

# 수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 최적배합비에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Optimal Mix Proportion for  
Antiwashout Underwater Concrete



조선규\*

Cho, Sun Kyu

## 요 약

최근 해양 개발의 추세에 따라 많은 수중콘크리트 구조물이 건설되고 있다. 이에 따라 일부 외국에서는 종래의 치기방법 개선 위주의 연구에서 벗어나 수중에서 쉽게 분리되지 않는 특수 혼화제의 개발에 성공함으로써 공기중에서 치는 콘크리트와 대등한 품질을 갖는 수중콘크리트의 실험과 시공에 성공하였지만 아직 국내에서는 연구실적이나 시공사례가 없다.

본 논문에서는 수중불분리 콘크리트에 대한 성공적인 실험, 시공사례를 참고로 실내 실험을 실시하여 수중불분리성 혼화제 및 다른 혼화제와의 상호작용으로 인한 수중불분리 콘크리트의 물성변화를 정량적으로 평가하였고, 정온 상태의 해상 환경에 적용할 수 있는 최적의 배합을 결정하였다.

## Abstract

Many underwater concrete structures have been constructed recently in proportion to the increase of ocean developments. The research for the underwater concrete construction was mainly focused in view of placing method. Recently, special admixture

\* 정회원. (주)서영기술단, 전문

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 1997년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

agents of concrete were developed for antiwashout concrete under water in some foreign nations. They had successful results in experiments and site constructions. However, there are seldom experimental results or placements in domestic contry.

In this paper, We had carried out property tests of fresh and hardened concrete with refer to successful results in experiments and site construction and investigated the physical variation of the antiwashout underwater concrete considering the interaction between antiwashout admixture and other ones. We have decided the optimal mix proportion for antiwashout underwater concrete under standerd sea state.

Keywords : antiwashout, admixture, optimal mix, underwater

## 1. 서 론

20세기 이후 학문과 과학기술이 급속히 발달하면서 건설재료에 대한 연구가 활발해지고, 새로운 소재 개발, 자원 재생산, 신기술 개발 보급 등 쏟아져 나오는 기술정보의 홍수속에서 현대인은 더불어 살아가고 있다. 이와 같은 추세에 따라 콘크리트에 대한 연구도 다양화되었고 또한, 여러 방면에 대한 심층연구도 진행되고 있다. 특히 삼면이 바다로 이루어진 우리나라의 사정으로 볼 때 해양에 대한 개발이 필요하게 되었고 건설영역도 점차 해양쪽으로 확대되고 있는 실정이다. 종래의 수중콘크리트는 보통의 콘크리트를 사용하되 치기방법만을 달리하는 방법과 프리캐스트에 의한 방법으로 분류할 수 있다.<sup>(1)</sup> 이러한 방법들은 콘크리트 내부의 수포발생, 콘크리트의 외부 형태 변화 등 구조적인 문제점과 구조물의 연속시공의 어려움, 치기방법의 전문성, 고가의 시공장비가 요구되는 등 시공상의 문제점 등 많은 어려움이 발생하였다.<sup>(2)</sup> 수중불분리 콘크리트는 이러한 방법과는 다른 발상으로부터 개발된 것으로 특수한 혼화제를 일정 비율 혼합시켜 기존의 치기장비를 사용하여 수중에서 어느 정도 낙하시켜 시공할 수 있는 방법으로 공사의 간단화, 공기 단축 및 공사비 절감등이 가능하다.<sup>(3)</sup> 본 논문에서는 수중불분리 콘크리트의 성공적인 시공 사례를

참고로 수중불분리성 혼화제 및 고성능감수제, AE 감수제 첨가량을 변화시켜 혼합하였을 경우, 수중 불분리 콘크리트의 제반 물성 변화를 검토하고 제조 방법 및 굳지 않은 수중불분리 콘크리트와 경화한 수중불분리 콘크리트의 성질을 연구함으로써 수중불분리 콘크리트의 제작 및 시공에 필요한 기초 자료를 얻고자 한다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

시멘트는 국내 H사의 제1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 그의 물리·화학적 성질은 표 1과 같다.

