Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 13, No. 8 pp. 3704-3712, 2012

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.8.3704

고로슬래그 미분말을 사용한 고유동 수중불분리성 콘크리트의 최적배합비 도출

김성욱[1], 박정준[1], 배수호[2*], 박재임[2]
[1]한국건설기술연구원 구조교량연구실, [2]안동대학교 토목공학과

Optimum Mix Proportions of High Fluidity Antiwashout Underwater Concrete Using Ground Granulated Blast Furnace Slag

Sung-Wook Kim[1], Jung-Jun Park[1], Su-Ho Bae[2*] and Jae-Im Park[2]
[1]**Structural Engineering&Bridges Research Division, Korea Institute of Construction Technology**
[2]**Department of Civil Engineering, Andong National University**

요 약 최근, 장대교량의 해상기초 구조물에 수중불분리성 콘크리트의 사용이 증가되고 있다. 그러나, 해상기초 구조물에 사용되는 수중불분리성 콘크리트의 공사기간을 단축시키기 위해서는 이전의 수중불분리성 콘크리트보다 유동성을 크게 개선시키는 고유동 수중불분리성 콘크리트의 제조가 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 해상기초 구조물에 사용되는 고유동 수중불분리성 콘크리트의 최적배합비를 도출하는 것이다. 이를 위하여 단위결합재량 550, 600kg/m^3 각각에 대해서 수중불분리성 혼화제 첨가량별로 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트를 제작하였다. 제작된 콘크리트의 슬럼프 플로, 응결시간, 수중분리저항성 및 압축강도 비와 같은 품질성능을 관련 규격에 따라 평가하였다. 결국, 고로슬래그 미분말을 혼입한 고유동 수중불분리성 콘크리트는 관련 규격을 만족시키는 수중불분리성 혼화제의 최소 첨가량이 필요한 것으로 나타났다.

Abstract Recently, antiwashout underwater concrete has been increasingly used for marine foundations of long span bridges. However, to shorten the construction period of antiwashout underwater concrete used in marine foundations, high fluidity antiwashout underwater concrete should be manufactured largely improving fluidity than the previous one. Thus, the objective of this experimental research is to suggest optimum mix proportions of high fluidity antiwashout underwater concrete. For this purpose, concrete specimens containing ground granulated blast furnace slag were manufactured according to the dosage of antiwashout admixture for unit binder contents of 550 and 600kg/m^3, respectively. And then, their quality performances such as slump flow, setting time, underwater segregation resistance, and ratio of compressive strength were evaluated according to the related specification of Korea Concrete Institute. It was observed from the test results that the minimum dosage of antiwashout admixture was necessary to satisfy the related specification.

Key Words : Antiwashout admixture, Ground granulated blast furnace slag, High fluidity antiwashout underwater concrete, Unit binder content, Optimum mix proportions

1. 서론

최근, 초장대교량을 비롯한 대형 해상 구조물이 증가되면서 해상기초 시공 시 수중콘크리트의 사용이 활발해지고 있다. 특히, 수중불분리성 혼화제를 사용하여 유동성과 재료분리 저항성을 높여 수중에서 시공할 경우 직

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업 초장대교량사업단(과제번호 : 08기술혁신E01)의 연구 지원에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.
*Corresponding Author : Su-Ho Bae
Tel: +82-54-820-5896 email: shbae@andong.ac.kr
접수일 12년 07월 18일 수정일 12년 08월 07일 게재확정일 12년 08월 09일

접 타설이 가능한 수중불분리성 콘크리트의 적용사례가 늘고 있다. 국내에서는 나로도 연육교, 자은암대교 및 응포대교 등에 수중불분리성 콘크리트가 적용된 바 있으며, 최근에는 영종대교 및 광안대교 등과 같은 대형 수중 콘크리트 구조물에 적용됨으로써 수중불분리성 콘크리트가 중요한 기술로 인식되고 있다.

초대형 지하연속벽 및 초장대교량의 건설이 증가함에 따라 상부구조를 비롯한 기타 콘크리트 구조요소에 대한 콘크리트는 고유동 또는 고성능 콘크리트가 적용되는 등 괄목할 만한 연구성과가 이루어졌으나[1, 2], 기초용 수중 콘크리트에 적용가능한 고유동 또는 고성능 콘크리트에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

한편, 선진 외국의 경우 수중기초 또는 해상기초 구조물의 품질향상 및 공기단축을 위하여 산업부산물인 고로슬래그 미분말(ground granulated blast furnace slag, GGBFS) 및 플라이 애쉬(fly ash, FA) 등을 사용한 고유동 수중불분리성 콘크리트의 개발에 관한 연구가 진행되고 있다[3, 4].

