한국해양공학회지 제19권 제6호, pp 29~34 , 2005 (ISSN 1225-0767)

플라이애쉬 수중불분리성 콘크리트의 내해수성에 관한 염화물 촉진 시험

권중현* · 김봉익*
*경상대학교 토목환경공학부(해양산업연구소)

An Experimental Study of Chloride Acceleration on the Seawater Resistance of Fly Ash Antiwashout Underwater Concrete

JUNG-HYUN KWON* AND BONG-IK KIM*
*Dept. of Civil and Environmental Eng., Gyeongsang University., Tongyeong, Korea

KEY WORDS: Antiwashout Underwater Concrete 수중불분리성 콘크리트, Fly Ash 플라이애쉬, Chloride Acceleration Test 염화물 촉진시험, Seawater Resistance 내 해수성

This paper describes the effect of fly ash replacement on seawater resistance of anti-washout underwater concrete, which was replaced cement by fly ash from 0% to 50%. The experimental work was performed to find out the variations of length and weight of specimens, using a chloride acceleration test in 40℃ The results show that the admixture using fly ash on an anti-washout underwater concrete in the sea environment makes it more durable for the attacks of chloride by seawater. Also, the length of specimens of anti-washout underwater concrete, at age 180 days, increased substantially, compared with normal concrete; however, the mixture in which cement was replaced 50% of fly ash shows 93% reduction of the expansion, compared with the normal anti-washout underwater concrete specimen.

1. 서 론

해양에 시공되는 콘크리트는 해수의 물리 화학적 작용으로 인해 콘크리트의 품질이 저하되기 쉽다. 따라서 해양콘크리트 구조물은 유지관리 및 보수에 많은 어려움이 따르므로 설계시 고려하여야 할 항목 중 가장 중요한 요소는 콘크리트의 내구성이다(Monica et al., 1993). 이와 같은 해양콘크리트의 취약점은 수중불분리성 혼화재의 개발로 인하여 콘크리트의 품질을 획기적으로 개선하게 되었다. 그러나 아직까지 수중불분리성 콘크리트는 개발의 역사가 길지 않아 시공 실적과 연구가 미흡한 실정이다. 특히 수중불분리성 콘크리트에 셀룰로오스계의 수중불분리성 혼화제와 병행하여 다른 혼화제를 사용하면 수중불분리성 혼화제는 시멘트입자와 결합과 동시에 다른 혼화제를 흡착하게 된다는 보고가 있다. (Takeshi et al., 1995) 이를 미루어 보면 해양에 콘크리트를 타설 할 경우 수중불분리성 콘크리트에 사용된 혼화제의 화학적 조성과 해수와의 상호작용이 콘크리트에 영향을 줄 수 있음을 예상할 수 있다. 그러나 콘크리트의 화학적 반응은 장시간에 걸쳐 복잡하게 진행되는 관계로 자연 상태에서 단시간에 해양환경작용에 의한 내구성을 평가하기는 어렵다. 따라서 본 논문에서는 수중불분리성 콘크리트의 내 해수성을 일반 콘크리트와 비교 분석하기 위해 Hydroxy Propyl Methyl Cellulose계통의 수중불분리성 혼화제 4.9kg/m^{3}와 고유동화제 4.4kg/m^{3}을 사용하여 수중불분리성 콘크리트를 만들었다. 또한 플라이애쉬가 갖는 수중불분리성 콘크리트의 내 해수성의 개선효과를 확인하기 위해 플라이애쉬 치환율을 10%, 30%, 50%로 변화시켜 배합을 결정하였다. 촉진시험을 위해 NaCl농도 20%의 용액을 만들어 공시체를 침지하고 온도를 40℃로 항온 유지하여 공시체의 길이변화와 무게변화를 재령 180일에 걸쳐 측정하였으며, X선 회절분석과 주사형 전자현미경(SEM) 촬영을 통해 화학적 조성을 관찰하여 수중불분리성 콘크리트의 내 해수성을 일반 콘크리트와 비교 분석하고 플라이애쉬에 의한 내 해수성 증대효과를 확인하였다.

