와 고유동화제를 사용한 배합의 SF값 평균은 57.5cm이며, Fly Ash 치환율 10, 20, 30, 40, 50% 변화에 따라 SF값은 55.5, 56.0, 57.0, 55.0, 53.0cm로 변화하였다. 결과적으로 시멘트를 Fly Ash로 치환 하였을시 Fig. 1과 같이 SF값의 증대 효과는 기대할 수 없었다.

즉 배합시 Fly Ash를 치환할 경우 Table 9와 같이 30%까지는 치환율의 증가와 더불어 SF평균값도 증가하여 최대값이 57.0cm로 Plain Concrete의 SF값 57.5cm에 접근하였으나 30% 이상 사용할 때는 오히려 그 값은 감소하였다.

혼화제 중 수중불분리 혼화제 사용량과 SF값과의 관계를 알기 위해 Fly Ash 치환량과 고유동화제의 사용량을 고정하고, 수중불분리혼화제의 사용량을 4.9kg/m³에서 5.3kg/m³까지 5단계로 변화시킨

배합의 경우 SF값은 수중불분리혼화제 사용량의 변화가 유동성을 저해할 것으로 예상할 수 있으나 Table 9와 같이 수중불분리 혼화제 사용량 4.9kg/m³~5.3kg/m³의 범위 내에서는 유동성저하를 나타내지 않았다.



Fly Ash replacements % by weight of cement

Fig. 1 Slump Flow and Fly Ash Replacement by weight of cement

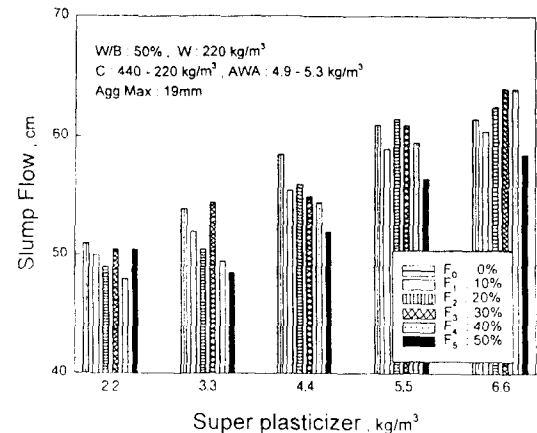


Fig. 2 Slump Flow and Admixtures

고유동화제 사용량과 SF값과의 관계는 Fig. 2에서와 같이 고유동화제의 사용량의 증가에 따라 일반적으로 SF값은 증가하나, Fly Ash를 시멘트 중량의 40% 이상 첨가한 배합에서는 고유동화제를 결합재 중량비의 1% 미만 사용해서는 유동성 증대 효과를 기대할 수 없었다. Fly Ash를 첨가하지 않

은 배합의 경우는 고유동화제를 단위결합재 중량의 1.25%까지는 사용량 증가에 따라 탁월한 SF 증대효과를 보이나 그 이상 사용하면 유동성 증대효과가 둔화되었다.

타설여건과 방법에 따른 SF의 범위는 일반 공사에서 특히 복잡하지 않은 부분의 타설이나 콘크리트 펌프의 압송거리가 50m 이하의 경우 SF값은 40~50cm, 공동(空洞) 부분에 양호한 충전이나 콘크리트펌프의 압송거리가 50~200m의 경우 45~50cm 정도, 그 이상의 유동성이 요구되면 50~60cm 정도로 규정하고 있다⁹⁾.

SF값을 50cm 이상을 얻기 위해서는 Fig. 2과 같이 Fly Ash를 사용 하지 않은 배합의 경우 고유동화제를 단위결합재의 0.5% 정도로 사용해도 충분하다. Fly Ash를 단위시멘트량의 10~50%까지 사용할 경우에는 고유동화제의 사용량은 단위결합재의 1% 정도로 가능하다.

SF값이 60cm 이상 요구될 경우에는 Fly Ash를 사용하지 않은 배합의 경우 고유동화제의 사용량이 단위결합재 중량의 1% 이상 필요하며, Fly Ash를 사용한 경우에는 그 치환율에 따라 다르나 1.25~1.50% 정도 사용하면 된다.

