

해사 혼합을 변화에 따른 수중불분리콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Characteristics of Antiwashout Underwater Concrete with Variation of Blend Ratio of Sea Sand

윤재범* 이상명* 김광민** 어영선*** 김명식****
Yoon, Jae Bum Lee, Sang Myung Kim, Kwang Min Eo, young sun Kim, Myung Sik

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the characteristic change of antiwashout underwater concrete with variation of blend ratio of sea sand and fine aggregate percentage through experimental researches. According to the experiments results, when sea sand are mixed in antiwashout underwater concrete mixture by about 40% per total fine aggregate, in fine aggregate percentage of 40%, it is found that the flowability fit and the compressive strength is higher others.

1. 서론

수중콘크리트공사에서의 요구조건은 수중에 콘크리트를 타설시 물의 씻김작용에 의한 시멘트 유실로 인하여 발생하는 재료분리문제에 대한 해결, 다짐 없이 타설된 수중콘크리트의 경화체에 있어서 수밀성과 내구성에 대한 신뢰성 확보 등을 들 수 있다. 최근 콘크리트의 강한 점성을 부여시키는 수중불분리혼화제의 개발, 사용으로 콘크리트를 수중에서 낙하시켜도 재료분리를 일으키지 않는 양질의 콘크리트를 제작할 수 있게 되었고, 양호한 충전성과 셀프레벨링성으로 수심이 깊은 부위의 시공, 고강도 수중콘크리트의 제조 및 연속타설시공, 수질오염방지 등에서 많은 이점을 제시하고 있어 유럽과 일본을 중심으로 사용이 일반화되고 있으며, 우리 나라에서도 일부 시공사례가 있지만, 아직까지 연구 및 시공사례 등이 미흡하여 실제 사용할 때 많은 어려움이 있는 것이 사실이다.

경제발전과 함께 우리건설분야의 급속한 성장은 골재수요를 급격히 증가시켜 천연골재가 고갈됨으로써 쇄석, 쇄사, 해사 등의 대체골재의 사용이 일반콘크리트공사에서 보편화되고 있는 실정이다.

* 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 부경대학교 건설공학과 석사과정

*** 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사

**** 정회원, 부경대학교 토목공학과 교수

따라서, 본 연구에서는 하천사와 해사 혼합물을 변화시킨 혼합사를 잔골재로 사용하고, 잔골재율을 변화시킨 수중불분리콘크리트를 제작하여 슬럼프플로우, 충전성, 공기량, 수중분리도(pH, 현탁물질량) 등을 측정해서 굳지않은 콘크리트의 특성을 파악하고, 수중콘크리트공사가 시공되는 현장을 감안하여 담수와 해수에서 제작·양생된 수중불분리콘크리트의 단위중량 및 압축강도를 측정하여 경화된 콘크리트의 특성을 파악하므로써 적정 해사 혼합율을 도출하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에서는 국내 S사의 제1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하며, 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

화 학 성 분 (%)						강열감량 (%)	불용해잔분 (%)	비중
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃			
21.3	4.7	3.1	63.1	3.0	2.0	1.13	0.7	3.14

2.1.2 골재

본 연구에서 사용한 굵은골재는 경남 용원 석산에서 생산된 최대치수 25mm의 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 경남 합천 황강에서 채취한 하천사에 전남 진도 앞바다에서 채취한 해사를 증량비로 0%에서 100%까지 20%간격으로 혼합율을 달리한 혼합사를 사용한다. 골재의 물리·화학적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리·화학적 성질

종 류	항 목	G _{max} (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율	단위중량 (kg/m ³)	조개껍질 함유량 (%)	염화물함유량 (×10 ³ %)	
								NaCl	Cl
하천사 .. 해사	5:0	-	2.58	1.8	2.66	1534	0.07	0.6	0.4
	4:1	-	2.58	1.8	2.68	1535	1.87	0.8	0.7
	3:2	-	2.57	1.8	2.70	1535	3.22	1.2	1.0
	2:3	-	2.57	1.8	2.72	1536	5.48	1.7	1.4
	1:4	-	2.56	1.8	2.74	1536	6.76	2.1	1.7
	0:5	-	2.56	1.8	2.76	1537	8.16	2.6	2.0
굵은골재		25	2.62	1.0	6.83	1583	-	-	-

상기의 표 2에서 조개껍질함유량은 표준체 No.4체를 통과한 해사의 절건증량에 대한 백분율이고 염화물함유량은 세척한 해사의 증량에 대한 백분율이다.