시멘트는 단일 제조업체의 시멘트를 모든 시험에 사용하였으며, 골재는 세척사와 부순돌을 사용하였고 이들 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

본 연구에서 사용한 혼화재료는 모두 K사 제품으로 수중불분리성 혼화제, 고성능감수제 및 AE감수제이다. 수중불분리성 혼화제의 주성분은 수용성 셀룰로스 에틸이고 성상은 백색 미분말이며, 표준 사용량은  $2\sim 3\text{kg/m}^3$ 이다. 고성능감수제는 고축합 트리아진계 화합물로서 암갈색 액상이며, AE감수제는 리그닌 설포산염계의 암갈색 액상이다. 혼화

표 1 보통 포틀랜드 시멘트의 물리·화학적 성질

Specific Gravity	Chemical Property(%)						lg. Loss. (%)	Insol. Res. (%)
	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>		
3.14	21.0~22.5	4.5~6.0	2.5~3.5	63.0~66.0	0.9~3.3	1.0~2.0	0.5~1.3	0.2~0.9

표 2 사용골재의 물리적 성질

Item	Type	Status	Max Dia. (mm)	F.M.	Gravity	Water Absorption (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )
Sand	Washed -Sand	Used Material	—	3.10	2.60	1.49	1401
		Specification	—	2.3~3.1	2.5~2.7	—	1500~1850
Gravel	Crushed -Stone	Used Material	19	7.05	2.65	0.57	1547
		Specification	—	6.0~8.0	2.5~2.7	below 3.0	1550~2000

표 3 혼화제의 성분과 물리적 특성

Type	Main Property	Phase
Antiwashout Underwater Agent	Hydroxy Ethyl Cellulose	White Fine Powder
Superplasticizer	High Condensate Tri-Azin	Dark Brown Liq.
AE Water Reducer	Lignin-Sulfonic Acid Salt	Dark Brown Liq.

재료의 성분 및 성상은 표 3 과 같다.

## 2.2 실험 파라미터

혼화재료 사용에 따른 수중불분리 콘크리트의 특성변화를 명확히 파악하기 위하여 단위시멘트량(C), 물-시멘트비(W/C), 잔골재율(S/a)을 고정시켰으며, 수중불분리 혼화제, 고성능감수제, AE감수제 첨가량등을 변화시켜 실험을 실시하였다.

각 재료의 사용량은 문헌 및 시공사례 등을 참고로 결정하였으며, 시공사례 가운데 AE감수제를 사용하지 않은 예가 있어 본 연구에서도 AE감수제 사용 여부에 따른 특성변화를 검토하기 위하여 AE감수제 사용 유무를 실험파라미터로 선정하였다.<sup>(3,4,5,6)</sup>

각 혼화재료의 사용량은 표 4와 같다.

## 2.3 콘크리트 배합설계

본 연구에서 목표로 하는 수중 설계기준강도는

표 4 혼화제의 사용량

Admixture	Usage
Antiwashout Underwater Agent	0.0, 1.5, 2.0 2.5, 3.0kg/m <sup>3</sup>
Superplasticizer	0.0, 1.5, 2.0, 2.5% cement mass
AE Water reducer	0.00, 0.25% cement mass

210kg/cm<sup>2</sup>이다. 수중 시공시 관리상태를 고려하여 변동계수를 12 %로 정하였으며, 잔골재율(S/a)은 시공사례를 참고로 하여 42 %로 정하였다.<sup>(3,4,5,9)</sup> 사용골재의 물리적 성질 및 시공사례, 대한토목학회 기준 등을 바탕으로 콘크리트의 배합비 및 혼화재료의 단위사용량을 정하였으며 그 값은 표 5와 같다.<sup>(1,2,7)</sup>

## 2.4 실험항목 및 측정방법

### 2.4.1 압축강도 측정용 공시체 제작

콘크리트 제조는 공칭용량 60 리터인 강제식 믹서를 사용하여 다음 순서에 의하여 실시하였다. 우선 재료를 굵은골재, 잔골재 절반, 미분말형태의 수중불분리성 혼화제가 혼합된 시멘트, 잔골재 나머지 절반의 순서로 믹서에 투입하여 1분간 마른비빔하여 골재들이 충분히 섞이도록한 후 액상인 고성능감수제 및 AE감수제를 충분히 용해시킨 혼합수를 투입하여 2분 이상 비비기를 실시하였다. 골재는 표면건조포화상태로 만든 후 사용하였으며, 굵은골재는 실험 전에 물로 씻어 석분과 같은 불순물을 제거하였다.

