



# 광물질 혼화재료를 사용한 수중불분리성 콘크리트의 배합 및 품질평가 방안 검토

박용규 <sup>1)\*</sup> · 김현우 <sup>1)</sup> · 윤기원 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>아주산업(주) 기술연구소

## Quality Evaluation and Mix Proportion of Antiwashout Underwater Concrete with Mineral Admixture

Park Yong Kyu,<sup>1)\*</sup> Kim Hyun Woo,<sup>1)</sup> and Yoon Ki Woon<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>AJU Corporation R&D Center, Incheon 404-812, Korea

**ABSTRACT** In this research, the mix proportion of the antiwashout underwater concrete with the mineral admixture was evaluated. It can reduce the amount used of the antiwashout admixture (hereinafter referred to as “AWA”) and satisfy the properties of concrete. In addition, the review for the difference of the test and practical affairs were conducted. Optimized unit quantity of water of antiwashout underwater concrete and the amount used of AWA was revealed by 190 kg/m<sup>3</sup>, 0.9%/W, respectively. In particularly, the mix design is reduced by 5% than the W/B of target strength even though the W and AWA reduced. Therefore, it will have the economical feasibility and qualities including the material separation, resistance characteristic and compressive strength, and etc. The stable value was shown in 1 point of minute passed in the measurement of the turbidity amounts using the turbidimeter after the checker insertion. However, it needs to be reviewed for the interrelationship between turbidity measuring machine and KCI-AD102 standard method. There were no significant differences of compressive strength of specimens in the water depending on the production methods.

**Keywords** : mineral admixture, antiwashout underwater concrete, anti-washout admixture, quality evaluation

### 1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다로 되어 있는 지정학적인 조건과 좁은 국토 면적으로 인하여 해양에 대한 개발이 지속적으로 진행되고 있으며, 이에 발맞춰 건설부분에서도 거가대교, 해상 풍력발전 등 대형 수중 콘크리트 구조물을 이용한 해양 개발로 영역이 확대되고 있다. 또한, 내륙에서도 국가의 발전과 더불어 이동수단의 발전 및 교통량 증가로 인하여 발생하는 교통혼잡 문제를 해소하기 위한 월드컵 대교 등의 수중 구조물 구축이 증가하면서 수중불분리성 콘크리트의 적용 사례가 늘고 있으며, 수중 구조물 구축에 중요한 하나의 기술로 인식되고 있다.<sup>1)</sup>

이러한 수중불분리성 콘크리트의 초기 적용단계에서는 수중불분리성 혼화제와 OPC를 단독으로 사용하여 적용되었으나, 이후 2000년대 초반까지 많은 연구가 진행되면서 플라이 애시(이하, FA)와 고로슬래그 미분말(이하 BS)

등의 광물질 혼화재료를 이용한 수중불분리성 콘크리트의 연구가 다수 진행되어 왔다.<sup>2-4)</sup>

하지만, 광물질 혼화재료를 사용한 수중불분리성 콘크리트는 토목 구조물에서 주요하게 요구되는 장기적인 강도 확보, 수화열 저감, 수밀성 및 내구성의 확보에 장점<sup>5)</sup>이 있음에도 불구하고 초기강도 저하와 재료분리 저항성에 대한 부정적 인식으로 최근까지도 OPC 100%만을 사용한 배합설계가 주를 이루고 있는 실정이다.

또한, 수중불분리성 혼화제의 경우에도 적용 초기의 자료에 근거하여 수중불분리성 혼화제의 사용에 따른 점성에 기인한 유동성 저하를 극복하기 위하여 단위수량을 200~210 kg/m<sup>3</sup>범위로 배합설계되어 구성재료 중 고가의 수중불분리성 혼화제 사용량이 증가함에 따라 경제성이 불리한 배합이 적용되고 있는 실정으로, 기본적인 품질을 만족시키는 범위에서 경제성 확보를 위한 단위수량 저감에 따른 수중불분리성 혼화제의 사용을 줄일 수 있는 배합적인 접근에 대한 검토의 필요성이 대두되고 있다.

또한, 수중불분리성 콘크리트의 표준시험방법으로 수중 공시체의 제작방법(KCI-CT012)<sup>6)</sup>에서는 “수중에서 채운 물드를 수중으로부터 가만히 꺼내어 대기중에 15분 정도 놓는다”라고 규정되어 있으나, 실무에서는 수중에서 15분

\*Corresponding author E-mail : ykp0305@aju.co.kr

Received November 16, 2013, Revised October 15, 2014,

Accepted August 20, 2014

©2014 by Korea Concrete Institute

방치 후 표면을 고르는 작업을 실시하거나, 실제 수중에 타설 후 수중양생 되는 콘크리트와 비교하기 위해 수중에서 15분 방치 후 연속하여 수중양생을 실시하는 부분도 고려되고 있으므로, 표준시험방법과 실무 시공 상황의 차이에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 광물질 혼화재료를 사용한 수중불분리성 콘크리트의 기본적인 요구성능을 만족하면서 경제성을 확보하는 배합설계의 접근방법과 수중불분리성 콘크리트의 시험방법에 있어 실무와의 차이가 있는 부분에 대하여 검토를 실시하였다.

