

## 플라이애쉬를 사용한 수중불분리성 콘크리트의 응결에 관한 실험적 연구

권중현 · 김봉익

경상대학교 해양토목공학과 해양산업연구소

### An Experimental Study on the Setting of Antiwashout Underwater Concrete Using Fly Ash

JUNG-HYUN KWON AND BONG-IK KIM

Department of Ocean Civil Engineering, The institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Kyongnam 650-160, Korea

**KEY WORDS:** Antiwashout underwater concrete 수중불분리성 콘크리트, Fly ash 플라이애쉬, Setting 응결, Sea water 해수

**ABSTRACT:** This paper describes the effect of fly ash replacement on the setting time of antiwashout underwater concrete, where cement was replaced by 0% to 50%. Experimental work was performed on the condition of sea water and in air to find out the characteristics of setting time between the concretes that were cast in air and cast in 15°C of sea water. The experimental results show that the setting time of underwater concrete with 50% replacement was delayed about 10 hours than normal concrete. And it can be concluded that, at the case of underseawater concrete addicted with fly ash, the delayed final setting times are shown as the function  $T_f = 0.069F + 7.69$ , where  $T_f$  is the delayed final setting time and  $F$  is quantity of fly ash, respectively. These results confirm that the setting time of underseawater concrete could be prolonged.

#### 1. 서 론

수중불분리성 콘크리트의 응결은 수중불분리성 혼화제와 고유동화제의 종류와 사용량 및 온도와 밀접한 관계가 있다. 특히 수중불분리성 콘크리트에 셀룰로오스계의 수중불분리성 혼화제를 사용하였을 경우는 혼화제가 시멘트입자와 결합하고 다른 혼화제를 흡착하게 된다(Takeshi et al., 1995). 그러므로 수중불분리성 콘크리트의 응결시간은 보통콘크리트에 비하여 상당히 지연되는 경향이 있으며 그 정도는 약 5~10시간에 달한다(佐藤 등 1991; 河野 등 1992; 岡田 등 1991). 반면 해양에 수중불분리성 콘크리트를 시공할 경우 작업의 효율을 고려하여 우수한 충전성과 자동평탄성을 기대하기 위해서는 장시간, 장거리 유동성의 확보가 필요하다. 이와 같은 성질을 갖기 위해서는 응결시간도 상대적으로 길어져야 한다. 특히 해양공사는 육상시공에 비하여 콘크리트의 운반 및 시공에 많은 제약을 받게 되므로 콘크리트의 응결시간이 길어져 장시간 유동성을 확보함은 해양공사의 특성상 오히려 장점이 될 수 있다(樋口와 加島, 1993). KSCE 95-02(대한토목학회, 1995)와 JIS A 6204의 수중불분리성 혼화제의 품질규준에 의하면 수중불분리성 콘크리트의 응결시간은 초결 5시간 이상, 종결 30시간 이내로 규정하고 있다. 그러나 실제 해양콘크리트공사의 경우 장시간 동안 최소 8m 이상의 장거리 유동성 확보를 위해 초결시간을 30시간 정도 이내가 되도록 하여 일반콘크리트 보다 응결시간을 현저히 길게 정하고 있다(和泉

1993). 한편 해양의 수중공사에 사용되는 콘크리트의 경우 기온에 의해 낮은 저 수온의 영향과 해수 중에 포함된 다양한 염류의 화학작용으로 인해 콘크리트의 성질이 공기중 타설과는 많은 차이가 있을 것으로 생각된다. 그러나 수중불분리성 콘크리트는 도입된 역사가 길지 않으므로 일반 콘크리트에 비해 그 특성이 아직 밝혀지지 않은 분야가 많다. 특히 해수 중에서의 응결특성에 관한 연구는 아직 미흡한 상태이며 수중제작 시료에 대한 응결시험기준도 제정되어있지 않은 상태이다. 그러나 해양공사에 수중불분리성 콘크리트의 사용은 점차 늘어날 것으로 사료되며 구조물의 품질은 물론 시공에 밀접한 영향을 미치는 해수 중에서의 응결에 대한 연구가 절실히 요구된다. 따라서 해양공사에서 콘크리트에 플라이애쉬를 사용하여 응결시간의 연장이 가능할 것으로 사료되어 수중불분리성 콘크리트의 플라이애쉬의 치환율 변화에 따른 응결지연 특성과 해수 중에서의 응결특성을 확인하기 위해 공기중 시험과 해수중 시험을 하고 응결지연의 특성을 비교 분석하였다.