2.1.3 혼화재료

본 연구에 사용된 혼화재료는 국내 D사에 생산된 수중불분리혼화제와 유동화제를 사용하고, 물리·화학적 성질은 표 3과 같다.

표 3 혼화재료의 물리·화학적 성질

종 류	항 목	주 성분	pH	비 중	성 상
	수중불분리혼화제	셀룰로오즈 에테르계	7.1	1.07	분 말
	유동화제	트리아진 고축합물	12.0	1.23	액 상

2.2 실험파라미터

해사 혼합율에 따른 수중불분리콘크리트의 특성을 파악하기 위해서 해사의 혼합율과 잔골재율을 각각 변화시키고, 단위수량, 단위시멘트량 및 혼화재료의 첨가량을 고정시켜 실험을 수행한다. 압축강도 및 단위중량 측정용 공시체는 해수와 담수에서 각각 제작·양생한다.

2.3 배합설계

본 연구의 배합설계조건은 설계기준강도(σ_{ck})를 240kg/cm²로 하고, 실험실의 여건 등을 고려하여 할증계수를 1.13으로 하여 목표강도(σ_r)를 270kg/cm²로 정하며, 단위수량을 220kg/m³로, 슬럼프플로우를 50±5cm, 공기량 4%이하를 기준으로 배합계산한 결과 표 4와 같은 배합비를 얻었다.

표 4 수중불분리콘크리트의 배합비

σ_{ck} (kg/cm ²)	G_{max} (mm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	잔골재율 (%)	W/C (%)	단위중량 (kg/m ³)						
						W	C	S		G	혼화재료	
								하천사	해사		AWA	SP
240	25	50±5	4	38	46	220	478	573	0	973	2.2	8.8
				40				608	0			
240	25	50±5	4	38	46	220	478	457.4	114.6	973	2.2	8.8
				40				486.4	121.6			
240	25	50±5	4	38	46	220	478	343.8	229.2	973	2.2	8.8
				40				364.8	243.2			
240	25	50±5	4	38	46	220	478	229.2	343.8	973	2.2	8.8
				40				243.2	364.8			
240	25	50±5	4	38	46	220	478	114.6	457.4	973	2.2	8.8
				40				121.6	486.4			
240	25	50±5	4	38	46	220	478	0	573	973	2.2	8.8
				40				0	608			

상기 표 4에서 AWA는 수중불분리혼화제를, SP는 유동화제를 의미하며, 첨가량은 단위수량에 대하여 각각 1.0%와 4.0% 첨가하였다.

2.4 실험방법

수중불분리콘크리트의 혼합은 60ℓ의 강제식 믹서를 사용하여 그림 1과 같이 혼합하였다.

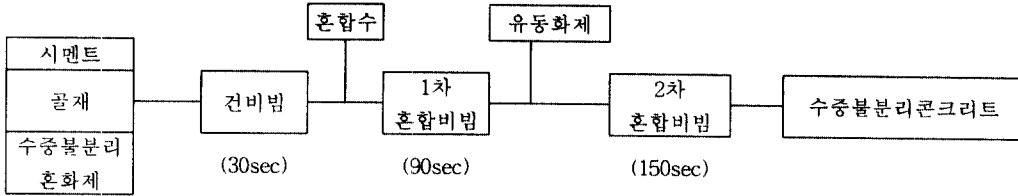


그림 1 수중불분리콘크리트의 제작순서

본 연구에서는 굳지않은 콘크리트의 유동성(슬럼프플로우), 공기량, 수중분리도(pH, 현탁물질량)실험과 경화된 콘크리트의 압축강도 측정용 공시체의 제작방법은 대한토목학회에서 제시한 「콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질기준」에 따라 실시하였고, 굳지않은 콘크리트의 충전성시험은 그림 2와 같은 박스형 충전성 시험기를 이용하여 높이차를 측정하였으며, 해수담수에서 제작·양생된 수중불분리콘크리트의 압축강도 및 단위중량은 재령 28일에 측정하였다.

