

# 양생온도에 따른 수중불분리성 콘크리트의 물리·역학적 특성

## Mechanical and Physical Properties of Antiwashout Underwater Concrete under Different Curing Temperatures

이병덕\*  
Lee, Byung-Duck

원종필\*\*  
Won, Jong-Pil

안태송\*\*  
Ahn, Tae-Song

---

### Abstract

This paper is evaluated for properties of aggregate and antiwashout admixture not only to minimize segregation and water contamination of underwater concrete but also to meet concrete quality required.

Two antiwashout admixtures used in this study were available domestically and slump flow, pH, setting time, and filling property of fresh concrete and the compressive strength, flexural strength under water and in the air under 2 different curing conditions (10°C and 20°C) were measured.

Compressive strength ratio of specimens cured in and water temperature 10°C/20°C added HPEC and HPMC was 64% and 89%, respectively. Relative compressive strength of 2 kinds observed higher concrete added HPEC, 3% at 10°C curing temperature, 34% at 20°C. The flexural strength of specimens made under water was 1/4~1/6 of compressive strength similar to the existing data in the literature.

---

## 1. 서 론

수중에서 콘크리트의 타설시 최대 결함은 콘크리트가 물에 씻겨서 재료분리가 발생하고, 지상에서 처럼 다짐이 곤란하여 철근과의 부착이 떨어진다는 점이다. 또한 수중콘크리트에서는 콘크리트 타설

---

\* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 연구원

\*\* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

후 쉽게 결함을 발견하기 힘들며, 실제 결함이 생겼다 해도 보수·보강이 간단하지 않다.

이러한 이유로 수중에서 콘크리트 타설시 재료분리 저항성을 높이기 위해 수중불분리성 혼화제를 사용하는데, 만약 수중불분리성 혼화제의 첨가량을 높이면 콘크리트의 점착력이 높아져 점성으로 인한 워커빌리티는 현저하게 감소하게 되고, 유동성이나 충전성에도 영향을 주게 된다. 시공 조건에 적합한 배합을 얻기 위해서는 수중불분리성 혼화제와 유동성을 향상시킬 수 있는 혼화제의 적절한 조합으로 최적 배합비를 결정해야 한다.

본 연구에서는 서로 다른 셀룰로오스계의 수중불분리성 혼화제(HPMC와 HPEC)의 성능 검토와 타설 및 양생시 온도의 변화가 수중불분리성 콘크리트의 강도발현에 얼마만큼의 영향을 끼치는가를 고찰하려 한다.

## 2. 수중불분리성 콘크리트의 특성

### 2.1 수중불분리성 혼화제의 특징

수용성 고분자인 수중불분리성 혼화제는 수소결합에 의해 혼합된 물의 일부를 고분자와 결합하게 된다. 나머지 자유수는 분산된 고분자의 망상조직에 고립되어 거동에 제한을 받고, 그 결과 수용액의 항복값이 높아지게 되어 물을 내부에 함유하고 있는 상태로 된다.<sup>(1)</sup>

특히 셀룰로오스계와 같은 장섬유상의 분자구조는 시멘트 입자간, 시멘트와 골재사이의 가교역할을 수반함에 따라 외부의 물과 접촉하여도 분리되지 않는다. 혼합된 물이 시멘트 입자간극에 의해 형성된

모세관 공극을 이동하지 못할 경우 콘크리트의 블리딩이 발생하지 않고, 이로 인해 골재사이의 윤활 작용을 하는 수분이 빨리 손실되지 않으므로 양호한 유동성 효과를 발휘할 수 있게 된다.

수중불분리성 콘크리트에 사용하는 혼화제는 수중에서 분리저항성을 높이기 위해 첨가하는 수중불분리성 혼화제, 셀프레벨링을 높이기 위해 첨가하는 유동화제 및 유동성의 유지특성을 조정하는 AE감수제가 첨가되어 있다. 수중불분리성 콘크리트의 구체적인 특징을 보면, 물의 세정작용에 대한 저항성이 크며, 또한 점성이 크므로 재료분리가 없이 높은 유동성을 발휘하고, 높은 유동성에 의해 충전성이나 셀프 레벨링이 향상, 블리딩이 거의 발생하지 않는다.