## 2. 실험 개요

**Table 1** Design of Experiment

Factors		Levels
Mixture	W/B (%)	45, 50
	W (kg/m <sup>3</sup> )	180, 190, 200
	FA-BS	15-25
	AWA <sup>1)</sup> (%)	0.8, 0.9, 1.0
	AA <sup>2)</sup> type <sup>3)</sup>	A type, B type
	AA utilization <sup>4)</sup> (%)	6, 8, 9, 10
	Target slump flow (mm)	500-550 (5min)
	Target air (%)	4±1.5
Experiment	Fresh concrete	- Flow, Air content - Suspension - pH
	Hardened concrete	- Compressive strength - Compressive strength rate

- 1) AWA : Anti-washout admixture
- 2) AA : Antifoaming agent
- 3) Only 45-190-0.9
- 4) AWA mass %

### 2.1 실험계획

Table 1은 본 연구의 실험계획을 나타낸 것이고, Table 2는 배합사항을 나타낸 것이다.

먼저, W/B 45, 50% 2수준으로 설정하고, 각 W/B에 BS와 FA를 15-25% 치환한 배합에 단위수량을 180, 190, 200 kg/m<sup>3</sup>의 3수준, 수중불분리성 혼화제 사용율을 0.8, 0.9, 1.0%/W의 3수준으로 하여 총 18배치 실험요인을 설정하였다. 측정항목으로는 굳지 않은 상태에서 슬럼프 플로, 공기량, 현탁물질량(탁도) 및 pH를 측정하였으며, 경화 상태에서는 각 재령별 압축강도와 공시체 제작방법별 압축강도의 발현성을 측정하는 것으로 하였다.

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내 D사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, BS는 국내 V사, FA는 국내 I사의 제품을 사용하였으며, 각각의 물리적 성질은 Table 3~4와 같다.

**Table 2** Mix Proportions of Concrete

W/B (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	S/A (%)	SP/C (%)	AWA/W (%)	Unit mass(kg/m <sup>3</sup> )				
					C	FA	BS	S	G
45	200	45	1.7	1.0	266.7	66.7	111.1	709.9	877.6
	190		2.5		253.3	63.3	105.6	730.6	903.2
	180		3.5		240.0	60.0	100.0	751.2	928.7
	200		1.5	0.9	266.7	66.7	111.1	709.9	877.6
	190		2.2		253.3	63.3	105.6	730.6	903.2
	180		2.9		240.0	60.0	100.0	751.2	928.7
	200		1.3	0.8	266.7	66.7	111.1	709.9	877.6
	190		2.0		253.3	63.3	105.6	730.6	903.2
	180		2.6		240.0	60.0	100.0	751.2	928.7
50	200	45	1.3	1.0	240.0	60.0	100.0	744.0	883.4
	190		2.5		228.0	57.0	95.0	764.2	907.4
	180		3.4		216.0	54.0	90.0	784.4	931.4
	200		1.3	0.9	240.0	60.0	100.0	744.0	883.4
	190		2.6		228.0	57.0	95.0	764.2	907.4
	180		3.5		216.0	54.0	90.0	784.4	931.4
	200		1.25	0.8	240.0	60.0	100.0	744.0	883.4
	190		2.3		228.0	57.0	95.0	764.2	907.4
	180		2.8		216.0	54.0	90.0	784.4	931.4

**Table 3** Physical Properties of Cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Setting time (min)		Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Compressive strength (MPa)		
	Initial	Final		3days	7days	28days
3.15	230	400	3 483	30.5	40.6	47.1

**Table 4** Physical Properties of FA and BS

Kind	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Loss ignition(%)	SiO <sub>2</sub> (%)
FA	2.21	3 434	3.5	52.6
BS	2.9	4 570	1.19	37.6

### 2.2.2 골재

본 실험에 사용한 골재로 잔골재는 국내산 부순 잔골재를 사용하였고, 굵은골재는 국내산 20 mm 부순 굵은골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다.

### 2.2.3 혼화제

혼화제는 수중불분리성 혼화제와 고성능 감수제를 사용하였고, 수중불분리성 혼화제에 사용되는 소포제와 탁도의 관계를 검토하기 위해 소포제 2 종류를 검토하였는데 각각의 혼화제 품질특성은 Table 6~7과 같다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 공시체 제작

수중불분리성 콘크리트의 수중 공시체 제작은 KCI-CT102에 의거 제작하였으며, 기중 공시체는 KS F 2403<sup>7)</sup>에 의거 제작하였다. 또한, 수중 공시체의 제작방법에 따른 압축강도 특성을 검토하기 위하여 수중에서 공시체 몰드에 시료를 2회로 나눠 넣은 후 수중에서 15분, 기중에서 15분 및 지속 수중양생의 3가지 방법으로 수중 공시체를 제작한 후 방법에 따른 압축강도 특성을 검토하였다.

### 2.3.2 슬럼프 플로

슬럼프 플로는 KCI-CT103<sup>8)</sup>에 의거 실시하였으며, 슬럼프 콘에 시료를 채우는 방법으로 KCI-CT103에서 정하고 있는 A법으로 다짐이나 진동을 주지 않고 바로 채우는 방법으로 실시하였다.

