

수중불분리콘크리트의 부착강도특성에 관한 연구

A Study on the Bond Strength Properties of Antiwashout Underwater Concrete

김기동* 윤재범* 이상명* 김명식**
Kim, Ki Dong Yoon, Jae Bum Lee, Sang Myung Kim, Myung Sik

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the bond strength properties of antiwashout underwater concrete. The fine aggregate(river sand, blended sand(river sand : sea sand = 1 : 1), condition of cast and cure(sea water, fresh water), and compressive strength of proportion(210kgf/cm² ~ 330kgf/cm²) were chosen as the experimental parameters.

The experimental results show that the underwater segregation resistance was increased, but flowability(slump flow) and air contents were decreased as the compressive strength of proportion increased. Bond strength of antiwashout underwater concrete was similar to plain concrete. From this study, rational analytic formula for the modulus of rupture and bond stress are to be from compressive strength of concrete.

1. 서론

우리 나라는 지형학적으로 삼면이 바다에 접하고 있을 뿐만 아니라 주변의 많은 하천들로 인하여, 수중과 연관된 공사가 많다. 특히, 최근에 광안대교, 영종도 신공항을 잇는 연육교, 서해안 고속도로상의 서해대교, 군산만 간척공사 등과 같은 해양공사가 급증하고 있는 실정이고, 이러한 수중 및 해양 콘크리트 공사에서 수중 콘크리트 타설은 필수적이며, 그 수요 역시 증가할 것이다.

수중에서의 콘크리트 타설에 있어서의 문제점은 물의 씻김작용에 의한 재료분리문제와 다짐없이 타설함으로 인하여 야기된 수밀성과 내구성에 대한 신뢰성 확보문제 등을 들 수 있는데, 수중에서 재료분리저항성과 유동성, 충전성, 그리고 강도발현이 뛰어나고, 블리딩과 환경오염이 적으며 연속시공이 가능한 수중불분리콘크리트의 사용으로 그러한 문제점을 재료적인 측면에서 많이 개선할 수 있게 되었다. 이러한 장점 때문에 일본을 위시한 외국에서는 수중불분리콘크리트를 이용한 많은 시공실적이 발표되고 있으며, 우리 나라에서도 최근 몇몇 교량의 보수공사 등에서 성공을 거듭으로써 그에 대한 관심이 점차 증가하고 있으나, 아직까지도 기초적인 연구실적이 미비하여 실용화를 위한 연구가 시급한 실정이다.

* 정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 부경대학교 토목공학과 교수

따라서, 본 연구에서는 그 일환으로 경화된 수중불분리콘크리트의 부착강도특성을 파악하기 위하여 시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘트, 잔골재는 하천사와 혼합사(하천사 : 해사 = 1 : 1), 굵은골재는 부순자갈, 철근은 D19 이형철근을 사용하고, 목표강도와 수중콘크리트 공사환경을 고려해서 타설 및 양생조건을 달리한 압축강도시험체와 부착강도시험체를 제작하여 일축압축강도시험과 ASTM규준에 따른 부착강도시험을 수행한다. 또한, 목표강도가 같은 보통콘크리트로 제작된 시험체의 일축압축강도와 부착강도를 측정해서, 수중불분리콘크리트의 공사환경, 잔골재의 종류, 그리고 목표강도의 변화에 따른 부착강도특성을 파악하고, 일축압축강도와 부착강도의 상관관계를 이용하여 압축강도로부터 부착강도를 예측할 수 있는 식을 제안하려고 한다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 1종 보통포틀랜드시멘트를, 잔골재는 경남 합천 황강에서 채취한 하천사와 전남 진도 앞바다에서 채취한 해사를 혼합한 혼합사(중량비=1:1)를, 굵은골재는 경남 용원 석산에서 생산되는 최대치수 25mm의 부순자갈을 사용한다. 특히 혼합사에 사용된 해사는 상용수로 제염한 세척사를 사용한다. 혼화제는 국내 D사에서 생산되는 주성분이 셀룰로오즈 에테르계인 수중불분리혼화제와 트리아진 고축합물이 주성분인 유동화제를 사용하고, 각 재료의 물리적 성질 및 화학성분은 각각 표 1~표3과 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질 및 화학성분

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

표 2 골재의 물리·화학적 성질

성 질 골 재	비중	G _{max} (mm)	흡수율 (%)	조립율	단위중량 (kg/m ³)	조개껍질 함유량 ¹⁾ (%)	염화물함유량 ²⁾ (×10 ⁻³ %)	
							NaCl	Cl
굵은골재	2.73	25	1.0	6.97	1520	-	-	-
잔골재	하천사	2.51	-	1.8	2.66	1534	-	-
	해 사	2.62	-	1.8	2.75	1537	7.2	2.6
	혼합사	2.58	-	1.8	2.73	1535	3.9	1.4

(주) 1) 조개껍질함유량은 표준체 No.4체를 통과한 해사의 절건중량에 대한 백분율이다.

