

# 플라이애쉬를 사용한 수중불분리성 콘크리트의 수화열에 관한 연구

권중현

경상대학교 해양과학대학 해양산업연구소

## A Study on the Hydration Heat of Antiwashout Underwater Concrete Using Fly Ash

JUNG-HYUN KWON

College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyoung, Kyongnam 650-160, Korea

**KEY WORDS:** Antiwashout underwater concrete 수중불분리성 콘크리트, Fly ash 플라이애쉬, Hydration heat 수화열

**ABSTRACT:** The concretes cast in the sea water would be likely to be rich mix and mass concrete. Therefore it is important to check out the hydration heat of concrete and to reduce it to prevent the concrete from processing the temperature crack. Recently the antiwashout agent is used on underwater concretes for preventing from the segregation of concrete in the water. The experimental studies were done for the combined cement replaced by fly ash 30% unit weight of binder to study on the characteristics of hydration heat of antiwashout underwater concrete, and its characteristic was discussed by comparing one cast in sea water with another one in air. The present paper showed that the hydration heat of concrete replaced by 30% of fly ash was more significantly reduced than the normal concrete. The hydration heat of antiwashout underwater concrete was higher than that of normal concrete, but it was reduced lower than the normal concrete by adding fly ash.

### 1. 서 론

시공사례에 의하면 수중불분리성 콘크리트는 1회에 치는 양이 1만 m<sup>3</sup> 정도로 다량의 콘크리트를 동시에 치는 경우가 많고, 단위시멘트량도 수중콘크리트의 기준에 따라 보통 콘크리트공사에 비해 많은 양을 사용하게 된다(坂本, 1994). 이와 같이 수중콘크리트는 부배합의 매스콘크리트가 되기 쉬우므로 수화열에 기인된 온도응력과 이에 따른 균열 대책에 세심한 배려가 필요하다. 특히 수중에서는 균열의 제어와 균열검사가 어려울 뿐만 아니라 보수도 곤란하므로 사용재료의 선정과 사용량 및 시공방법 등의 결정 시에는 콘크리트의 수화열의 특성을 사전에 평가하여 설계에 반영하여야 된다. 매스콘크리트의 온도제어는 파이프쿨링(pipe cooling) 등으로 콘크리트를 친 후에 조치를 할 수도 있으나 설계 시 사전 검토를 통하여 콘크리트의 수화열을 줄일 수 있는 재료의 선정이 더욱 더 효과적이다.

본 논문에서는 수중불분리성 콘크리트의 단열온도 특성 중 플라이애쉬의 혼합에 따른 수화열 저감효과를 입증하고 수중 불분리성 혼화제와 고유동화제의 영향 및 해수 중에서의 수화열 특성을 평가하고자 하였다.

### 2. 사용재료 및 실험방법

단열온도의 측정은 치수 40cm의 정육면체 콘크리트 공시체를 사용하였으며 유리섬유로 외부 단열처리와 방수처리를 한

후 콘크리트를 치기 전에 온도 측정용 센서(sensor)를 정육면체 거푸집의 중심 위치에 고정하였다. 해수 중 제작 공시체의 경우는 실내에 존치한 거푸집에 24℃의 해수를 가득 채운 후 콘크리트가 거푸집상면에 상승할 때까지 콘크리트를 수면에 접하여 수중에 조용히 낙하시킨 후, 비닐로 수밀하게 밀봉하고 유리섬유로 피복 한 뒤 덮개를 덮고 고정하여 다시 테이프를 밀봉하였다.

온도 측정용 시험기는 DATA Logger MDL-64이며 온도센서는 Omega사의 T-type Cu-constantan을 사용하였고 기록은 10초 단위로 연속 측정을 한 후 그 결과를 분석하였다.

#### 2.1 사용재료

##### 2.1.1 시멘트 및 플라이애쉬

실험에는 보통 포틀랜드시멘트(opc)를 사용하였고 물리적 성질 및 화학적 성분은 각각 Table 1, 2와 같다.

실험에 사용한 플라이애쉬(FA)는 삼천포 화력발전소에서 발생된 것으로서 사용 원탄은 인도네시아 Adaro와 호주 Bayswater탄을 4 : 6 비율로 혼합, 연소한 것이다. 플라이애쉬는 CaO의 함량이 10% 이하로 ASTM C 618-78에 의하면 F급이다. KS L 5405의 규정은 비중 1.95 이상, 분말도 2400cm<sup>2</sup>/g 이상, 수분 1.0% 이하, 강열감량(LOI) 5.0% 이하로 정하고 있는 바, 실험 결과는 Table 1, 2와 같이 그 규정을 만족하였다.