#### 2. 실험개요

##### 2.1 사용 재료

시멘트는 국내 S사의 제1종 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였으며 그의 물리·화학적 성질은 각각 Table 1, 2와 같다. 실

**Table 1** Physical properties of cement and fly ash

Items	Specific gravity (cm <sup>3</sup> /g)	Setting time ( h : m )		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )					Median size(μm)	Moisture (%)	LOI (%)		
				Initial Final									
		Vicat	Gill more	Vicat	Gill more	3d's	7d's	28d's	91d's				
OPC	3.15	3,250	2:33	3:54	5:59	6:19	213	271	410	452	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 <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
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

험에 사용한 플라이애쉬(FA)는 ASTM C 618-78에 의하면 F급이며 품질은 Table 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 강도발현이 우수한 표준형 멜라민슬론산염 축합물로서 재료의 성분 및 특성은 Table 3과 같다. 사용된 골재는 최대치수가 20mm인 고성 산 부순돌과 바다모래를 사용하였다. 골재의 시험은 KS F의 제 규정에 따라 실시하였고 그 결과는 Table 4와 같다.

## 2.2 실험 파라미터

수중불분리성 콘크리트의 플라이애쉬의 사용량 변화에 따른 응결특성을 확인하기 위해 배합에서 플라이애쉬 사용량 외의 요소인 물·결합제(시멘트와 플라이애쉬)비 W/B, 잔골재율(s/a), 단위수량(W) 등을 고정한 반면 플라이애쉬의 치환율은 0, 10, 30, 50%로 변화시켰다. 아직 수중에서의 응결시험 방법 및 그 규정이 없는 관계로 응결시험은 공기중 시험을 기준하고 있는 실정이나 실제 수중에서의 응결양상은 공기중 시험 결과와 다를 가능성이 크다. 따라서 해양에 친 수중불분리성 콘크리트의 응결특성을 확인하기 위해 수중불분리성 혼화제 4.9kg/m<sup>3</sup>과 고유동화제 4.4kg/m<sup>3</sup>을 사용한 콘크리트를 일정 온도로 조절한 해수중과 공기 중에서 관입저항침에 의한 응결시험을 하고 그 결과를 비교 분석하였다.

## 2.3 콘크리트 배합설계 및 혼합

### 2.3.1 배합설계

콘크리트의 설계기준강도는 210kg/m<sup>2</sup>이다. 콘크리트의 강도, 내구성, 수밀성을 고려하고 문현(대한토목학회, 1991; 板本, 1994; Malhotra, 1994)을 참고하여 물·결합제(시멘트와 플라이애쉬)비 W/B를 50%로 정하였다. 단위수량은 수중불분리성 콘크리트에 관한 문현을 참고하면 슬럼프 폴로우값 45±5cm 범위를 기준으로 할 때 210~230kg/m<sup>3</sup>이 일반적으로 적용되므로 본 실험에서는 220kg/m<sup>3</sup>으로 정하였다(채, 1993; 이, 1992). 수중불분리성 콘크리트의 공기량은 일반콘크리트보다 다소 많은 4±1%로 정하였고 시험결과 이 범위를 만족하였다. 잔골재율은 43%로 정하였다. 시험배합 결과 플라이애쉬를 치환한 배합의 경우 수중불분리성 혼화제 5.0kg/m<sup>3</sup> 정도를 사용할 때 턱도 150ppm 이하가 되었으며, 고유동화제는 단위결합재 중량의 1% 정도를 사용함으로써 슬럼프 폴로우값 50cm 이상을 얻을 수 있었다. 배합설계의 결과는 Table 5와 같다.

### 2.3.2 혼합

(대한토목학회, 1995)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 혼합방법은 수중불분리성 혼화제와 시멘트 및 골재를 투입하여 30초간 건비빔을 한 후 혼합용수와 유동화제를 투입하고 60~200초 정도 혼합하는 방법을 일반적으로 택하고 있다(Ravina, 1960; 日本土木學會, 1994). 그러나 콘크리트에 플라이애쉬를 첨가하면 일반 콘크리트에 비하여 비빔시간이 더 소요된다는 보고가 있고(권, 1998), 또한 문현에 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 건비빔 30초를 포함하여 10분 동안 혼합하였다.