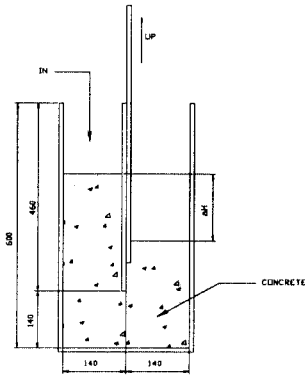


그림 2 박스형 충전성 시험기 (단위:mm)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

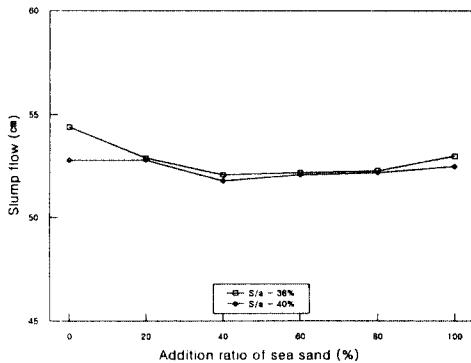


그림 3 해사 혼합율 변화에 따른 슬럼프플로우

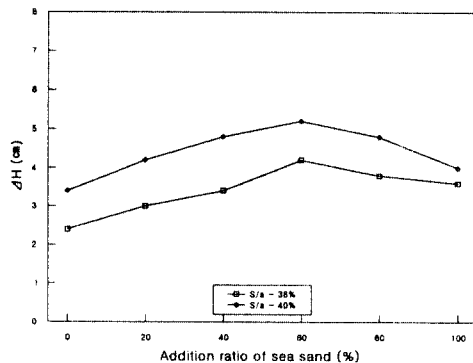


그림 4 해사 혼합율 변화에 따른 Box test

그림 3과 그림 4는 각각 해사 혼합을 변화에 따른 수중불분리콘크리트의 유동성과 충전성을 파악하기 위해 슬럼프플로우와 박스형 충전성 시험기의 높이차(ΔH)를 측정된 결과이다.

슬럼프플로우는 해사 혼합율의 변화와 관계없이 $50 \pm 5\text{cm}$ 의 범위를 만족하였고, 해사 혼합율이 40~60%일 때 가장 낮은 슬럼프플로우가 측정되었다. 잔골재율에 따른 슬럼프플로우는 배합계산시 결정된 38%의 경우가 표준잔골재율 40%일 때보다 최고 2cm정도 높게 측정되었다. 해사 혼합율 변화에 따른 박스형 충전성 시험의 높이차(ΔH)는 해사 혼합율이 60%일 때 잔골재율 변화에 따라 각각 4.2cm(S/a 38%), 5.2cm(S/a 40%)로 가장 큰 높이차를 보였으며, 잔골재율이 40%의 경우 38%보다 약 1cm가량 큰 높이차를 보였다.

본 연구에서는 충전성을 파악할 수 있는 박스형 시험시 측정된 높이차와 유동성을 파악할 수 있는 슬럼프플로우와의 관계를 단순회귀분석을 수행하여 상관계수 결과 다음과 같은 상관식을 얻을 수 있었으며, 그 상관도는 그림 5와 같다.

$$SLF = 56.1 \cdot H^{(-0.0484)}$$

여기서, SLF는 슬럼프플로우를, H는 높이차를 나타낸다.

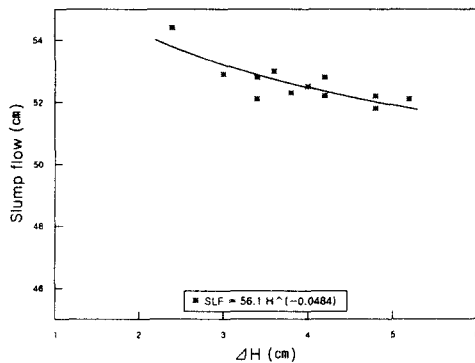


그림 5 높이차와 슬럼프플로우의 상관관계

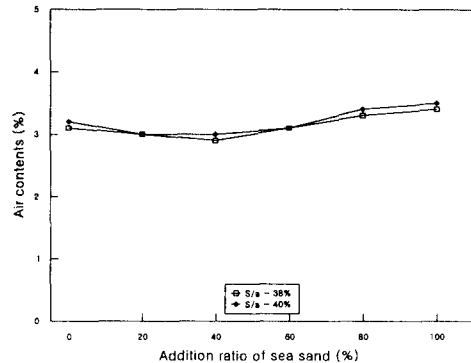


그림 6 해사 혼합율 변화에 따른 공기량

그림 6은 해사 혼합율의 변화에 따른 공기량 측정 결과이다. 해사 혼합율에 관계없이 4%이하로 나타났으며, 특히 20~60%일 때 다른 혼합율보다 다소 낮게 측정되었다.

그림 7과 그림 8은 수중분리도시험으로 측정된 현탁물질량과 pH를 해사 혼합율에 따라 나타낸 결과이다. 현탁물질량과 pH는 해사의 혼합율이 20~60%일 때 모두 낮은 값으로 측정되었으며, pH는 해사 혼합율에 관계없이 모두 12이하를 만족하는 결과를 보였다.

