

# 수중불분리성 콘크리트의 기초물성에 대하여

Fundamental Properties of Antiwashout Underwater Concrete

김진철\*, 정용\*, 박성학\*, 박기청\*\*  
Kim, Jin Cheol Jeong, Yong Park, Sung Hak Park, Ki Cheong

## ABSTRACT

The objective of this experimental investigation was to examine the fundamental properties of antiwashout underwater concrete. Experiments were conducted on the antiwashout property in underwater, the compressive strength in the air and in underwater, setting time, slump flow loss. As a result, a dosage of 2.0-2.5kg/m<sup>3</sup> antiwashout admixture was found to be appropriate not to cause water pollution and to provide a reliably good compressive strength in underwater concrete. Also, the experimental results showed that the amount of less than 50mg/l suspended solid was required to obtain the underwater to air compressive strength ratio of more than 80%

### 1. 서론

최근에 영종도 신공항 건설, 서해안 고속도로, 군산만 간척공사 등과 같은 거대 해양공사가 계획단계 또는 실행되고 있으며, 이러한 수중 및 해양공사에는 수중 RC 구조물, 방파제, 교각공사 등이 수반되어 수중에서의 콘크리트 타설을 필요로 한다.

수중콘크리트 공사의 기술개발은 주로 콘크리트 타설방법의 개발 및 시공기계의 개량으로 진행되어 왔으며, 대표적인 수중콘크리트 공법으로서 트레미 공법, 콘크리트 펌프공법, 밀열림상자 또는 밀열림포대 콘크리트공법, 프리펙트 콘크리트 공법 등이 사용되어 왔다.<sup>1), 2)</sup> 그러나 수중에 콘크리트 타설중 시멘트가 유실됨에 따라 수질을 오염시키고, 수중에서 재료분리가 발생하여 콘크리트 품질의

균일성 저하, 신, 구콘크리트의 이음부 및 철근과의 부착강도 저하 등 콘크리트 타설 전, 후 품질변화에 따른 신뢰성 저하가 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 과거의 기술개발개념과 다른 재료적인 측면에서 수중에서 분리되지 않는 콘크리트의 개발이 절실히 요구되는 실정이다.

따라서 본 연구는 수중에 타설되는 콘크리트의 시멘트 유실을 최소화 하기 위하여 수중 불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 응결, 압축강도 등 경화전, 후 물성을 파악하여 장래 수중불분리성 콘크리트 시공을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

### 2. 실험개요

#### 2.1 실험재료

시멘트는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 골재가 콘크리트의 세물성에 미치는 영

\* 정회원, 동양중앙연구소 연구원

\*\* 정회원, 동양중앙연구소 2차제품연구실장

향인자를 최소화 하기 위하여 굵은골재 최대 치수 25mm의 골재를 체가름하여 연속입도의 굵은골재를 제조하였다.

수중불분리성 혼화제는 분말형 셀룰로오스 계를 사용하였으며, 고성능감수제는 수중불분리성 혼화제와 적합성을 고려하여 분말형 멜라민계를 사용하였다. 표 1은 실험에 사용한 재료의 물성을 나타낸 것이다.

## 2.2 실험방법

### (1) 콘크리트 배합

수중불분리성 혼화제 첨가량, 물-시멘트비 등의 변화에 따른 수중불분리성 콘크리트의 물성을 고찰하기 위하여 표 2와 같은 콘크리트 배합을 선정하였다.

수중불분리성 혼화제의 첨가량은 0, 1.5, 2.0 및 2.5kg/m<sup>3</sup>의 4수준으로 변화시켰으며, 고성능감수제의 첨가량은 소요의 슬럼프 플로우(50±3cm)가 발현하는 첨가량으로 하였다.

