

# 수중온도가 수중불분리성 콘크리트의 초기강도에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

## Water temperature effects on the early strength characteristics of antiwashout underwater concrete

이 승 훈\*  
Lee, Seung-Hoon

정 재 홍\*\*  
Jeong, Jae-Hong

안 태 송\*\*\*  
Ahn, Tae-Song

원 종 필\*\*\*\*  
Won, Jong-Pil

### ABSTRACT

Recently the use of the underwater concrete with the antiwashout admixture is increased considerably. When we intend to apply it to the field, we must consider the water temperature effect.

In this study, we investigate the properties of setting time, early strength, hydration temperature history and core strength with the antiwashout underwater concrete in the water temperature 8°C, 14°C and 22°C respectively. As a result of experiment, as the water temperature is decreasing, setting time is delayed twice or three times and early strength is lower from 10% to 50%. Therefore to compensate the decrease of the early strength, we used the accelerator and investigated the concrete properties.

### 1. 서론

최근, 수중불분리성 콘크리트는 부산 광안대교, 삼천포대교 등 교량 기초공사와 양화대교, 한남대교와 같은 한강상의 교량 보강공사 등 대형 수중콘크리트 구조물의 시공 및 보수공사용으로 적용범위를 점차 확대해 나가고 있다.

수중불분리성 콘크리트를 시공하는 해수의 계절별 온도변화는 지역별로 차이는 있으나, 겨울철의 경우 약 5°C까지 떨어지게 되며 여름철의 경우 약 22°C정도까지 상승한다. 따라서, 동일한 배합의 수중불분리성 콘크리트를 타설할 경우 수중온도의 저하로 인해 수중불분리성 콘크리트의 경화지연이 발생하고, 이것은 초기강도의 감소뿐만 아니라 장기강도에도 영향을 미치게 된다.

\* 정희원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원

\*\* 정희원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 주임연구원

\*\*\* 정희원, 한국도로공사 도로연구소 재료연구실장

\*\*\*\* 정희원, 건국대학교 농공학과 교수

본 연구에서는 각 지역별 온도측정자료를 근거로 수중 평균온도를 계절별로 각각 22℃(여름), 14℃(봄·가을), 및 8℃(겨울)로 설정하여 수중에서의 용결시간, 수중제작 공시체의 압축강도, 원통형 부재(직경 50cm)의 수화온도이력 및 코아시편의 압축강도를 측정하였으며, 또한 수중불분리성 혼화제에 경화촉진제를 첨가하여 각 온도에 따른 공시체의 강도, 원통형 부재의 수화온도이력 및 코아시편의 압축강도를 측정하므로써, 수중온도 변화에 따른 수중불분리성 콘크리트의 초기경화 특성 및 강도변화에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

S사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	강열감량 (%)	비중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
21.95	6.59	2.81	60.1	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112

#### 2.1.2 골재

실험에 사용된 골재는 굵은골재의 경우 비중 2.67, 흡수율 0.7%, 조립율 6.86인 최대크기 25mm의 쇄석을 사용하였으며, 모래는 비중 2.60, 흡수율 1.0%, 조립율 2.80인 해사를 세척하여 염분을 제거한 후 사용하였다.

#### 2.1.3 혼화제

수중불분리성 혼화제는 증점제 및 소포제가 함께 분말형태로 이루어져 있는 HPMC계통의 것을 사용하였으며, 유동화제는 멜라민계를 사용하였다. 각각의 첨가량은 수중불분리성 혼화제의 경우 단위수량에 대하여 1.2%를 투여하였으며, 유동화제의 경우 단위시멘트량에 대하여 1.8%를 첨가하였다.

## 2.2 실험내용

본 실험에서의 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로우 및 공기량 기준은 슬럼프 플로우 50±2cm, 공기량 3±1%을 기준으로 하였으며, 실험 I에서는 각 온도 조건별로 수중에서의 경화시간 및 초기강도를 측정하였으며, 직경 50cm인 원통형 강관기둥을 제작하여 같은 온도조건에서 수화온도이력 및 재령 7일에서의 코아시편의 압축강도를 측정하였다. 실험 II에서는 경화촉진제를 첨가한 수중불분리성 혼화제를 사용하여 실험 I과 동일한 조건하에서 같은 측정항목 및 재령에 대해서 실험을 수행하였다. 표 2는 실험내용을 나타낸 것이다.