### 2.3.3 공기량

해양 구조물의 기초 등은 지속적으로 수중에 위치하게 될 수도 있지만 수중보 등 강수량 및 조수 간만의 차에 영향을 받는 구조물의 경우는 동해에 대한 대책이 필요함으로 공기량을 4±1.5%의 기준을 설정하였고, 공기량의 시험은 KS F 2421<sup>9)</sup>에 의거 실시하였다.

**Table 5** Physical Properties of Aggregate

Kind	Density (g/cm <sup>3</sup> )	F.M.	Absorption ratio (%)	Unit volume weight (kg/m <sup>3</sup> )	0.08 mm Sieve(%)
Fine aggregate	2.60	2.62	1.2	1 589	1.5
Coarse aggregate	2.63	6.73	0.8	1 563	0.1

**Table 6** Properties of Chemical Admixture

Kind	Component	Form	Color
AWA	HPMC	solid	white
SP	Polycarbonic acid type	liquid	light brown

HPMC : Hydroxy Propyl Methyl Cellulose

**Table 7** Properties of Antifoaming Agent

Kind	Component	Form	Color	pH	Ionic
A Type	ether	solid	white	10.7	nonionic
B Type	fatty acid, ester	solid	white	9.0	nonionic

### 2.3.4 수중불분리항성

수중불분리성 콘크리트의 수중불분리항성을 시험하기 위해 콘크리트 표준시방서 KCI-AD 102의 부속서 2 : 수중불분리성 콘크리트의 수중 분리도 시험방법<sup>10)</sup>에 의거 피검수(被檢水)를 제조한 후 pH 및 혼탁물질량을 측정하였는데, pH는 O사의 pH계로 측정하였으며, 혼탁물질량은 실무 현장에서 많이 사용되는 G사의 탁도계를 이용하여 측정하였고, 측정시간은 피검수 제조 후 탁도계 검침부를 삽입 후 즉시, 1분 및 3분 경과 후 측정하였다. 또한, 본 연구에서는 피검수가 어느 정도 안정되었다고 판단되는 1분 후를 기준으로 하여 분석하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 수중불분리성 콘크리트의 특성 검토

#### 3.1.1 슬럼프 플로

Fig. 1은 W/B별 단위수량 및 수중불분리성 혼화제 사용율에 따른 슬럼프 플로를 나타낸 것이다. 슬럼프 플로는 현장 작업성을 고려하여 500~550 mm를 만족하도록 배합설계를 실시하여 W/B 45, 50%의 모든 배합에서 목표 슬럼프 플로를 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 목표 슬럼프 플로를 만족하기 위해 사용된 고성능 감수제의 사용량을 나타낸 것이다.

고성능 감수제의 사용량은 W/B와 관계없이 유사한 경향을 나타내었으며, 동일한 수중불분리성 혼화제의 사용량에서는 단위수량이 낮아질수록 감수제의 사용량이 증가하는 것으로 나타났는데, 단위수량 10 kg/m<sup>3</sup> 감소 시

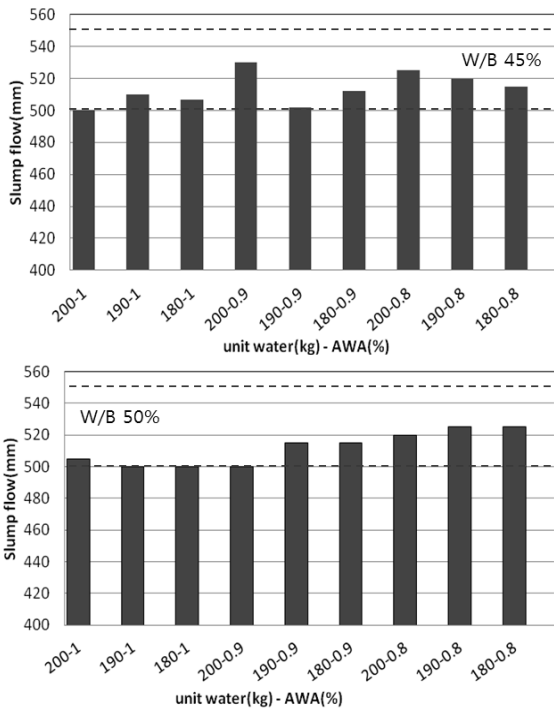


Fig. 1 Slump Flow with Unit Water and AWA

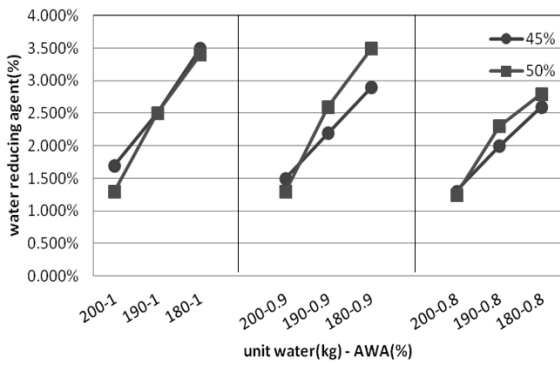


Fig. 2 Water Reducing Agent using rate with W/B

감수제의 사용량은 0.7~1.2%정도 추가 사용해야 목표 슬럼프 플로를 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 동일 단위수량에서 수중불분리성 혼화제의 사용량이 감소하는 경우에는 고성능 감수제의 사용량도 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 적을수록 콘크리트의 점성이 감소함에 따라 유동성이 증가하기 때문에 감수제의 사용량이 감소한 것으로 판단된다. 다만, 수중불분리성 혼화제의 사용량이 줄어들면서 콘크리트 점성의 감소효과는 수중불분리 저항성도 감소하게 되기 때문에 최적의 수중불분리성 혼화제 사용량을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 3.1.2 공기량

