

수중 비분리 콘크리트의 최적배합비에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on the Optimal Mix Proportion for Antiwashout Underwater Concrete

진치섭*

김희성**

한태영***

Jin, Chi Sub Kim, Hee-Sung Han, Thae Yeong

요 약

최근 일부 외국에서는 종래의 수중 콘크리트와 다른 관점으로 부터 수중에서 쉽게 분리되지 않고 타설방법도 용이한 특수 혼화제가 개발되어 실험과 시공에서 성공하였고, 이런 특수 콘크리트(수중 비분리 콘크리트)는 점차 사용 규모와 시공 방법이 확대되고 있는 추세이다.

본 논문에서는 수중 비분리 콘크리트에 대한 성공적인 실험, 시공사례를 참고하여 수중 비분리성 혼화제 및 다른 혼화제의 첨가 방법을 달리하였을 경우, 수중 비분리 콘크리트의 물성변화를 검토하였고, 비교적 정온 상태의 해상 환경에 적용할 수 있는 수중 비분리 콘크리트의 최적 배합을 결정하였다.

Abstract

Recently, in other view of underwater concrete construction, special admixture agent of concrete has been developed for antiwashout of concrete under water with easy carrying out method in some foreign nations. They had successful cases in experiment and construction and it trend to use in many cases with many scales. However, in domestic, there was rare record in carrying out.

In this paper, reference for successful results of experiment and construction about antiwashout underwater concrete, as variable add of special admixture agent and other agents. We have carried out property tests of fresh and hardened concrete, certified the properties and made the antiwashout underwater concrete have enough strength to endure with easy construction. And we have decided the optimal mix proportion for antiwashout underwater concrete under standard state.

Keywords : underwater concrete construction, special admixture agent of concrete, antiwashout underwater concrete, optimal mix proportion

1. 서 론

콘크리트가 건설재료로서 인류문명에 기여한지

200여년 역사 밖에 되지 않지만 짧은 역사속에서도 건설분야에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 또한 시대적 및 환경적인 요인에 따라 여러가지로

* 정회원, 부산대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 정회원, 부산대학교 생산기술연구소 전임연구원
*** (주)유신설계공단, 광안대로사업소 과장, 공학석사

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 1996년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

콘크리트에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 삼면이 바다로 이루어진 우리나라 사정으로 볼 때 해양쪽으로 개발이 필요하게 되었고 건설영역도 점차 해양쪽으로 확대되고 있는 실정이다. 종래의 수중콘크리트는 보통의 콘크리트를 사용하여 타설방법을 달리하여 시공하는 방법과 프리팩트에 의한 방법으로 분류할 수 있다⁽¹³⁾. 이러한 방법들은 콘크리트 내부의 수포발생, 콘크리트의 외부 형태 변화 등 구조적인 문제점과 구조물의 연속시공의 어려움, 타설방법의 전문성, 고가의 시공장비의 필요성, 시공적인 문제점 등 많은 어려움이 발생하였다⁽¹²⁾. 수중 비분리 콘크리트는 이러한 계열과는 다른 발상으로 부터 개발된 것으로 특수한 혼화제를 일정 비율 배합시켜 기존의 타설장비를 사용하여 수중에서 어느 정도 낙하시켜 시공할 수 있어서 공사의 간단화, 공기단축 및 공사비 절감이 가능하다⁽⁸⁾. 본 논문에서는 수중 비분리 콘크리트의 성공적인 시공 사례를 참고하여 수중 비분리성 혼화제 및 고유동화제, AE감수제 첨가량을 변화시켜 혼합하였을 경우, 수중 비분리 콘크리트의 제반 물성 변화를 검토하고 제작 방법

및 굳지않은 수중 비분리 콘크리트와 굳은 수중 비분리 콘크리트의 성질을 연구함으로써 수중 비분리 콘크리트의 제작 및 시공을 위한 기초 자료를 확립하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 국내 H사의 제1종 보통포틀랜드 시멘트(KS L 5201)를 사용하였으며 화학적, 물리적 성질은 Table 1과 같다.