표 2 실험내용

실험구분	온도조건	측정항목	측정재령
I (경화촉진제 무첨가)	22℃ 14℃	경화시간 공시체 압축강도	- 3일, 5일, 7일, 14일
II (경화촉진제 첨가)	8℃	원통형실험체 코아시편 압축강도 원통형실험체 수화온도이력	7일 4일간

### 2.3 콘크리트 배합

표 3은 실험에 사용된 수중불분리성 콘크리트의 배합을 나타낸 것이다.

표 3 수중불분리성 콘크리트 배합표 (25-240-SF50)

W/C (%)	S/a (%)	단위재료량 (kg/m <sup>3</sup> )				혼화제 (kg/m <sup>3</sup> )	
		W	C	S	G	수중불분리성 혼화제	유동화제
50.0	42.0	210	420	684	971	1.2% (×W)	1.8% (×C)

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 수중불분리성 콘크리트의 응결특성

수중불분리성 콘크리트의 수중온도변화에 따른 응결특성을 파악하기 위하여 수온을 각각 22℃, 14℃ 및 8℃로 고정시킨 후 수중에서의 응결시간을 측정하였다. 응결시험은 상온이며 기준인 경우를 기준으로 하고 있지만, 본 실험에서는 수중에서의 응결시간을 측정함으로써 현장 상황에 좀더 가까운 조건을 적용하였다.

수중불분리성 혼화제는 경화촉진제를 첨가하지 않은 경우와 경화촉진제를 첨가한 경우로 나누어 실험을 수행하였으며, 경화촉진제는 장기강도에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 최대량을 첨가하였으며, 그 양은 시멘트량의 0.005%이다. 그림 1은 경화촉진제의 첨가 유무 및 수중온도에 따른 응결이력 및 응결시간을 나타낸 것이다.

그림 1에 나타난 결과에 의하면 경화촉진제를 첨가하지 않은 경우는 22℃ 수중에서 종결까지 20.5시간이 소요되었으나, 14℃ 및 8℃의 경우 각각 36시간 및 56.5시간이 소요되어 22℃에 비하여 거의 2~3배 정도 응결이 지연됨을 알 수 있었다. 또한, 초결에서 종결에 이르는 시간도 22℃에 비하여 거의 1.5~2배 정도 더 소요되었다. 그러나 경화촉진제를 첨가한 경우는 경화촉진제를 첨가하지 않은 경우에 비해서 종결시간이 22℃, 14℃ 및 8℃에서 각각 3시간, 6시간 및 12시간이 단축되었으며, 초결에서 종결에 이르는 시간도 각각 1시간씩 단축되었다.

### 3.2 수중불분리성 콘크리트의 초기강도특성

경화촉진제의 첨가 유무에 따라 수중불분리성 콘크리트의 압축강도를 측정한 결과는 그림 2에 나타난 바와 같다. 압축강도는 22℃, 14℃ 및 8℃의 각 수중온도에 따라 재령 3일, 5일, 7일 및 14일에 대해서 측정하였다.

수중온도가 22℃인 경우의 수중양생공시체의 압축강도 측정값을 기준으로 하여 수중온도가 14℃ 및 8℃인 경우의 압축강도를 상대 비교한 결과 재령 3일에서는 각각 52.7% 및 18.6%를 나타내었으며,

재령 5일에서는 78.1% 및 37.3%를 나타내었다. 또한, 재령 7일에서는 22℃의 압축강도 측정값에 비해서 14℃의 경우 약 73.4%, 8℃에서는 45.7%의 강도발현율을 나타내었으며, 재령 14일에서는 14℃의 경우 약 86.5%, 8℃에서는 74.9%를 나타내었다.

경화촉진제를 첨가하지 않은 경우에 대해 첨가한 경우의 압축강도 측정결과를 비교하면 재령 3일의 경우 22℃, 14℃ 및 8℃에 대한 각 온도별 압축강도 측정값은 각각 22.5%, 11.8% 및 58.3%가 증가하였으며, 재령 5일에는 각각 18.3%, 9.8% 및 28.6%가 증가하였다. 또한 재령 7일에는 경화촉진제를 첨가하지 않은 경우에 비해서 각각 17.6%, 39.0% 및 61.5%가 증가하였으며, 재령 14일에서는 각각 9.5%, 16.8% 및 21.8%가 증가하였다.