## 2.4 실험방법

공기중 실험용 공시체의 제작은 콘크리트를 5mm체로 쳐 모르터를 만든 다음 응결시험용 거푸집(ϕ 150, h 150mm)에 넣어 27회 다지고 표면을 평활하게 고른 후 흡수시킨 천으로 덮어 습기함에 보관하여 응결을 측정하였다. 해수 중에서의 공시체의

**Table 4** Physical properties of aggregates

Agg.	Gravel max (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Porosity (%)	Solid vol. (%)	Salinity (%)	Shell (%)	Soundness (%)	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
Gravel (crushed)	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 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Slump flow (cm)	pH	Air (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	W/B (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )						
									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	100	43	220	220	630	829	220	4.9	4.4

제작은 규정이 없는 관계로 해수중 압축강도공시체 제작방법 (KSCE 95-02)에 준하여 15°C로 일정하게 조절된 해수조에 거푸집을 넣어 해수를 가득 채우고 거푸집 표면 상단에서 콘크리트를 10회 정도 나누어 조용히 낙하시킨 후 공기 중에서 축면을 고무망치로 가볍게 두드려 채운다. 콘크리트 표면을 고르게 마감하여 다시 해수 조에 넣고 콘크리트가 분산되지 않도록 조용히 해수를 채워 정치시킨 뒤 축정 시에만 시료를 꺼내어 시험하였다. 시험은 KS F 2436 (관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간시험 방법)에 따라 실시하였다. 플라이애쉬의 사용에 따른 응결지연시간의 결정은 플라이애쉬를 사용하지 않은 시료의 응결시간과 해당 콘크리트의 응결시간의 차를 응결지연시간으로 하였고 해수중 온도차에 의한 응결 지연은 같은 배합의 콘크리트에 대해 공기중 양생시험과 해수중 양생시험의 응결시간의 차이를 응결지연시간으로 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

플라이애쉬의 사용량변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 실험결과를 정리하면 Table 5와 같다. 수중불분리성 콘크리트의 플라이애쉬의 첨가에 따른 콘크리트의 공기량은 Fig. 1과 같이 보통콘크리트에 비해 플라이애쉬 치환율에 관계없이 약 3%정도가 증가되었다. 이와 같은 현상은 문현(日本土木學會, 1993; 日本建設省, 1990)의 내용과 같이 수중불분리성 혼화제의 증점작용에 따라 간힌공기에 의한 부가적인 현상이며, 간힌공기는 수중에 콘크리트를 칠 때 미립자를 동반 배출하여 주변의 수질을 탁하

게 하는 원인이 된다. 따라서 수중불분리성 콘크리트의 최대공기량 기준(日本土木學會, 1993; 한국콘크리트학회, 1999)은 4% 이하로 정하고 있으며 시험결과는 이를 모두 만족하였다. 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 단위중량의 변화는 Fig. 2와 같이 플라이애쉬의 치환율에 비례하여 현저히 감소하여 보통콘크리트보다 100kg/m<sup>3</sup>정도 감소된다. 그 원인은 실험자료의 분석결과 수중불분리성 콘크리트의 간힌 공기량의 증가와 플라이애쉬와 시멘트의 비중 차에 기인함이 확인되었다.

수중불분리성 콘크리트는 증점제 4.9kg/m<sup>3</sup> 고유동화제를 4.4kg/m<sup>3</sup> 사용함에 따라 슬럼프 플로우값은 보통콘크리트에 비하여 약 20cm정도 증가하였다. 그러나 플라이애쉬의 치환량과 슬럼프 플로우의 관계는 Fig. 3과 같이 플라이애쉬의 치환에 따른 슬럼프 플로우는 증가하지 않았다. 이는 문현(김 등, 1996)의 연구에서 증점제 첨가량을 일정량 이상 사용하면 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 슬럼프 플로우값이 감소한 연구결과와 일치하였다. 이와 같은 현상은 단위수량을 고정한 배합에서 시멘트보다 분말도가 높은 플라이애쉬를 치환함에 따른 콘크리트의 점성증가가 그 원인으로 사료된다. 반면 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 경시변화시험 결과 배합 30분 후 48cm의 슬럼프 플로우값이 30.5cm에 도달한 시간이 플라이애쉬 치환율 0%인 경우 240분인 반면 치환율 50%의 경우 360분으로 플라이애쉬를 다량 치환하면 수중불분리성 콘크리트의 장시간 유동성 확보에 유리함을 확인하였다. 플라이애쉬의 사용에 따른 수중불분리성 콘크리트의 블리딩 특성은 Fig. 4와 같이 플라이애쉬의 사용량과 관계없이 전 배합에서 블리딩이 전혀 발생하지 않았다. 그러나 보통콘크리트의 경우 플라이애쉬의 치환율이 증가할 수록