시멘트로 인한 미세한 차이를 없애기 위하여 단일 제조업체의 시멘트를 모든 시험에 사용하였다. 골재는 세척사와 쇄석을 사용하였으며 사용 골재의 물리적 성질 및 규격은 Table 2와 같다.

본 연구에서 사용되는 혼화재료는 모두 K사 제품으로 수중 비분리성 혼화제, 고유동화제 및 AE 감수제이다. 수중 비분리성 혼화제의 주성분은 수용성 셀룰로스 에틸이고 성상은 백색 미분말이며, 표준 사용량은 2~3kg/m³이다. 고유동화제는 고

Table 1 Chemical & physical properties of ordinary portland cement

Specific Gravity	Chemical Property(%)						Ig. Loss. (%)	Insol. Res. (%)	Blain (cm ² /g)	Setting Time (hr-min)		Compressive Strength (kg/cm ²)		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃				initial	final	3days	7days	28days
3.14	21.0	4.5	2.5	63.0	0.9	1.0	0.5	0.2	3,290	4-55	7-05	195	269	327
	22.5	6.0	3.5	66.0	3.3	2.0	1.3	0.9						

Table 2 Physical properties of aggregates

Item	Type	Status	Max Dia. (mm)	F.M.	Gravity	Water Absorption (%)	Unit Weight (kg/m ³)
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

Table 3 Physical properties of admixtures

Type	Main Property	Phase	Color
Antiwashout Underwater Agent (AWA)	Hydroxy Ethyl Cellulose	Fine Powder	White
Superplasticizer (SP)	High Condensate Tri-Azin	Liquid	Dark Brown
AE Water Reducer (AE)	Lignin-Sulfonic Acid Salt	Liquid	Dark Brown

축합 트리아진계 화합물로서 암갈색 액상이며 AE 감수제는 리그닌 설산산염계의 암갈색 액상이다. 혼화재료의 성분 및 성상은 Table 3과 같다.

2.2 실험 파라미터

혼화재료 사용에 따른 수중 비분리 콘크리트 특성변화를 명확히 파악하기 위하여 단위시멘트량(C), 물-시멘트비(W/C), 잔골재율(S/a)을 고정시켜 단순화하였으며, 수중 비분리 혼화제, 고유동화제, AE감수제 첨가량을 변화시켜 가며 실험을 수행하였다.

각 재료의 사용량은 문헌 및 시공사례를 참고로 하여 결정하였으며, 시공사례 중 AE감수제를 사용하지 않은 예가 있어 본 연구에서도 AE감수제 사용 여부에 따른 특성변화를 검토하기 위하여 AE감수제 사용 유무 또한 실험파라미터로 선정하였다⁽³⁻⁶⁾.

각 혼화재료의 사용량은 Table 4와 같다.

Table 4 Usage of admixtures

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

2.3 콘크리트 배합설계

본 연구에서 목표로 하는 수중 설계기준강도는 210kg/cm²이다. 수중 시공시 관리상태를 고려하여 변동계수를 12%로 정하였으며, 잔골재율(S/a)은 시공사례를 참고로 하여 42%로 정하였

다^(3,4,5,9). 사용골재의 물리적 성질 및 시공사례, 일본토목학회의 규준을 바탕으로 콘크리트의 배합비 및 혼화재료의 단위사용량은 Table 5와 같다^(1,2,7,10,11).

2.4 실험항목 및 측정방법

2.4.1 콘크리트 제작

콘크리트 제작은 공칭용량 60리터인 강제식 믹서를 사용하여 다음 순서에 의하여 제작하였다. 우선 재료를 굵은골재, 잔골재 절반, 미분말형태의 수중 비분리성 혼화제가 혼합된 시멘트, 잔골재 나머지 절반의 순서로 믹서에 투입하여 1분간 건비빔하여 골재들이 충분히 섞이도록 유도한 후 액상인 고유동화제 및 AE감수제를 충분히 용해시킨 혼합수를 투입하여 2분 이상 충분히 믹싱하였다. 골재는 표면건조포화상태(SSD)의 골재를 사용하였으며, 굵은 골재는 실험전에 물로 씻어 석분과 같은 불순물을 제거하였다.

