

해사(海沙)를 사용한 수중불분리콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Characteristics of Antiwashout Underwater Concrete Using Sea Sand

김명식*

백동일**

어영선***

Kim, Myung-Sik

Baek, Dong-Il

Eo, Young-Sun

Abstract

Recently as the development of a large-scale ocean structure or ocean is in progress, the importance of underwater concrete construction came to the fore. However, a problem with this underwater concrete construction is the segregation of cement and aggregate occurs when concrete is poured into the underwater. However, recently as an adhesiveness of the constituents of fresh concrete is increased even in our country, antiwashout concrete admixture were developed. The antiwashout concrete admixture can reduce the segregation significantly. Although this antiwashout underwater concrete is superior to the traditional underwater concrete in terms of durability, watertightness, stability, etc. But it is still unsatisfied due to the lack of criterion or construction experiences. Furthermore, because of an insufficiency of natural aggregate, the development of replacing aggregate came to be necessary.

Accordingly, the purpose of this study is to investigate the feasibility of sea sand as a replacing aggregate and the characteristic change of antiwashout underwater concrete using river sand, sea sand, and blended sand (river sand:sea sand=3:7) through experimental researches.

1. 서론

곧 맞이하게 될 21세기를 준비하기 위한 대규모 해양구조물 및 해양개발이 활발해져 감에 따라 영종도 신공항건설, 가덕도 신항만공사, 광안대로 등 대규모 프로젝트들이 수행되고 있는 실정이다. 따라서 수중콘크리트공사의 중요성이 대두됨은 물론 실제시공에 있어서도 우리나라의 지형적조건과 맞물려 수중콘크리트의 수요도 급증하고 있는 추세이다. 그런데 이러한 수중콘크리트공사의 난점은 수중에 콘크리트를 낙하시킬 때 시멘트와 골재가 분리되는 재료분리현상이다. 그래서 과거에는 트레미나 콘크리트 폼프를 이용하여 관의 끝부분을 콘크리트속에 묻은 상태에서 타설하였다.

그러나 최근 우리나라에서도 굳지않은 콘크리트 구성성분들의 점착력을 상승시켜 타설시 재료분리현상을 현저히 개선시킬 수 있는 수중불분리혼화제가 개발되었다. 이러한 수중불분리콘크리트는 종래의 수중콘크리트보다 우수한 내구성, 수밀성, 안정성 등을 확보할 수 있지만 아직까지 규준이나 시공사례 등이 미흡하여 실제 사용할 때에 확신을 가지기가 어려운 실정이다.

또한, 근래에 골재자원고갈 및 자연환경보호협회의 강화로 천연골재를 채취하는데 많은 어려움을 겪고 있으며, 점차 대형공사가 늘어나는 추세이므로 대체골재원의 개발이 불가피하게 되었다. 따라서 본

* 정회원, 부경대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

*** 부경대학교 토목공학과 석사과정

연구에서는 해사를 천연골재의 대체골재로 하며, 자연사, 해사, 혼합사(자연사:해사=3:7)를 사용한 수중분리콘크리트의 제반물성변화를 실험을 통하여 파악함으로써 대체골재로서 해사의 유용성을 확인하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 화학성분 및 물리적성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical & physical properties of ordinary portland cement

Specific gravity	Chemical composition(%)						Ig. Loss. (%)	Insol. Res (%)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
3.13	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

2.1.2 골재

굵은골재는 경남 용원 석산에서 채취한 25mm의 쇄석골재이고, 잔골재로는 경남 황강에서 채취한 자연사와 진도 앞바다에서 채취한 해사를 입도조정하여 사용하였다. 골재의 특성은 Table 2와 같다.

2.1.3 혼화재료

본 연구에서는 국내 D사에서 생산되는 수중분리혼화제, AE감수제, 유동화제를 사용하였으며, 특성은 Table 3과 같다. 수중분리혼화제는 단위수량×(%)를 사용하고, AE감수제와 유동화제는 단위시멘트량×(%)로 사용하였다.