수중 콘크리트의 압축강도 측정용 공시체는  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 원주형몰드를 이용하여 제작하였다. 우선, 수조속에 몰드를 넣어놓고 수위를 몰드 상단에서 10 cm 까지 채운다음, 제조된 콘크리트를 핸드스쿠프를 사용하여 10등분 이상 분할한 양만큼 수면에서 조용히 수중낙하시켰다. 몰드에 가득 채워진 콘크리트 공시체를 수조에서 들어내어 5~10분 정도 정치시킨뒤, 몰드 상면을 흙손으로 마감한 후 수분의 증발 방지를 위하여 비닐로 덮고 탈형강도가 발현될 때까지 정치해 두었다. 탈형후 공시체는 표준양생을 실시하였다.<sup>(1)</sup> 공기중에서 치기를 할 경

표 5 콘크리트 배합비

$\sigma_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	G <sub>max</sub> (mm)	Slump Flow (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )									
						W	C	S	G	AWA U	Super- plasticizer F	F/C (%)	Water Reducer AE	AE/C (%)	
210	19	50	4.0	60	42	230	386	684	958	0.1	0.00	0.0	0.0	0.0	
										1.5					
										2.0					
										2.5					
										3.0					

우 그 순서와 방법은 수중치기의 경우와 동일하게 하였다. 공시체를 제작하는 동안 실제 수중에서의 작업 여건을 고려하여 충격이나 타격에 의해 다짐이 일어나지 않도록 하였다.

2.4.2 수중분리 저항성 시험

본 시험은 일본 토목학회에서 1991년에 제정한 수중불분리 콘크리트 평가방법에 준하여 시험하였다(1). 1000cc 비이커(외경 110mm, 높이 150mm)에 800cc의 물을 채우고 500g의 콘크리트를 10등분 이상 되게 수면에서 수중으로 분할 투입한 다음 비이커수 600cc를 채취하여 pH 및 현탁물질의 양(탁도)을 측정하였다. 콘크리트 투입 후 시간 경과에 따른 pH 및 탁도의 변화를 측정하기 위하여 30분, 60분에서의 pH 및 탁도를 측정하였다. 현탁물질량 측정은 채취한 600cc의 혼합수를 거름종이에 통과시켜 미세입자량을 0.05g의 정밀도로 측정하였다. 또한, pH 농도는 0.01의 정밀도로 측정하였다. 또한, 현탁물질의 절대중량을 파악하기 위하여 건조중량을 측정하였다.

2.4.3 유동성 시험

유동성 시험은 슬럼프 시험과 동일한 기구로 실시하며 슬럼프콘을 제거하고 5분 경과후에 콘크리트가 퍼진 넓이 2개 점을 측정하여 평균값을 슬럼프 플로우값으로 하였으며, 시간경과에 따른 유동성의 시간적변화를 측정하기 위하여 30분, 60분, 90분, 120분 후의 슬럼프 플로우값도 측정하였다.

2.4.4 공기량

균지않은 콘크리트의 공기함유량은 워싱턴 에어미터를 사용하여 측정하였다.

2.4.5 콘크리트 응결시험

슬럼프가 0보다 큰 콘크리트를 5 mm체로 쳐서 얻은 모르터를 사용하여 관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결시간을 측정하였다. 본 연구에서는 유압반력식 모르터 관입시험기를 사용하였고 측정된 경과시간 및 관입저항을 최소사중법으로 근사시켜 초결시간 및 종결시간을 구하였다.