2.4.2 압축강도 측정용 공시체 제작

수중 콘크리트의 압축강도 측정용 공시체는 ϕ 10×20cm의 원주형몰드를 이용하여 제작하였다. 우선 수조속에 몰드를 넣어놓고 수위를 몰드 중심에서 20cm 위까지 즉, 몰드 상단에서 10cm 위까지 채운다. 제작된 콘크리트를 핸드스쿠프(hand scoop)를 이용하여 10등분 이상 분할한 양만큼 수면에서 조용히 수중낙하시켰다. 다음에는 몰드에 가득 채워진 콘크리트 공시체를 수조에서 들어내어 5~10분 정도 정치시켰다. 몰드상면을 흡손으로 마감한 후 수분 증발 방지를 위하여 비닐로 덮은 후 탈형강도가 발현될 때까지 정치해 두었다.

Table 5 Mix proportion

σ_{ck} (kg/cm ²)	G_{max} (mm)	Slump Flow (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)								
						W	C	S	G	Antiwashout Underwater Agent (AWA)	Super- plasticizer (SP)	SP/C (%)	AE Water Reducer (AE)	AE/C (%)
210	19	50	4.0	57	42	220	386	674	948	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0
										1.5				
										2.0				
										2.5				
										3.0				
0.00	5.79	1.5	0.97	0.25										

그동안 계속 수분을 공급하여 표면이 마르는 경우가 없도록 하였다. 탈형강도에 이를 때 탈형한 후 수온 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 수조에 넣고 표준양생을 실시하였다⁽¹⁾. 공기중 타설의 경우 순서와 방법은 수중타설의 경우와 동일하게 시행하였다. 공시체를 제작하는 동안 실제 수중에서의 작업 여건을 고려하여 다짐효과가 발생하는 충격이나 타격이 없도록 하였다.

2.4.3 수중분리 저항성 시험

본 시험은 일본 토목학회에서 1991년에 제정한 수중 비분리 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 시간경과에 따른 pH 및 탁도의 변화를 측정하기 위하여 30분, 60분에서의 pH 및 탁도를 측정하였다. 현탁물질량 측정은 채취한 600cc의 혼합수를 거름종이에 통과시켜 미세입자량을 0.05g 정밀도로 측정하였다. 또한 pH 농도는 0.01 정밀도로 측정하였다. 현탁물질의 절대중량을 파악하기 위하여 건조중량을 또한 측정하였다.

2.4.4 유동성 시험(slump flow)

슬럼프 시험과 같은 시험기구로 행하며 슬럼프 콘을 제거하고 5분 경과후에 콘크리트가 퍼진 넓이 2개 지름을 측정하여 평균값을 slump flow치로 하였으며 시간경과에 따른 slump flow 경시변화를 측정하기 위하여 30분, 60분, 90분, 120분 후의 slump flow도 측정하였다.

2.4.5 공기량

굳지않은 콘크리트의 공기함유량을 워싱턴 에어미터를 사용하여 측정하였다.

2.4.6 콘크리트 응결시험

슬럼프가 0보다 큰 콘크리트를 No. 4 체로 쳐서 얻은 모르타르로 시험하여 관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결시간을 측정하였다. 본 연구에서는 유

압반력식 모르타르 관입시험기를 사용하였고 측정된 경과시간 및 관입저항을 최소자승법으로 근사시켜 초결시간 및 종결시간을 구하였다.