### (2) 현탁물질량 및 pH

수중에 타설된 콘크리트의 수중분리도를 측정하기 위한 방법으로서, 일정크기의 비이커

표 1. 사용재료

종류	물 성
시멘트	보통포틀랜드 시멘트 (비중 3.15, 블레인값 3,587cm <sup>2</sup> /g $\sigma_{28} = 357\text{kgf/cm}^2$ )
잔골재	세척사(비중 2.58, FM 2.82)
굵은골재	25mm 채석(비중 2.61, FM 7.10)
수중불분리성 혼화제	분말형셀룰로오스계
고성능감수제	분말형 멜라민계

에 증류수를 일정량 넣고 콘크리트시료 약 500g을 투입용기에 계량 후 수중자유낙하시킨다. 수중자유낙하 종료 후 3분간 정치시킨 후 흡인장치를 이용하여 침하된 시료를 산란시킴이 없이 비이커에서 일정량의 현탁액을 분취하고, 그 분취된 현탁액으로 pH 및 현탁물질량을 측정하여 수중분리도의 척도로 하였다.

### (3) 수중제작공시체

몰드( $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ) 상면으로 부터 10cm 높이 까지 물을 채운 용기에 몰드를 넣고 수면에서 콘크리트를 자유낙하시켜 공시체를 제작(이하

표 2. 수중불분리성 콘크리트 배합

No.	W/C (%)	S/a (%)	단 위 재 료 량(kg/m <sup>3</sup> )			
			C	W	S	G
1	55	40	400	220	632.63	959.98
2	55	38	400	220	620.61	1024.35
3	55	42	400	220	685.94	958.26
4	50	40	400	200	673.91	1022.62
5	60	40	400	240	632.62	959.98

수중제작공시체)하였으며, 비교용으로 KS F 2403에 의거하여 공시체를 제작(대기중에서 제작, 이하 기중제작공시체)하였다. 탈형후 수중제작 및 기중제작공시체는 표준양생하여 재령 3, 7 및 28일에서 압축강도를 측정하였다.

#### (4) 콘크리트 응결

수중불분리성 콘크리트 시료를 No. 4체로 체가름하고 수중과 기중에서 응결시험용 공시체를 제작 KS F 2436에 의거하여 응결시험을 실시하였다.

#### (5) 슬럼프 플로우 경시변화

수중불분리성 콘크리트의 운반시간에 따른 작업성 저하를 검토하기 위하여 강제식 믹서에서 수중불분리성 콘크리트를 제조하고 가정식 믹서에 옮겨 회전수 3rpm으로 경과시간 0, 15, 30, 60 및 90분에서 슬럼프 플로우를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 수중불분리성 혼화제 및 고성능감수제 첨가량의 영향

물-시멘트비 및 수중불분리성 혼화제의 첨가량에 따른 고성능감수제의 첨가량 변화를 고찰한 결과가 그림 1이다. 목표 슬럼프 플로우는  $50 \pm 3\text{cm}$ 으로 하였다.

실험결과 물-시멘트비에 따라 약간 상이하기는 하지만 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 증가함에 따라 목표 슬럼프에 도달하기 위한 고성능감수제의 사용량이 급증하고 있는 경향을 나타내고 있다. 특히 물-시멘트비 50% 콘크리트 배합의 경우 고성능감수제의 적정첨가량(분말 1.0% 내외)을 훨씬 상회하는 첨가량을 나타내고 있다.

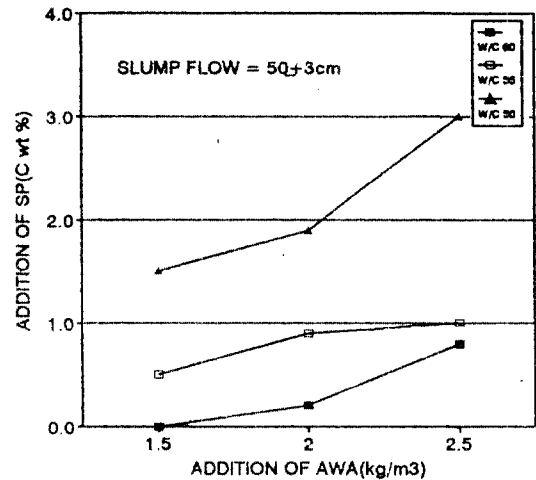


그림 1. 고성능감수제 첨가량의 변화

#### 3.2 수중분리도

수질환경을 보호하기 위하여 제정된 수질환경보호법의 공업폐수 방류기준<sup>4)</sup>을 근거로 하여 수중 콘크리트공사에서 발생하는 시멘트 유실에 의한 수질오탁 허용한도는 청정지역의 경우 부유물질량이  $50\text{mg}/\text{l}$ 이하로 규정되어 있다.