2) 염화물함유량은 세척한 해사의 중량에 대한 백분율이다.

표 3 혼화제의 물리적 성질 및 화학성분

종 류 \ 항 목	pH	비 중	성 상	주 성 분
수중불분리혼화제	7.1	1.07	백색분말	셀룰로오즈 에테르계
유동화제	12.0	1.23	담갈색액상	트리아진 고축합물

2.2 실험파라미터

수중불분리콘크리트의 목표강도를 210kgf/cm²에서 330kgf/cm²까지 30kgf/cm²씩 증가시키고, 잔골재를 각각 하천사와 혼합사로 변화시켜 사용하며, 수중콘크리트 공사현장을 고려하여 각각 해수와 담수에서 시험체를 제작·양생하여 부착강도특성을 파악한다. 또 동일한 목표강도로 보통콘크리트를 제작하여 부착강도를 측정하여 수중불분리콘크리트의 부착강도와 비교·분석한다. 이때 수중불분리콘크리트와 보통콘크리트를 각각 A-, P-로, 제작 및 양생조건에 따라 담수는 -F-, 해수는 -S-로, 잔골재의 종류에 따라 하천사는 -R-, 혼합사는 -M-으로, 목표강도의 증가에 따라 210kgf/cm²부터 330kgf/cm²까지 -I, -II, -III, -IV, -V로 지칭한다.

2.3 실험항목 및 방법

수중불분리콘크리트의 기초특성이 부착강도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 유동성(슬럼프플로우), 공기량, 수중분리도(pH, 현탁물질량)시험 및 압축강도측정용 시험체제작을 대한도목학회에서 제시한 「콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질기준」에 따라 실시하였고, 압축강도는 각각 해수와 담수에서 양생하여 재령 28일에 측정하였다.

일반적으로 부착강도 실험은 콘크리트와 그 속에 배근된 철근과의 상호작용을 정량적으로 파악하는 수단으로 사용되지만, 부착실험은 국가마다 규준이 상이하며 대상 부재와 사용 목적에 따라서 부착강도실험방법이 틀린 것이 현 실정이다.

본 연구에서는 콘크리트의 수중타설시 지중보와 같은 부재의 할렬과피특성을 검토하기 위하여 미국의 ASTM 실험방법을 도입하였고, 시험체의 제원은 150×150×150mm이다. 사용된 철근은 SD30의 직경이 19mm인 이형철근이고, 수직철근의 부착강도를 측정하기 위한 시험체와 상하단으로 배치된 수평철근의 부착강도를 측정하기 위한 시험체로 나누어 제작하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 부착응력의 산정

철근과 콘크리트 사이의 부착응력(μ)의 산정은 하중재하시 철근에 발생하는 응력(f_s)으로부터 계산되거나 재하된 하중(P)을 부착면적으로 나누어 계산한다. 즉,

$$\mu = \frac{A_b f_s}{\Sigma_o L}$$

$$\mu = \frac{P}{\Sigma_o L}$$

(Σ_o : 철근의 주장, L : 부착길이)

본 실험에서는 철근의 매립길이에 따라 응력이 일정하다는 가정하에 최대하중에 의한 부착응력의 산정식을 적용하였고, 최대하중시의 응력을 각 파라미터에 따라 비교, 분석하였다.