따라서, 본 연구에서는 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성이 우수한 고유동 수중불분리성 콘크리트의 최적배합비를 도출하기 위하여 단위결합재량 550 및 600kg/m^{3}에 대해서 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따라 고로슬래그 미분말을 혼입한 고유동 수중불분리성 콘크리트를 제작하였다. 제작된 콘크리트에 대해서 관련 규격인 KCI-AD102[5]에 따른 품질평가를 통하여 고유동 수중불분리성 콘크리트의 최적배합비를 도출하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 1과 같다. 잔골재는 경북 안동시에서 생산된 낙동강산 하천사, 굵은골재는 안동산 부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 Table 2 및 3과 같다. 또한, 고품질의 고유동 수중불분리성 콘크리트를 제조하기 위하여 고로슬래그 미분말을 이용하였으며, 물리·화학적 성질은 Table 4와 같다. Table 5는 본 연구에 사용된 수중불분리성 혼화제(Antiwashout admixture, AWA)와 고성능 감수제(Superplasticizer, SP제)의 품질특성을 나타낸 것이다.

[표 1] 시멘트의 물리적 성질
[Table 1] Physical properties of cement

Density (g/cm^3)	Setting time (min)		Fineness (cm^2/g)	Compressive strength(MPa)		
	Initial	Final		3days	7days	28days
3.14	250	370	3,400	23.5	33.0	40.0

[표 2] 잔골재의 물리적 성질
[Table 2] Physical properties of fine aggregate

Specimen	Density (g/cm^3)	Absor-ption (%)	Unit mass (kg/m^3)	Mass of passing No. 200 sieve(%)	F.M.
River sand (Nakdong-River)	2.60	1.47	1,597	2.2	2.43

[표 3] 굵은골재의 물리적 성질
[Table 3] Physical properties of coarse aggregate

Specimen	G_{max} (mm)	Density (g/cm^3)	Absor-ption (%)	Uint mass (kg/m^3)	F.M.
Crushed rock (Andong)	25	2.65	0.58	1,648	7.27

[표 4] 고로슬래그 미분말의 물리적 성질과 화학적 조성
[Table 4] Physical properties and chemical composition of GGBFS

Speci-men	Density (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)	Chemical composition (%)						
			SO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O
GGBFS	2.89	4,893	34.1	16.1	0.4	42.3	4.1	2.5	0.7

[표 5] 혼화제의 성질
[Table 5] Properties of chemical admixture

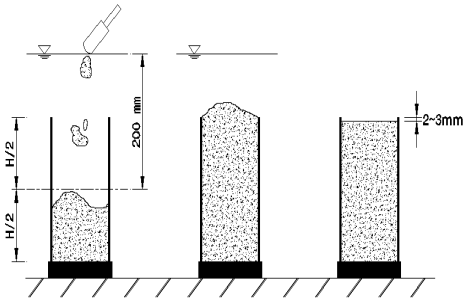
Type	Main component	Color	Specific gravity
AWA	Hydroxypropyl methyl cellulose	White (solid type)	-
SP	Polycarbonic acid type	Light-brown (Liquid type)	1.04

2.2 실험방법

2.2.1 공시체 제작

고로슬래그 미분말을 사용한 고유동 수중불분리성 콘크리트의 최적배합비를 도출하기 위하여 Table 6과 같이 배합비를 정하였다. 설계기준강도는 35MPa, 목표 슬럼프 플로 및 공기량은 각각 600mm 이상, 3.5±0.5%로 설정하였으며, 단위결합재량 550 및 600kg/m^{3}에 대해서 시멘트

량의 40%를 고로슬래그 미분말로 치환하여 AWA 첨가량(단위수량의 0.5, 0.75 및 1.0%)에 따라 고유동 수중불분리성 콘크리트를 제작하였다. 기중 콘크리트 공시체는 KS F 2403[6], 수중 콘크리트 공시체는 KCI-CT102[7]에 따라 Fig. 1과 같이 제작하였다.