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

Items	Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time (h : m)				Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )				Median size(μm)	Moisture (%)	LOI (%)
			Initial		Final		3d's	7d's	28d's	91d's			
			Vicat	Gill more	Vicat	Gill more							
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

2.1.2 혼화제

실험에 사용된 혼화제는 수중불분리성 혼화제(AWA)와 고유동화제(SP)이다. 수중불분리성 혼화제는 셀룰로오스계로서 HPMC(hydroxy propyl methyl cellulose)계통이다.

유동성 부여를 위한 고유동화제는 강도 발현이 우수한 표준형 멜라민슬폰산염 축합물로서 성분 및 특성은 Table 3과 같다.

**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

2.1.3 골재

본 실험에 사용된 골재는 고성 산 부순돌과 바다 모래를 사용하였다. 굵은골재는 최대치수가 20mm이고, 바다 모래에는 3.46%의 패각이 함유되어 있었다. 골재의 시험은 KS F의 제 규정에 따라 실시하였고 그 결과는 Table 4와 같다.

2.2 배합의 특성

2.2.1 배합설계

콘크리트의 설계기준강도와 배합강도는 210kgf/cm<sup>2</sup>과 263kgf/cm<sup>2</sup>이다. 배합강도, 내구성, 수밀성을 고려하여 물·결합재(시멘트와 플라이애쉬)비 W/B를 50%로 정하였다(板, 1994; Malhotra, 1994). 단위수량은 수중불분리성 콘크리트에 관한 문헌을 참고하면 슬럼프 플로우값 45±5cm 범위를 기준으로 할 때 210~230kg/m<sup>3</sup>이 일반적으로 적용되므로 본 실험에서는 220 kg/m<sup>3</sup>으로 정하고, 단위 결합재량은 440kg/m<sup>3</sup>로 정하였다(채, 1993; 이, 1992). 문헌 및 시공사례를 참고하면 수중불분리성 콘크리트의 경우 350~550kg/m<sup>3</sup>을 사용하고 있다(seabrook, 1990; 浚, 1990; 日, 1994). 공기량은 4±1%로 정하였고 시험결과 이

범위를 만족하였다. 잔골재율은 표면건조포화상태의 잔골재와 굵은골재의 혼합 골재에 대한 단위용적중량시험을 통하여 최대 밀도를 얻을 수 있는 골재비율을 근거로 43%로 정하였다. 시험 배합 결과 플라이애쉬를 치환한 배합의 경우 수중불분리성 혼화제 5.0kg/m<sup>3</sup> 정도를 사용할 때 탁도 150ppm 이하가 되었으며, 고유동화제는 단위 결합재 중량의 1% 정도를 사용함으로써 슬럼프 플로우값 50cm 이상을 얻을 수 있었다. 배합설계의 결과는 Table 5와 같다.

2.2.2 혼합

수중불분리성 콘크리트의 혼합은 균질하고 양호한 콘크리트를 만들 수 있게 그 방법과 시간을 미리 시험을 통하여 콘크리트의 품질을 확인한 후 결정하는 것으로 되어 있다(대, 1996; 대, 1995). 수중불분리성 콘크리트의 혼합 방법은 수중불분리성 혼화제와 시멘트 및 골재를 투입하여 30초 간 건 비빔을 한 후 혼합용수와 유동화제를 투입하고 60~200초 정도 혼합하는 방법을 일반적으로 택하고 있다(Ravina, 1960; 浚, 1990; 日, 1994). 그러나 플라이애쉬를 첨가하면 콘크리트는 저온에서 적절한 밀도 유지와 강도를 조속히 발현하기가 어려우므로 일반 콘크리트에 비하여 비빔시간이 더 소요된다는 보고가 있고(권, 1998), 수중불분리성 혼화제의 경우 셀룰로오스계를 사용할 경우 농도 2%, pH 6.8, 온도 20~30°C일 때 50~55분 정도의 용해 시간이 소요된다는 보고가 있다(日, 1993). 또한 수중불분리성 콘크리트의 경우 배합시간을 길게 함으로써 압축강도가 증가한다는 연구가 있다(Ravina, 1960). 그러므로 본 연구에서는 수중불분리성 콘크리트에 플라이애쉬를 사용하고 셀룰로오스계의 수중불분리성 혼화제를 사용하여 양질의 콘크리트를 만들고자 위의 내용을 참고하여 용량 60ℓ, 회전속도 30rpm의 팬믹서로 건비빔 30초를 포함하여 10분간 혼합하였다.