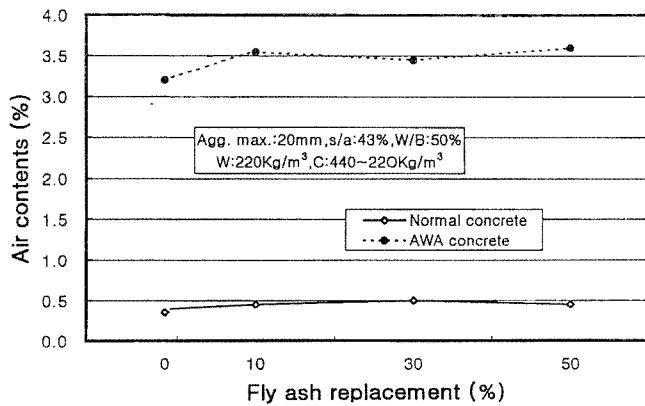


Fig. 1 Air content of fresh concrete

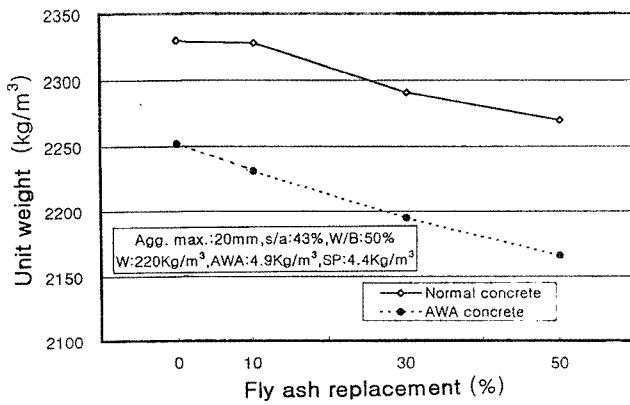


Fig. 2 Unit weight of fresh concrete

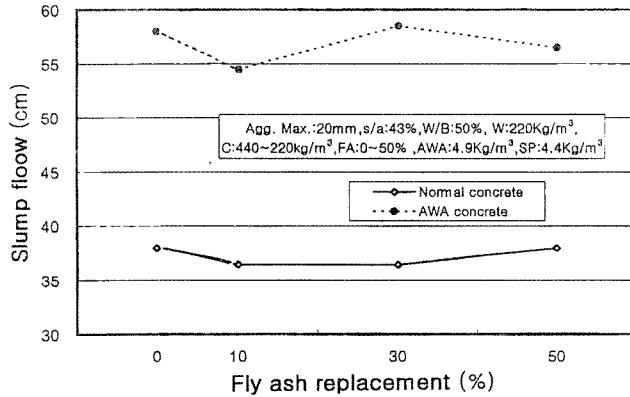


Fig. 3 Slump flow of fresh concretes

장시간동안 소성상태를 유지함에 따라 블리딩량이 비례하여 증가하였다.

### 3.2 수중불분리성 콘크리트의 응결특성

시험결과는 Table 6과 Fig. 5, 6의 내용과 같다. 보통콘크리트의 응결시간은 Fig. 5와 같이 플라이애쉬의 사용량 증가에 비례하여 길어졌다. 플라이애쉬의 치환율이 0%에서 50%로 증가함에 따라 초결은 4시간과 6.5시간, 종결은 5.7시간과 8.8시간으로 증가되었고 초결 보다 종결의 지연시간이 더욱 더 커지는 특징을 나타내었다. 이와 같은 현상은 시멘트의 치환에 따른 시멘트량의 감소와 아울러 시멘트입자를 서로 결합하는 수중불분리성 혼화제의 중점작용에 의해 시멘트입자를 물과의 결합을 방해한