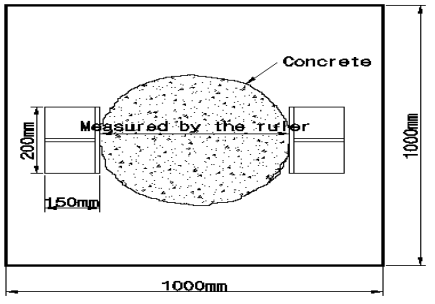


[그림 1] 수중불분리성 콘크리트의 제작 방법
[Fig. 1] The manufacture method of antiwashout underwater concrete

2.2.2 고유동 수중불분리성 콘크리트의 품질 평가

1) 슬럼프 플로

고유동 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로는 KCI-CT103[8]에 따라 Fig. 2와 같이 측정하였다.



[그림 2] 슬럼프 플로 시험의 상세도
[Fig. 2] Detail of the slump flow test

2) 공기량

고유동 수중불분리성 콘크리트의 공기량은 KS F 2421[9]에 따라 측정하였다.

3) 응결시간

고유동 수중불분리성 콘크리트의 응결시간은 KS F 2436[10]에 따라 측정하였다.

4) 수중분리저항성

수중분리저항성은 수중에서 타설되는 콘크리트 중의 시멘트 유실량을 정량적으로 평가하는 방법으로서 KS I 3217[11]에 따라 1000mL비이커에 증류수를 800mL넣고 수중불분리성 혼화제가 첨가된 콘크리트를 500g을 10등분하여 20~30초 이내에 자유 낙하시켜, 3분간 방치 후 Fig. 3과 같은 진공흡인 장치를 사용하여 600mL를채취한 후 식 (1)과 같이 현탁물질량 및 pH를 측정하였다.

$$S = (a-b) \times \frac{1000}{V} \quad (1)$$

여기서, S : 현탁물질량 (mg/L)

a : 현탁물질량을 포함한 여과재 및 시계저울의 질량 (mg)

b : 여과재 및 시계저울의 질량 (mg)

V : 메스실린더로 계량하여 채취한 피검수의 물 (mL)

5) 충전성

U형 또는 각형 박스 높이차는 수중불분리성 콘크리트의 충전성을 나타내는 것으로 박스 높이차가 작을수록 충전성이 우수한 것을 나타낸다. 박스 높이차를 측정하기 위하여 Fig. 4와 같은 240× 240× 500mm의 투명 아크릴 상자 속에 물을 채운 후 왼쪽 상자에 콘크리트를 높이 400mm까지 채우고 3분간 정치한 다음, 분리판을 들어 올려서 경과시간 5분 및 10분 후 각각의 높이차를 측정

[표 6] 콘크리트의 배합비
[Table 6] Mix proportions of concrete

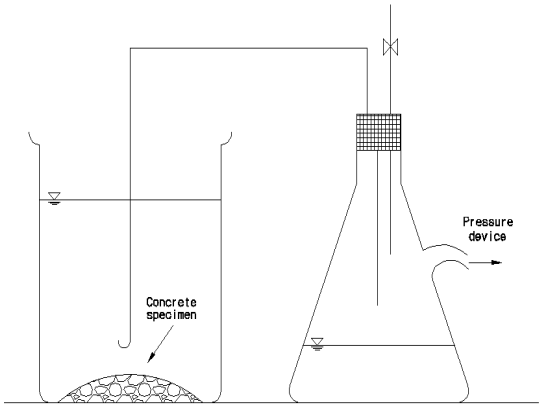
fCK (MPa)	B (kg/m^3)	Target slump flow (mm)	Target air content(%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit mass (kg/m^3)					AWA (W×%)	SP (B×%)
						W	C	GGBFS	S	G		
35	550	600 or more	3.5±0.5	35	46	192	330	220	711	850	0.5	2.5
				35		192	330	220	711	850	0.75	2.5
				37*		204	330	220	696	833	1.0	2.5
	600	600 or more	3.5±0.5	31	45	188	360	240	681	848	0.5	2.5
				31		188	360	240	681	848	0.75	2.5
				33		200	360	240	667	830	1.0	2.5

* Optimum mix proportions of high fluidity underwater concrete

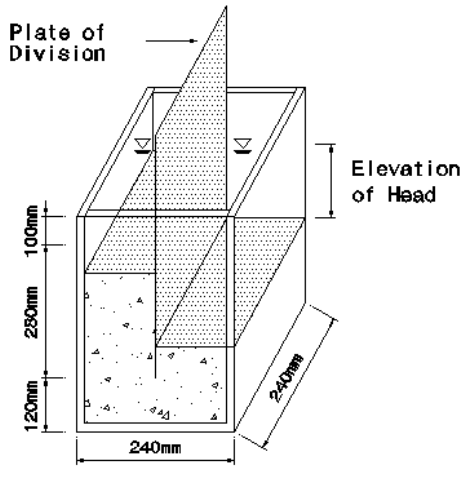
하였다.