2.4.6 콘크리트 단위중량 시험

사용 혼화제의 작용에 의한 유동성 및 충전성을 근사적으로 측정하기 위하여, 제작된 압축강도 측정용 공시체의 중량을 계량하여 각각의 케이스별로 콘크리트 단위중량을 측정하였다.

2.4.7 콘크리트 압축강도 시험

압축강도 시험 방법은 KS F 2405 '콘크리트의 압축강도 시험 방법'에 따라 실시하였다. 압축강도는 재령 7일, 28일에 대하여 각 케이스별로 3개의 공시체를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수중불분리성 혼화제 및 고성능감수제 첨가량에 따른 재료 분리 특성

그림 1 및 그림 2는 수중불분리성 혼화제의 첨가량과 수중을 현탁시키는 정도와의 관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 혼화제를 2.0kg/m<sup>3</sup> 이상 첨가하면 현탁물질은 급격히 저하하며 2.5kg/m<sup>3</sup>를 초과하면 그 영향은 거의 일정한 것으로 판단된다. 또한 수중 분리 저항성은 AE감수제 및 고성능감수제

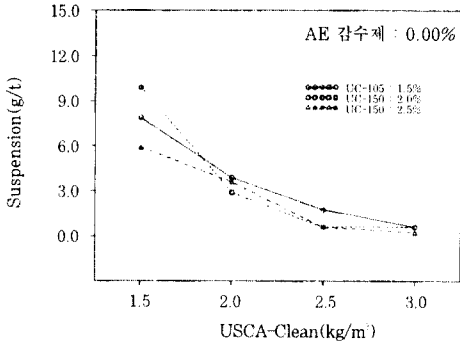


그림 1 현탁물질량(AE 감수제 0.00%)

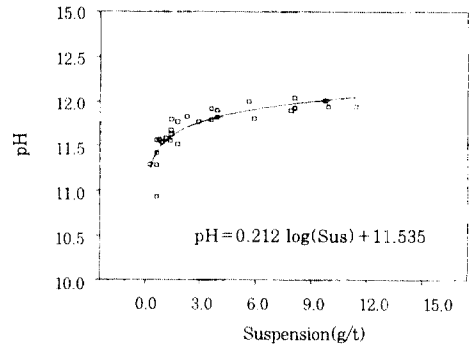


그림 4 현탁물질량과 pH간의 상관 관계

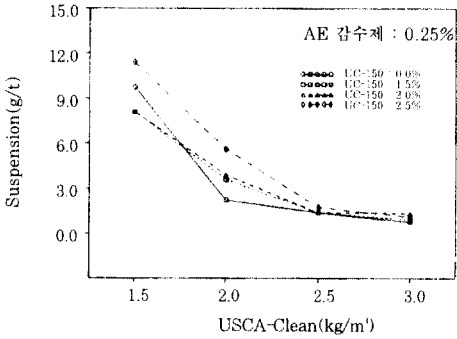


그림 2 현탁물질량(AE 감수제 0.25%)

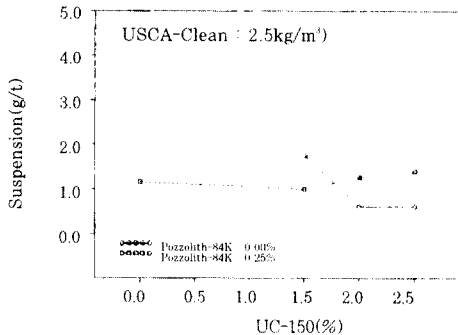


그림 3 현탁물질량(수중불분리성 혼화제, 2.5kg/m³)

첨가량에 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그러므로 수중에서 콘크리를 칠때에는 분리저항성에 대한 사항만 주의하면 재료분리로 인한 수질 오염은 어느 정도 방지할 수 있을 것으로 생각한다. 그림 4로부터 AE감수제량과 수중불분리성 혼화제 첨가여부에 관계없이 현탁물질량과 pH 사이에는 일정한 상관관계가 있으며, pH만으로도 현탁물질의 농도를 추정할 수 있을 것으로 생각한다.