2.4.7 콘크리트 단위중량 시험

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

2.4.8 콘크리트 압축강도 시험

압축강도 시험 방법은 KS F 2405 '콘크리트의 압축강도 시험 방법'에 따라 행하였다. 압축강도는 재령 7일, 28일에 각 케이스별로 3개의 공시체를 기본으로 실시하였다. 실험에 사용된 기기는 용량 200ton인 만능시험기이며, 캘핑 재료는 유황검과 운드를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수중 비분리성 혼화제 및 고유동화제 첨가량에 따른 재료 분리 특성

수중 분리 저항성은 AE감수제 및 고유동화제 첨가량에 큰 영향을 받지 않으며 수중 비분리성 혼화제의 적정 첨가량 $2 \sim 3\text{kg}/\text{m}^3$ 에 대해서 양호한 것으로 나타났다. 시간 경과에 따른 현탁물질량의 농도는 타설 직후가 가장 많았고 30분 경과 후에는 수중 비분리성 혼화제가 첨가되지 않은 경우에도 현탁물질량이 $3.0\text{g}/\ell$ 미만의 소량이였다. 따라서 타설시에 분리지항성에 대한 사항만 주의하면 재료분리로 인한 수질 오염은 어느 정도 방지할 수 있을 것으로 생각한다. AE감수제량과 수중 비분리성 혼화제 첨가 여부에 무관하게 현탁물질량과 pH 사이에는 일정한 상관관계가 있으며 pH만으로도 현탁물질의 농도를 추정할 수 있을 것으로 생각한다(Fig. 1~4 참조).

$$[\text{pH}] = 0.212 \log[\text{현탁물질량}] + 11.535 \quad (1)$$

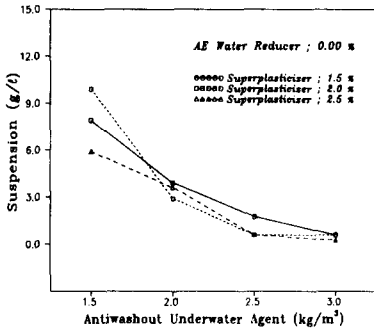


Fig. 1 Suspension(AE Water Reducer 0.00%)

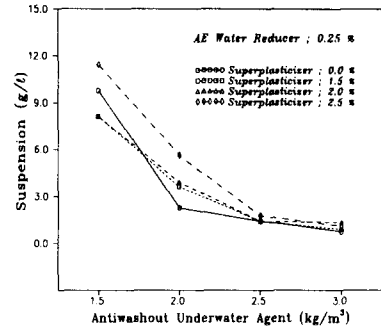


Fig. 2 Suspension(AE Water Reducer 0.25%)

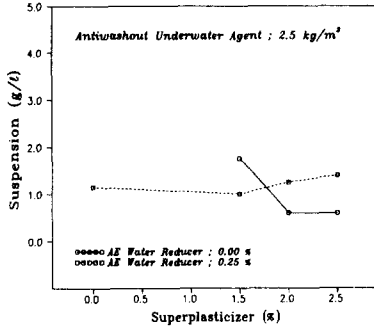


Fig. 3 Suspension(AWA 2.5kg/ m³)

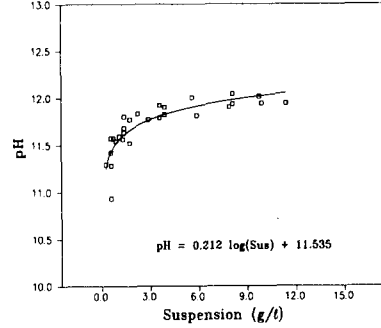


Fig. 4 Relationship between suspension and pH

3.2 콘크리트 슬럼프 플로우 및 경시변화 특성

전반적으로 슬럼프 플로우치는 수중 비분리성 혼화제 첨가량이 증가함에 따라 감소하였으며 고 유동화제 및 AE감수제를 첨가하였을 때 슬럼프 플로우치가 증가함을 알 수 있었다. 적절한 양의 고 유동화제 및 AE감수제를 함께 사용하는 것이 유동성이 다소 증진되어 작업성이 향상되는 것으로 나타났다.(Fig. 5~8 참조)

3.3 콘크리트 공기량 특성

수중 비분리성 혼화제 첨가량에 따라 공기량이 다소 증가하는 경향을 나타내고 있으며 수중 비분리성 혼화제 사용량 1.5kg/cm³ 미만일 경우, 고 유동화제 사용량이 증가할수록 공기량이 감소하는 것을 알 수 있었다. 이것은 콘크리트의 유동성 증가로 기포의 이동 및 소멸이 원활해지기 때문이며 수중 비분리성 혼화제가 비교적 많이 첨가된