6) 압축강도 비

압축강도 비는 기중제작 공시체의 압축강도에 대한 수중제작 공시체의 압축강도 비로서 KS F 2405[12]에 따라 각 공시체의 압축강도를 재령 3, 7 및 28일에 대해서 측정하여 식 (2)와 같이 압축강도 비를 평가하였다.



[그림 3] 진공흡인 장치 구성
[Fig. 3] Suction set-up



[그림 4] 각형 박스 구성
[Fig. 4] Square type box set-up

$$\text{압축강도비} = \frac{C_w}{C_a} \quad (2)$$

여기서, C_a : 기중에서 제작한 콘크리트의 압축강도(MPa)

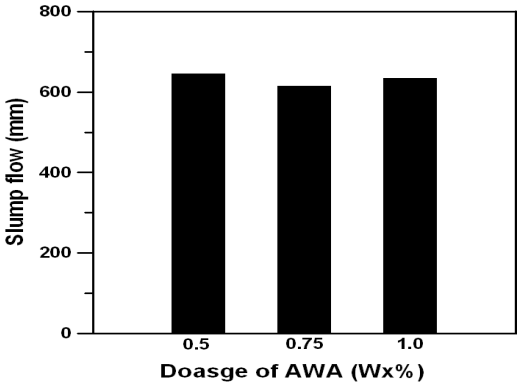
C_w : 수중에서 제작한 콘크리트의 압축강도(MPa)

3. 실험결과 및 고찰

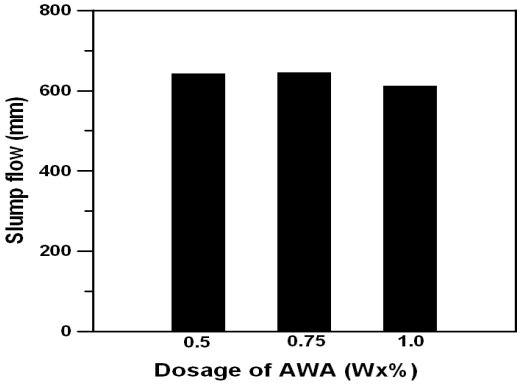
3.1 고유동 수중불분리성 콘크리트의 품질

3.1.1 슬럼프 플로

Fig. 5는 단위결합재량별 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 고유동 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 혼입한 고유동 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로는 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 적을수록 보다 적은 단위수량으로 목표 슬럼프 플로값 600mm를 만족시키는 것으로 나타났다. 이는 SP제의 첨가량이 일정할 때 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 적을수록 콘크리트의 점성이 감소함에 따라 유동성이 증가하기 때문이다. 그러나 고유동 수중불분리성 콘크리트는 점성이감소하면 수중분리저항성도 감소하므로, 유동성 평가는 수중분리저항성을 고려하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.



(a) B=550kg/m^3

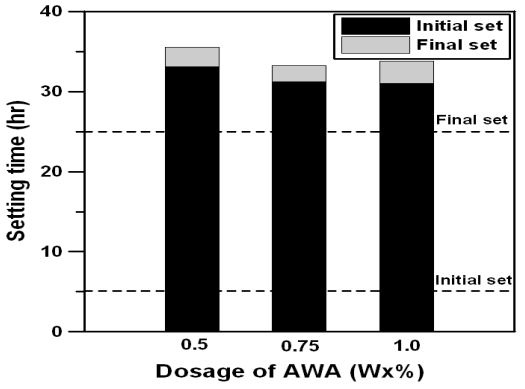


(b) B=600kg/m$_3$

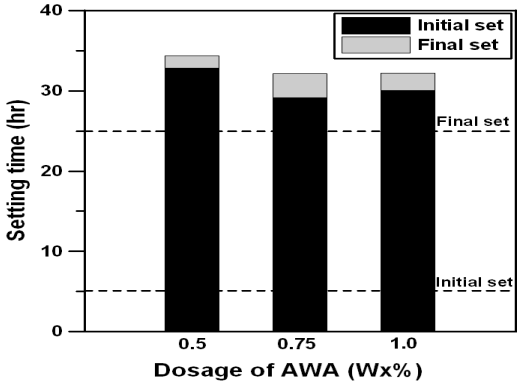
[그림 5] 고유동 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프플로
[Fig. 5] Slump flow of high fluidity antiwashout underwater concrete