Table 2. Physical properties of aggregates

Type	Item	G _{max} (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	FM	Unit weight (kg/cm ³)
Fine agg.	River sand	-	2.58	2.31	2.66	1540
	Sea sand	-	2.58	1.88	2.82	1569
Coarse agg.		25	2.62	1.16	6.83	1588

Table 3. Physical & chemical properties admixtures

Items Type	The chief ingredient	pH	Specific gravity	Appearance
AE water reducer	Naphtalene-sulfonic Acid salt	9 ±1	1.2 ±0.01	Dark Brown Liquid
Super-plasticizer	High condensate Tri-Azen	7 ±0.1	1.22 ±0.02	Light Brown Liquid
Antiwashout underwater agent	Hydorxy Cellulose	11.5 ±1.5	1.06 ±0.02	White Powder

2.2 실험파라미터

혼화재료의 사용에 따른 수중분리콘크리트 특성의 변화를 측정하기 위해 물-시멘트비(W/C), 잔골재율(S/a)를 고정시키고, 자연사, 해사, 혼합사에 대하여 각각 수중분리혼화제, AE감수제, 유동화제의 첨가량을 변화시켜 실험을 수행하였다.

2.3 콘크리트의 배합설계

본 연구에서 목표표하는 수중불분리콘크리트의 설계기준강도(σ_{ck})는 210 kg/cm²이고, Slump flow는 50±5 cm이며, 배합설계조건은 Table 4와 같다. 혼화재료의 첨가량은 수중불분리혼화제를 단위수량의 0.5, 0.75, 1.0%로 첨가하고, AE감수제를 단위시멘트량의 0.25%, 유동화제를 단위시멘트량의 1.0, 1.5, 2.0%를 첨가하여 사용하였다. 본 연구의 배합비는 Table 5과 같다.

Table 4. Mix condition

σ_{ck} (kg/cm ²)	Gmax (mm)	Slump flow (cm)	Cement	Fine agg.		Coarse agg.	AE water reducer	Super- plasticizer	Antiwashout underwater agent
210	25	50±5	Ordinary portland cement	Hwang river sand	Jindo sea sand	Yongwon crushed -stone	X:0.00% O:0.25%	A:C×1.0% B:C×1.5% C:C×2.0%	I:W×0.50% II:W×0.75% III:W×1.00%

Table 5. Mix proportion

σ_{ck} (kg/cm ²)	Gmax (mm)	Slump flow (cm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						
					W	C	S	G	Admixtures		
									AE water reducer	Super- plasticizer	Antiwashout underwater agent
210	25	50±5	55	40	220	400	632	969	0.25%	1.0% 1.5% 2.0%	0.50% 0.75% 1.00%

2.4 실험항목 및 측정방법

2.4.1 콘크리트 제작

콘크리트 제작은 혼합용적(Mixing capacity) 60 l 인 강제식 믹서에 굵은골재, 잔골재, 시멘트 그리고 수중불분리혼화제를 넣고 30초간 건비빔한 후 액상인 AE감수제와 물을 넣고 1차 혼합비빔을 60초간 실시하고, 마지막으로 유동화제를 투입하여 90초간 믹싱을 하였다.

2.4.2 압축강도 측정용 공시체 제작

압축강도 측정용 공시체는 표준 몰드 $\phi 10 \times 20$ 을 사용하여 각 혼화재료의 첨가량의 변화에 따라 담수중양생, 해수중양생 각 9개×2=18개를 제작하였다. 제작은 수조속에 몰드를 놓고 몰드 상단에서 10cm 위까지 물을 채우고 믹싱된 콘크리트를 핸드 스쿠프(Hand scoop)를 이용하여 10등분 이상 분할한 양만큼 수면에서 조용히 수중낙하시켜 봉우리 모양이 되도록 한 다음, 몰드를 수조에서 꺼내어 5~10분 정도 정치시켰다. 몰드상면을 흙손으로 캐핑할 만큼 남겨두고 마감한 다음, 탈형강도에 이르렀을 때 탈형한 후 20±3°C 담수와 해수에서 표준양생을 실시하였다.