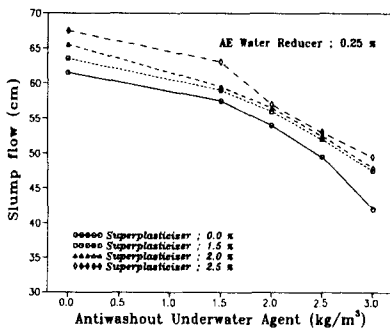


Fig. 5 Slump flow(AE Water Reducer 0.25%)(i)

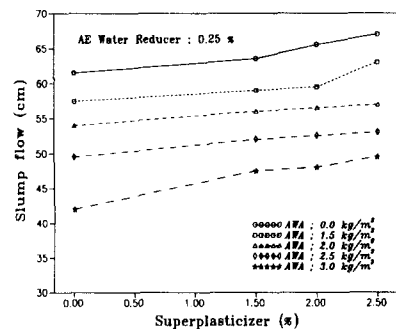


Fig. 6 Slump flow(AE Water Reducer 0.25%)(ii)

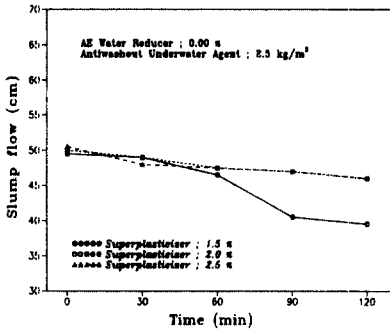


Fig. 7 Slump flow over time(AE Water Reducer 0.00%)

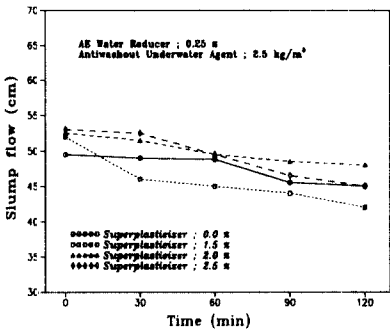


Fig. 8 Slump flow over time(AE Water Reducer 0.25%)

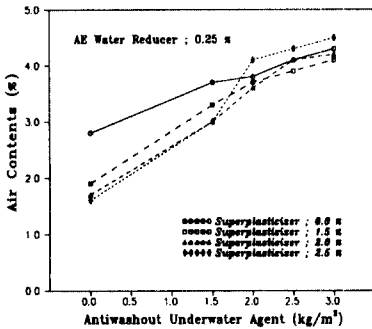


Fig. 9 Air contents as to usage of AWA

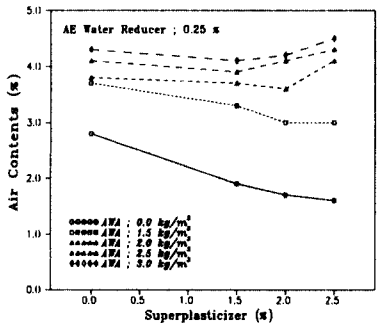


Fig. 10 Air contents as to usage of superplasticizer

경우 공기량이 다소 증가하는 것은 콘크리트 점성의 증가로 인한 공기량이 증가되기 때문으로 추정된다.(Fig. 9~10 참조)

3.4 콘크리트 응결 특성

AE감수제 및 고유동화제 첨가량이 일정할 때 수중 비분리성 혼화제 첨가량이 증가할수록 초결 및 종결 시간이 지연되는 것으로 나타났으며 AE 감수제를 시멘트 중량의 0.25% 첨가하였을 경우

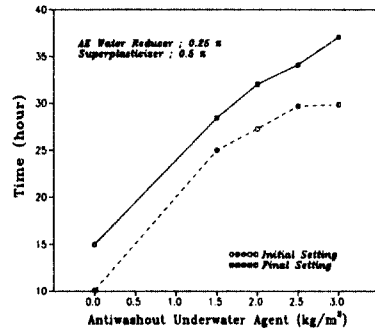


Fig. 11 Setting time as to usage of AWA (AE Water Reducer 0.00%)