따라서 현탁물질량과 pH 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$[pH] = 0.212 \log(\text{현탁물질량}) + 11.535$$

### 3.2 콘크리트 슬럼프플로우의 특성

그림 5 및 그림 7로부터 슬럼프플로우값은 수중 불분리성 혼화제 첨가량이 증가함에 따라 감소하였으며, 그 경향은 첨가량이 1.5 kg/m³ 이상일 때 더욱 현저하다. 또한 그림 6 및 그림 8로부터 고성능 감수제 및 AE감수제를 첨가하였을 때가 무첨가에 비해 슬럼프플로우값이 다소 증가함을 알 수 있다. 그러므로 수중불분리 콘크리트를 제조하는데는 수중불분리성 혼화제와 더불어 적절한 양의 고성능감수제 및 AE감수제를 함께 사용하는 것이 유동성이 다소 증진되어 작업성이 향상되는 것으로 나타났다.

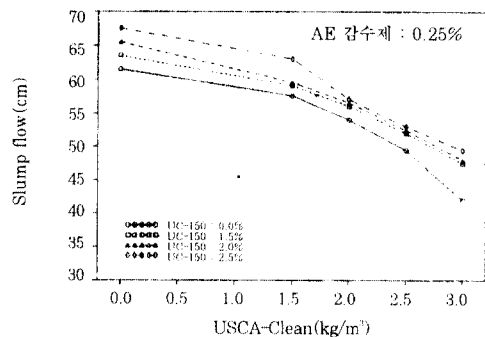


그림 5 슬럼프 플로우(AE 감수제 0.25%)

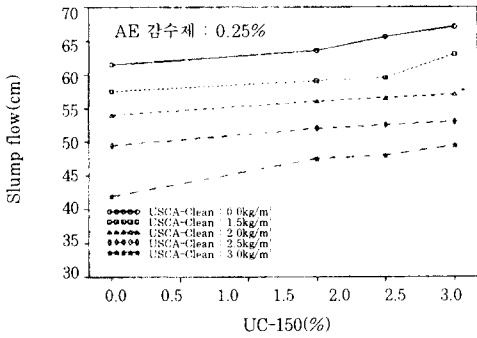


그림 6 슬럼프 플로우(AE 감수제 0.25%)

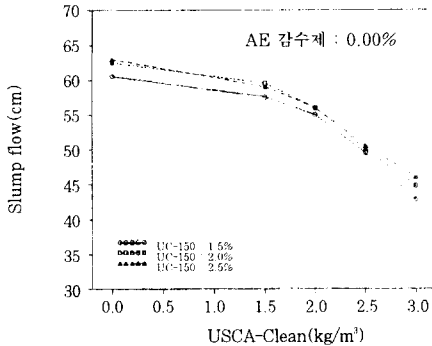


그림 7 슬럼프 플로우(AE 감수제 0.00%)

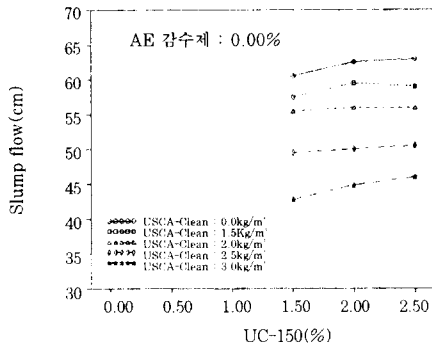


그림 8 슬럼프 플로우(AE 감수제 0.00%)

### 3.3 콘크리트 공기량 특성

그림 9는 수중불분리성 혼화제의 첨가에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 수중불분리성 혼화제 첨가량의 증가에 따라 공기량이 다소 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 혼화제 사용량 1.5kg/m<sup>3</sup> 미만일 경우, 고성능감수제 사용량이 증가할수록 공기량이 감소하는 것을 알 수 있다.

이와 같은 현상은 그림 10에서 더욱 쉽게 알 수 있다. 이것은 콘크리트의 유동성 증가로 기포의 이동 및 소멸이 원활해지기 때문이며, 수중불분리성 혼화제가 2.5kg/m<sup>3</sup>를 초과할 경우 공기량이 다소 증가하는 것은 콘크리트 점성의 증가로 갇힌 공기량이 증가되기 때문으로 추정된다.