본 실험에서는 수중에 콘크리트 타설중 발생하는 시멘트 유실에 의한 수질오탁 정도를 측정하기 위하여 프레스 상태의 콘크리트를 수중에 자유낙하 시켰을 때, 그 현탁액으로부터 현탁물질의 양, 현탁액의 pH를 측정하여 수중분리도의 척도로 하였다.

그림 2는 물-시멘트비에 따른 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 현탁물질량 및 pH를 측정한 결과이다. 물-시멘트비에 따라 약간 상이하기는 하나, 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 증가함에 따라 현탁물질량과 pH가 감소하고 있음을 알 수 있다.

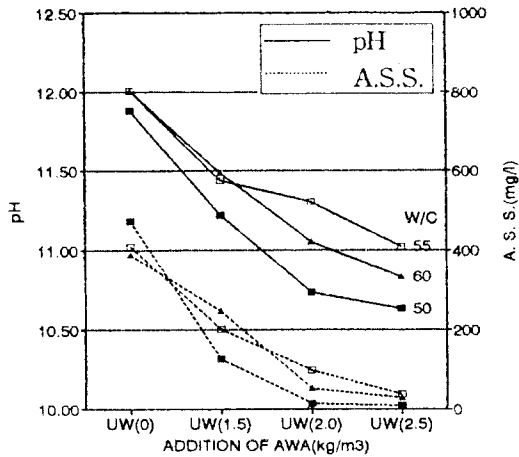


그림 2. 물-시멘트비별 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 현탁물질량과 pH

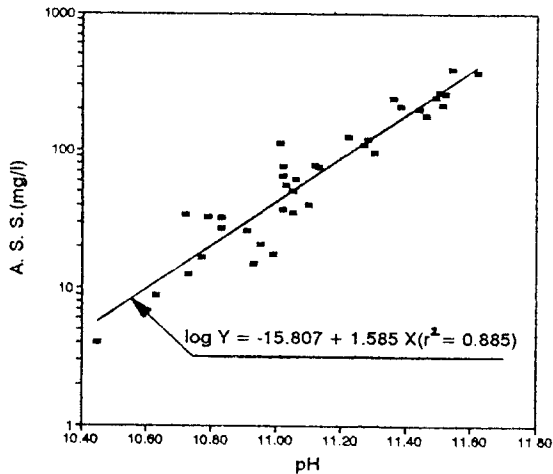


그림 3. 현탁물질량과 pH의 관계

그림 3은 현탁물질량에 따른 현탁액의 pH 변화를 나타낸 것이다. 현탁물질량은 수중에 콘크리트 타설시 유실된 시멘트 성분이 대부분이므로 현탁물질량이 많을수록 현탁액의 pH가 증가하며, 그 상관정도도 높게 나타남을 알 수 있다. 따라서 수중불분리성 혼화제의

첨가량 증가에 의해 수중분리저항성을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

그림 4는 현탁물질량에 따른 각 재령별 수중/기중 압축강도비를 나타낸 것이다. 수중에 타설된 콘크리트의 압축강도에 대한 신뢰성 확보를 위한 재령 28일의 수중/기중 압축강도비가 80% 이상 되기 위해서는 본 연구의 범위에서 현탁물질량이 50 mg/l 이하이어야 할 것으로 생각된다.