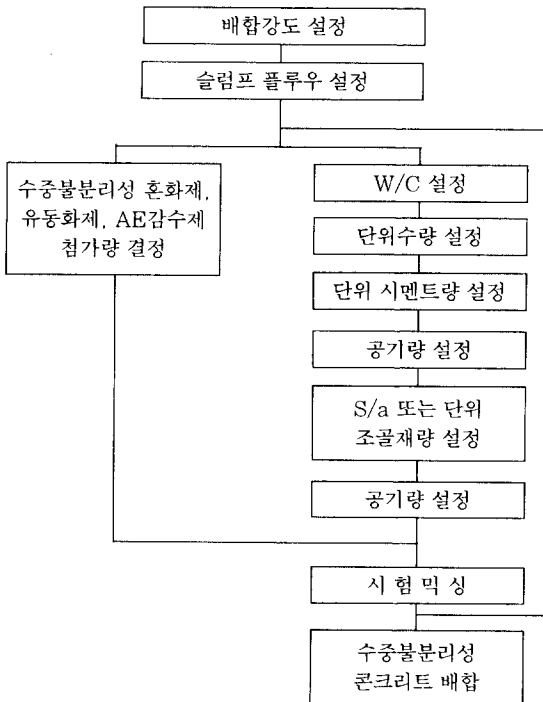


Fig. 1 Flow chart of mix design of antiwashout underwater concrete<sup>(5)</sup>

### 2.2 수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 배합설계

수중불분리성 콘크리트의 배합설계는 일반적으로 시멘트, 물, 잔골재, 굵은골재, 유동화제 및 수중불분리성 혼화제의 구성 비율을 결정하는 내용

으로 이루어져 있다. 수중불분리성 콘크리트의 품질에 영향을 미치는 중요 인자로서는, 강도에 대한 물·시멘트비, 증점제 첨가량, 워커빌리티 및 충전성에 대한 단위수량, 유동화제 첨가량, AE감수제 첨가량, 잔골재율 등이 있다.

수중불분리성 콘크리트의 배합설계 순서는 일반 콘크리트의 배합방법과 동일하며 배합 결정시 수중 불분리성 혼화제의 양과 고유동화제의 적정한 첨가량을 산정하여야 한다. 그림 1은 수중불분리성 콘크리트의 일반적인 배합설계 순서를 보여준다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험재료

시멘트는 국내에서 생산된 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 잔골재는 세척사, 굵은골재는 비중 2.63, 최대치수 25mm 크기의 쇄석을 사용하였다. 수중불분리성 혼화제 및 유동화제는 현재 국내에서 시판되고 있는 HPEC(Hydroxy Propyl Ethyl Methyl Cellulose)와 HPMC(Hydroxy Propyl Methyl Cellulose) 제품을 사용하였다. 혼화제의 사용량은 회사에서 추천한 표준량으로 슬럼프 플로우 시험을 거친 후 소정의 슬럼프 플로우 값을 얻을 수 있는 범위에서 결정되었다.

#### 3.2 배합방법

배합방법은 일본 토목학회 “수중불분리성 콘크리트 설계시공 지침(안)”<sup>(2)</sup>에 따라 (시멘트+잔골재+굵은골재+수중불분리성혼화제):60초간 건비빔→(물+AE 감수제):120초→(고유동화제):60초, 총 소요시간은 240초 동안 비빔 하였다. 공칭 믹서용량은 70 l, 3축 강제식 믹서로서, 1단계에서는 20rpm, 2단계 및 3단계에서는 44rpm으로 하였다.

본 배합에 대해서는 우선적으로 수중불분리성 콘크리트의 작업성을 확보하기 위하여 슬럼프 플로우에 중점을 두어 배합설계를 실시하였고 기본 배합은 표 1에 나타내었다.