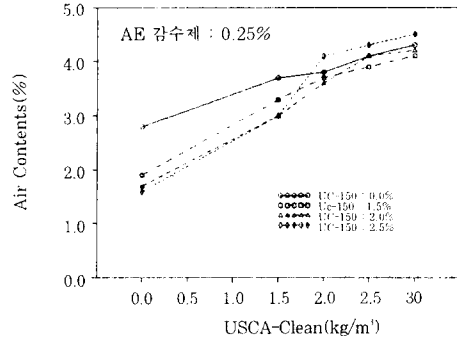


그림 9 수중불분리성 혼화제 사용에 따른 공기량

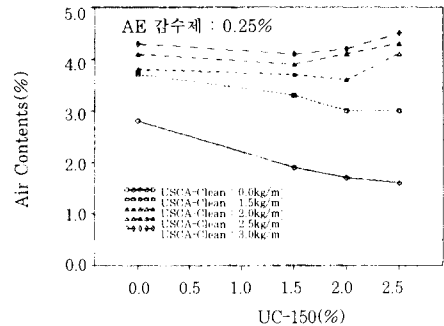


그림 10 고성능감수제 첨가량에 따른 공기량

### 3.4 콘크리트 응결 특성

그림 11로부터 수중불분리성 혼화제를 첨가한 수중콘크리트에 AE감수제를 사용하지 않았을 경우 고성능감수제 첨가량이 증가함에 따라 콘크리트의 응결시간이 단축된다는 사실을 알 수 있다. 그러나 그림 12로부터 AE감수제를 사용하였을 때에는 고성능감수제 첨가량이 2%까지 증가할수록 콘크리트의 초결 및 종결 시간은 지연되는 것으로 나타나고 있으나 이 값을 초과하면 반대로 응결 시간이 단축되고 있음을 알 수 있다.

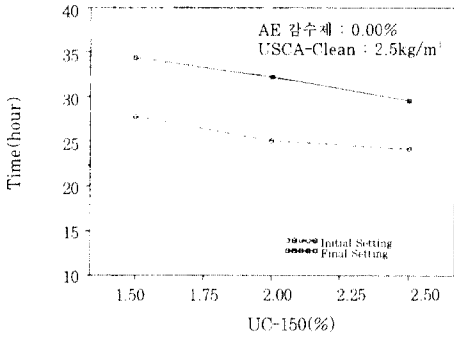


그림 11 고성능감수제 첨가량에 따른 콘크리트 응결시간 (AE 감수제 0.00%)

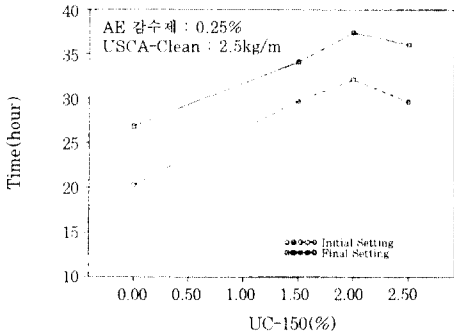


그림 12 고성능감수제 첨가량에 따른 응결시간 (AE 감수제 0.25%)

### 3.5 콘크리트 압축강도 특성

그림 13과 그림 14는 수중불분리성 혼화제 및 고성능감수제의 첨가량에 따른 압축강도의 추이를 나타낸 것이다. AE감수제의 첨가 유무에 관계없이 수중불분리성 혼화제 2.5kg/m³에서 최대 압축강도가 얻어지며, 이 경향은 AE감수제를 첨가한 경우가 더욱 분명하다. 또한 AE감수제를 첨가한 수중 콘크리트의 경우 고성능감수제는 그 첨가량이 많을수록 압축강도는 저하 하지만 첨가량이 2.0% 이상이 되면 거의 동일한 강도 발현을 나타낸다. 이들의 관계를 알기 쉽게 나타낸 것이 그림 15 및 그림 16이다.