그림 9는 해사 혼합을 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 염화물함유량을 측정된 결과이다. 해사의 혼합율이 80%이하에서는 우리 나라 건설교통부에서 제정한 콘크리트표준시방서에서 제시한 0.3kg/m^3 이하를 만족하는 결과를 보였으나, 100%를 사용했을 경우에는 기준치보다 많은 염화물이 측정되었다.

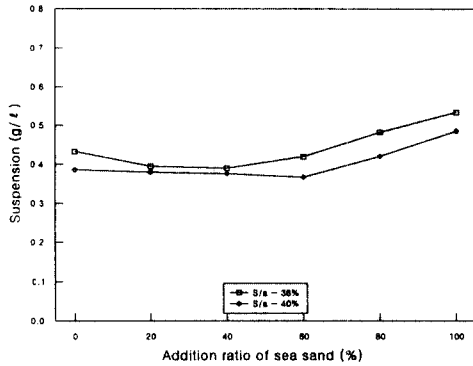


그림 7 해사 혼합율 변화에 따른 현탁물질량

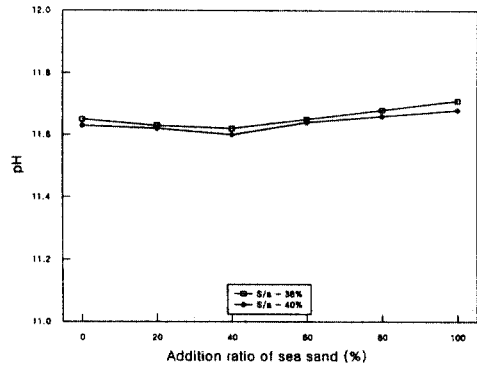


그림 8 해사 혼합율 변화에 따른 pH

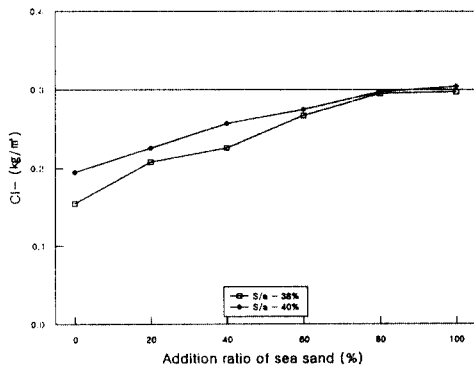


그림 9 해사 혼합율 변화에 따른 염화물 함유량

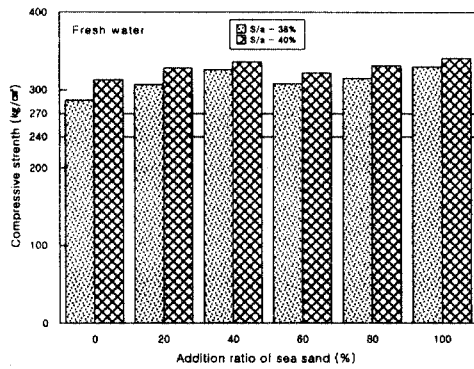


그림 10 해사 혼합율 변화에 따른 압축강도 (담수)

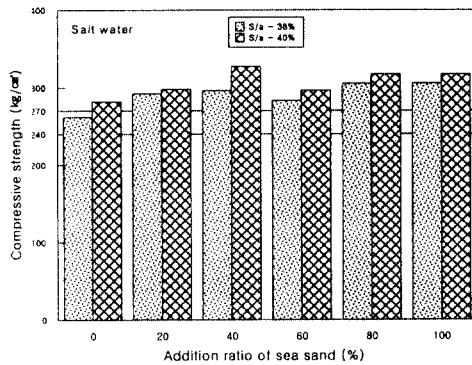


그림 11 해사 혼합율 변화에 따른 압축강도 (해수)

3.2 경화된 콘크리트의 특성

그림 10과 그림 11은 담수와 해수에서 각각 제작·양생된 압축강도 측정용 공시체의 재령 28일 압축강도를 측정된 결과이다. 그림 10을 보면 담수에서 제작·양생했을 경우에는 해사 혼합율의 변화와 관계없이 목표강도 270kg/cm²를 상회하는 압축강도를 보였고, 해사 혼합율이 40%와 100%일 때 가장 높은 압축강도가 측정되었으며, 잔골재율이 40%일 때가 38%일 때 보다 높게 측정되었다.

그림 11을 보면 해수에서 제작·양생했을 경우 해사 혼합율에 따른 압축강도의 차이가 담수의 경우 보다 높게 나타났다. 해사 혼합율이 0%일 경우 즉, 하천사만을 잔골재로 사용했을 때 잔골재율이 38%인 경우 설계기준강도 240kg/cm²보다는 높았으나, 목표강도보다는 낮게 측정되었고, 해사 혼합율이 40%, 잔골재율이 40%일 경우에 가장 높은 압축강도가 측정되었다.