Table 1 Mix proportion

Kinds	G <sub>max</sub> (mm)	W/c (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	s/a (%)	Air content (%)	Antiwashout admixtures (kg/m <sup>3</sup> )	Super- plasticizer (kg/m <sup>3</sup> )	Volumetric mix (l/m <sup>3</sup> )		
								C	S	G
HPMC	25	44	220	40	4	3	8	159	256	325
HPEC						2.5	7.5			

#### 3.3 시험항목 및 측정방법

##### 3.3.1 굳지않은 콘크리트

다짐없이 자기충전성을 위해서는 수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 슬럼프 플로우가 최소 40cm 이상을 유지해야 가능하다. 분리저항성 실험은 pH 및 탁도의 측정으로 결정되므로 본 실험에서는 일본 토목학회의 방법<sup>(2)</sup>에 의거하였다.

본 연구에서 사용한 유동성 실험은 슬럼프 콘을 제거한 다음 5분 경과 후 콘크리트가 퍼진 길이 2방

향을 측정하여 이의 평균값을 슬럼프 플로우 값으로 하였다.

공기량 시험은 KS F 2421의 굳지않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험법으로 측정하였으며, 응결성상시험은 콘크리트를 No.4의 체로 체가름한 후 KS F 2436의 방법에 따라 관입저항침에 의하여 응결 시간을 측정하였다.

수중불분리성 콘크리트의 셸프레벨링과 거푸집내 충전성을 측정하기 위한 방법으로는 박스형태의 충전성 측정장치(240×240×500mm)를 사용하였다.

### 3.3.2 굳은 콘크리트

기중 압축강도 측정용 공시체의 제작방법은 KS F 2405에 따라  $\phi 10 \times 20$ cm 압축강도용 몰드를 이용하였고, 휨강도용 공시체 제작방법은 KS F 2407에 따라 공시체 크기는 15×15×53cm로 휨강도용 몰드를 사용하여 콘크리트를 소정의 높이까지 채우고 다짐없이 제작하였다.

수중공시체는 수중불분리성 콘크리트의 압축강도시험용 수중제작 공시체의 제작방법(안)<sup>(5)</sup>에 의거하여 실시하였다.

압축강도시험은 KS F 2405에 따라 수행 하였다. 휨강도용 공시체 제작은 15×15×53cm의 각주형 몰드를 수심 40cm가 유지되는 수조안에 넣고, 수중불분리성 콘크리트의 휨강도용 수중공시체 제작방법(안)<sup>(5)</sup>에 준하여 만들어졌다. 휨강도 측정은 KS F 2407의 중앙점 재하방법에 의거하여 실시하였다.

## 4. 실험결과

### 4.1 굳지않은 콘크리트

#### 4.1.1 분리 저항성

표 2에서 볼 수 있듯이 pH와 탁도 측정결과 HPMC 제품이 HPEC 제품보다 약간 높게 나왔다.

#### 4.1.2 공기량

본 배합에서 설정한 목표 공기량을 4% 이다. HPMC를 첨가한 혼합물에서는 과다공기량이 발생하여 콘크리트 품질에 나쁜 영향으로 작용할 수 있음을 보여준다.

#### 4.1.3 유동성 및 충전성

유동성상은 설계기준값을 모두 만족하였고, 이는 일반적인 수중 구조물에서의 충전성이나 작업성에 적당한 유동성을 보유하고 있다고 할 수 있다. 두 제품이 큰 편차없이 유사하게 나타났다.

#### 4.1.4 응결성상

표 2에서 보는 바와 같이 수온 20℃에서의 응결성상은 시방서 기준<sup>(5)</sup>에 적합한 것으로 나타난 반면, 수온 10℃에서의 초결성상은 HPMC를 첨가한 콘크리트가 느린 것으로 나타나 콘크리트 타설 후 기상변화에 노출되었을 경우 품질관리에 주의를 요하여야 할 것으로 보며, 종결에서도 30시간 이상으로 나타나 혼화제 사용에 주의가 필요하다고 판단된다.