그림 17은 수중불분리성 콘크리트를 공기중과 수중에서 각각 제조하여 7일 및 28일에 대한 압축강도를 측정하여 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 7일 및 28일의 압축강도비는 수중에서 제조된 콘크리트

리트강도가 공기중에서 제조된 콘크리트에 비하여 작은 값을 보였으며, 특히 고성능감수제의 사용량이 증가할 수록 그의 영향은 큰 것으로 나타났다. 그러나 이와 같은 현상은 고성능감수제의 사용량이

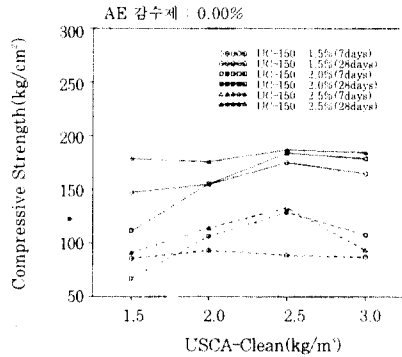


그림 13 고성능감수제 첨가량에 따른 콘크리트의 압축강도 (AE 감수제 0.00%)

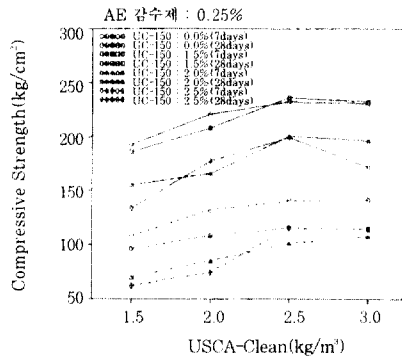


그림 14 고성능감수제 첨가량에 따른 콘크리트의 압축강도 (AE 감수제 0.25%)

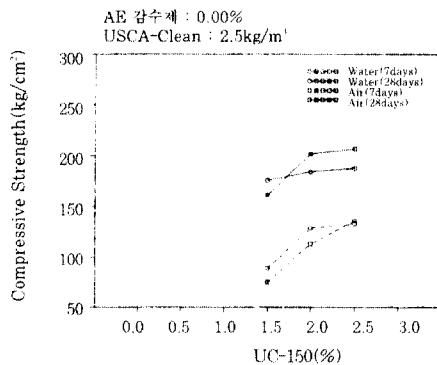


그림 15 고성능감수제 첨가량에 따른 수중·공기중 콘크리트의 압축강도(AE 감수제 0.00%)

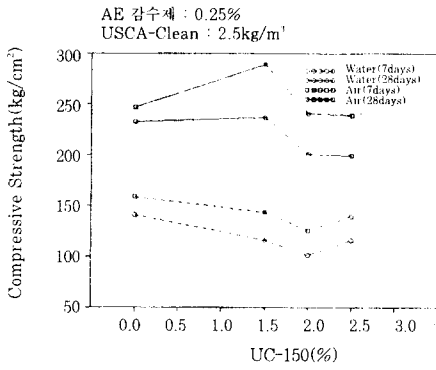


그림 16 고성능감수제 첨가량에 따른 수중·공기중 콘크리트의 압축강도(AE 감수제 0.25%)

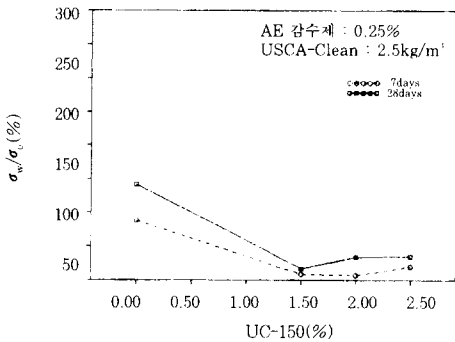


그림 17 압축강도비(수중/공기중)

1.5%를 초과하면 강도저하는 거의 없는 것으로 나타난다.