제1저자 권중현 연락처: 경상남도 통영시 인평동 445
055-640-3151 vxxv@korea.com

2. 실험 개요

2.1 사용 재료

시멘트는 국내 S사의 제1종 보통 포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였으며 그의 물리 화학적 성질은 각각 Table 1, 2와 같다. 실험에 사용한 플라이애쉬(FA)는 ASTM C 618-78에 의한 F급 플라이애쉬이며, 품질은 Tab1e 1, 2와 같이 KS L 5405의 규정을 만족하였다. 본 연구에 사용된 혼화제는 수중불분리성 혼화제(AWA)와 고유동화제(SP)이다. 수중불분리성 혼화제는 셀룰로오스계로서 HPMC(Hydroxy Propyl Methyl Cellulose)계통이다. 고유동화제는 강도 발현이 우수한 표준형 멜라민슬폰산염

Table 1 Physical properties of cement and fly ash

Items	Specific gravity	Blaine (cm^2/g)	Setting time (h : m) Initial Vicat	Initial Gill more	Final Vicat	Final Gill more	Compressive strength (MPa) 3d's	7d's	28d's	91d's	Median size(㎛)	Moisture (%)	LOI (%)
OPC	3.15	3,250	2:33	3:54	5:59	6:19	21.3	27.1	41.0	45.2	15.8	0.39	1.38
FA	2.15	4,440				-					30.2	0.27	2.35

Table 2 Chemical composition of cement and fly ash (%)

Items	Chemical composition SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O_3	K_2O	SO_3
OPC	20.20	5.80	3.00	63.30	3.40	0.12	0.92	2.10
FA	49.66	22.88	8.16	8.91	3.79	0.38	0.70	0.30

Table 3 Physical and chemical properties of admixtures

Admixtures	Composite	Form	Specific gravity	pH	Solid content (%)
A W A	HPMC	Powder	0.7	8.0	-
S P	Melamine	Liquid	1.30	7.5	35

축합물로서 재료의 성분 및 특성은 Tab1e 3과 같다. 사용된 골재는 굵은골재 최대치수가 20㎜인 경남 고성산 부순돌과 바다 모래를 사용하였다. 골재의 시험은 KS F의 제 규정에 따라 실시하였으며 그 결과는 Tab1e 4와 같이 보통 콘크리트용 골재로서 필요한 제 조건을 충족하였다.

2.2 실험 변수

수중불분리성 콘크리트를 해양에 타설 할 경우, 해수 중에 포함된 염분이 콘크리트의 내구성과 안정성에 미치는 영향을 확인하기 위해서 물-결합재(시멘트와 플라이애쉬)비 W/B, 잔골재율(S/a), 단위수량(W)을 고정한 보통 콘크리트와, 혼화제 4.9kg/m^3과 고유동화제 4.4kg/m^3을 첨가한 수중불분리성 콘크리트로 만든 모르터 공시체를 담수와 농도 20%, 온도 40℃의 NaCl 용액에 침지하여 촉진시험을 하고 그 결과를 비교하였다. 또한 콘크리트의 플라이애쉬 사용량 변화에 따른 내 해수성의 효과를 확인하기 위해 플라이애쉬의 치환율은 0%, 10%, 30%, 50%로 변화시켰다. 공시체의 실험 재령은 7일, 28일, 91일, 180일로 변화시켜 길이변화, 무게변화를 측정하고 x선 회절분석과 SEM촬영을 통해 화학적 생성 물질을 확인하였다.

2.3 콘크리트 배합설계 및 혼합

2.3.1 배합설계

콘크리트의 설계 기준강도는 21MPa이다. 콘크리트의 강도, 내구성, 수밀성을 고려하고 문헌(대한토목학회, 1991; Hanhon, 1994; Malhotra, 1994)를 참고하여 물-결합재비 W/B를 50%로 정하였다. 단위수량은 수중불분리성 콘크리트에 관한 문헌을 참고하면 슬럼프 플로우값 45±5㎝ 범위를 기준으로 할 때 210~230kg/m3이 일반적으로 적용되므로 본 실험에서는 220kg/m3으로 정하였다(채소언, 1993; 이영제, 1992). 수중불분리성 콘크리트의 공기량은 일반 콘크리트보다 다소 많은 4±1%로 정하였고 시험결과 이 범위를 만족하였다. 잔골재율은 43%로 정하였다. 시험배합 결과 플라이애쉬를 치환한 배합의 경우 수중불분리성 혼화제 5.0kg/㎥ 정도를 사용할 때 탁도 150ppm 이하가 되었고, 고유동화제는 단위 결합재 중량의 1% 정도를 사용함으로써 슬럼프 플로우값 50㎝ 이상을 얻을 수 있었다. 배합설계의 결과는 Table 5와 같다.