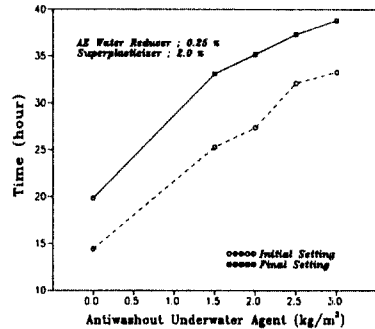


Fig. 12 Setting time as to usage of AWA (AE Water Reducer 0.25%)

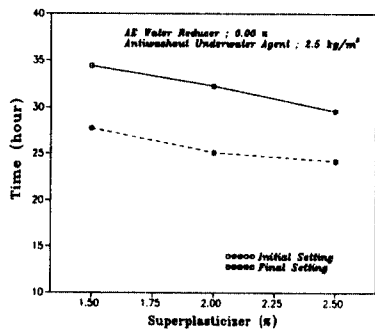


Fig. 13 Setting time as to usage of superplasticizer (AE Water Reducer 0.00%)

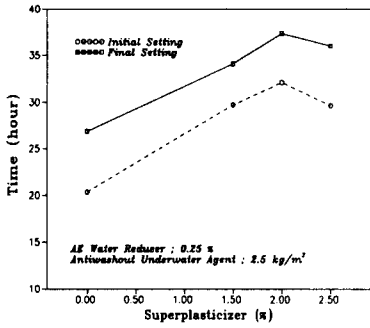


Fig. 14 Setting time as to usage of superplasticizer (AE Water Reducer 0.25%)

응결 지연 효과가 나타나는 것을 알 수 있었다. (Fig. 11~14 참조)

3.5 콘크리트 단위중량 특성

압축강도를 측정하기 위하여 제작한 공시체의 중량을 측정하여 단위중량으로 환산하였다. AE감수제를 첨가하였을 경우는 AE감수제를 첨가하지 않은 경우에 비하여 고유동화제와의 상호 작용으

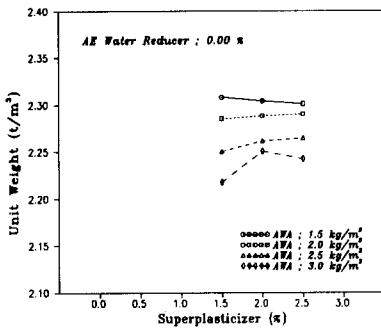


Fig. 15 Unit weight as to usage of superplasticizer (AE Water Reducer 0.00%)

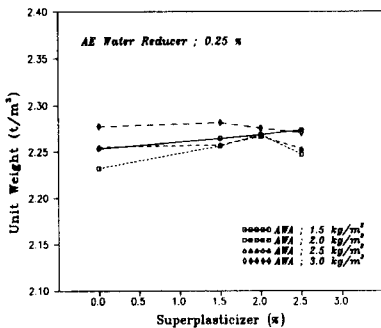


Fig. 16 Unit weight as to usage of superplasticizer (AE Water Reducer 0.25%)

로 인하여 수중 비분리성 혼화제 첨가량에 관계없이 비교적 일정한 단위중량을 나타내고 있다. (Fig. 15~16 참조)

3.6 콘크리트 압축강도 특성

전반적으로 수중 비분리성 혼화제를 2.5kg/m³ 첨가하였을 경우 가장 높은 압축강도를 나타내었다. 고유동화제 사용량에 대한 압축강도 특성은 AE감수제를 사용하지 않았을 경우 재령 7일, 28일 강도는 고유동화제가 많아짐에 따라 증가하였다. AE감수제를 사용하였을 경우 고유동화제 사용량이 증가함에 따라 감소하였으며 특히 수중 비분리성 혼화제 2.5kg/m³, 고유동화제 1.5%를 사용할 때 가장 높은 압축강도 특성을 나타내었다. AE제를 사용하지 않았을 때 수중/공기중 제작 콘크리트 압축강도비는 고유동화제 사용량이 증가함에 따라 감소하였으며 고유동화제를 작게 사용하였을 때 강도비는 오히려 높게 나타났다. AE