3.2 굳지않은 수중불분리콘크리트의 특성

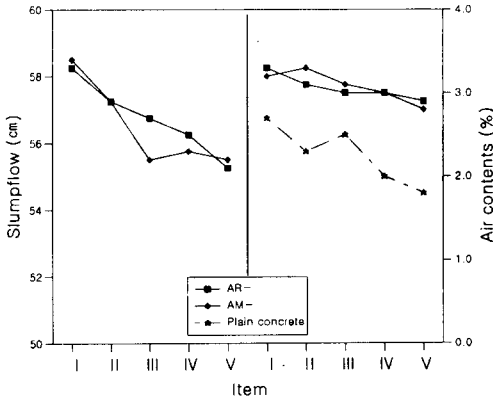


그림 1 슬럼프플로우와 공기량

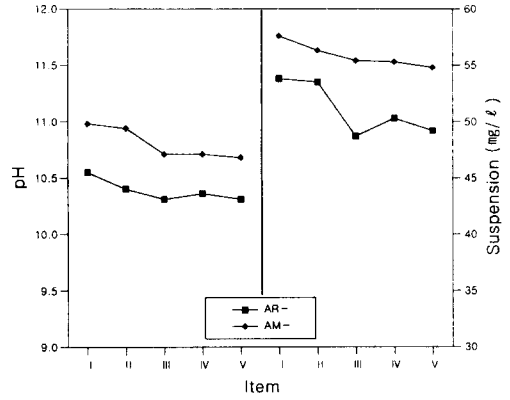


그림 2 pH와 현탁물질량

그림 1과 그림 2는 각각 목표강도의 변화에 따른 굳지않은 수중불분리콘크리트의 유동성과 공기량, 그리고 pH와 현탁물질량을 측정한 결과이다.

슬럼프플로우는 모두 $50 \pm 5\text{cm}$ 의 범위로 측정되었고, 목표강도가 증가할수록 슬럼프플로우가 감소하는 것은 목표강도가 증가함에 따른 W/C비의 감소때문인 것으로 판단된다.

공기량은 보통콘크리트보다 수중불분리콘크리트가 약 1%정도 높게 측정되었는데, 이것은 수중불분리혼화제가 혼합수와 접촉하면서 망상의 고리를 형성하여 혼합수의 점성이 증가되어 크고 불규칙한 기포가 형성되면서 콘크리트의 공기량이 많아지기 때문이다. 그리고, 과도한 공기량은 압축강도 등 물성이 저하되는 문제점이 있기 때문에 일반적으로 수중불분리콘크리트의 공기량을 4%이하로 규정하고 있다. 본 실험에서는 목표강도의 변화에 관계없이 2.9~3.3%로 측정되었고, 대체로 목표강도가 증가할수록 다소 감소하는 경향을 보이고 있는데 이것은 페이스트양의 증가보다 단위잔골재량의 감소가 공기량에 더 큰 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다.

현탁물질량과 pH는 목표강도 증가에 따라 다소 감소하는 경향을 보이고 있으나, 큰 차이를 보이지 않았고, 대한토목학회의 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 잔골재의 종류에 따라 현탁물질량과 pH는 각각 5mg/l , 0.4정도의 차이를 보이고 있는데, 이것은 잔골재로 사용된 하천사가 해사보다 수중불분리혼화제를 더 많이 흡착했기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

현탁물질량과 pH의 상관관계를 단순회귀분석해 본 결과 다음과 같은 상관식과 그림 3과 같은 상관도를 얻을 수 있었다.