2.3.2 혼합

대한토목학회, (1995); 및 한국콘크리트학회, (2003)에 의하면 수중불분리성 콘크리트의 혼합은 균질하고 양호한 콘크리트를 만들 수 있게 그 방법과 시간을 미리 시험을 통하여 콘크리트의 품질을 확인한 후 결정하는 것으로 되어 있다. 수중불분리성 콘크리트의 혼합 방법은 수중불분리성 혼화제와 시멘트 및 골재를 투입하여 30초간 건 비빔을 한 후 혼합용수와 유동화제를 투입하고 60~200초 정도 혼합하는 방법을 일반적으로 택하고 있다(Ravina, 1960; CCED, 1990; JSCE, 1994). 그러나 콘크리트에 플라이애쉬를 첨가하면 일반 콘크리트에 비하여 비빔시간이 더 소요된다는 보고가 있고(권중현과 김봉익, 2001), 또한 문헌에 의하면 수중불분리성 콘크리트의 경우 배합시간을 길게 함으로써 압축강도가 증가한다는 연구가 있다(Ravina, 1960). 그러므로 본 연구에서는 플라이애쉬를 사용한 양질의 수중불분리성 콘크리트를 만들고자 위의 내용을 참고하여 용량 60ℓ, 회전속도 30rpm의 팬믹서로 건 비빔 30초를 포함하여 10분간 혼합하였다.

2.4 실험 방법

길이변화 측정용 공시체의 제작은 배합 직후 굳지 않은 콘크리트를 5mm체로 쳐 모르터를 만든 다음, 게이지플러그를 정착한 거푸집(40×40×160mm)에 넣어 2층으로 나누어 충진하고 표면을 평활하게 고른 후 흡수시킨 천으로 덮어 습기함에 48시간 실내에 존치 후, 충격이 가하지 않도록 탈형하여 무게와 길이를 측정하고 해당 재령기간 동안 침지한다. 해당 재령이 되면 공시체와 표준자의 길이를 4회 측정, 평균값을 구하여 길이변화율 및 무게변화율을 계산하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

플라이애쉬의 사용량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 실험결과를 정리하면 Table 5와 같다. 수중불분리성 콘크리트의

Table 4 Physical properties of aggregates

Agg.	Coarse agg.max (㎜)	Specific gravity	Abso-rption (%)	F.M	Unit weight (kg/㎥)	Porosity (%)	Solid vol. (%)	Salinity (%)	Shell (%)	Sound-ness (%)	Fine particle (%)	Alkali reaction		
												RC	SC	Judge
Fin.agg.	-	2.58	1.50	2.71	1535	40.69	-	0.0053	3.46	-	0.37	72	51.0	harmless
Coarse agg.	20	2.56	1.63	6.83	1454	41.48	56.8	-	-	5.0	1.00	95	32.3	harmless

Table 5 Mix proportions of concrete and properties of fresh concrete

Mix. No.	Bleeding (㎤/㎠)	Slump flow (㎝)	pH	Air (%)	Unit weight (kg/㎥)	W/B (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/㎥)						
									W	C	S	G	FA	AWA	SP
Control	0.28	38.0	12.00	0.35	2330	50	50	43	220	440	666	876	0	0.0	0.0
F0 -A	0.00	58.0	11.70	3.20	2252	50	50	43	220	440	666	876	0	4.9	4.4
F10-N	0.27	36.5	11.50	0.45	2328	50	56	43	220	396	659	867	44	0.0	0.0
F10-A	0.00	54.5	11.40	3.55	2231	50	56	43	220	396	659	867	44	4.9	4.4
F30-N	0.43	36.5	11.10	0.50	2291	50	71	43	220	308	645	847	132	0.0	0.0
F30-A	0.00	58.5	11.00	3.45	2195	50	71	43	220	308	645	847	132	4.9	4.4
F50-N	0.50	38.0	11.20	0.45	2270	50	100	43	220	220	630	829	220	0.0	0.0
F50-A	0.00	56.5	10.90	3.60	2166	50	100용	43	220	220	630	829	220	4.9	4.4