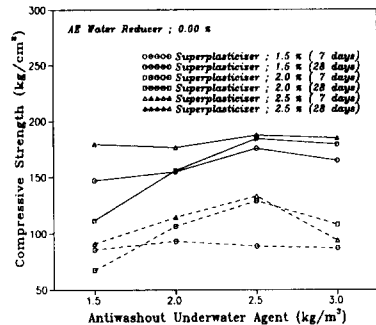


Fig. 17 Compressive strength molded underwater & air as to usage of superplasticizer (AE Water Reducer 0.00%)

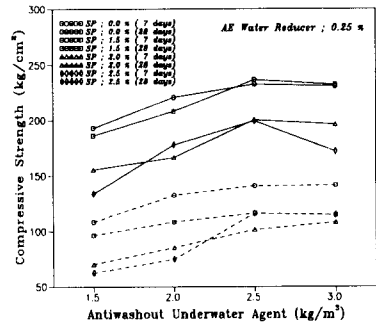


Fig. 18 Compressive strength molded underwater & air as to usage of superplasticizer (AE Water Reducer 0.25%)

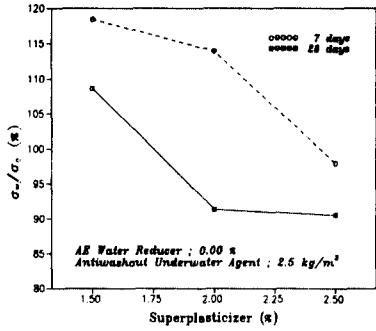


Fig. 19 Compressive strength ratio molded underwater/ air(AE Water Reducer 0.00%)

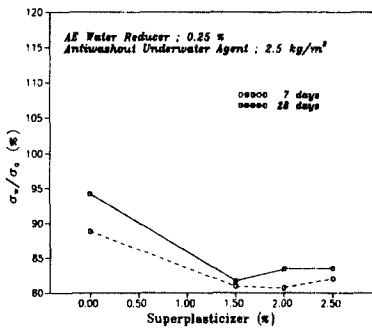


Fig. 20 Compressive strength ratio molded underwater/ air(AE Water Reducer 0.25%)

감수제를 사용하였을 때 고유동화제를 사용하지 않으면 재령 7일 보다 재령 28일 압축강도비가 높게 나타났으며 고유동화제를 사용한 경우에는 고유동화제를 1.5~2.0% 사용하였을 경우 수중/기중 압축강도비는 재령 7, 28일에 대하여 큰 편차를 보이지 않으며, 압축강도비 0.8 이상이 됨을 알 수 있었다. (Fig. 17~20 참조)

4. 결 론

설계기준강도 210kg/cm², 굵은 골재 최대치수 19mm, 물-시멘트비 57%, 잔골재율 42%인 설계

조건에 대하여 수용성 셀룰로스 에틸계 수중 비분리성 혼화제와 고축합트리아진계 고유동화제 및 리그닌 설폰산염계 AE감수제를 사용하여 각 혼화제 재료 첨가량에 따른 수중 비분리 콘크리트를 제작, 물성에 관한 기초적 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 수중 비분리 콘크리트의 재료분리 저항성은 본 연구에서 사용한 수중 비분리성 혼화제의 표준 사용량 2.0~3.0kg/m³ 범위내에서 양호한 것으로 나타났다.

나. 현탁물질량 및 pH는 수중 비분리성 혼화제 사용량에 좌우되며 현탁물질량-pH 사이에는 일정한 상관관계가 있었다.

다. 수중 비분리 콘크리트의 작업성 및 유동성은 수중 비분리성 혼화제 사용량이 증가함에 따라 저하되었고, 고유동화제 사용량의 증가에 따라 향상되었다. 또한 AE감수제를 사용하였을 경우 작업성 및 유동성은 향상되었다.