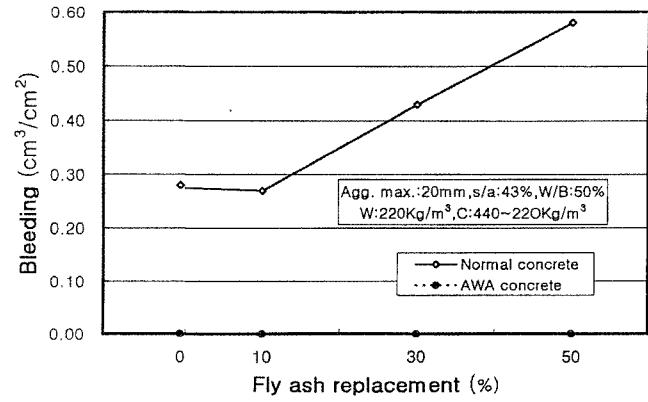


Fig. 4 Bleeding of fresh concrete

Table 6 Setting times of concretes (hours)

Fly ash replace- ment (%)	Normal concrete		AWA concrete			
	Air		Air		Sea water	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
0	4.0	5.7	8.5	9.5	13.5	17.0
10	4.7	6.5	8.8	10.5	15.0	19.0
30	5.0	7.0	10.5	13.0	17.0	23.0
50	6.5	8.8	12.5	16.0	21.5	27.0

정되어 전 배합이 보통콘크리트의 응결기준(대한토목학회, 1995)인 10시간 이내의 조건을 만족하였다. 24°C의 공기 중에서 시험한 수중불분리성 콘크리트의 응결시간은 플라이애쉬의 치환율이 0%에서 50%로 증가함에 따라 초결은 8.5시간에서 12.5시간, 종결은 9.5시간에서 16시간으로 보통콘크리트에 비해 상당히 지연되었다. 반면 15°C로 조절된 해수 중에서 시험한 수중불분리성 콘크리트는 플라이애쉬 치환율 0%에서 50%로 증가시킨 결과 초결은 13.5시간에서 21.5시간, 종결은 17시간에서 27시간으로 측정되어 응결시간은 플라이애쉬 치환율에 비례하여 현저하게 증가하였다. Fig.7은 플라이애쉬의 사용량 변화와 응결지연의 관계를 설명한 것으로 플라이애쉬의 혼입에 따른 응결지연의 특성은 플라이애쉬 치환율의 증가에 비례하여 응결시간은 크게 지연되었으며 그 현상은 초결 보다 종결시간의 지연이 더 큰 특징을 보였다. 실험결과 보통콘크리트의 경우 플라이애쉬 50% 혼입의 경우는 0%에 비해 초결 2.5시간, 종결 3.1시간이 지연되었다. 그러나 수중불분리성 콘크리트의 경우는 지연시간이 더욱 길어져 공기중 시험의 경우 초결 4시간 종결 6.5시간이 지연되었고 해수중 시험의 결과는 초결 8시간 종결 10시간이 지연되었다. 이와 같은 수중불분리성 콘크리트의 응결지연의 특성도 플라이애쉬의 치환율이 증가됨에 따라 응결시간은 비례하여 증가되었고 초결 보다 종결의 지연시간이 더욱 더 커지는 특징을 나타내었다. 이와 같은 현상은 플라이애쉬의 치환에 따른 시멘트량의 감소와 아울러 시멘트입자를 서로 결합하는 수중불분리성 혼화제의 중점작용에 의해 시멘트입자를 물과의 결합을 방해한

결과로 사료된다. Fig. 8은 15°C의 해수 중에 양생한 수중불분리성 콘크리트와 24°C의 공기 중에서 양생한 수중불분리성 콘크리트의 응결지연의 특성을 비교한 것이다. 시험결과를 플라이애쉬의 치환율의 변화에 따른 응결(초결) 지연시간 및 응결(종결) 지연시간의 상관관계식으로 표시하면  $T_i = 0.072F + 5.05$  및  $T_f = 0.069F + 7.69$ 시간으로 나타나 플라이애쉬를 50%로 다양 치환하여 해수 중에 양생한 콘크리트는 24°C의 기증 시험에 비해 응결 시간은 초결은 9시간 종결은 무려 11시간이나 지연되는 현상