$$\text{Suspension} = -235 + 122 \ln(\text{pH}) \quad \text{상관도}(R^2)=0.869$$

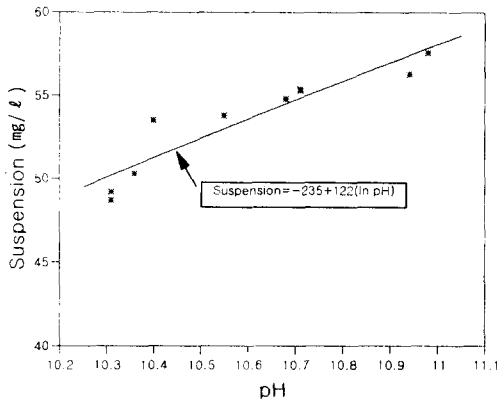


그림 3 pH와 현탁물질량과의 관계

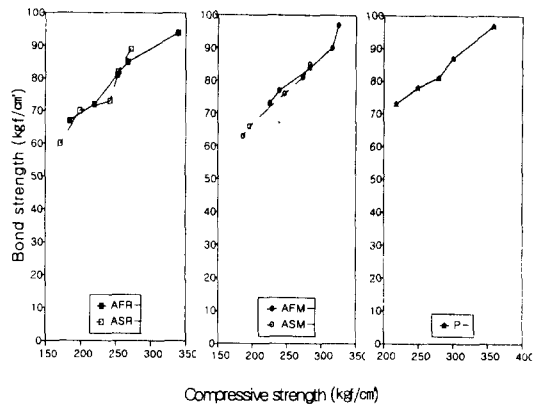


그림 4 수직철근의 부착강도

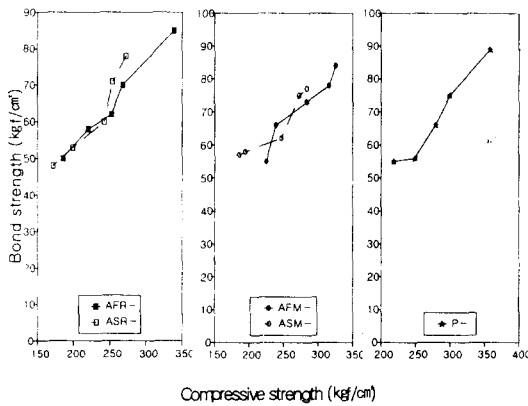


그림 5 상부 수평철근의 부착강도

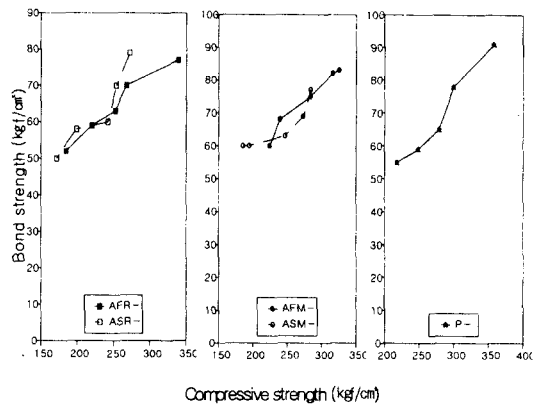


그림 6 하부 수평철근의 부착강도

3.3 경화된 수중불분리콘크리트의 특성

그림 4 ~ 그림 6은 각각 경화된 수중불분리콘크리트와 보통콘크리트의 재령28일 압축강도와 부착강도를 측정된 결과이다.

압축강도는 해수에서 제작·양생한 경우의 시험체가 골재의 종류에 관계없이 담수에서 제작·양생한 시험체보다 작게 나타났는데, 이것은 해수에 양생될 경우 해수내의 많은 무기질 등의 성분에 의한 삼투현상때문으로 생각된다. 그리고, 해사를 혼합한 혼합사를 사용한 시험체의 압축강도가 하천사만을 사용한 시험체보다 전반적으로 높은 강도를 보였는데, 이것은 수중분리도의 시험결과에서 언급했듯이 본 실험에 사용한 하천사가 해사보다 수중불분리혼화제를 흡수하는 성능이 더 강하기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

부착강도를 살펴보면, 철근을 수직으로 설치하여 타설한 시험체의 부착강도가 수평으로 설치하여 타설한 것보다 높은 부착강도를 보였는데, 이것은 콘크리트의 블리딩 때문으로 판단된다. 수직철근의 경우에는 압축강도에 대한 부착강도 수준이 거의 비슷한 결과를 보이고 있으며, 보통콘크리트의 경우와도 비슷한 수준으로 측정되었는데, 이것은 수중불분리혼화제의 강한 점성 때문으로 생각된다. 수평

철근에서는 압축강도가 250kgf/cm² 이상에서는 부착강도가 해수에서 제작·양생한 경우가 담수에서 제작·양생한 경우보다 높은 강도를 보였다.

압축강도와 부착강도의 상관관계를 단순회귀분석한 결과 다음과 같은 상관식과 그림 7과 같은 상관도를 얻을 수 있었다.