플라이애쉬의 사용에 따른 콘크리트의 공기량은 Fig. 1과 같이 보통 콘크리트에 비해 플라이애쉬 치환율에 관계없이 약 3%정도 증가되었다. 이와 같은 현상은 문헌(LCCED, 1990; JSCE, 1993)의 내용과 같이 수중불분리성 혼화제의 증점작용에 따라 갇힌 공기에 의한 현상으로 판단된다. 탁도 방지를 위해 수중불분리성 콘크리트의 최대 공기량 기준(한국콘크리트학회, 2003; JSCE, 1993)은 4% 이하이며, 시험 결과는 이를 모두 만족하였다. 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 단위중량의 변화는 Fig. 2와 같이 플라이애쉬의 치환율에 비례하여 현저하게 감소하여 보통 콘크리트보다 100kg/㎥정도 감소되었다. 그 원인은 실험 자료의 분석결과 수중불분리성 콘크리트의 갇힌 공기량과 플라이애쉬 및 시멘트의 비중 차에 기인함이 확인되었다. 수중불분리성 콘크리트는 증점제 4.9kg/㎥ 고유동화제를 4.4kg/㎥ 사용함에 따라 슬럼프 플로우값은 보통 콘크리트에 비하여 약 20㎝ 정도 증가하였다. 그러나 플라이애쉬의 치환량과 슬럼프 플로우의 관계는 Fig. 3과 같이 플라이애쉬의 치환에 따른 슬럼프 플로우는 증가하지 않았다. 이는 문헌(김기철 등, 1996)의 연구에서 증점제 첨가량을 일정량 이상 사용하면 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 슬럼프 플로우값이 감소한 연구 결과와 일치하였다. 이와 같은 현상은 단위수량을 고정한 배합에서 분말도가 높은 플라이애쉬를 치환함에 따른 콘크리트의 점성 증가가 그 원인으로 사료된다. 반면 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 경시변화시험 결과 배합 30분 후 48㎝의 슬럼프 플로우값이 30.5㎝에 도달한 시간이 플라이애쉬 치환율 0%인 경우 240분인 반면 치환율 50%의 경우 360분으로, 플라이애쉬를 다량 치환하면 수중불분리성 콘크리트의 유동성을 장시간 유지할 수 있어, 수중불분리성 콘크리트에 플라이애쉬를 다량 혼합하면, 콘크리트 운반 및 타설에 제약을 많이 받는 해양공사의 시공성 확보에 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 플라이애쉬의 사용에 따른 콘크리트의 블리딩 특성은 Fig. 4와 같이 수중불분리성 콘크리트는 플라이애쉬의 증점작용으로 블리딩이 전혀 발생하지 않았다. 그러나 보통 콘크리트의 경우 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 장시간 동안 소성상태를 유지함에 따라 블리딩량이 비례하여 증가하였다.