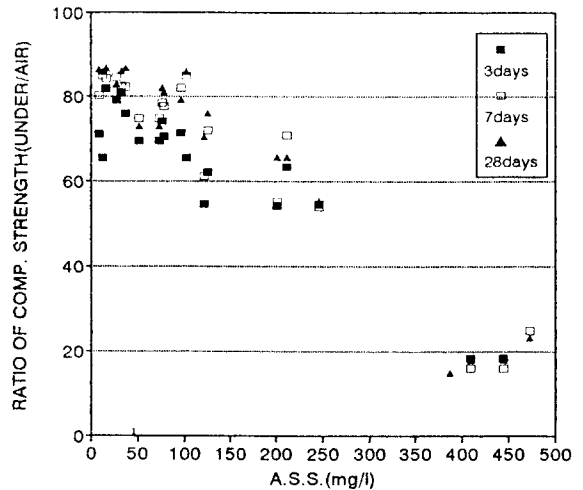


그림 4. 현탁물질량과 수중/기중 압축강도비

그림 2, 3 및 4의 실험결과로부터 수중에 타설되는 콘크리트의 현탁물질량 및 현탁액의 pH측정으로 수중불분리성 콘크리트의 압축강도 추정이 가능한 자료로서 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

### 3.3 슬럼프플로우 경시변화

수중불분리성 콘크리트는 보통콘크리트와 비교하여 상대적으로 높은 점성과 고성능감수제의 사용으로 시간경과에 따른 유동성 손실이 문제점으로 지적될 수 있다. 그러나 셀룰

로오스계 수중불분리성 혼화제는 콘크리트의 응결을 지연시키는 특성이 있기 때문에 유동성 유지에 유리하다는 연구보고도 있다.<sup>1)</sup>

그림 5는 수중불분리성 혼화제 첨가량을 변화시켜 경과시간에 따른 유동성 손실율을 나타낸 것이다. 수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 경우 경과시간에 따른 유동성 손실율이 완만한 기울기를 나타내고 있으며, 경과시간 90분에서 약 20%의 유동성 저하를 나타냈다. 그러나 수중불분리성 혼화제 무첨가의 경우 경과시간 60분 이후에 콘크리트의 유동성이 급격히 저하되고 있음을 알 수 있다.

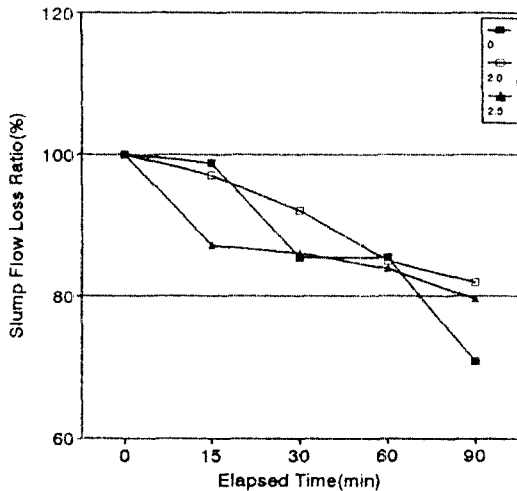


그림 5. 수중불분리성 콘크리트의 경과시간에 따른 유동성 손실

### 3.4 수화열 및 응결특성

셀룰로오스계를 주성분으로 하는 수중불분리성 혼화제는 시멘트 응결을 지연시키는 것으로 알려져 있으며, 이에 대해서는 시멘트에 수중불분리성 혼화제가 흡착되기 때문에 응결 지연이 발생한다는 흡착설<sup>2)</sup>과 고점성 또는 수용액의 포화도 관계에 의한 설<sup>3)</sup> 등이 있다.

수중불분리성 혼화제 및 고성능감수제의 첨

가량에 따른 시멘트 페이스트의 수화지연을 검토하기 위하여 미소수화열량계를 이용하여 경과시간 48시간에서 수화발열량을 측정하였다. 물-시멘트비는 55%로 하였으며, 수중불분리성 혼화제 첨가량 3수준(0, 1.5 및 2.5kg/m<sup>3</sup>), 고성능감수제 첨가율 4수준(0, 1, 3 및 5%)으로 변화시켰다.

그림 6은 수중불분리성 혼화제의 첨가량에 따른 수화발열량을 나타낸 것으로 시멘트 수화발열량에 미치는 영향은 고성능감수제 첨가에 의한 것 보다는 수중불분리성 혼화제 첨가에 의한 영향이 더 큼을 알 수 있다. 따라서 수중불분리성 콘크리트의 응결지연은 수중불분리성 혼화제 첨가에 의한 영향이 지배적인 것으로 생각된다.