이러한 결과로부터 수중불리성 콘크리트의 높은 점성에 의한 경화지연은 수중온도가 낮아질수록 초기강도 발현에 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 14℃의 경우 7일재령에서 경화촉진제를 넣지 않은 경우의 22℃ 수중양생공시체와 유사한 강도값을 충분히 발현함으로써 경화촉진제를 이용하여 응결시간만을 조절하여도 낮은 수온에 의한 강도 저하를 보상할 수 있으나, 8℃의 경우 경화촉진제를 첨가하여도 약 10% 정도의 강도저하가 발생하여 실내배합시 현장배합에 대한 강도할증율을 상향 조정할 필요가 있는 것으로 사료된다.

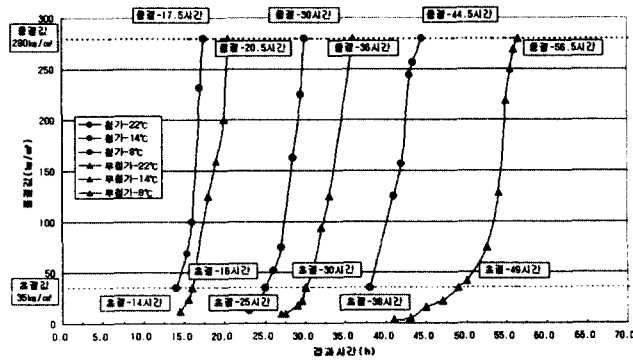


그림 1 경화촉진제 첨가 유무에 따른 수중온도별 응결특성

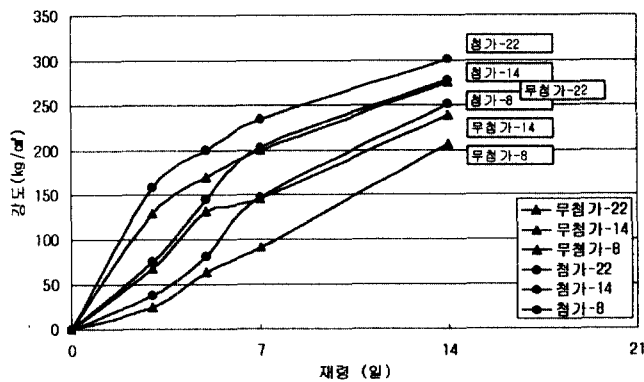


그림 2 재령별 압축강도 측정결과

### 3.3 원통형실험체의 수화온도이력 및 강도발현특성

각 온도에 따른 경화지연이 초기강도에 미치는 영향을 수화온도이력으로부터 알아보기 위하여 직경 50cm, 높이 50cm인 원통형 실험체를 제작하여 수중타설 및 수중양생을 실시한 후, 재령 7일에 이 실험체로부터 코아시편을 채취하여 압축강도를 측정하였다.

#### 3.3.1 수화온도이력

그림 3은 각 수중온도에 따른 원통형 실험체의 중심부 및 표면부의 수화온도이력을 나타낸 것이다.

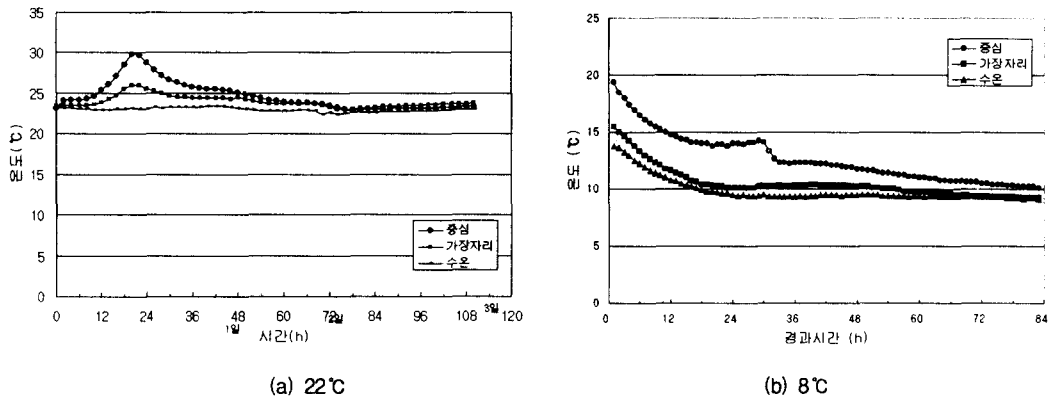


그림 3 수중분리성 콘크리트의 수화온도이력

원통형 실험체의 수화온도이력을 측정한 결과 수온 22°C일 때의 콘크리트 온도는 중심부에서 21시간만에 약 30°C까지 상승하였다. 그러나, 8°C에서는 내부온도의 상승은 없었고, 초기 타설온도로부터 점차 온도가 하강하여 약 3일 후에는 거의 수온과 동일한 온도를 나타내었다. 수중에서의 수화온도이력은 최고온도값이나 온도이력이 기중과는 다른 경향을 나타내었으며, 22°C의 경우 상승부 및 하강부의 형태가 어느정도 기중과 유사한 형태를 나타내었으나, 8°C의 경우 상승부는 나타나지 않았으며 계속 온도가 하강하는 모습을 나타내었다. 이것은 콘크리트의 초기강도가 수중온도에 영향을 받는다는 것을 간접적으로 나타내는 결과라고 사료된다.