Fig. 3은 각 배합별 공기량 측정 결과를 나타낸 것이다. 공기량의 경우 슬럼프 플로와 마찬가지로 모든 배합에서 목표 공기량  $4\pm 1.5\%$ 를 만족하도록 배합설계를 실시하

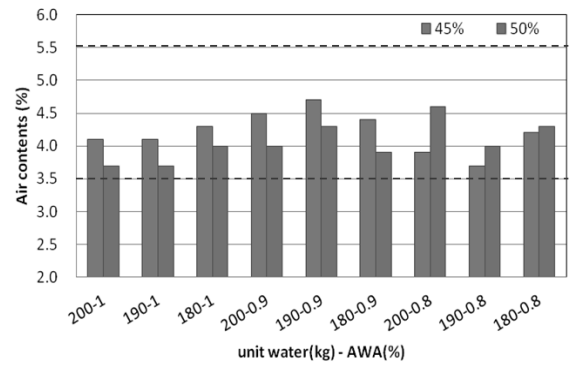


Fig. 3 Air Contents with Unit Water and AWA

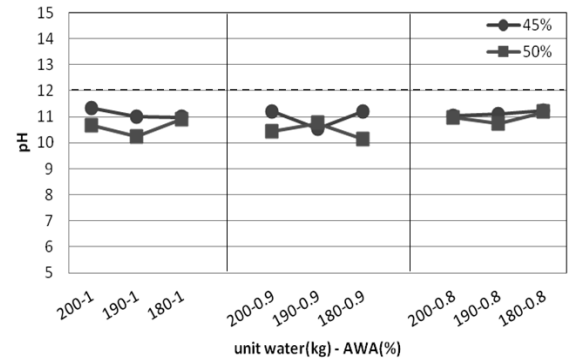


Fig. 4 pH with Unit Water and AWA

여목표 공기량을 만족하였다.

### 3.1.3 수중불분리저항성

#### 1) pH

Fig. 4는 W/B별 단위수량 및 수중불분리성 혼화제 사용율에 따른 pH의 결과값을 나타낸 것이다.

pH의 경우 모든 배합에서 KCI-AD 102 기준값인 12이하의 값을 나타냈으며, W/B 45% 보다 W/B 50%의 배합에서 다소 낮은 pH값을 보이고 있는 것을 확인하였다. 이는 기존 연구결과<sup>11)</sup>와 같이 시멘트에 대한 광물질 혼화제 치환 및 W/B의 상향에 의해 상대적으로 시멘트량의 감소로 인한 수중불분리성 콘크리트의 알칼리성이 낮아진 영향이 있는 것으로 판단된다.

#### 2) 탁도

Fig. 5 W/B별 단위수량 및 수중불분리성 혼화제 사용율에 따른 탁도 측정값을 나타낸 것이다.

1분 후 탁도의 경우 W/B 45%와 50%에서 동일 단위수량에서는 수중불분리 혼화제의 사용량이 작을수록, 동일 수중불분리 혼화제 사용량에서는 단위수량이 클수록 탁도가 증가하는 경향을 나타내었고 전체적인 경향은 수중불분리성 혼화제의 사용율이 증가할수록 양호한 탁도를 나타내었다.