2.4.3 콘크리트의 재료분리시험

본 연구에서 각 혼화재료의 첨가량에 따른 수중분리도와 pH를 측정하기 위한 시험방법은 1000cc 비이커(외경 110mm, 높이 150mm)에 800cc의 증류수를 채우고, 500g의 콘크리트를 10등분 이상되게 수면에서 수중으로 조용히 분할 투입한 다음, 비이커에 600cc의 현탁용액을 채워하여 현탁물질량(탁도)과 현탁액의 pH를 콘크리트를 투입한 직후, 10분, 30분, 60분에 각각 측정하였다.

2.4.4 유동성 시험(Slump flow)

이 시험의 적용은 수중불분리콘크리트의 상면이 슬럼프콘의 상단과 일치하도록 마무리한 후 슬럼프

콘을 제거하고 5분동안 정치시킨 다음 시료의 형상을 관찰하여 퍼진 길이 2개소에서 시료의 직경을 측정하여 그 평균치를 슬럼프 플로우치로 하였다. 또, 시간경과에 따른 Slump flow 경시변화를 측정하기 위하여 믹싱후 30분, 45분, 60분후의 Slump flow를 측정하였다.

2.4.5 공기량 측정

콘크리트에 과다한 공기량 혼입은 강도 저하에 지대한 영향을 미치므로, 굳지 않은 콘크리트의 공기 함유량을 워싱턴 에어 메터를 사용하여 측정하였다.

2.4.6 콘크리트 응결시험

콘크리트의 응결 특성은 시공상 중요한 영향을 미치므로 믹싱된 콘크리트를 No.4채로 쳐서 얻은 모르타르를 길모어침에 의한 방법으로 응결시간을 측정하였다.

2.4.7 콘크리트 단위증량시험

혼화재료의 첨가량 변화에 따라 수증에서 제작된 콘크리트의 유동성과 충전성을 측정하기위한 방법으로 압축강도 측정용 공시체의 증량을 계량하여 콘크리트 단위증량을 측정하였다.

2.4.8 콘크리트 압축강도시험

압축강도는 담수, 해수에서 양생한 7일, 14일 및 28일의 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 혼화재료 첨가량에 따른 재료분리 특성

현탁물질량은 수증불분리혼화제 사용량 증가에 따라 감소하고, 혼합사, 해사, 자연사 순으로 많게 나타나며 수증불분리혼화제 0.5%를 첨가시 기준치를 초과했으나, 수증불분리혼화제 0.75%이상에서는 대체로 기준을 만족하였다.

pH는 AE감수제 0.25%, 유동화제 1.5%로 고정시키고, 수증불분리혼화제를 변화시킨 경우 자연사, 해사, 혼합사 모두 혼화제 첨가량의 증가에 따른 변화는 크게 나타나지 않고, 거의 균일한 값을 보이고 있다.(Fig. 1~2 참조)