#### 3.3.2 코아시편의 압축강도

온도별로 수중양생된 원통형 실험체로부터 재령 7일에서 코아시편을 채취한 후, 직경 10cm, 높이 20cm의 원주형 공시체를 제작하여 압축강도를 측정하였다. 그림 4는 코아공시체의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

그림 4에 따르면, 14°C와 8°C에서 양생한 실험체의 코아시편의 압축강도 발현율은 22°C에서 양생한 실험체의 코아공시체의 압축강도에 비해 각각 83% 및 73%의 강도발현율을 나타내었다. 또한, 이것은 3.2절의 수중제작 공시체의 압축강도에 비해서 각각 5%, 16% 및 40%의 강도 증가율을 나타내었으며, 22°C의 재령 7일에서의 공시체 강도에 대해서는, 각각 25kg/cm<sup>2</sup>, 46kg/cm<sup>2</sup>의 강도차를 나타내었다.

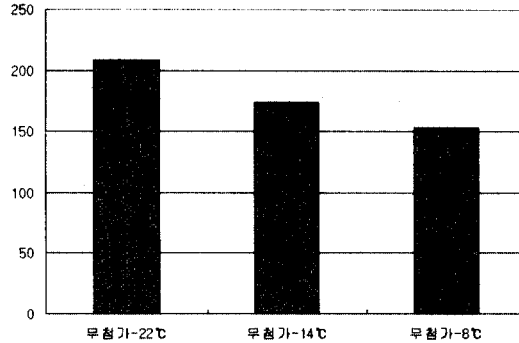


그림 4 재령 7일의 코아공시체 압축강도 (수중제작)

#### 4. 결론

(1) 수중온도의 변화에 따른 수중불분리성 콘크리트의 응결시간은 수온이 22℃일 때를 기준으로 14℃ 및 8℃에서 각각 1.8배 및 2.8배 지연되었다. 그러나, 경화촉진제(C×0.005%)를 첨가한 경우에는 경화촉진제를 첨가하지 않은 경우의 수온 22℃일 때를 기준으로 14℃ 및 8℃에서 각각 1.4배 및 2.2배로 종결에 도달하는 시간이 단축되었다.

(2) 수중불분리성 콘크리트의 수중양생온도 즉, 타설시 수온에 따라 콘크리트의 초기 강도는 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 그에 따른 적절한 대책이 강구되어야 할 것으로 사료된다. 실험결과에 의하면 14℃의 경우 경화촉진제를 첨가함으로써 강도감소를 최소화하여 구조물 강도에 큰 영향은 없을 것으로 사료되지만, 8℃의 경우에는 경화촉진제의 첨가만으로는 구조물의 설계강도를 만족시킬 수 없으며, 배합설계시 강도할증율을 상향조정해야 할 것으로 사료된다.

(3) 직경 50cm, 높이 50cm인 원통형 실험체를 제작하여 수화온도이력을 측정된 결과, 수온 22℃일 때는 콘크리트가 21시간만에 중심부에서 최대 30℃까지 상승하였으나, 8℃의 경우에는 내부온도의 상승은 없었고, 초기 타설온도에서 계속적인 온도하강 현상이 발생하였다. 따라서 수중에서의 콘크리트의 수화온도이력은 기중과는 다른 경향을 나타냄을 알 수 있으며, 특히 수온이 낮을 경우에는 온도 상승부가 나타나지 않고, 이것이 강도저하의 원인이 되는 것으로 사료된다.

(4) 원통형 실험체의 재령 7일 코아시편의 압축강도는 22℃의 수온에서 양생한 경우에 대해 8℃의 경우 약 73%, 14℃에서는 약 83% 정도의 강도가 발휘되어 수중제작 공시체의 경우보다는 다소 큰 압축강도값을 나타내었다. 이것은 구조물이 커짐에 따라 외부수온의 영향이 다소 줄어들므로써 강도저하가 약간 감소된 것으로 사료된다.