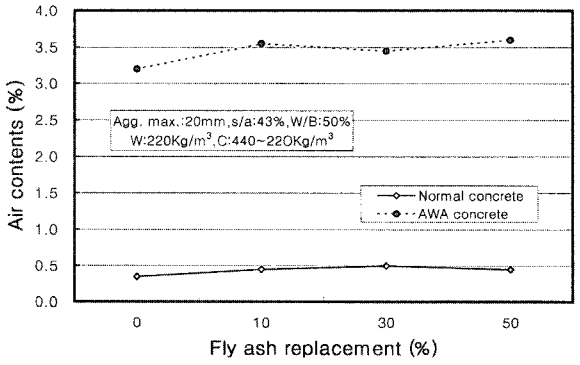

Fig. 1 Air content of fresh concrete

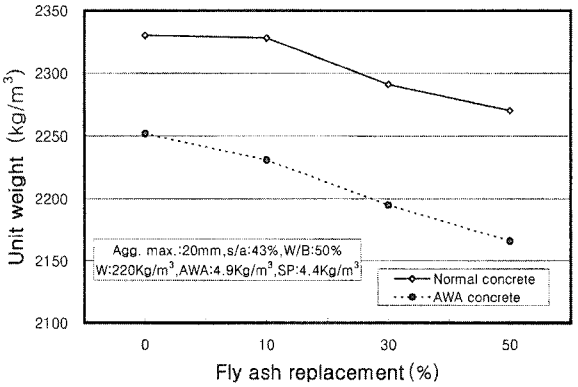

Fig. 2 Unit weight of fresh concrete

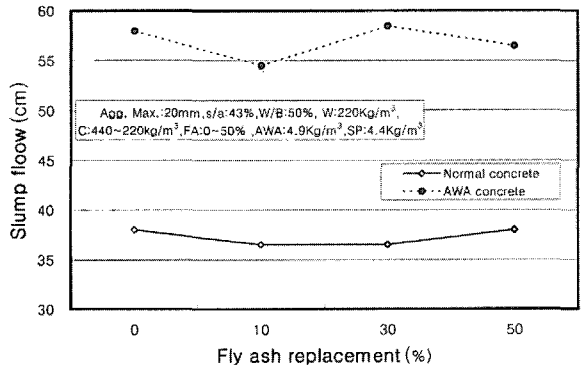

Fig. 3 Slump flow of fresh concrete

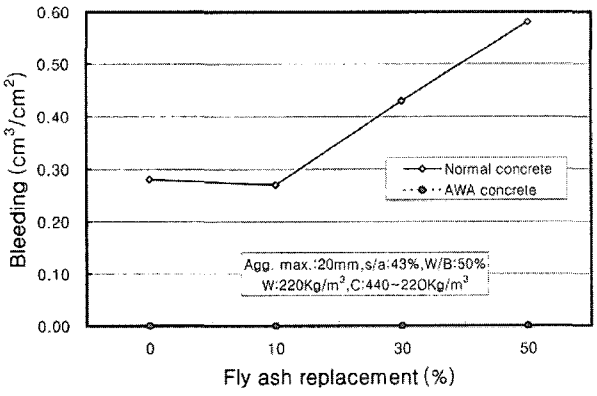

Fig. 4 Bleeding of fresh concrete

3.2 염화물 촉진시험에 의한 길이 및 무게변화 특성

콘크리트가 해수에 접하게 되면 콘크리트 속에 침투된 염소이온이 시멘트 수화물과 반응하여 가용성 물질인 $CaCl_2$를 생성하여 수산화칼슘과 함께 콘크리트에서 용출되므로 콘크리트의 다공화 현상을 촉진함과 동시에 콘크리트 중의 염소이온은 시멘트 수화물과 반응하여 $Mg_2(OH)_3Cl \cdot 4H_2O$ 및 $CaO \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$와 같은 팽창성 물질을 생성하여 콘크리트의 내구성을 저해하게 된다(Malhotra et al., 1990). 이와 같은 화학적 반응은 장시간에 걸쳐 천천히 일어나므로 촉진시험을 통해서 확인 및 측정이 가능하다. 본 연구는 촉진시험의 성과를 비교 평가하기 위해 혼화재료를 전혀 첨가하지 않고 만든 공시체를 21℃ 담수 중에 침지한 CONTROL의 경우와, 같은 조건의 공시체를 농도 20%의 염화나트륨 용액에 40℃의 온도로 촉진시험을 한 PLAIN을 비교한 결과 Table 6 및 Fig. 5와 같이 침지재령 60일 이후부터 촉진시험을 한 PLAIN 공시체의 팽창율이 43.11×10^{-3}%로 CONTROL 7.20×10^{-3}%에 비해 현저한 증가율을 보여 촉진시험의 성과를 확인 할 수 있었다. 먼저 수중불분리성 콘크리트의 해수에 대한 화학적 안정성을 보통 콘크리트와 비교하기 위해 촉진시험을 한 수중불분리성 모르터의 시료 F0-A와 PLAIN을 비교해보면 침지재령 91일까지는 수중불분리성 모르터의 팽창율이 약 20×10^{-3}%적게 나타나 안정적이나 180일 침지하여 시험한 결과 팽창율은 약 20×10^{-3}% 크게 증가하였고 Fig. 9(b)와 같이 균열이 발생되었다. 이를 미루어보아

Table 6 Experimental results of specimens by acceleration test

Mixture No	age, days 7		28		60		91		180	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
CONTROL	0.00	0.46	5.01	0.97	7.20	1.36	9.30	1.45	8.60	1.50
PLAIN	0.00	1.55	3.59	2.37	43.11	3.15	66.30	3.23	73.30	3.81
F10-N	0.00	1.79	3.57	2.16	17.20	2.23	26.50	2.39	60.80	3.82
F30-N	0.00	1.86	2.87	2.44	7.18	2.97	10.77	3.08	33.00	3.62
F50-N	0.00	1.88	-2.86	2.24	-2.14	2.64	-2.14	2.88	10.00	3.18
F0 -A	0.00	1.75	14.30	2.68	22.14	3.67	40.71	3.95	95.70	5.46
F10-A	0.00	1.85	7.90	2.75	16.41	3.51	27.11	3.83	82.80	5.54
F30-A	0.00	1.88	2.10	2.67	0.00	3.17	0.71	3.41	33.50	4.23
F50-A	0.00	1.64	-12.00	2.05	-11.44	2.53	-12.83	2.80	6.40	3.15

Note A; change of the length ($\times10^{-3}$%), + ; expansion, - ; contraction
B; change of the weight of specimens (%)