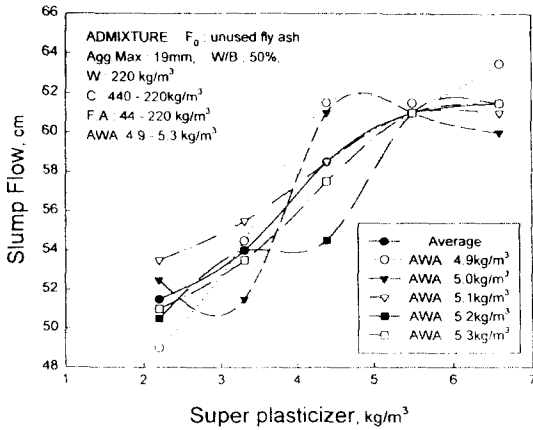


Fig. 3 Slump Flow and Superplasticizers of Concrete, unused Fly Ash

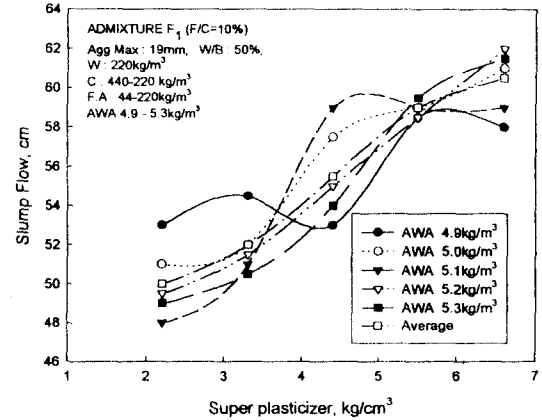


Fig. 4 Slump Flow and Superplasticizers of Concrete, Replaced 10% Fly Ash

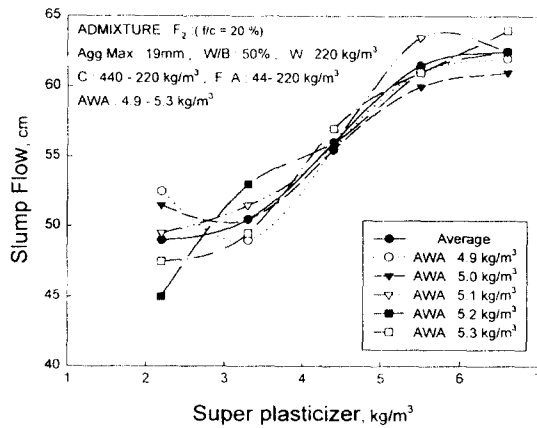


Fig. 5 Slump Flow and Superplasticizers of Concrete, Replaced 20% Fly Ash

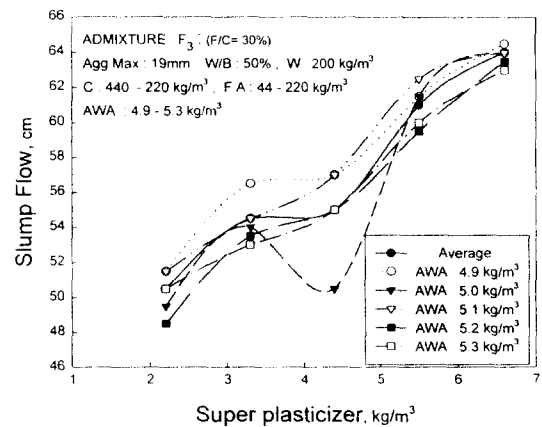


Fig. 6 Slump Flow and Superplasticizers of Concrete, Replaced 30% Fly Ash

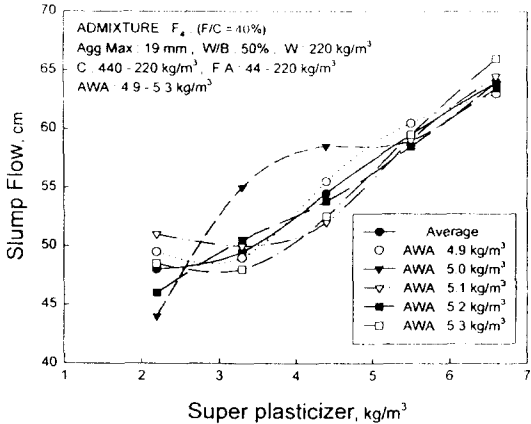


Fig. 7 Slump Flow and Superplasticizers of Concrete, Replaced 40% Fly Ash

그러나 Fly Ash 치환율이 50%인 경우에는 그 이상의 고유동화제가 요구됨을 알 수 있다. Fly Ash를 단위시멘트량의 0~50%까지 치환한 배합에서 Fly Ash 치환율에 따른 혼화제의 적정 사용량과 SF값의 관계는 실험에 의해 Fig. 3 ~ Fig. 8에 정리되어 있어, 배합 시 Fly Ash 첨가율이 결정된 경우 목표 SF값을 얻기 위한 혼화제의 적정 사용량을 추정할 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 Fly Ash를 사용한 수중불분리 콘크리트에서 Fly Ash의 치환에 따른 수중불분리 콘크리트의 유동특성을 구명하기 위하여 삼천포 화력 발전소산 Fly Ash를 1종 보통 포틀랜드 시멘트 단위시멘트량 440kg/m³에 중량비로 0~50%까지 치환하여 배합하였으며, 굵은골재최대치수 19mm, W/B : 50%, 단위수량 220kg/m³, 수중불분리 혼화제 사용량은 4.9kg/m³에서 5.3kg/m³까지 5단계로 나누고, 고유동화제는 단위결합재비의 0.5%에서 1.5%까지 5단계로 나누어 156배합을 만들어 SF시험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) Fly Ash를 사용하지 않은 배합에 비교하여 Fly Ash 치환으로 인한 슬럼프 증대효과는 기대할 수 없었다.