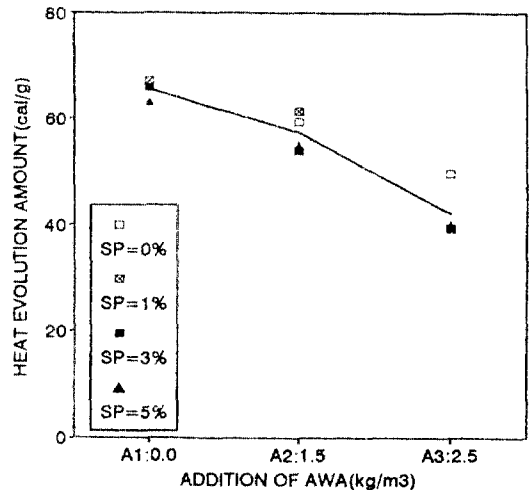


그림 6. 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 수화발열량

그림 7은 수중불분리성 혼화제 첨가량 따른 응결시간 측정결과를 나타내었다.

수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트는 초결 및 종결 모두 무첨가와 비교하여 약 2배

정도의 응결지연을 나타내었으나, 첨가량 변화에 따른 큰 유의차는 발견할 수 없었다. 이것은 수중불분리성 혼화제의 점도와 치환도(셀룰로오스 분자의 수산기량)을 변화시켜 시험한 大友<sup>5)</sup> 등의 실험결과와 일치 하는 것으로서 수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 응결지연은 시멘트 입자 표면에 흡착된 수중불분리성 혼화제가 응결을 지연시키는 것이라 생각된다.

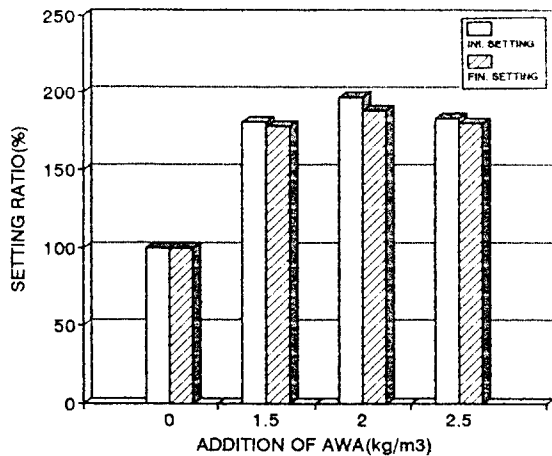


그림 7. 수중불분리성 콘크리트의 응결특성

### 3.5 압축강도

수중불분리성 콘크리트의 강도특성을 조사하기 위하여 수중불분리성 혼화제 첨가량과 재령별 수중제작 콘크리트 및 기중제작 콘크리트의 압축강도 측정결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8로부터 수중불분리성 혼화제가 첨가되지 않은 수중제작 콘크리트의 압축강도는 수중불분리성 혼화제가 첨가된 수중제작 콘크리트의 압축강도에 비하여 측정된 모든 재령에서 압축강도가 매우 낮게 발현되고 있