#### 4. 결 론

설계기준강도 210kg/cm<sup>2</sup>, 굵은 골재 최대치수 19mm, 물-시멘트비 60%, 잔골재율 42%인 배합 조건에 대하여 수용성 셀룰로스 에틸계 수중불분리성 혼화제와 고축합트리아진계 고성능감수제 및 리그닌 설산산염계 AE감수제를 사용하여 각 혼화제 첨가량에 따른 수중불분리 콘크리트를 제조, 물성에 관한 기초적 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 현탁물질량 및 pH는 수중불분리성 혼화제 사용량에 좌우되며 현탁물질량-pH 사이에는 일정한 상관관계가 있었다.

② 수중불분리 콘크리트의 작업성 및 유동성은

수중불분리성 혼화제 사용량이 증가함에 따라 저하되었으나, 고성능감수제 사용량의 증가에 따라 향상되었다. 또한 AE감수제를 사용하였을 경우 작업성 및 유동성은 향상되었다.

③ 수중불분리 콘크리트의 유동성 및 충전성은 AE감수제를 사용하지 않았을 경우 수중불분리성 혼화제 사용량이 많을수록 감소되었고, 일정량의 AE감수제를 사용하였을 때 고성능감수제의 상호작용으로 충전성이 향상되어 비교적 치밀한 콘크리트가 됨을 알 수 있었다.

④ 수중불분리 콘크리트의 공기량은 수중불분리성 혼화제 사용량 1.5kg/m<sup>3</sup> 미만일 경우에는 고성능감수제 사용량이 증가할수록 공기량은 감소되었고, 수중불분리성 혼화제 사용량이 1.5kg/m<sup>3</sup>를 초과하는 경우에는 공기량이 증가함을 알 수 있었다.

⑤ 수중 설계기준강도 이상의 압축강도 및 수중/공기중 압축강도비 0.8 이상 확보되고 재료 분리저항성, 작업성 및 유동성, 충전성, 응결 특성, 압축강도 특성 등의 분석을 통하여 수중불분리성 혼화제, 고성능감수제 및 AE감수제를 함께 사용할 경우 최적의 수중불분리 콘크리트를 제작할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. 關博, "日本土木學會, 水中不分離性 콘크리트設計施工指針(案) のアウトラインセメント・コンクリート", No.541, pp.49-52 (1992)
2. 關博, "水中分離防止劑, 콘크리트工學", Vol.24, No.8, pp.86-90 (1986)
3. "明石海峽大橋 2P, 3P 特殊水中 콘크리트 工事"
4. 山城 多郎 & 保坂 鐵矢, "關西空港連絡橋基礎における水中不分離性 콘크리트 工事"
5. 財團法人沿岸開發技術研究中心-はか, "水中不分離性 콘크리트・マニュアル(設計・施工)", 山海堂 (1990)
6. 高橋, 保坂, "水中不分離性 콘크리트를 이용한海面下20 m의橋脚基礎の施工(關西國際空港連絡橋)", 土木學會, 水中不分離性 콘크리트に関するシンポジウム論文集 (1990)
7. 정범석, 최계식 & 이규재, "수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구",



- 한국콘크리트학회 봄학술발표논문집, 제5권 제 1 호, pp.47-52 (1993)
8. "수중콘크리트에 관한 최적공법의 비교연구", 한국건설기술연구원 (1985)
  9. 대한토목학회, "콘크리트 표준시방서", 건설부 (1988)
  10. 신도철 & 이종열, "수중불분리 콘크리트 물성에 미치는 혼화제의 영향에 관한 기초 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표논문집, 제6권, 제 2호, pp.180-185 (1994)
  11. 김생빈, "한강 교량의 수중 하부 구조물의 조사 및 안전진단", 대한 토목 학회지 제 42권 제2호 (1994)
  12. 심재범, 김영철, 수중 콘크리트에 관한 최신 공법의 비교연구, 한국건설기술 연구원 (1985)
  13. Sika Corporation, "Underwater concrete placement for stilling basin reconstruction", Concrete International, Vol. 14, No. 9, Sep 1992
  14. Tony C. Liu, "Abrasion Resistance of Concrete", ACI Journal, V.78, No. 5, Sep-Oct 1981, pp. 341-350 (접수일자 : 1996. 9. 17)