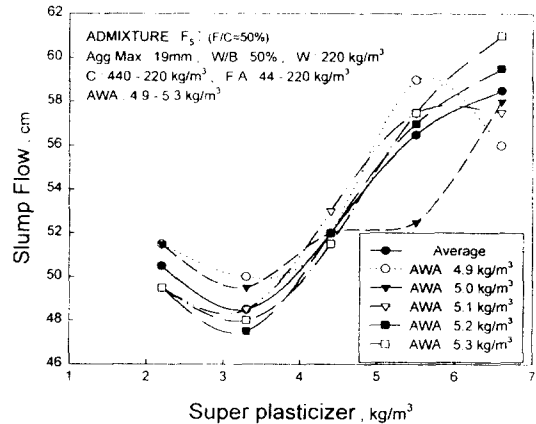


Fig. 8 Slump Flow and Superplasticizers of Concrete, Replaced 50% Fly Ash

- (2) Fly Ash를 시멘트량에 치환하여 배합한 경우 최대의 SF값을 얻을 수 있는 치환율은 20%~30% 정도가 적절하다.
- (3) Fly Ash 치환율을 단위 시멘트량의 0~50%인, 0~220kg/m³까지 변화시켰을시 수중 불분리 혼화제 사용량이 4.9kg/m³~5.3kg/m³인 범위 내에서는 수중불분리혼화제 사용량 증가가 유동성 저하를 가져오지는 않았다.
- (4) Fly Ash를 40% 이상 치환했을 시 고유동화제는 단위결합재 중량의 1% 이상 사용해야 유동성 증대효과를 기대할 수 있었다.
- (5) 목표 SF값 50cm를 얻기 위해서는 Fly Ash를 사용하지 않은 배합의 경우 고유동화제 사용량은 단위결합재량의 0.5% 정도 사용하면 충분했다. Fly Ash를 단위시멘트량의 10~50%까지 치환할 경우에는 고유동화제의 사용량은 단위결합재 중량의 1% 정도이면 SF값 50cm를 얻을 수 있다. 목표 SF값이 60cm 이상 요구될 경우에는 Fly Ash를 사용하지 않은 배합의 경우 고유동화제 사용량은 단위 결합재 중량의 1.25% 정도 필요하며, Fly Ash를 사용할 경우에는 그 치환율에 따라 1.25~1.50% 정도 사용하면 된다. 그러나 Fly Ash 치환율이 50% 이상인 경우에는 그 이상의 유동화제 첨가가 필요하였다.

참 고 문 헌

- 1) 채소연, "수중불분리성 혼화제 사용 콘크리트의 제 성질에 대한 실험적연구", 한양대학교 대학원 석사학위 논문, pp. 3-4, 1993
- 2) 이영제, "수중 콘크리트용 혼화제를 사용한 콘크리트의 실험적 연구", 건국대학교 대학원 석사학위논문, pp. 1-2, 1992
- 3) 한태영, "수중 비분리 콘크리트의 최적 배합비에 관한 연구", 부산대학교 산업대학원 석사학위 논문, pp. 3-4, 1995
- 4) 오성원, "석탄회(Fly Ash) 처리 현황과 대책", 석탄회 활용 국제워크숍, pp 8-9, 1996
- 5) V.M Malhotra, "Fly Ash in Concrete", CANMET, pp. 135-166, 1994
- 6) V.M Malhotra, "Some aspects of durability of High-Volume Fly Ash Concrete", CANMET, pp. 10-11, 1990
- 7) Seabrook, P.T and Wilson, H.S, "High-Strength Semi-Light weight concrete for use in off shore structures:Utilization of Fly Ash and Silica fume", Journal of cement composites and light weight concrete, vol.10, pp. 183-192
- 8) V.M Malhotra, "Concrete in incorporating High volumes of ASTM class F Fly Ash", Cement, and Aggregates, Vol.10, No2, pp. 88-95, 1988
- 9) 沿岸開發技術研究センター, 水中不分離性コンクリート.マニュアル, pp. 42-47, 471p, 1990
- 10) 배수호, "해사와 하천사를 사용한 고품질콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구", 중앙대학교 대학원 박사학위 논문, 31p, 1995
- 11) 대한토목학회, 콘크리트 표준시방서, 31-32장, 1996
- 12) 대한토목학회, 콘크리트용 수중 불분리성 혼화제 품질 기준(안), 5p, 1995
- 13) 대한토목학회, 유동화 콘크리트 시공지침(안), 31p, 1991
- 14) 日本土木學會, 水中 콘크리트用 不分離性 混和劑 品質規準, pp. 12-19, 1994
- 15) 日本土木學會, 水中不分離性 콘크리트 設計 施工指針(案), PP. 12-23, 1993
- 16) Dan Ravina, "Effect of Prolonged Mixing on Compressive Strength of Concrete with and without Fly Ash and/or Chemical Admixture." ACI Materials Journal, pp. 451-455, 1960
- 17) 谷川恭雄, 構造材料實驗法, 2版, 森北出版社, 191p, 1991