(1) 수직철근의 경우

$$y = 2.01 \times x^{0.665} \quad \text{상관도}(R^2) = 0.947$$

(2) 상단 수평철근의 경우

$$y = 0.78 \times x^{0.802} \quad \text{상관도}(R^2) = 0.879$$

(3) 하단 수평철근의 경우

$$y = 1.08 \times x^{0.756} \quad \text{상관도}(R^2) = 0.756$$

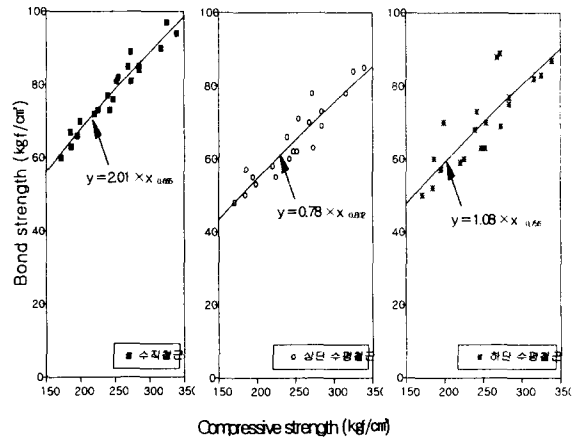


그림 7 압축강도와 부착강도와의 관계

4. 결론

수중불분리콘크리트의 부착강도특성을 파악하기 위해 목표강도, 잔골재의 종류, 그리고 제작 및 양생조건을 달리하여 굳지않은 콘크리트의 특성과 경화된 콘크리트의 특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 슬럼프플로우는 모두 50±5cm의 범위로 측정되었고, 목표강도가 증가할수록 슬럼프플로우는 감소하는 것은 목표강도가 증가함에 따른 W/C비의 감소때문인 것으로 판단된다.
- (2) 공기량은 목표강도의 변화에 관계없이 2.9~3.3%로 측정되었고, 대체로 목표강도가 증가할수록 다소 감소하는 경향을 보이고 있는데 이것은 페이스트양의 증가보다 단위잔골재량의 감소가 공기량에 더 큰 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다.
- (3) 하천사를 사용한 수중불분리콘크리트의 현탁물질량과 pH가 혼합사를 사용한 것보다 각각 5mg/l, 0.4정도 높게 측정되었는데, 이것은 잔골재로 사용된 하천사가 해사보다 수중불분리혼화제를 더 많이 흡착했기 때문에 나타난 결과로 판단된다.
- (4) 압축강도는 해수에서 제작·양생한 경우의 시험체가 골재의 종류에 관계없이 담수에서 제작·양생한 시험체보다 작게 나타났는데, 이것은 해수에 양생될 경우 해수내의 많은 무기질 등의 성분에서의 삼투현상때문으로 판단된다.
- (5) 해사를 혼합한 혼합사를 사용했을 때의 강도가 하천사만을 사용한 것보다 전반적으로 높은 강도를

보였는데, 본 실험에 사용한 하천사가 해사보다 수중불분리혼화제를 흡수하는 성능이 더 강하기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

(6) 철근을 수직으로 설치하여 타설한 시험체의 부착강도가 수평으로 설치하여 타설한 것보다 높은 부착강도를 보였는데, 이것은 콘크리트의 블리딩 때문으로 판단되고, 수직철근의 경우에는 압축강도에 대한 부착강도 수준이 거의 제작·양생조건과 잔골재의 종류에 관계없이 비슷한 결과를 보이고 있으며, 보통콘크리트의 경우와도 비슷한 수준으로 측정되었는데, 이것은 수중불분리혼화제의 강한 점성 때문으로 생각된다.

(7) 압축강도와 부착강도의 상관관계를 단순회귀분석한 결과 다음과 같은 상관식을 얻을 수 있었다.

1) 수직철근의 경우

$$y = 2.01 \times x^{0.665} \quad \text{상관도}(R^2) = 0.947$$

2) 상단 수평철근의 경우

$$y = 0.78 \times x^{0.802} \quad \text{상관도}(R^2) = 0.879$$

3) 하단 수평철근의 경우

$$y = 1.08 \times x^{0.756} \quad \text{상관도}(R^2) = 0.756$$

5. 참고문헌

- (1) 문한영, "콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질규준", 대한토목학회지, Vol. 45, No.1, pp.71-77, 1997. 1.
- (2) 김명식, "수중비분리콘크리트의 특성에 대한 기초적 연구", 한국농공학회지, 제38권, 제6호, pp.74-82, 1996.
- (3) 윤재범 외4인, "수중불분리콘크리트의 최적 W/C에 관한 연구", 한국콘크리트학회 1998년도 봄 학술 발표회 논문집, Vol. 10, No.1, pp.277-283, 1998. 5.
- (4) 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.
- (5) 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.
- (7) 신성우 외2인, "철근콘크리트의 부착특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 제7권 1호, pp.117~125, 1995. 2.
- (8) 윤영수 외2인, "수중콘크리트의 특성평가를 위한 실험적 연구", 대한토목학회 논문집, 제17권 제 I -3호, pp.335~345, 1997. 5.