3.1.2 응결시간

Fig. 6은 단위결합재량별 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 응결시간을 나타낸 것이다. KCI-AD102 기준에서 수중불분리성 콘크리트의 초결은 5시간 이상, 종결은 24시간 이내로 규정하고 있는데, 고유동 수중불분리성 콘크리트의초결 및 종결 시간은 KCI-AD102 기준보다 각각 약 5배, 1.3배 지연되는 것으로 나타났으며, 보통 콘크리트의 초결(약 15시간) 및 종결시간(약 20시간)보다 각각 2배, 1.7배 지연되는 것으로 나타났다. 이것은 수중불분리성 혼화제 분자가 초기 수화반응에 기여하는 시멘트 조성광물 C_3A 및 C_3S를 흡착하는 성질이 있고, 또한 고로슬래그 미분말과 SP제를 다량 사용함에 따라 응결이 지연되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서



(a) B=550kg/m^3



(b) B=600kg/m^3

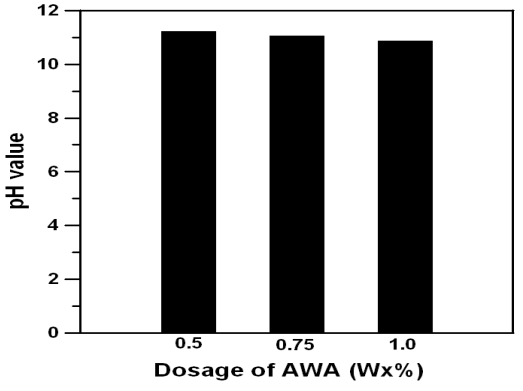
[그림 6] 고유동 수중불분리성 콘크리트의 응결시간
[Fig. 6] Setting time of high fluidity antiwashout underwater concrete

실제 고유동 수중불분리성 콘크리트 시공 시 이에 관한 세심한 주의가 요구된다. 한편, 고유동 수중불분리성 콘크리트의 응결시간은 AWA 첨가량과는 무관하고, 단위결합재량이 많을수록 다소 단축되는 것으로 나타났는데, 이것은 단위결합재량이 많을수록 시멘트량이 증가되어 수화반응이 촉진되기 때문인 것으로 판단된다.

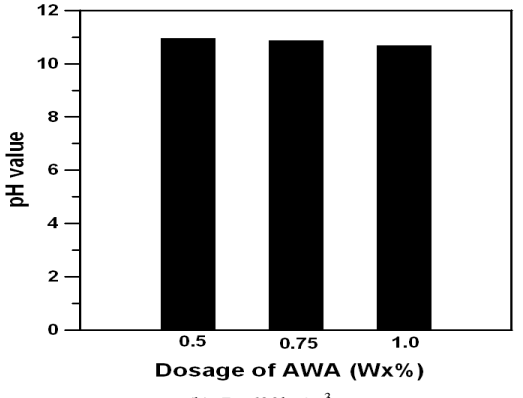
3.1.3 수중분리저항성

Figs. 7 및 8은 단위결합재량별 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 고유동 수중불분리성 콘크리트의 pH 및 현탁물질량을 나타낸 것이다.

수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 pH는 콘크리트 배합에서 시멘트량의 일부를 고로슬래그 미분말로 치환함에 따라 상대적으로 단위시멘트량의 감소로 인해 12 이하로 나타났다(Fig. 7). 현탁물질량은 Fig. 8과 같이 수중불분리성 혼화제 첨가량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났는데, 이것은 수중불분리성 혼화제 첨가량이 증가하면 콘크리트의 점성이 증가하기 때문이다.



(a) B=550kg/m^3

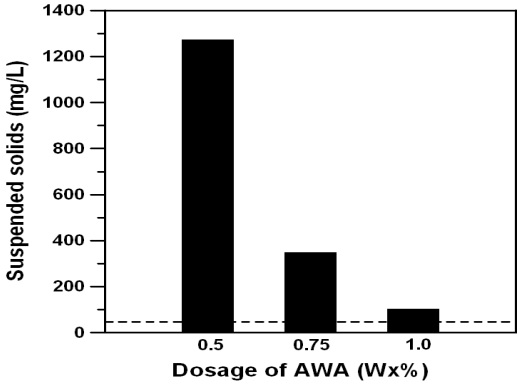


(b) B=600kg/m^3

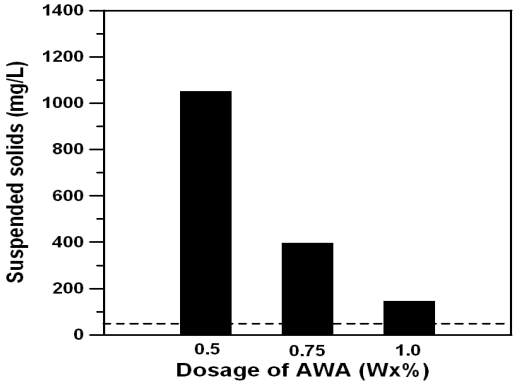
[그림 7] 고유동 수중불분리성 콘크리트의 pH
[Fig. 7] pH value of high fluidity antiwashout underwater concrete