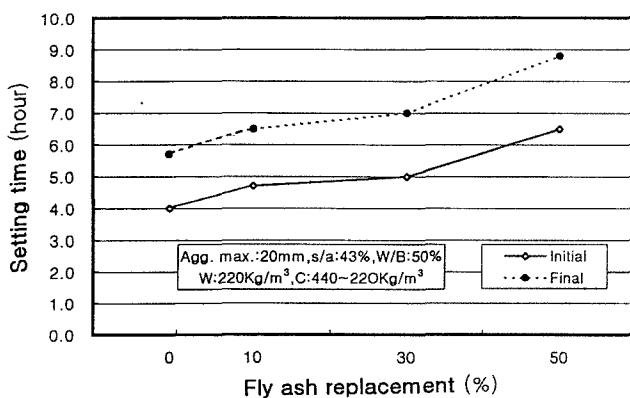


Fig. 5 Setting time of normal concrete

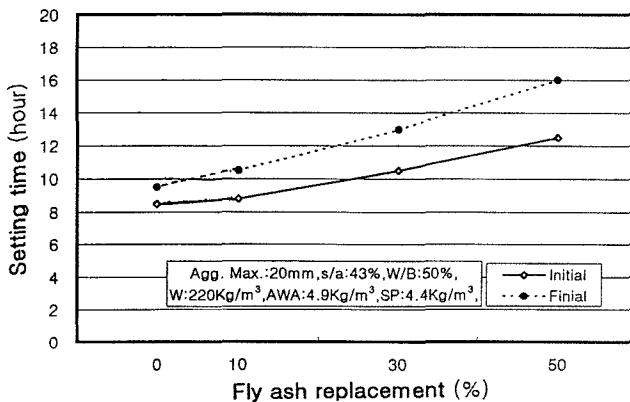


Fig. 6 Setting time of AWA concrete

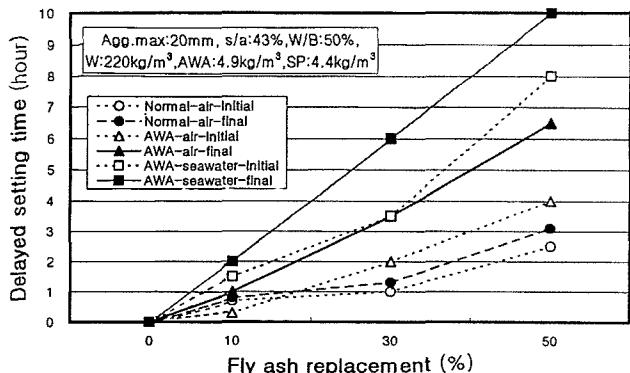


Fig. 7 Effects of fly ash on the delayed setting time

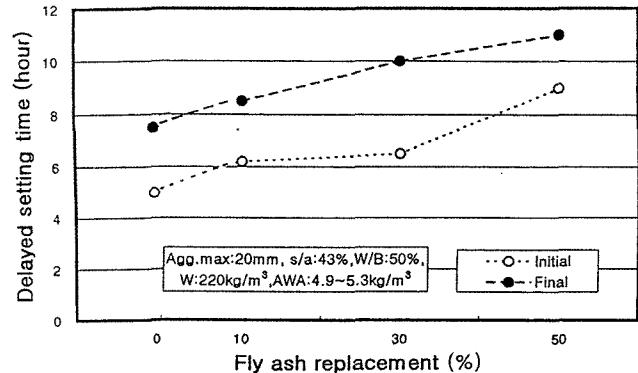


Fig. 8 Effects of sea water on the delayed setting time

을 나타내었다. 이와 같은 해수 중에서의 응결지연 현상은 15°C의 공기중과 수중에서 양생한 수중불분리성 콘크리트의 응결시험 비교에서 수중양생을 한 콘크리트가 공기 중에서 보다 다소 응결이 지연되었으나 그 영향은 약 30분 정도로 미미하였고 반면 수온 10°C의 수중에서는 15°C 수중에 비하여 종결이 약 20시간 정도 현저히 지연된 결과를 보인 沿岸技術センタ-(1990)의 내용과도 일치하였다. 이와 같이 수중불분리성 콘크리트의 응결의 양상은 온도 의존성이 매우 크며 특히 플라이애쉬를 치환할 경우 그 값은 더욱 현저하게 증가됨을 확인하였다.