2.2.3 굳지 않은 콘크리트의 성질

수중불분리성 콘크리트에 플라이애쉬를 30% 혼합함에 따른 콘크리트의 성질은 Table 5와 같이 보통 콘크리트에 비하여 단위중량이 크게 감소되었고 공기량은 다소 증가하였다.

3. 결과 및 고찰

플라이애쉬를 사용한 수중불분리성 콘크리트의 수화열 특성을 확인하기 위하여 기준 콘크리트와 기준 콘크리트에 수중불분리성 혼화제 4.9kg/m<sup>3</sup>과 고유동화제 4.4kg/m<sup>3</sup>을 혼합한 배합에 대하여 플라이애쉬를 0, 30% 혼합하여 단일온도시험을 한

**Table 4** Physical properties of aggregates

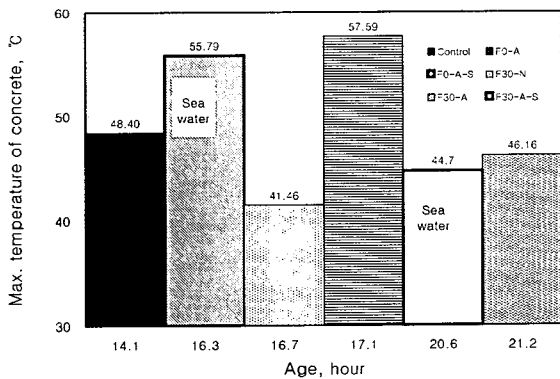
Agg.	Gravel max (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Porosity (%)	Solid vol. (%)	Salinity (%)	Shell (%)	Soundness (%)	Fine particle (%)	Alkali reaction		
												RC	SC	Judge
Fin.agg	-	2.58	1.50	2.71	1535	40.69	-	0.0053	3.46	-	0.37	72	51.0	harmless
Gravel (crushed)	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.	Gmax (mm)	Slump flow (cm)	pH	Air (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	W/B (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit Weights (kg/m <sup>3</sup> )						
									W	C	S	G	FA	AWA	SP
Control	20	43.0	12.00	0.35	2330	50	50	43	220	440	666	876	0	0.0	0.0
F0-A	20	61.5	11.70	3.20	2252	50	50	43	220	440	666	876	0	4.9	4.4
F30-N	20	37.5	11.10	0.50	2291	50	71	43	220	308	645	847	132	0.0	0.0
F30-A	20	57.0	11.00	3.45	2195	50	71	43	220	308	645	847	132	4.9	4.4

결과 최고온도와 최고온도 도달시간은 Fig. 1과 같다. 시험 시 기온은 27°C, 수온 24°C, 습도 95%이었고 온도 측정은 주수 15분 후부터 시작하였다.

시험결과 수중불분리성 콘크리트의 단열온도 상승추세는 온도 측정 약 7시간까지는 거의 온도 상승이 없다가 그 이후부터 상승하기 시작하였다. 이와 같은 현상은 수중불분리성 혼화제의 응결 지연작용의 영향으로 사료된다.



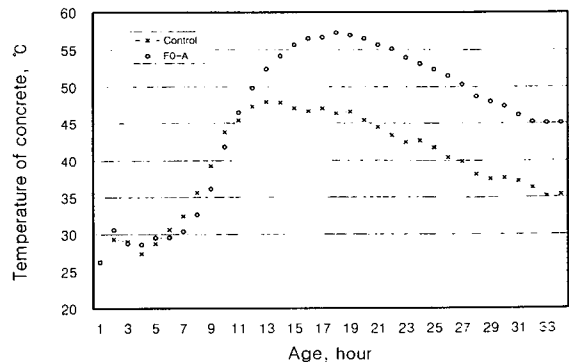
**Fig. 1** Max. temperature and arrival time of concretes

**3.1 수중불분리성 콘크리트의 수화열 특성**

콘크리트에 수중불분리성 혼화제 4.9kg/m<sup>3</sup>과 고유동화제 4.4kg/m<sup>3</sup>가 수화온도에 미치는 영향은 Fig. 2에서 control과 F0-A의 비교로 알 수 있다. 위의 혼화제를 사용함으로써 최고 온도 도달 시간은 3시간 늦어지나 단열 온도는 약 9°C가 상승하였다. 이와 같이 수중불분리성 콘크리트는 보통 콘크리트 보다 높은 수화열이 발생하므로 시험배합을 통하여 사전에 수화열 검토가 필요함을 확인하였다.