라. 수중 비분리 콘크리트의 유동성 및 충전성은 AE감수제를 사용하지 않았을 경우 수중 비분리성 혼화제 사용량이 많을수록 감소되었고, 일정량의 AE감수제를 사용하였을 때 고유동화제의 상호작용으로 비교적 일정한 단위중량을 나타내는 콘크리트가 됨을 알 수 있었다.

마. 수중 설계기준강도 이상의 압축강도 및 수중/공기중 압축강도비 0.8 이상 확보되고 재료 분리 저항성, 작업성 및 유동성, 충전성, 응결 특성, 압축강도 특성 등의 분석을 통하여 수중 비분리성 혼화제, 고유동화제 및 AE감수제를 함께 사용할 경우 최적의 수중 비분리 콘크리트를 제작할 수 있고, 본 연구에서 정한 실험요인과 파라미터에 대한 수중 비분리 콘크리트 구성재료의 단위량당 최적 배합은 Table 6과 같이 결정할 수 있었다.

바. 본 논문에서는 비교적 정온 상태의 해상 환경에 적용할 수 있는 수중 콘크리트의 적정 배합

Table 6 Optimal mix proportion for antiwashout underwater concrete

σ_{ck} (kg/cm ²)	G_{max} (mm)	Slump Flow (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)									
						W	C	S	G	AWA	SP	SP/C (%)	AE	AE/C (%)	
210	19	50	4.0	57	42	220	386	674	948	2.5	5.79 7.72	1.5 2.0	0.97	0.25	

을 실험적으로 결정하였으며, 조류나 유속의 영향 및 수심이 비교적 깊은 경우 등, 작업 조건이나 환경 조건을 고려하지 않았다. 일본에서는 비교적 깊은 수심의 대규모 수중 콘크리트의 성공적인 시공 사례도 발표되고 있으나, 국내의 연구 성과 및 시공실적은 극히 미진한 실정이다. 앞으로 국내에서도 수중 콘크리트 사용증대 및 시공기준을 확립하기 위하여 보다 활발하고 광범위한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다. 또한 콘크리트 재료간의 상대적 배합량 및 혼화재료의 종류에 따라 콘크리트 성질에 많은 영향을 미치게 되므로 다양한 실험요인 및 파라미터에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

1. 關博, “日本土木學會, 水中不分離性 ユンクリート 設計施工指針(案) のアウトラインセメント・ユンクリート”, No. 541, 1992, pp. 49-52
2. 關博, “水中分離防止劑, ユンクリート工學”, Vol. 24, No. 8, 1986, pp. 86-90
3. “明石海峽大橋 2P, 3P 特殊水中 ユンクリート 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 ユンクリート 工事”
5. 財團法人沿岸開發技術研究センターはか, “水中不分離性 ユンクリート・マニュアル(設計・施工)”, 山海堂, 1990
6. 高橋, 保坂, “水中不分離性 ユンクリートを用いた海面下 20m の橋脚基礎の施工 (關西國際空港連絡橋)”, 土木學會・水中不分離性ユンクリートに關するシッホシウム論文集, 1990
7. 정범석, 최계식 & 이규재, “수중불분리성혼화제를 첨가한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표논문집, 제5권 제 1호, 1993, pp. 47-52
8. “수중콘크리트에 관한 최적공법의 비교연구”, 한국건설기술연구원, 1985
9. 대한토목학회, “콘크리트 표준시방서”, 건설부, 1988
10. 진치섭, “콘크리트 및 구조시험”, 제일문화사, 1986
11. 문한영, “건설재료학”, 동명사, 1984
12. 신도철 & 이종열, “수중불분리 콘크리트 물성에 미치는 혼화제의 영향에 관한 기초 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표논문집, 제6권, 제2호, 1994, pp. 180-185
13. 김생민, “한강 교량의 수중 하부 구조물의 조사 및 안전진단”, 대한 토목 학회지 제42권 제2호, 1994

(접수일자 : 1995. 10. 14)