한편, 단위수량의 0.5～1.0% 범위내에서 AWA를 첨가

한 경우, 현탁물질량은 KCI-AD102기준(50mg/L)을 초과하였고, 단위수량의 1.0% 첨가한경우에도 KCI 기준치를 다소 초과하는 것으로나타났다. 그러나 대한토목학회(KSCE) 및 일본토목학회(JSCE)의 수중불분리성 콘크리트의 현탁물질량 기준은 150mg/L 이하이므로, AWA 첨가량이 1.0%인 고유동 수중불분리성 콘크리트의 현탁물질량은 KSCE 및 JSCE 기준치를 만족시키는 것으로 나타났다[13, 14]. 또한, KCI 기준치는 슬럼프 플로 500mm 정도의 수중불분리성 콘크리트에 대한 것인데 반해 본 실험결과는 슬럼프 플로 600mm 이상의 고유동 수중불분리성 콘크리트이기 때문으로, 시공 시 문제는 없을 것으로 판단된다.



(a) B=550kg/m^3



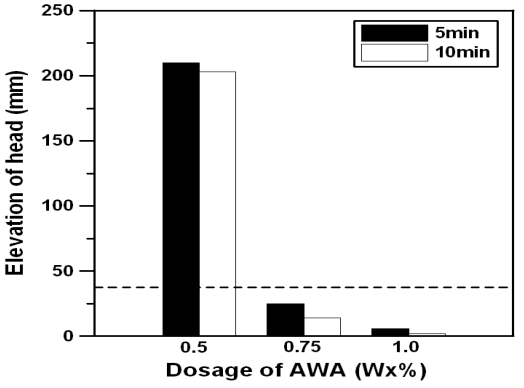
(b) B=600kg/m^3

[그림 8] 고유동 수중불분리성 콘크리트의 현탁물질량
[Fig. 8] Suspended solids of high fluidity antiwashout underwater concrete

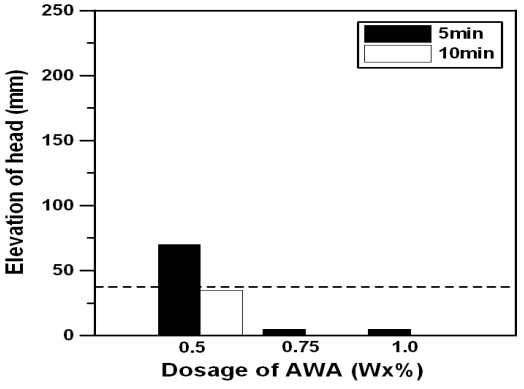
3.1.4 충전성

Fig. 9는 고유동 수중불분리성 콘크리트의 단위결합재량별 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 박스단차를 나타낸 것으로, 일정한 경과시간에 유동하는 단차가 작을수록 충전성이 우수한 것으로 나타낸다.

대체적으로 AWA 첨가량이 증가할수록 충전성이 우수한 것으로 나타났으며, AWA의 첨가량이 0.75% 이상인 경우, 5분 및 10분 후의 단차는 각각 5～35mm 및 0～14mm로 측정되어 KCI-AD102 기준 35mm 이하로 만족하는 것으로 나타났다.



(a) B=550kg/m^3



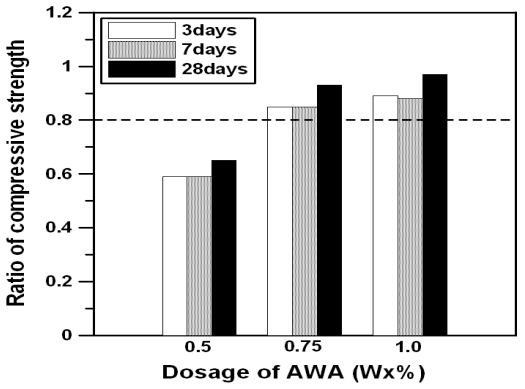
(b) B=600kg/m^3

[그림 9] 고유동 수중불분리성 콘크리트의 박스단차
[Fig. 9] Elevation of head of high fluidity antiwashout underwater concrete