**3.2 해수 중 콘크리트의 수화열 특성**

공기 중(27°C)과 해수(24°C) 중에 친 수중불분리성 콘크리트의 단열 온도의 차이는 Fig. 3과 같다. 플라이애쉬를 사용하지 않고 공기 중에서 친 수중불분리성 콘크리트(F0-A)와 해수 중에 친 수중불분리성 콘크리트(F0-A-S)의 비교로 해수 중에 친 콘크리트의 수화열 특성을 알 수 있다. 시험 결과 해수 중에 친 콘크리트가 공기 중에서 친 것보다 최고 온도 도달 시간은 0.8시간 정도 단축되고 최고 단열 온도는 1.8°C 정도 낮아졌다. 플라이애쉬 30%를 혼합한 경우는 해수 중에 친 경우(F30-A-S)가 공기 중에 친 것(F30-A)보다 최고 온도 도달 시간은 0.6시간 단축되었고 온도는 1.46°C 정도 낮아졌다. 이와 같이 해수 중에 콘크리트를 치면 공기 중에 친 것에 비하여 최고 온도 도달 시간은 평균 0.7시간 정도 단축되나 최고 온도는 1.63°C 낮으므로, 초기의 수온과 기온 차를 고려하면 최고 단열 온도는 큰 변화가 없다. 이는 수중불분리성 콘크리트의 우수한 응집작용으로 인해 해수 중에서 콘크리트의 재료분리가 억제되어 해수의 침투가 방지된 결과로 사료된다.



**Fig. 2** Temperature rising curves of antiwashout underwater concrete

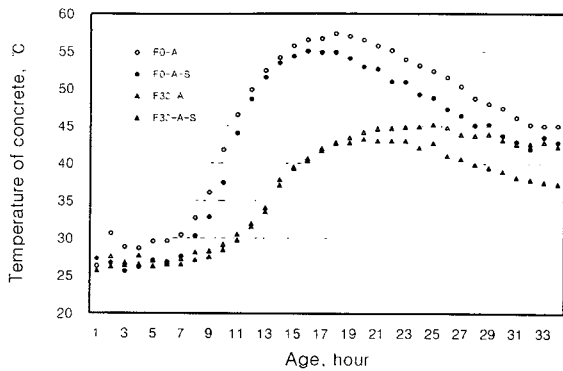


Fig. 3 Temperature rising curves of concrete cast in sea water and air

### 3.3 플라이애쉬가 단열온도에 미치는 영향

보통 콘크리트에 플라이애쉬 30% 혼합에 의한 수화열 저감 효과는 Fig. 4의 Control과 F30-N의 비교를 통하여 알 수 있다. 기준 콘크리트가 14.1시간만에 최고 단열 온도 48.4°C에 도달한 반면 플라이애쉬 30%를 혼합한 경우 16.7시간만에 41.46°C가 되었다. 그러므로 콘크리트에 플라이애쉬를 30% 혼합하면 최고 온도 도달 시간은 2.6시간 지연, 최고 단열 온도는 약 7°C가 저감되었다. 수중불분리성 콘크리트에 플라이애쉬 30% 혼합에 의한 단열 온도의 저감 효과는 플라이애쉬를 사용하지 않은 수중불분리성 콘크리트, 즉 F0-A와 30% 혼합한 F30-A의 비교를 통하여 알 수 있다.

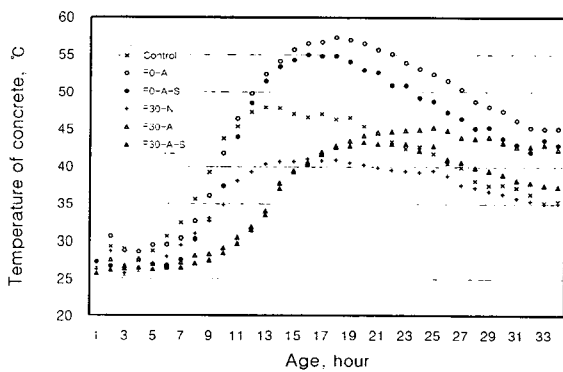


Fig. 4 Temperature rising curves of concretes affected by fly ash replacement

비교분석 결과 수중불분리성 콘크리트에 플라이애쉬를 30% 혼합하면 최고 온도 도달 시간은 4.1시간 지연되고 최고 단열 온도 11°C 정도를 줄일 수 있었다.