Table 2 Test results of fresh antiwashout concrete

Cement	Antiwashout Admixture	Slump Flow (mm)	Air Content (%)	pH	Turbidity (ppm)	Filling(cm)		Setting Time(hr:min)			
						5min	10min	Curing Temperature			
								10℃		20℃	
						Initial	Final	Initial	Final		
Type I	HPMC	50.15	4.9	11.36	70	0.5	0.5	24:59	30:48	17:47	20:55
	HPEC	53.20	4.2	11.25	60	0.5	0.5	24:50	25:30	14:10	16:29

## 4.2 굵은 콘크리트

### 4.2.1 압축강도

HPMC와 HPEC 제품을 사용하여 수중불분리성 콘크리트를 서로 다른 온도하에서 제조하였을 때의 압축강도 시험결과를 표 3에서 보여준다. 수중불분리성 콘크리트의 압축강도는 배합비, 타설방법, 취급방법 등에 의해 좌우된다. 재령에 따른 압축강도 특성은 보통콘크리트와 유사한 현상을 보였으나, 수중타설시 보다 기중타설에서 재령증가에 따라 강도발현이 더 큰 것으로 나타났다. 이는 수중타설시 재료분리의 정도에 영향을 미치게 된다고 할 수 있다.

Table 3 Compressive strength of antiwashout underwater concrete

Kinds	Curing Temperature	Age of 7 days			Age of 28 days		
		Compressive Strength of Cast in Water (kg/cm <sup>2</sup> )	Compressive Strength of Cast in Air (kg/cm <sup>2</sup> )	Compressive Strength Ratio (%)	Compressive Strength of Cast in Water (kg/cm <sup>2</sup> )	Compressive Strength of Cast in Air (kg/cm <sup>2</sup> )	Compressive Strength Ratio (%)
HPMC	10℃	225	257	88	283	320	88
HPEC		235	238	88	279	315	88
HPMC	20℃	238	270	95	316	334	95
HPEC		245	281	91	325	358	91

HPMC 혼화제를 첨가하여 제작한 콘크리트에서는 양생온도 차이에 따라 강도발현이 민감하게 나타나지 않았는데, 이는 현장수역의 수온이 다소 낮은 장소에서도 배합비의 수정이 필요없이도 적용이 가능한 것으로 품질저하를 초래하지 않을 것으로 사료된다. HPEC 혼화제를 첨가한 콘크리트의 10℃/20℃에서는 36%의 강도증진 양상을 보여 HPEC를 첨가한 콘크리트가 강도 측면에서는 보다 좋은 결과를 보여 주었다. HPMC, HPEC 제품에서의 수중/기중 강도비는 88~95%로 두 제품이 거의 같게 나타났다.

### 4.2.2 휨강도

표 4는 휨강도 실험결과를 보여준다. HPMC 혼화제를 사용하여 제조한 콘크리트의 휨강도는 수중타설시 양생온도 10℃에 비해 20℃에서 12% 정도의, 기중타설에서 4.6% 정도의 강도증진 현상을 보였다.

HPEC 혼화제를 사용한 콘크리트의 휨강도는 수중타설시 20℃/10℃에 대해 10%, 기중타설시 31% 정도의 강도증진 현상을 보였다. 이러한 결과는 압축강도의 강도발현 성상과 유사하고, 양생온도 변화와 현장타설시 수온을 고려한 최적배합비 계산 및 혼화제의 적절한 선택이 요구될 것으로 사료된다.