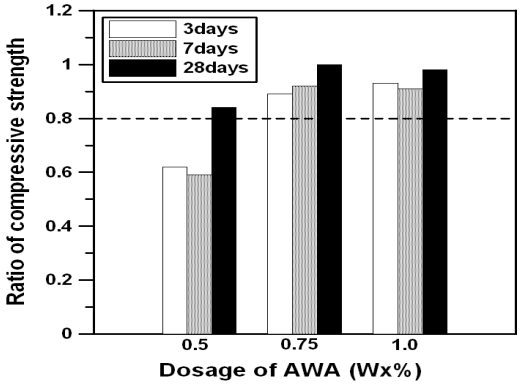
3.1.5 압축강도 비

Fig. 10은 수중불분리성 혼화제의 첨가량에 따른 기중제작 콘크리트에 대한 수중제작 콘크리트의 재령별 압축강도 비를 나타낸 것으로, 단위결합재량에 따라 압축강도 차이는 있으나 압축강도 비는 거의 유사한 것으로 나타났다.

수중불분리성 혼화제의 첨가량이 0.5%인 경우, 수중제작 콘크리트 제작 시 점성 저하로 인한 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 유실로 원활한 수화반응이 이루어지지 않아 대체적으로 강도 발현이 낮은 것으로 나타났다.



(a) B=550kg/m^3



(b) B=600kg/m^3

[그림 10] 고유동 수중불분리성 콘크리트의 압축강도 비
[Fig. 10] Ratio of compressive strength of high fluidity antiwashout concrete

한편, 단위결합재량에 관계없이 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 0.75% 이상인 경우, KCI-AD102의 수중불분리성 혼화제 품질 기준인 재령 7일 및28일의 압축강도 비 0.80 이상으로 만족하고 있으며, 재령 28일의 경우 압축강도 비는 0.9 이상으로 고유동 수중불분리성 콘크리트의 압축강도 비는 우수한 것으로 나타났다.

3.2 최적배합비 도출

고유동 수중불분리성 콘크리트는 수중에서 다짐없이 시공할 수 있는 유동성 및 충전성을 가질 뿐만 아니라 경화 후에도 소정의 강도를 가져야 한다.

본 연구에서 단위결합재량별로 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따라 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동 수중불분리성 콘크리트의 특성을 평가한 결과, 응결시간 및 현탁물질량을 제외하면 KCI-AD102 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

또한 유동성 및 충전성과 압축강도를 동시에 개선하기 위해서는 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 0.75% 이상인 것으로 나타났으며, 재료분리로 인한 시공현장의 환경오염 측면을 고려한 현탁물질량의 감소를 위해서는 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 1.0%로 나타났다. 한편, AWA 첨가량이 1.0%인 경우 단위결합재량 550kg/m^3 및 600kg/m^3 모두 유동성, 충전성 및 압축강도 기준을 만족시키나, 이 경우 단위결합재량이 적은 배합이 경제적이다.

따라서 고유동 수중불분리성 콘크리트의 품질기준과 경제성을 고려하면 최적배합비는 Table 6으로부터 물-결합재비 37%, 단위결합재량 550kg/m^3, AWA 첨가량은 단위수량의 1.0%로 나타났다.

4. 결론

1) 고유동 수중불분리성 콘크리트의 슬럼프 플로는 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 감소할수록 보다 적은 단위수량으로 목표 슬럼프 플로값 600mm 이상을 만족시키는 것으로 나타났으나, 충전성은 수중불분리성 혼화제 첨가량이 증가할수록 개선되어, 고유동 수중불분리성 콘크리트의 유동성과 충전성은 상반되는 것으로 나타났다.
2) 고유동 수중불분리성 콘크리트의 초결 및 종결 시간은 KCI-AD102 기준보다 각각 5배 및 1.3배 정도 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 수중불분리성 혼화제 분자가 초기 수화반응에 기여하는 시멘트 조성광물 C_3A 및 C_3S를 흡착하는 성질이 있고, 또한 고로슬래그 미분말과 SP제를 다량 사용함에 따라 응결이 지연되기 때문인 것으로 판단된다.
3) 수중불분리성 혼화제 첨가량에 따른 pH는 고로슬래그 미분말을 사용함에 따라 상대적으로 단위시멘트량의 감소로 인해 12 이하로 나타났다. 반면에 현탁물질량은 KCI-AD 기준(50mg/L)을 만족하고 있지 않으나, 수중불분리성 혼화제를 단위수량의 1.0%를 첨가한 콘크리트는 현탁물질량이 현저하게 감소하는 것으로 나타났다.
4) 기중제작 콘크리트에 대한 수중제작 콘크리트의 압축강도 비는 수중불분리성 혼화제의 첨가량이 0.75% 이상인 경우, KCI-AD102의 수중불분리성 혼화제 품질 기준인 압축강도 비 0.80 이상을 만족하는 것으로 나타났다.
5) 유동성, 충전성, 수중분리저항성 및 압축강도 비 등의 고유동 수중불분리성 콘크리트의 품질기준과 경제성을 고려하면, 고유동 수중불분리성 콘크리트의 최적배합비는 물-결합재비 37%, 단위결합재량 550kg/m^3,