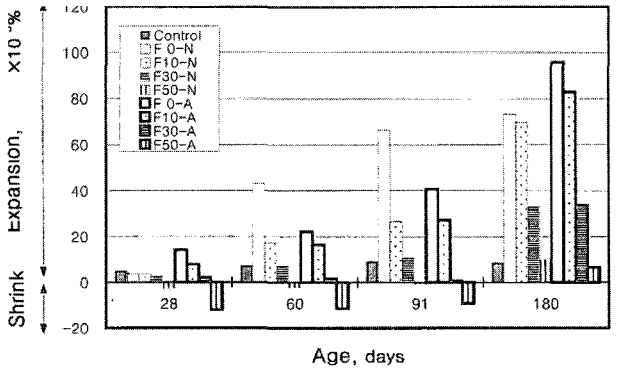

Fig. 5 Length test results of accelerated specimens

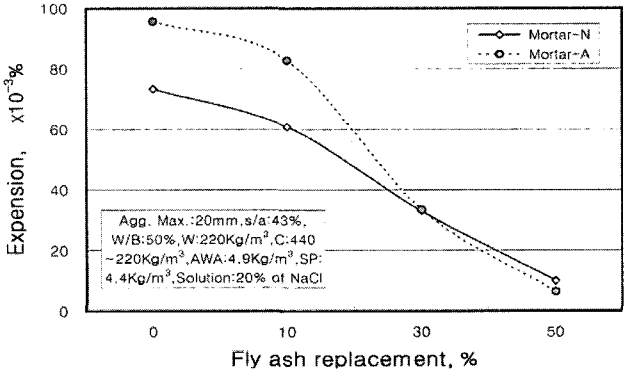

Fig. 6 Length test results of specimens age in 180 days

수중불분리성 콘크리트가 장기간 해수 중에 노출되면 염화나트륨의 작용으로 보통 콘크리트에 비해 내구성이 저해될 가능성이 있음을 확인 할 수 있었다. 반면 플라이애쉬를 혼입한 경우에는 Table 6 및 Fig. 5에서 치환율의 증가에 따라 길이변화율(팽창)이 비례하여 감소하였다. 특히 플라이애쉬를 50% 다량 혼입한 경우 침지재령 91일까지는 오히려 공시체가 수축하다가 침지재령 180일이 되면 보통 모르터($F_{50\text{-}N}$)와 수중불분리성 모르터($F_{50\text{-}A}$)의 길이변화율은 각각 10×10^{-3}%와 6.4×10^{-3}%가 되어, 21℃ 담수 중에 표준양생한 플레인 모르터(Control) 8.6×10^{-3}%와 거의 비슷한 값을 보였다. 이와 같이 콘크리트에