수중불분리성 혼화제의 사용량은 W/B 45, 50%에서 0.8%/W를 사용하는 경우 탁도값이 급격히 증가하여 KCI-AD 102

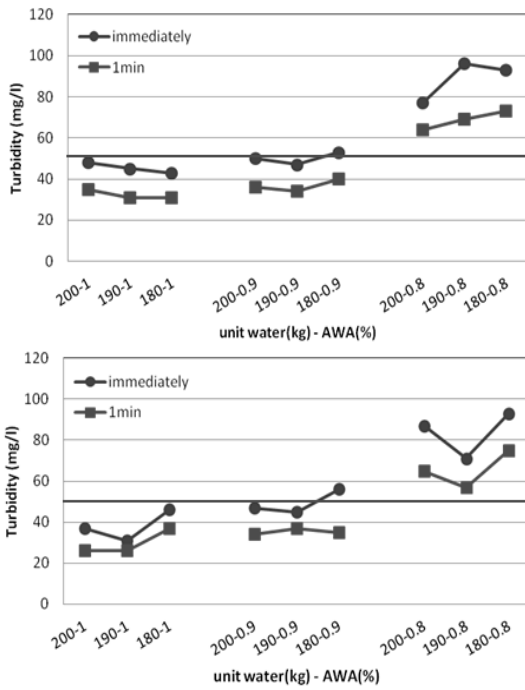


Fig. 5 Turbidity with Unit Water and AWA

기준값이 50 mg/L 를 만족하지 못하는 것으로 나타나, 광물질 혼화재료를 혼입한 수중불분리성 콘크리트의 유동성 및 탁도를 확보하기 위해서는 단위수량에 관계없이 수중불분리성 혼화제의 사용량을 0.9%/W 이상에서 검토가 필요할 것으로 판단된다. 다만, 단위수량을 180 kg/m<sup>3</sup>까지 낮춘 경우에는 탁도 확보 측면에서 수중불분리성 혼화제를 0.9%/W까지 사용을 고려해 볼 수 있으나, 그에 따른 고성능 감수제의 사용량이 크게 증가하기 때문에 경제성 측면에서 불리한 것으로 분석되어, 본 연구 범위에서는 단위수량 190 kg/m<sup>3</sup>, 수중불분리혼화제 0.9%/W를 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서의 탁도측정은 실무에서 수중불분리성 콘크리트의 품질 검사 시 사용하는 일반적인 탁도계를 사용하여 측정하였는데, 탁도계 사용 중 시간 경과에 따른 탁도값의 변동이 나타나 피검수가 안정화되는 시간이 필요하였다. KCI-AD 102의 부속서 2에서는 pH계를 이용하여 pH를 측정하는 경우 검출부를 피검수에 담가 놓고 약 3분 후에 측정하도록 하고 있으나, 혼탁물질량의 경우는 실무에서 사용하는 탁도계를 사용하는 경우에 대한 규정이 없어 실험자의 측정 방법에 따라 그 값의 편차가 발생 할 수 있을 것으로 판단되며, 본 연구에서는 피검수에 탁도계의 검출부를 담가놓은 후 1분 경과 후에 그 값이 안정되는 것을 확인 할 수 있었다.

### 3.1.4 압축강도

Fig. 6은 W/B별 단위수량 및 수중불분리성 혼화제 사용율에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

수중불분리성 혼화제의 사용율에 따른 압축강도는 수중불분리성 혼화제의 사용율이 낮아질수록 다소 압축강

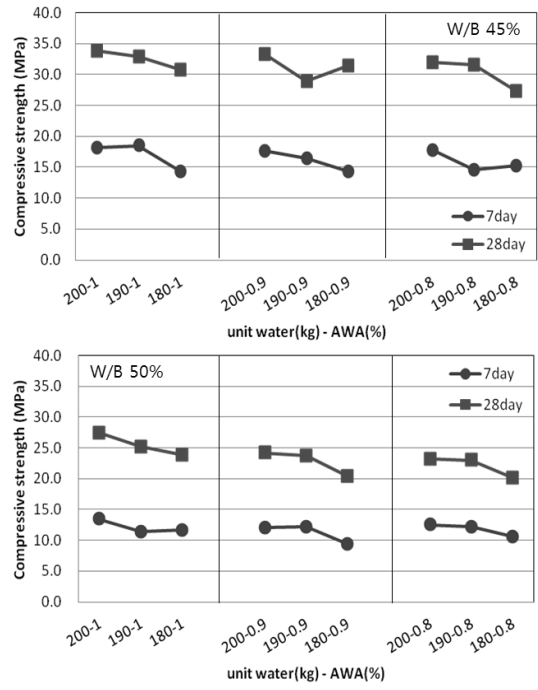


Fig. 6 Compressive Strength with Unit Water and AWA

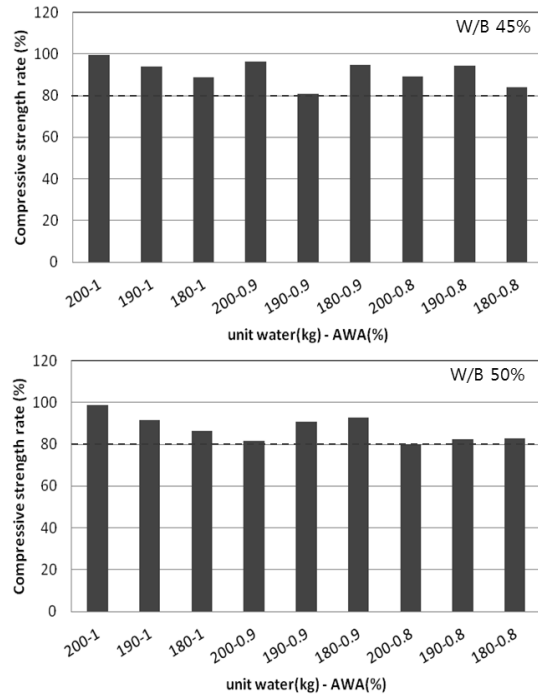


Fig. 7 Compressive Strength Rate with Unit Water and AWA

도가 다소 낮아지는 경향을 나타내었는데, 이는 수중 콘크리트 공시체 제작 시 수중불분리성 혼화제의 사용율이 낮아짐에 따라 콘크리트의 점성이 저하로 인해 시멘트 및 혼화재료의 유실량의 증가에 따른 것으로 사료된다. 또한, 동일한 수중불분리성 혼화제를 사용한 경우에도 단위수량의 변동에 따라서 압축강도가 다소 낮아지는 경향을 나타내었는데 이는 동일 점성내에서 단위수량이 높은 경우 단위분체량이 상대적으로 증가함에 따라서 동일 유실량에서 미소한 W/B 변화에 의해서 압축강도의 차이

가 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 7은 재령 28일에서의 기중 제작 공시체와 수중 제작 공시체의 압축강도 비를 나타낸 것이다.