4. 결론

해사의 적정 혼합율을 도출하기 위해서 해사의 혼합율과 잔골재율 그리고, 제작환경을 달리하여 수중불분리콘크리트의 굳지않은 콘크리트의 특성과 경화된 콘크리트의 특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 슬럼프플로우는 해사의 혼합율에 관계없이 본 연구에서 제시한 $50 \pm 5\text{cm}$ 의 범위내로 나타났으나, 혼합율이 40%일 때 잔골재율에 관계없이 가장 낮은 측정치를 보였고, 혼합율이 0%일 때 가장 좋은 슬럼프플로우가 측정되었다. 박스형 충전성 시험기로 높이차를 측정하여 충전성을 평가한 결과 잔골재율이 40%에서 혼합율이 60%일 때 높이차가 5.2cm로 가장 불량하게 측정되었다. 또한 슬럼프플로우와 높이차의 상관관계를 단순회귀분석해 본 결과 다음과 같은 상관식을 얻을 수 있었다.

$$\text{Slump flow} = 56.1 \cdot \Delta H^{(-0.0484)}$$

(2) 공기량은 해사의 혼합율에 따라 잔골재율이 40%일 때 약간 높게 측정되었으나, 각 혼합율에 따른 공기량은 본 연구에서 제시한 4%이하를 모두 만족하였으며, 혼합율에 따른 차이는 최고 0.5%로 측정되었다.

(3) 현탁액의 pH는 해사 혼합율, 잔골재율의 변화에 따라 11.60~11.71로 측정되었고, 본 연구에서 제시한 12이하를 모두 만족하였으며, 해사의 혼합율이 40%일 때 잔골재율에 따라 가장 낮은 pH가 측정되었다. 현탁물질량은 해사의 혼합율이 40~60%일 때 가장 작게 측정되었다.

(4) 굳지않은 콘크리트의 염화물함유량을 측정한 결과 해사 혼합율이 100%의 경우를 제외하고는 건설교통부에서 제정한 콘크리트표준시방서의 기준 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 이하로 측정되었다.

(5) 재령 28일의 압축강도는 해사의 혼합율에 따라 담수 및 해수에서 제작·양생된 공시체 모두 설계 기준강도 $240\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 높게 측정되었고, 해수에서 제작·양생되었을 때 해사 혼합율이 0%이고 잔골재율이 38%인 공시체는 목표강도 $270\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 낮은 $262\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 강도가 측정되었으며, 나머지 혼합율의 경우에는 잔골재율과 제작환경에 관계없이 목표강도를 나타내었다.

(6) 본 연구에서 측정된 수중불분리콘크리트의 특성을 비교·분석해보았을 때 수중불분리콘크리트의 잔골재로써 해사의 사용은 가능할 것으로 판단되며, 본 연구에서의 실험결과 40%를 적정 해사 혼합율로 도출할 수 있었다.

참고문헌

1. 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・マニユアワル(設計・施工)”,

山海堂, 1990.

2. 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.
3. 日本建築學會, 流動化コンクリートの技術の現狀, 1979.11.
4. 日本土木學會, 水中不分離性コンクリート建設施工指針(案), 1991.
5. Takeshi Ohtomo 外 3人, “Influence of Materials on the Action of Admixtures in Antiwashout Underwater Concrete”, ACI Mterials Journal, Vol.92, No.3, pp.315-320, May-June 1995
6. Superplasticizer in Concrete, SP-62, ACI, 1979.
7. B.A.Davis, “Laboratory Method of Testing Concrete For Placement Underwater”, Marine Concrete, 1986.
8. Kenneth, L.Soucier, “Antiwashout Admixture in Underwater Concrete”, Concrete International, Vol.9, No.5, May 1987, pp.42-47.
9. 김명식, “수중 비분리 콘크리트의 특성에 대한 기초적 연구”, 한국농공학회지, 제38권, 제6호, pp.74-82, 1996.
10. 오상근, 조인성, “수중불분리제 및 방수제”, 콘크리트학회지, Vol.8, No.2, pp.41-56, 1996.
11. 대한토목학회, “콘크리트표준시방서”, 건설부, 1996.
12. 김무한 外 2인, 골재의 품질이 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 대한 건축학회, 1988.
13. 한국 건설기술연구원, “수중콘크리트에 관한 최적공법의 비교연구”, 1985.6.