음을 알 수 있으며, 수중불분리성 혼화제 첨가량이 증가함에 따라 수중에 타설된 콘크리

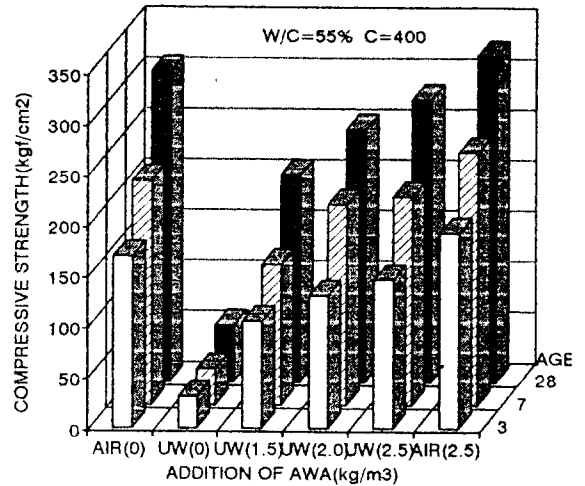


그림 8. 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 압축강도 측정결과

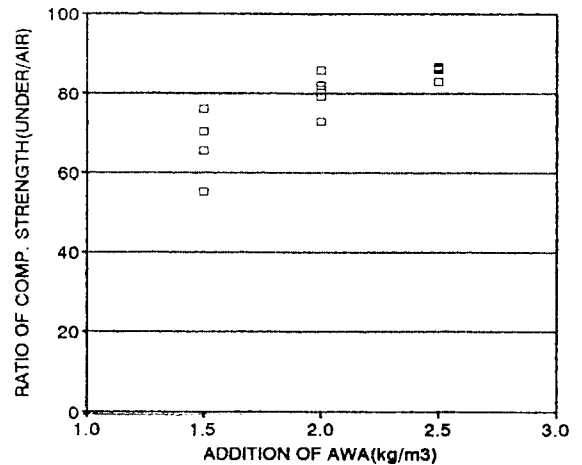


그림 9. 재령 28일의 수중/기중 압축강도비(W/C= 50, 55 및 60%)

트의 시멘트 유실이 적기때문에 수중제작 콘크리트(UW)의 압축강도는 증가하는 결과를 나타내고 있다. 또한 수중불분리성 혼화제 첨가 유무에 따른 기중제작 콘크리트의 압축

강도 측정결과(AIR(0) 및 AIR(2.5))는 수중불 분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트가 약간 높은 압축강도를 발현하고 있다. 이것은 수중불 분리성 혼화제가 첨가된 콘크리트의 한가지 특징인 셀프레벨링성이 압축강도 증진에 기여한 것으로 생각된다.<sup>6)</sup>

그림 9는 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 재령 28일에서 수중/기중 압축강도비를 나타낸 것이다. 이 그림으로 부터 수중불분리성 콘크리트의 압축강도에 대한 신뢰성 확보를 위한 재령 28일 수중/기중 압축강도비가 80% 이상 발현되기 위해서는 본 연구의 범위에서 수중불분리성 혼화제 첨가량은 2.0-2.5kg/m<sup>3</sup> 이상이어야 할 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

이상의 실험결과 다음의 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 수중에 타설된 콘크리트의 압축강도에 대한 신뢰성 확보를 위한 재령 28일의 수중/기중 압축강도비가 80% 이상 되기 위해서는 본 연구의 범위에서 현탁물질량이 50mg/l 이하 이어야 함을 알 수 있었다.

(2) 경과시간에 따른 슬럼프 플로우 저하율을 측정한 결과 수중불분리성 혼화제를 첨가한 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프플로우 유지 기능은 우수한 것으로 생각된다.

(3) 수중 콘크리트 구조물의 압축강도에 대한 신뢰성 확보, 수질오탁방지 등을 고려한 수중 불분리성 혼화제의 적정 첨가량은 본 연구의 범위에서 2.0 - 2.5kg/m<sup>3</sup>이었다.

(4) 수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트는 무첨가 콘크리트와 비교하여 약 2배 정도의 응결지연을 나타내었다.

#### 참고문헌

- (1) 立畑節郎, 特殊水中コンクリート, Gypsum and Lime, No. 213, p43-48, 1988
- (2) 中川良 등, 低發熱高流動性コンクリートに関する基礎研究, 콘크리트工學論文集, Vol. 1, No. 1, p 95-108, 1990. 1
- (3) 國府勝郎, 水中不分離性コンクリートの流動, 凝結および強度發現性狀に對するセメントおよび混和材料の影響, 水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集, p 37-44, 1990.8
- (4) 환경공해실무대전(상) 제2편, 산업기술연구원, p 362,
- (5) 大友 健 등, 特殊水中コンクリートの凝結特性に及ぼす材料の影響に関する研究, 콘크리트工學年次論文報告集, 11-1, p 385-390, 1989
- (6) 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案), 土木學會, 1991