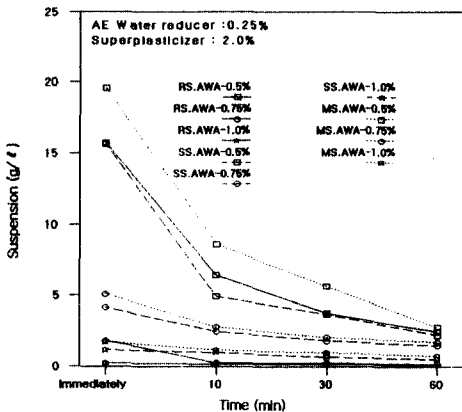


Fig. 1 Suspension as to usage to Fine agg. & AWA

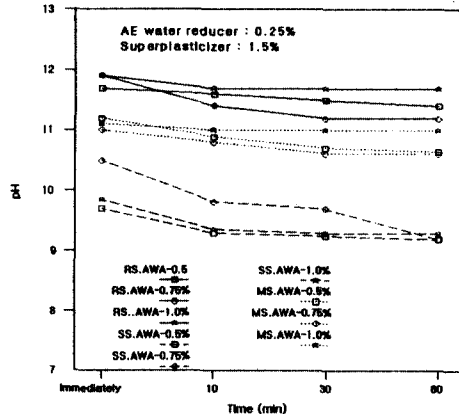


Fig. 2 pH as to usage to Fine agg. & AWA

3.2 콘크리트 슬럼프 플로우 특성

AE감수제 0.25%로 고정시키고 유동화제와 수중불분리혼화제의 첨가량을 변화시킨 경우 혼화제의 증가에 따라 슬럼프 플로우는 감소하고, 수중불분리혼화제 0.5%를 첨가하고 유동화제 첨가량을 변화시킬 경우 자연사, 해사, 혼합사 모두 슬럼프 플로우치가 60cm이상 나오고 있으나, 약간 재료분리에 가까웠다. AE감수제 0.25%, 수중불분리혼화제 0.75% 고정시키고 유동화제를 변화시켰을 때 해사, 혼합사, 자연사 순으로 나타났는데 대체로 분산된 경향이다.(Fig. 3~4 참조)

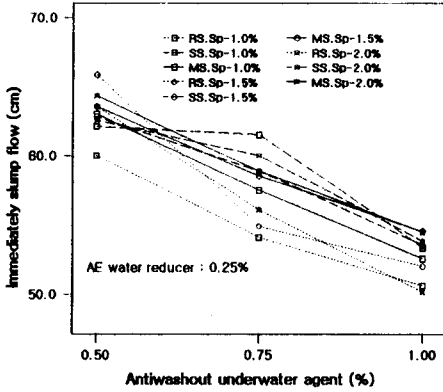


Fig. 3 Immediately slump flow as to usage & Fine agg.

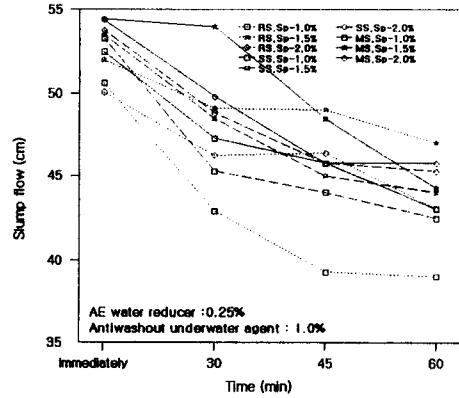


Fig. 4 Slump flow over time

3.3 공기량 특성

전체적으로 수중불분리혼화제 첨가량이 증가할수록 공기량도 증가하는 경향을 나타냈고, 수중불분리혼화제 0.75%를 첨가했을 때 혼합사, 해사, 자연사 순으로 나타났고 유동화제 첨가량에 따른 변화는 수중불분리혼화제 0.5%, 1.0%를 첨가했을때와 비교해 안정적으로 나타났다.(Fig. 5 참조)

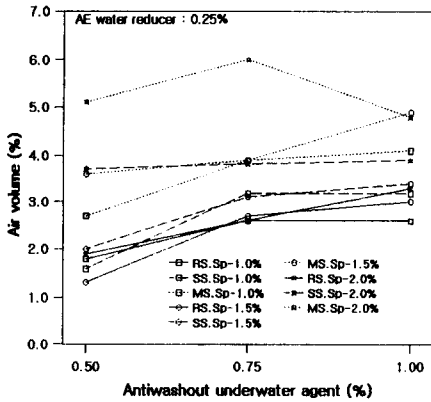


Fig. 5 Air contents as to usage of AWA

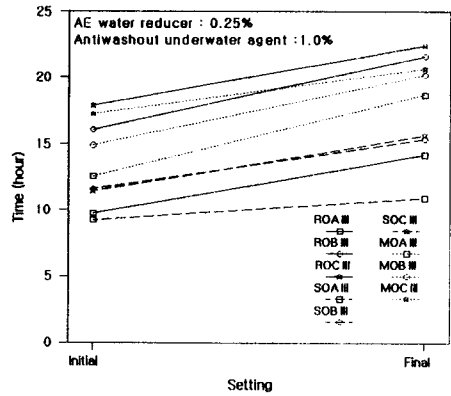


Fig. 6 Setting time as to usage of Fine agg.