압축강도비의 경우는 수중불분리성 혼화제의 첨가량에 관계없이 KCI-AD102의 수중불분리성 혼화제 품질 기준인 28일의 압축강도비 0.80 이상을 만족하는 것으로 나타났다. W/B별로는 W/B 50% 보다 45%의 경우가 다소 높은 압축강도 비를 나타냈는데 이는 W/B가 낮을수록 기본적인 분체량이 많기 때문에 동일 조건의 분체 유실량에 따른 압축강도 의 손실이 적게 나타나는 것으로 판단된다.

### 3.1.5 수중불분리성 콘크리트의 배합 검토

수중불분리성 콘크리트는 기본적으로 수중에서 타설하기 위한 유동성과 경화 후의 압축강도는 기본적으로 확보해야 하는 품질이며, 수중불분리성 콘크리트는 수중에 타설된다는 특수성에 의해 수중환경을 고려하여 혼탁물질량에 대한 고려가 상당히 중요하다. 따라서 실무에서는 광물질 혼화재료를 사용하는 경우 혼탁물질량의 확보가 어렵다는 이유로 인해 OPC만을 100% 사용하는 배합이 주로 적용되고 있다.

본 연구에서는 FA와 BS을 각각 15%, 25% 치환한 배합에 단위수량과 수중불분리성 혼화제 사용량의 변화를 통하여 수중불분리성 콘크리트의 배합을 검토하였는데, 유동성과 압축강도 비는 배합적인 조절만으로 충분히 확보 가능할 것으로 분석되었으며, 혼탁물질량의 경우는 수중불분리성 혼화제 사용량 0.9%/W 이상에서 50 mg/L를 만족하는 것으로 확인되었다. 특히, 수중불분리성 콘크리트에서 높은 재료비를 차지하고 있는 수중불분리성 혼화제의 사용량을 줄이기 위해 동일한 W/B에서 단위수량을 줄인 결과 단위수량은 180 kg/m<sup>3</sup>까지 낮추는 것이 가능하지만, 그에 따른 고성능 감수제의 사용량이 증가되어 경제적인 측면을 고려할 때 단위수량은 190 kg/m<sup>3</sup>까지 가능할 것으로 판단된다.

또한, 수중불분리성 콘크리트의 품질을 확보하는 범위에서 W/B에 따른 경제성 검토 결과 W/B 50%의 200-1.0 배합과 W/B 45%에 190-0.9가 거의 동등한 경제성을 나타내어 수중불분리성 콘크리트의 품질 및 경제성을 확보하기 위해서는 목표강도를 확보하는 W/B에서 약 5% 정도 W/B를 하향 조정하고 그에 따른 단위분체량의 상승을 단위수량을 낮추어 보정함으로써 콘크리트 자체의 점성을 높여주는 배합의 검토를 진행하면 고성능 감수제에 따른 원가 상승분보다 수중불분리성 혼화제의 사용량 감소에 따른 경제성의 확보도 가능할 것으로 판단된다.

## 3.2 수중불분리성 콘크리트의 품질평가 방안 검토

### 3.2.1 수중분리 저항성

#### 1) 소포제 종류에 따른 탁도 영향 평가

본 연구에서 사용된 HPMC계 수중불분리성 혼화제는

자체의 공기연행 효과를 가지고 있어 분말형 소포제가 일부 사용되고 있으며, 소포제의 종류도 품질에 따라 여러 종류가 있는데 본 연구에서는 품질의 차이가 나는 2 종류의 소포제에 따른 탁도에 미치는 영향을 평가해 보았다.

Fig. 8은 수중불분리성 혼화제에 첨가되는 소포제 종류별 탁도 값을 나타낸 것이고, Fig. 9는 소포제 종류별 콘크리트에서의 탁도값을 나타낸 것이다.

측정시간에 따른 탁도의 영향은 탁도계의 검침부를 피검수에 삽입 후 1분, 3분 경과 후 측정된 결과 1분보다 3분 경과 후에도 다소 측정값이 낮아지는 값을 나타내었으나, 변동값이 크지 않았던 점과 측정시간 단축을 감안하면 전술한 바와 같이 본 연구에서는 탁도계를 이용하여 측정하는 경우 1분 경과한 시점에서의 측정이 양호할 것으로 판단된다.

소포제 종류에 따른 탁도값의 경우는 A-Type의 경우 소포제의 혼입을 변화에 따른 변화가 크지 않은 것으로 나타났으나, B-Type의 경우 소포제의 혼입율이 증가할수록 탁도값이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과에 대한 정확한 원인파악은 되지 않았으나, A-Type의 주성분이 에테르계인 반면 B-Type의 주성분은 지방산과 에스테르계로 지방산과 에스테르계의 소포제가 수중에서의 퍼짐 현상이 증가하여 측정값이 높아진 것으로 생각된다.