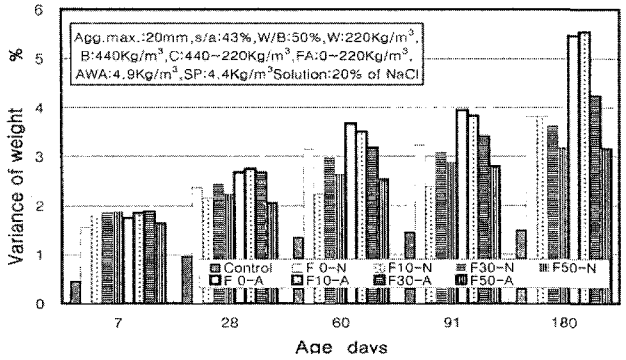

Fig. 7 Weight test results of accelerated specimens

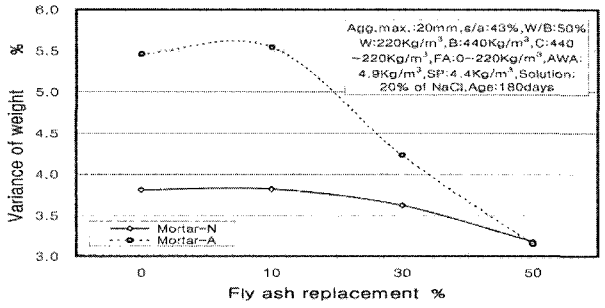

Fig. 8 Weight test results of specimens age in 180 days

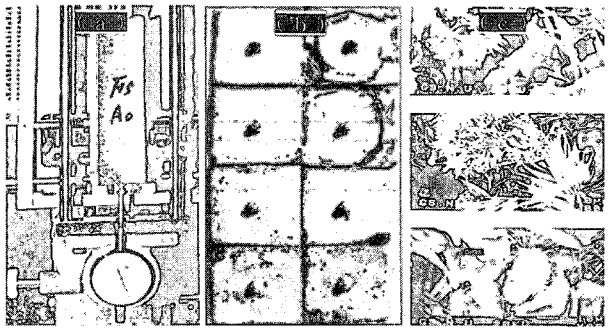

Fig. 9 Testing sean and shape of specimens

플라이애쉬를 다량 혼입하면 염화물의 침식작용에 대하여 저항성이 크게 증가함을 확인할 수 있었다. 40℃의 항온상태로 조절된 20% 농도의 염화나트륨용액에 180일 동안 촉진시험을 한 모르터의 플라이애쉬 치환율의 변화에 따른 길이변화율의 특징은 Fig. 6과 같다. 그림에서 수중불분리성 모르터의 경우 플라이애쉬를 혼입하지 않은 배합(F0-A)의 길이변화율이 95.7×10^{-3}%로, 염화나트륨용액에 침지한 보통 모르터(PLAIN) 73.3×10^{-3}%에 비하여 30% 정도 증가하여 Fig. 9(b)의 우측 상단 공시체와 같이 균열이 크게 발생하였다. 그러므로 수중불분리성 모르터는 염화물의 작용에 대해 보통 모르터보다 크게 팽창하여 염화물 침식작용에 대하여 불안정함을 확인하였다. 그러나 수중불분리성 모르터에 플라이애쉬를 50%로 다량 혼입한 배합(F50-A)은 Fig. 9(b)의 우측 하단의 공시체와 같이 길이변화율은 6.4×10^{-3}%가 되어 길이변화율을 93% 감소시켜 21℃에 침지한 Control 모르터의 10×10^{-3}%보다 오히려 작아졌다. 이와 같이 플라이애쉬의 다량 혼입으로 염화물 침식에 불안정한 수중불분리성 모르터를 안정적으로 변화시킴을 알 수 있다. 20% 농도의 염화나트륨용액에 침지한 모르터 공시체의 무게 변화율은 Fig. 7의 내용과 같이 재령의 증가에 따라 공시체의 무게는 비례하여 증가하였으며 보통 모르터 보다 수중불분리성 모르터의 무게가 더욱 크게 증가되는 경향을 보였다. 그러나 재령 60일 이후부터는 플라이애쉬의 치환율을 증가시킴에 따라 무게변화의 증가율은 완화되었다. 침지재령 180일의 경우 Fig. 8과 같이 플라이애쉬를 혼입하지 않은 수중불분리성 모르터의 경우 무게변화율이 5.45%로 PLAIN 모르터 3.81%에 비하여 크게 증가하였으나 플라이애쉬의 치환율을 증가시킴에 따라 무게 변화율은 점차 감소하여 플라이애쉬가 50%로 다량 혼입된 경우 3.15%로 감소되어 PLAIN 모르터보다 크게 감소되었다. 이와 같이 수중불분리성 모르터에 플라이애쉬를 다량 혼입하면 염화물 침식에 대해 보다 안정적으로 변화시킬 수 있음을 확인하였다.

3.3 촉진시험 후 X선 회절분석 및 SEM 관찰 결과

20% 농도의 염화나트륨용액에 침지하여 촉진시험을 한 콘크리트의 화학적 생성물질과 열화의 정도를 확인하기 위해 침지 재령 180일 공시체의 표면에서 5mm 이내의 깊이로 시편을 채취하여 X선 회절분석과 주사형전자현미경(SEM)관찰을 통하여 조성된 화합물질을 분석하였다. 분석 결과 담수 중에 양생한 CONTROL 콘크리트의 경우는 수산화칼슘의 회절 피크가 뚜렷이 나타났다. 반면 20% 농도의 염화나트륨용액에 침지시험을 한 플라이애쉬를 혼입하지 않은 보통 콘크리트(F0-N)와 수중불분리성 콘크리트(F0-A)는 수산화칼슘의 회절 피크가 아주 작게 나타났다. 반면 플라이애쉬를 30% 혼입한 보통 콘크리트(F30-N)와 수중불분리성 콘크리트(F30-A)는 수산화칼슘의 회절 피크의 발견이 불가능하였다. X선회절분석 및 SEM 관찰의 결과 Friedel's salt와 칼슘실리케이트 수화물(C-S-H)은 담수에 침지한 시료에서는 관찰되지 않으나 염화물용액에 침지한 시료의 경우 그 존재가 확인되었다. 이와 같은 현상은 염화나트륨용액 촉진시험 결과 콘크리트 중에 존재하는 수산화칼슘이 고농도의 염화나트륨용액으로 초기에 다량 용출하고 일부는 Gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 및 C-S-H나 Friedel's salt로 전환된 결과로 생각된다. SEM관찰 결과 염화물용액 침지시험에서 플라이애쉬를 혼입하지 않은 경우(F0-A)는 플라이애쉬 30%를 혼입한 경우(F30-A)에 비하여 Fig. 9(c)와 같은 간상형(Needle shape)의 에트린가이트(Ettringite)가 다량 생성된 것이 확인되어 플라이애쉬가 팽창성 물질 생성의 억제효과가 있음을 확인하였다.