3.4 콘크리트의 응결 특성

AE감수제 0.25%와 혼화제 1.0%로 고정시키고 유동화제를 변화시킨 경우 유동화제의 증가량에 따라 응결시간이 지연되는 경향이다. AE감수제 0.25%, 유동화제 2.0%로 고정시키고 혼화제를 변화시킨

경우 혼화제 증가량과 상관없이 자연사, 해사, 혼합사 모두 초결과 종결의 시간차가 4~6시간 정도로 나타났다.(Fig. 6~7 참조)

3.5 콘크리트 단위증량특성

단위증량은 압축강도측정용 공시체의 증량을 측정하여 단위증량으로 환산하였다. 기중에서 제작한 공시체의 단위증량은 통상적인 값 2.3~2.4g/cm³을 만족하고 있으나 수중에서 제작하여 담수중에서 양생한 경우 대체적으로 2.25~2.33g/cm³정도의 범위로 나타나고, 해수중에 양생한 경우는 2.26~2.34g/cm³ 정도로 나타났다. 수중불분리혼화제 첨가량에 따른 변화가 크게 없는 것으로 보이며 담수중 양생과 해수중양생 모두 비교적 비슷한 결과를 보이고 있으나, 자연사를 사용했을 때 약간 큰 값을 나타내고 있다.(Fig. 8 참조)

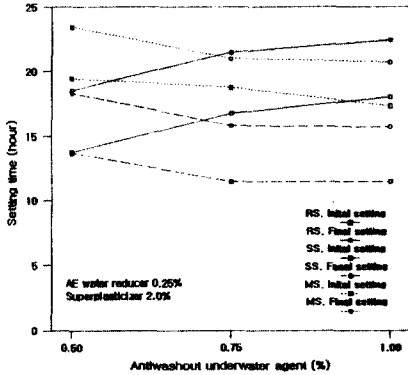


Fig. 7 Setting time as to usage of AWA

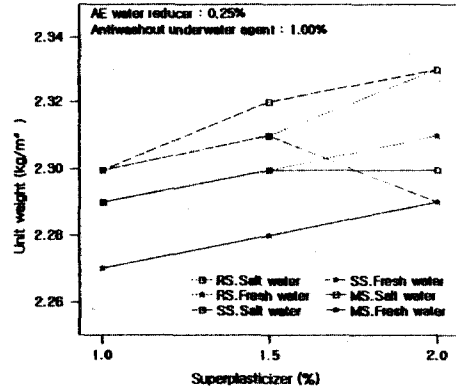


Fig. 8 Unit weight as to usage of superplasticizer

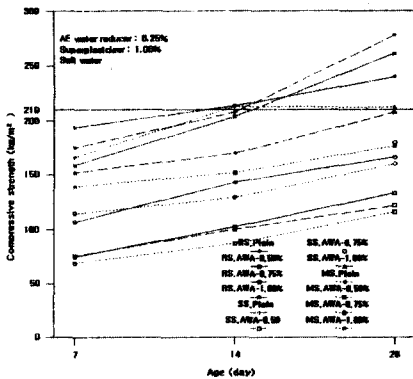


Fig. 9 Compressive strength as to usage of AWA

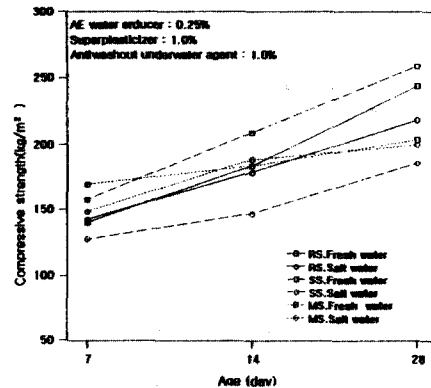


Fig. 10 Compressive strength as to curing water

3.6 콘크리트 압축강도 특성

담수와 해수에서 제작되는 구조물을 감안하여 해수와 담수중에서 각각 양생하여 압축강도를 측정하였다. 수중불분리혼화제 사용량이 1.0%(2.2kg/m³)미만을 첨가할 경우는 제령 28일강도가 설계기준강도에 훨씬 못 미치는 결과를 나타내고 있고, 1.0%를 첨가하였을 경우는 설계기준강도에 근접·상회하였다. 특히 수중불분리혼화제 1.0%(2.2kg/m³)미만을 첨가했을 경우 타설시 물에 의한 재료분리로 공시체의 형성이 부신했다. 양생 조건별로 보면 담수양생이 해수양생보다 강도가 높게 나왔으며, 특히 해사