또한, 콘크리트에 수중불분리성 혼화제에 사용되는 소포제의 종류가 콘크리트내에서 탁도에 미치는 영향을 평가한 결과는 오히려 A-Type은 29.0 mg/L, B-Type은 20.6 mg/L로 A-Type이 더 높은 값으로 나타나고 있어 수중불분리성 콘크리트에 포함된 소포제에 따른 콘크리트내에

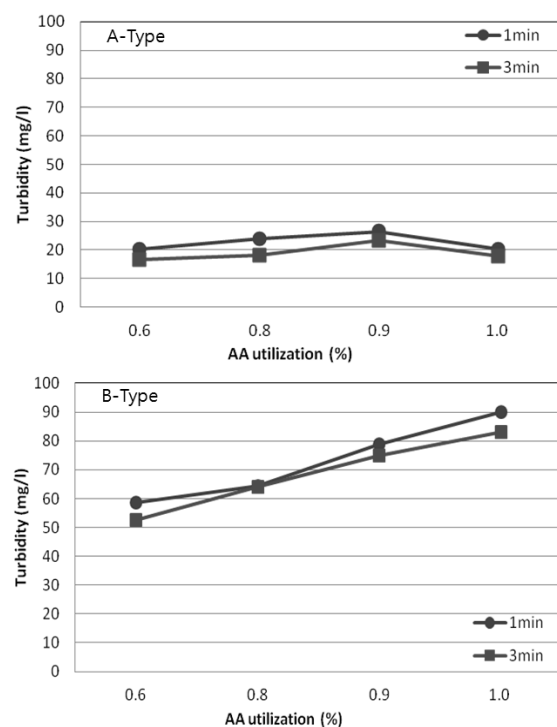


Fig. 8 AA Utilization with Unit Water and AWA

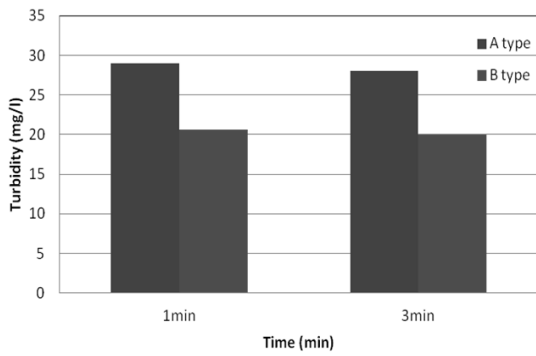


Fig. 9 Turbidity of Concrete with Antifoaming Agent

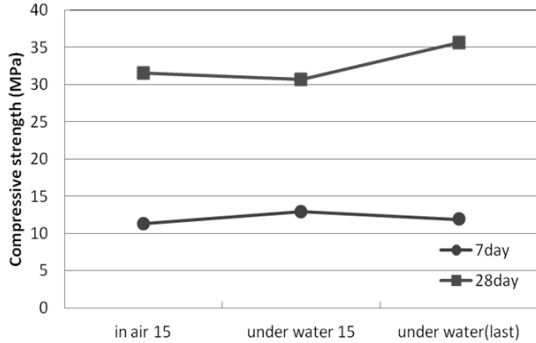


Fig. 10 Compressive Strength with Method of making Compressive Strength Specimens

서의 영향은 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

다만, 본 연구를 통해 확인이 필요한 부분으로는 수중 불분리성 콘크리트의 혼탁물질량을 평가하기 위한 대안으로 산란광 측정법에 의한 탁도 측정을 하는 것이 KCI-AD102에서 규정하는 혼탁물질량을 정확히 판단할 수 있는지에 대한 상관성 분석이 필요할 것으로 사료된다.

### 3.2.2 수중 공시체 제작 방법별 강도 발현 특성

Fig. 10은 수중 공시체 제작 방법별 압축강도를 나타낸 것이다.

수중 공시체 제작 방법에 따른 재령별 압축강도는 재령 7일에서 수중 15 (12.9 MPa) > 지속수중(11.9 MPa) > 기중 15 (11.3 MPa)의 순으로 나타났으나, 수중 공시체 제작 방법에 따른 압축강도 발현은 큰 차이를 나타내지 않았다. 재령 28일에서는 지속수중(35.6 MPa) > 기중 15 (31.5 MPa) > 수중 15 (30.6 MPa)순으로 나타났으며, 기중15, 수중15에서는 큰 차이 없었으나, 지속 수중 양생한 공시체의 경우 다른 두 방법보다 약 5 MPa 높게 나타났다.

따라서, 수중공시체의 제작 방법에 따른 압축강도 발현성은 큰 차이가 없어, 제작 방법에 따른 압축강도 발현 문제는 없을 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 광물질 혼화재료를 사용한 수중불분리성