AWA 첨가량은 단위수량의 1.0%로 나타났다.

References

[1] S. W. Kim, S. W. Kim, T. S. Ahn, and B. H. Oh, “Development and Application of High Performance and Multi-functional Concrete”, Magazine of the Korea Concrete Institute, Vol. 20, No. 1, pp 22-26, 2008.

[2] Y. W. Choi, Y. J. Kim, and H. J. Kang,, “Mechanical Properties of the High Flowing Self-compacting Concrete for Members of Bridge Overcrowded Arrangement of Bar”, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 20, No. 2, pp 175-183, 2008.

[3] H. Y. Moon and K. J. Shin, "Frost Attack Resistance and Steel Bar Corrosion of Antiwashout underwater Concrete Containing Mineral Admixtures", Construction and Building Materials, Vol. 21, No. 1, pp. 98-108, 2007.

[4] J. J. Assaad, Y. Daou, and K. H. Khayat, "Simulation of water pressure on washout of underwater concrete repair", ACI Materials Journal, Vol. 106, No. 6, pp. 529-536, 2009.

[5] KCI-AD102, “Specification for anti-washout admixture for concrete”, Standard Specification for Concrete Work, Korea Concrete Institute, pp 690-696, 2010.

[6] KS F 2403, “Standard test method of making and curing concrete specimens”, Korean Standards Association, 2010.

[7] KCI-CT102, “Method of making compressive strength specimens of anti-washout concrete cast in water”, Standard Specification for Concrete Work, Korea Concrete Institute, pp 674-676, 2010.

[8] KCI-CT103, “Test method for slump flow of concrete”, Standard Specification for Concrete Work, Korea Concrete Institute, pp 677-679, 2010.

[9] KS F 2421, “Standard test method for air content of fresh concrete by the pressure method”, Korean Standards Association, 2006.

[10] KS F 2436, “Testing method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance”, Korean Standards Association, 2007.

[11] KS I 3217, “Testing methods for industrial wastewater”, Korean Standards Association, 2008.

[12] KS F 2405, “Standard test method for compressive strength of concrete”, Korean Standards Association, 2010.

[13] KSCE, "Quality specifications for antiwashout underwater admixtures", Korean Society of Civil Engineers, 1995.

[14] JSCE, "Recommendations for Design and Construction Antiwashout Underwater Concrete", Concrete Library of JSCE, 1991.

김 성 욱(Sung-Wook Kim) **[정회원]**

- 1984년 2월 : 영남대학교 토목공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 영남대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 1998년 2월 : 동국대학교 대학원 토목공학과(공학박사)
- 2003년 12월 ~ 2004년 12월 : 호주 UNSW 객원연구원
- 1989년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>
초고성능 콘크리트 및 고성능 수중콘크리트

박 정 준(Jung-Jun Park) **[정회원]**

- 1998년 2월 : 계명대학교 토목공학과(공학사)
- 2000년 2월 : 계명대학교 토목공학과(공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정
- 2000년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>
초고성능 콘크리트 및 고성능 수중콘크리트

배 수 호(Su-Ho Bae) **[정회원]**

- 1984년 2월 : 중앙대학교 토목공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 중앙대학교 토목공학과(공학석사)
- 1987년 9월 ~ 1997년 2월 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원
- 1995년 8월 : 중앙대학교 토목공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
콘크리트 재료 개발 및 내구성

박 재 임(Jae-Im Park) **[정회원]**

- 2006년 2월 : 안동대학교 토목공학과(공학사)
- 2008년 2월 : 안동대학교 토목환경공학과(공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 토목환경공학과 박사수료

<관심분야>
콘크리트 재료 개발 및 내구성