를 사용하여 제작한 공시체의 해수양생후의 압축강도는 수중불분리혼화제 첨가량이 많아짐에 따라 증가되는 경향은 보이고 있으나 설계기준강도에 대한 강도발현정도는 미약하였다.(Fig. 9~10 참조)

4. 결론

본 연구에서는 해사를 사용한 수중불분리콘크리트의 특성을 파악하기 위하여 설계기준강도 210kg/cm², 굵은 골재 최대치수 25mm, 물-시멘트비 55%, Slump flow 50±5cm, 잔골재율 40%의 배합조건으로 실험을 실시하였다. 실험조건으로는 자연사 해사, 혼합사를 사용하여 각 혼화재료(셀룰로즈 에테르계 수중불분리혼화제, 고축합트리아민계 유동화제, AE감수제) 첨가량의 변화에 따른 수중불분리콘크리트의 각종 특성치를 측정, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수중불분리콘크리트의 재료분리저항성은 유동화제량과는 별 영향이 없고, 수중불분리혼화제 첨가량에 따라 좌우됨을 알 수 있었다. 본 연구결과에 의하면 수중불분리혼화제를 단위수량에 대해 1% (약2.2kg/m³)정도 첨가했을 때 가장 양호한 것으로 나타났고, 수중불분리혼화제량이 일정할 때는 혼합사가 가장 현탁물질량이 많으며 다음이 해사, 자연사순이다.

(2) pH농도는 혼화제 첨가량과 시간경과에 따라서는 그 크기는 자연사, 혼합사, 해사 순이었으며 전체적으로 기준값 이하이었다.

(3) 유동화제 첨가량을 고정하고 수중불분리혼화제 첨가량을 증가시켜 슬럼프 플로우를 측정된 결과 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였고, 작업성은 믹싱후 1시간 정도까지는 대체로 양호하였다.

(4) 수중불분리콘크리트의 단위중량측정결과 보통 콘크리트의 단위중량인 2.35g/cm³보다 작았다. 특히 혼합사를 사용할 때에 자연사와 해사에 비해 단위중량이 낮은 값을 나타냄을 알 수 있었다.

(5) 각 혼화재료를 변화시킨 수중불분리콘크리트의 압축강도를 측정된 결과, 수중불분리혼화제를 최소한 단위수량의 1.0%(2.2kg/m³)정도는 사용해야 소요의 설계기준강도와 수중/기중 압축강도비 0.8 이상을 확보할 수 있었다. 또한 과도한 유동화제의 첨가(2.0%/C)는 재료분리를 유발하고 오히려 압축강도를 떨어뜨리는 결과를 초래하였다.

참 고 문 헌

1. 오상근, 조인성, "수중불분리제 및 방수제", 콘크리트학회지, Vol.8, No.2, pp.41-56, 1996.
2. 김진철 외 3인, "수중불분리성 콘크리트의 기초물성에 대하여".
3. (주)해강 부설 해강기술개발연구소, "수중 비분리 콘크리트 개발에 관한 연구", 1995.
4. 대한토목학회, "콘크리트표준시방서", 건설부, 1996.
5. 문한영 외 3인, "콘크리트 혼화재료", pp. 148-156, 1997.
6. 오병환 외 21명, "최신콘크리트공학", 기문당, 1996.
7. 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・ユソクリート", No.541, pp.49-52, 1992.
8. "明石海峡大橋 2P, 3P 特殊水中ユンクリート工事"
9. 財團法人沿岸開發技術研究センターほか, "水中不分離性 ユンクリート・マニユアル(設計・施工)", 山海堂, 1990.