콘크리트의 물성을 만족하면서 수중불분리성 혼화제의 사용량을 줄이기 위한 배합적 접근과 수중불분리성 콘크리트의 시험에 있어 실무와 차이가 있는 사항에 대하여 검토를 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 광물질 혼화재료를 혼입한 수중불분리성 콘크리트의 유동성 및 공기량은 배합설계를 통해 목표 수준을 만족하도록 하였다.
- 2) 연구 범위 내에서 단위수량의 저감에 따른 목표 슬럼프 플로를 만족하기 위해서는 단위수량 10 kg/m<sup>3</sup> 이하 시 고성능 감수제를 0.7~1.2% 정도 상향 조정해야 하는 것으로 나타났다.
- 3) pH는 모든 배합에서 기준값이 12이하의 값을 나타내었으며, 탁도는 W/B 및 단위수량에 관계없이 수중 불분리성 혼화제의 사용율 0.9%/W 이하에서는 50 mg/L를 만족하지 못하는 것으로 나타났고, 압축강도 비는 모든 배합에서 KCI-AD102의 품질 기준인 압축강도 비 0.80 이상으로 만족하는 것으로 나타났다.
- 4) 본 연구의 범위내에서는 광물질 혼화재료를 사용하는 수중불분리성 콘크리트의 최적 단위수량 및 수중 불분리성 혼화제의 사용량은 190 kg/m<sup>3</sup>, 0.9%/W인 것으로 나타났으며, 특히 목표강도의 W/B에서 5% 정도로 낮춘 W/B로 배합설계를 통해 단위수량 및 수중 불분리성 혼화제 사용량을 줄여 W/B 조절에 따른 압축강도 확보 및 경제성 부분의 확보가 가능할 것으로 판단된다.
- 5) 수중불분리성 콘크리트의 평가 시 혼탁물질량 평가를 탁도계를 사용하는 경우 검침부를 삽입 후 1분 경과 후 안정된 값을 나타내었으나, 현재 규정에는 탁도계 사용에 따른 측정 시간에 대한 규정이 없어 추후 탁도계 사용에 따른 측정시간과 KCI-AD102의 혼탁물질량 측정방법에 결과와의 상관성 검토는 필요할 것으로 판단된다.
- 6) 실무와 규정간의 수중 공시체 제작 방법에 따른 압축강도 발현에 대한 차이는 크게 나타나지 않았으며, 지속 수중양생 시 표준 공시체 제작 방법보다 5 MPa 정도 높게 나타났다.

## References

1. Kim, S.W., Park, J.J., Bae, S.H., and Park, J. I., "Optimum Mix Proportions of High Fluidity Antiwashout Underwater Concrete Using Ground Granulated Blast Furnace Slag", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 13, No. 8, 2012, pp. 3704-3712.
2. Kwon, J.H. and Kim, B.I., "An Experimental Study on the Sulfate Resistance of Fly Ash Antiwashout Underwater Concrete", *Journal of The Korean Society of Ocean Engineers*, Vol. 14, No. 3, 2002, pp. 409-419.
3. Park, J.J., Kim, S.W., An, G.H., Bae, S.H., and Park, J.I.,

- “The Experimental Study on the High Fluidity Antiwashout Underwater Concrete Manufacture and Application with Blast-furnace Slag”, *Proceeding of Korean Recycled Construction Resource Institute*, Vol. 11, No. 2, 2011, pp. 132-135.
4. Kwon, J.H. and Kim, B.I., “An Experimental Study on the Water Tightness of Fly Ash Antiwashout Underwater Concrete”, *Journal of The Korean Society of Ocean Engineers*, Vol. 22, No. 4, 2008, pp. 40-45.
  5. Baek, D.I., Kim, M.S., and Jang, H.S., “A Study on the Characteristics of Antiwashout Underwater Concrete with Mineral Admixture”, *Journal of Korea Concrete Institute*, Vol. 16, No. 6, 2004, pp. 777-783.
  6. Korea Concrete Institute, “Method of making compressive strength specimens of anti-washout concrete cast in water (KCI-CT102)”, *Concrete standard specification*, 2010, pp. 674-676.
  7. KS F 2403, “Standard test method of making and curing concrete specimens”, *Korean Standards Association*, 2010.
  8. Korea Concrete Institute, “Test method for slump flow of concrete (KCI-CT103)”, *Concrete standard specification*, 2010, pp. 677-679.
  9. KS F 2421, “Standard test method for air content of fresh concrete by the pressure method (air receiver method)”, *Korean Standards Association*, 2010.
  10. Korea Concrete Institute, “Specification for anti-washout admixture for concrete (KCI-AD102)”, *Concrete standard specification*, 2010, pp. 690-696.
  11. Moon, H.Y., Shin, K.J., and Lee, C.S., “A Study for Improving Properties of Antiwashout Underwater Concrete Mixed with Mineral Admixtures”, *Journal of Korea Concrete Institute*, Vol. 14, No. 3, 2002, pp. 409-419.

**요약** 본 연구에서는 광물질 혼화재료를 사용한 수중불분리성 콘크리트의 물성을 만족하면서 수중불분리성 혼화제의 사용량을 줄이기 위한 배합적 접근과 수중불분리성 콘크리트의 시험에 있어 실무와 차이가 있는 사항에 대하여 검토를 실시하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 우선 광물질 혼화재료를 사용하는 수중불분리성 콘크리트의 최적 단위수량 및 수중불분리성 혼화제의 사용량은 190 kg, 0.9%/W인 것으로 나타났으며, 특히 목표강도의 W/B에서 5% 정도로 낮은 W/B로 배합설계를 통해 단위수량 및 수중불분리성 혼화제 사용량을 줄여 W/B 조절에 따른 재료분리저항성, 압축강도 등의 품질 확보 및 경제성의 확보가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 탁도계를 이용한 혼탁물질량의 측정을 위해서는 탁도계 검침부 삽입 후 1분 경과 시점에서 안정적인 값을 나타냈으나, 수중불분리성 콘크리트의 혼탁물질량을 측정하기 위해 실무에서 사용되는 탁도계와 KCI -AD102 표준방법과의 상관성에 대한 부분의 검토가 필요할 것으로 판단된다. 수중 공시체 제작방법에 따른 압축강도의 발현성은 크게 차이가 없는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 광물질 혼화재료, 수중불분리성 콘크리트, 수중불분리성 혼화제, 품질평가