수중/기중 강도비는 HPMC, HPEC 모두 10℃에서는 비슷한 수준으로 나타났으나, 20℃에서의

Table 4 Flexural strength of antiwashout underwater concrete

Kinds	Curing Temperature	Age of 28 days		Flexural Strength Ratio (%)
		Flexural Strength of Cast in Water (kg/cm <sup>2</sup> )	Flexural Strength of Cast in Air (kg/cm <sup>2</sup> )	
HPMC	10℃	67	83	81
HPEC		65	85	76
HPMC	20℃	79	87	91
HPEC		80	92	87

결과는 HPEC를 첨가한 콘크리트에서 강도비가 상당히 떨어지는 현상을 보였다. 그러나 두종류의 상대적인 강도는 HPEC를 첨가한 콘크리트가 우수한 것으로 나타났다. 10℃, 20℃에서 기중, 수중의 휨강도는 압축강도의 1/4~1/6로서, 기존의 연구보고의 1/5~1/10에 비해 편차가 크지 않았으며, 일본 토목학회에서 제시한 기준에 적합한 것으로 판정할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 수중에 타설된 콘크리트의 압축강도에 대한 신뢰성 확보를 위한 재령 7, 28일의 수중/ 기중 압축 강도비가 80% 이상이 되기 위해서는 탁도가 50 ppm이하 이어야 함을 알 수 있었다.
- 2) 목표 공기량에 미치지 못한 수중불분리성 콘크리트 제품에서는 양생온도 저하시 조기강도 발현이 늦어지는 것으로 나타났으며, 본 배합에 의한 수중불분리성 콘크리트 제조시 적정 공기량은  $4 \pm 0.5\%$ 의 범위가 적합한 것으로 사료된다.
- 3) 슬럼프 플로우의 측정결과 50~56cm로 공동에서의 양호한 충전성을 확보할 수 있을 것으로 판단되며, 충전성 시험 결과에서도 양호한 결과를 얻을 수 있었다.
- 4) 수온 20℃에서의 응결성은 모든 콘크리트가 시방서 기준에 적합한 것으로 나타났다. 수온 10℃에서의 응결성을 보면, HPMC를 첨가한 혼합물에서 초결 및 종결이 지연되어 혼화제의 성분분석과 배합비의 조절이 필요하다. 또한 콘크리트 타설 후 기상변화에 노출되었을 경우 품질관리에 주의를 요한다.
- 5) 수중제작에 의한 압축강도는 시방서의 품질규준(안)의 기준범위에 합격하였다. 보통 양생온도가 증가에 따라 강도가 증진되고, 타설시 수온저하에 따라 강도가 감소하는 것이 판명되었고, 수중불분리성 혼화제의 종류에 따라 강도발현성은 차이가 있었다.
- 6) 수중/기중 압축강도비는 만족할만한 것으로 나타났다.
- 7) 휨강도에서도 압축강도 특성과 거의 유사한 결과를 보여 주었으나, 10℃, 20℃에서 기중, 수중의 휨강도는 압축강도의 1/4~1/6로서, 기존의 연구보고의 1/5~1/10에 비해 우수한 것으로 생각된다. 그러나 HPEC를 첨가한 콘크리트에서는 양생온도 변화에 따라 강도변화가 심하여 세밀한 관리가 필요하겠다.
- 8) 수중/기중 휨강도비는 HPEC를 첨가한 콘크리트가 온도저하에 따라 강도비가 급격히 감소하는 양상을 보였다.

## 참고 문헌

1. Kamal, H. K. : Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties, ACI Structural Journal, Technical Paper, Vol. 92, No. 2, 1995. 3, pp. 164~171.
2. 關博 : 日本土木學會, 水中不分離性コンクリート 設計施工指針(案) のアウトラインセメント, 콘크리트, No. 541, 1992, pp. 49-52.
3. 長瀧重義 : 水中コンクリートの現況と未來, 水中コンクリート工學, Vol. 28, No. 3, 1990. 3.
4. (財)沿岸開發技術研究センター, (財)漁港漁村建設技術研究所 : 水中不分離性コンクリートマニュアル, 山海堂, 1986.
5. 土木學會 : 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案), 1991. 5.
6. 대한토목학회 : 콘크리트 표준시방서, 건설부, 1988.