그리고 플라이애쉬를 혼합함으로써 Fig. 4와 같이 온도상승 이력곡선은 그 기울기가 완만해 지고 최고 온도 도달 후에도 온도 저하 속도가 완만하므로 대규모 용적의 수중불분리성 콘크리트의 시공 시 플라이애쉬를 혼합하면 수화열이 저감되고

온도 변화가 완만하여 수화열에 의한 균열 억제에 효과적일 것으로 기대된다. 아울러 플라이애쉬를 30% 혼합하여 해수 중에 친 수중불분리성 콘크리트는 공기 중에서 보다 최고 온도는 낮으나 최고 온도 도달 후 온도 저하 속도가 다소 빨라지는 특징을 보였다.

## 4. 결 론

지금까지의 연구 내용을 정리하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 수중불분리성 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해 수화열이 크게 발생하나 플라이애쉬를 혼합함으로써 수화열을 보통 콘크리트보다 낮출 수가 있었고, 온도상승 및 저감곡선의 기울기가 보통 콘크리트보다 완만해지므로 플라이애쉬의 사용이 수중불분리성 콘크리트의 수화열 저감에 효과적임을 확인하였다.
- (2) 해수 중에 수중불분리성 콘크리트를 치면 최고 온도 도달 시간은 공기 중에 친 것에 비하여 다소 빨라지는 특징을 보인다. 그러나 최고 온도는 공기 중에 친 것과 큰 차이가 없었다.

## 후 기

본 논문은 1999년도 경상대학교 발전기금재단 학술연구조성비를 지원 받아 수행된 연구결과와 일부이며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 권중현, 배기성(1998). "Fly ash를 사용한 수중분리콘크리트의 유동성에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제12권, 제1호, pp 153~161.
- 대한토목학회(1991). 유동화콘크리트공지침(안), p 31~33.
- 대한토목학회(1995). 콘크리트용 수중불분리성 혼화제품질 기준(안), p 5~12.
- 대한토목학회(1996). 콘크리트표준시방서, pp 31~32.
- 오성원(1996). "석탄회(Fly Ash) 처리 현황과 대책", 석탄회 활용 국제워크숍, pp 8~9.
- 이영재(1992). "수중 콘크리트용 혼화제를 사용한 콘크리트의 실험적 연구", 건국대학교 대학원 석사학위논문, pp 1~2.
- 채소연(1993). "수중 불분리성 혼화제를 사용한 콘크리트의 제성질에 대한 실험적 연구", 한양대학교 대학원 석사학위논문, pp 3~4.
- 한태영(1995). "수중 비분리 콘크리트의 최적 배합비에 관한 연구", 부산대학교 산업대학원 석사학위 논문, pp 3~4.
- Malhotra, V. M.(1988). "Concrete in incorporating High volumes of ASTM class F Fly Ash", Cement and Aggregates, Vol. 10, No. 2, pp 88~95.
- Malhotra, V. M.(1994). "Fly Ash in Concrete", CANMET, pp 13 5~166.
- Malhotra, V. M.(1990). "Some aspects of durability of High-Volume Fly ash concrete", CANMET, pp 10~11.
- 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.
- Seabrook, P. T. and Wilson, H. S. “High-Strength Semi-Light weight concrete for use in offshore structures”, Journal of cement composites and light weight concrete, Vol. 10, pp 183 ~ 192.
- 沿岸開發技術研究センター(1990). 水中不分離性콘크리트, マニュアル, pp 42~471.
- 日本土木學會(1994). 水中 콘크리트用 不分離性混和劑品質規準, pp 12~19.
- 日本土木學會(1993). 水中不分離性콘크리트設計施工指針(案), pp 12~23.
- 坂本光重(1994). 分岐供給システムにより 水中콘크리트の施工, 콘크리트工學, 第32卷, 第3号, p 86.
- 
- 2000년 9월 6일 원고 접수
- 2000년 10월 12일 수정본 채택