4. 결 론

수중불분리성 콘크리트의 플라이애쉬 사용에 따른 내 해수성 증대효과를 확인하기 위해 플라이애쉬 치환율이 0%, 10%,

30%, 50%인 수중불분리성 콘크리트로 만든 모르터 공시체를 20% 농도의 염화나트륨 용액에 40℃ 온도로 촉진시험을 하고, 길이변화 및 무게변화를 측정한 후, 그 결과를 보통 콘크리트 모르터와 비교하였다. 촉진시험을 한 공시체에 생성된 화학적 조성물을 확인하기 위해 X선 회절분석과 SEM촬영을 하고 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 염화물 촉진시험을 한 결과 수중불분리성 모르터의 길이변화율의 특성은 보통 모르터와 비교하여 180일 장기 염화물 촉진시험 결과, 수중 불분리성 모르터의 길이변화율이 보통 모르터보다 25% 크게 증가하고 팽창성 균열이 발생하여 수중 불분리성 모르터가 염화물 침식작용에 대하여 보통 모르터보다 불안정함을 확인할 수 있었다.

(2) 그러나 수중불분리성 모르터에 플라이애쉬를 50%로 다량 혼입하므로서 길이변화율은 93%가 감소되어, 오히려 21℃의 담수에 침지한 기준시편(CONTROL)보다 그 값이 작아졌다. 이와 같이 수중불분리성 모르터에 플라이애쉬를 다량 혼입함으로서 염화물 침식에 의한 팽창 및 균열을 크게 줄여, 해수작용에 안정적으로 변화시킬 수 있음을 확인하였다.

(3) 공시체를 X선회절분석 및 주사형전자현미경 관찰을 한 결과 Friedel's salt와 칼슘실리케이트수화물(C-S-H)은 담수에 침지한 시료에서는 관찰되지 않았으나 염화물용액에 침지한 시료의 경우 그 존재가 확인되었고, SEM 관찰 결과 플라이애쉬를 30% 혼입한 경우가 보통 모르터에 비해 에트린가이트 생성량이 많이 줄어든 것이 확인되어 플라이애쉬가 팽창성 물질 생성의 억제효과가 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

권중현, 김봉익 (2001). "Fly ash를 사용한 수중분리콘크리트의 응결에 관한 실험적 연구", 한국해양공학회지, 15권, p 121.

김기철, 한민철, 원종필, 최응규, 한천구 (1996). "증점제 및 플라이애쉬를 이용한 다짐불요 콘크리트의 개발에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 가을 학술발표논문집, pp 266~270.

대한토목학회 (1991). 유동화 콘크리트 시공 지침 (안), p 31.

대한토목학회 (1995). 콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질 규준(안), p 5.

이영제 (1992). 수중 콘크리트용 혼화제를 사용한 콘크리트의실험적 연구, 건국대학교 대학원 석사학위논문, pp 1~2.

채소언 (1993). 수중불분리성 혼화제를 사용한 콘크리트의 제 성질에 대한 실험적 연구, 한양대학교 대학원 석사학위 논문, pp 3~4.

한국콘크리트학회 (2003). 콘크리트표준시방서, p 71, p 195.

Center of Costal Engineering Development (1990). Manual of Antiwashout Underwater Concrete, pp 42~471.

Hanhon, J. (1994). Construction of Underwater Concrete by the System of divided tube. Concrete Engineering Vol 32, No 3, p 86.

Laboratory of Concrete, Civil Engineering Department, The Ministry of Construction of Japan (1990). The Experimental Report of Antiwashout Underwater Concrete No 1, pp 2~36.

JSCE (1993). Guide for Design and Construction of Antiwashout Underwater Concrete, pp 12~23.

JSCE (1994). Standard of Quality of Antiwashout Admixture for Underwater Concrete, pp 12~19.

Malhotra, V., Carette, G., Bilodeau, A., Sivansundaram, V. (1990). "Some Aspects of Durability of High-volume ASTM Class F(Low-calcium) Fly Ash Concrete. CANMET Division Report MSL 90-20, pp 3~11.

Malhotra, V. (1994). "Fly Ash in Concrete", CANMET, pp 135~166.

Monica, P., Philippe, G. and Paulo, J. (1993). "Reliability Approach to Service Life Prediction of Concrete Exposed to Marine Environments", ACI Material Journal, November-December, pp 544~551.

Ravina, D. (1960). "Effect of Prolonged Mixing on Compressive Strength of Concrete with and without Fly Ash and or Chemical admixture." ACI Materials Journal, pp 451~ 455.

Takeshi, O., Yasunori, M., Yoshitaka, N. and Jun, N. (1995). "Influence of Materials on The Action of Admixtures in Antiwashout Underwater Concrete", ACI Material Journal, May-June, pp 315~320.

2005년 7월 13일 원고 접수
2005년 11월 8일 최종 수정본 채택