#### 4. 결 론

수중불분리성 콘크리트에 플라이애쉬를 치환함에 따른 응결특성과 해수 중에 치게되는 콘크리트의 응결특성을 확인하기 위해 플라이애쉬의 치환율을 변화시킨 배합에 대해 공기 중과 해수 중의 응결시험 결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 수중불분리성 콘크리트에 플라이애쉬를 치환함으로써 보통 콘크리트와 달리 블리딩이 발생하지 않았으며, 콘크리트의 단위 중량을 크게 감소시키고 장시간 유동성을 확보할 수 있었다.
- (2) 해수 중에 친 수중불분리성 콘크리트의 응결지연의 특성을 플라이애쉬 치환율과 응결지연시간의 상관식으로 표시하면 초결 지연은  $T_i = 0.072F + 5.05$ , 종결 지연은  $T_f = 0.069F + 7.69$ 시간으로 나타나 플라이애쉬의 치환율의 증가에 따라 응결지연시간은 현저히 증가하였으며 플라이애쉬를 50% 치환함으로써 치환하지 않은 배합에 비교하여 종결시간을 10시간 지연시킬 수 있었다.
- (3) 따라서 육상공사에 비해 작업의 제한이 많아 콘크리트의 장시간 유동성 확보가 필요한 해양콘크리트공사에 플라이애쉬를 사용하여 응결시간의 조절이 가능할 것으로 판단되며 아울러 수중콘크리트의 응결시험에 관한 규정의 제정이 필요함을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

권중현, 배기성(1998). “Fly ash를 사용한 수중분리콘크리트의 유동성에 관한 연구”, 해양공학회지, 12권, p 153.

- 김기철, 한민철, 원종필, 최용규, 한천구(1996). “증점제 및 플라이애쉬를 이용한 다짐불요 콘크리트의 개발에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회 가을 학술발표논문집, pp 266~270.
- 대한토목학회(1991). 유동화콘크리트시공지침(안), p 31.
- 대한토목학회(1995). 콘크리트용 수중불분리성 혼화제품질 규준(안), p 5.
- 한국콘크리트학회(1999). 콘크리트표준사방서, pp 161~164.
- 이영제(1992). “수중 콘크리트용 혼화제를 사용한 콘크리트의 성질에 대한 실험적 연구”, 건국대학교 대학원 석사학위논문, pp 1~2.
- 채소연(1993). “수중 불분리성 혼화제를 사용한 콘크리트의 제조질에 대한 실험적 연구”, 한양대학교 대학원석사학위 논문, pp 3~4.
- Malhotra, V. M.(1994). “Fly Ash in Concrete”, CANMET, pp 13 5~166.
- 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 J. May-June, pp 315~320.
- 佐藤幸三, 松井健一, 高橋秀樹 原田耕司(1991). “水中不分散性コンクリートの混和剤による影響”, セメント・コンクリート論文集, 45, pp 298~303.
- 河野廣隆, 高橋弘人, 森濱和正, 大倉眞人(1992). “水中不分散性コンクリートの基本性状”, 建設省土木研究所 土木技術資料 34-1, pp 60~67.
- 岡田凌太, 藤田時男, 内田明, 大森淑孝, 曾根徳明(1991). “低発熱型セメントを用いた水中不分散性コンクリートの諸特性”, セメント・コンクリート論文集, 45, pp 442~447.
- 樋口康三, 加島聰(1993). “水中不分散性コンクリートの開発”, 基礎工, 21(5)号, pp 46~51.
- 和泉 隆(1993). “海にやさしい力持ら水中不分散性コンクリート”, PETROTECH, 16(1), pp 42~48.
- 沿岸開発技術研究センタ-(1990). 水中不分散性コンクリート. マニュアル, pp 42~471.
- 日本土木學會(1994). 水中コンクリート用 不分散性混和剤品質規準, pp 12~19.
- 日本土木學會(1993). 水中不分散性コンクリート設計施工指針(案). pp 12~23.
- 日本建設省土木研究所 地質化學部 コンクリート研究室(1990). 水中不分散性コンクリートに関する 調査試験報告書(1), pp 2~36.
- 坂本光重(1994). 分岐供給システムによりより 水中コンクリートの施工. コンクリート工學 32(3), pp 86.

---

2001년 8월 7일 원고 접수

2001년 10월 30일 수정본 채택