

경화된 수중불분리 콘크리트의 제강도 특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on various Strength of Hardened Underwater Non-Segregation Concrete

윤영수* 최응규** 이승훈*** 장일영**** 고용득*****
Yoon, Y. S. Choi, E. K. Lee, S. H. Jang, I. Y. Ko, Y. D.

Abstract

This paper presents the characteristics of various strengths of underwater non-segregation concrete. Three types of cements including low-heat cements has been used to make the test specimens for compressive strength, modulus of rupture and bond strength. The test specimens have been made both in ambient and underwater conditions to take into account the variation according to the environmental condition.

1. 서 론

수중불분리 콘크리트를 이용하여 교각 등의 수중콘크리트 공사를 실시하는 경우에도 해당 구조물은 소요강도 및 내구성을 유지해야 하며 배근된 철근을 부식으로부터 보호할 수 있어야 한다.

또한, 구조재료로서의 제성능을 발휘하기 위해서는 기중상태에서 타설한 것과 비교해도 규정값 이상을 만족하는 안정된 압축강도, 휨인장강도 및 부착강도 성능을 확보할 수 있어야 한다.

그러나, 종래의 실험결과에 의하면 수중불분리 콘크리트를 기중상태와 수중상태에서 타설하여 압축강도를 비교하면 기중상태의 압축강도에 비해서 5~11% 정도의 강도감소가 발생하고, 부착강도의 경우는 35~38% 정도의 부착강도 감소가 발생하는 것으로 알려져 있다.

* 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원

** 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

*** 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원

**** 금오공과대학교 토목공학과 조교수

***** 금오공과대학교 토목공학과 대학원 석사과정

따라서 본 실험에서는 특정 배합에 대해서 국내에서 생산되고 있는 골재를 사용하여 각 시멘트 종류 별로 수중불분리 콘크리트를 제조하고, 이에 대한 압축강도, 휨인장강도 및 부착강도에 대해서 기중상태에서 제작한 부재와 수중상태에서 제작한 부재를 상호 비교하여 그 강도특성을 정량적으로 밝힘으로써 안전한 수중구조물 건설을 위한 설계 및 시공의 기본자료를 제공하고자 한다.

2. 실험개요

본 실험은 수중불분리 콘크리트의 제반강도 특성을 규명하기 위한 것으로서, 제작방법, 시멘트의 종류, 실험재령에 따라서 구분되며 각각에 대해서 압축강도, 휨인장강도 및 부착강도를 측정하였으며, 부착강도는 ASTM 규준에 의한 방법과 BS 규준에 의한 방법으로 나누어서 실험을 수행하였다.

실험부재는 각각 수중과 기중에서 제작되었으며, 시멘트는 1종시멘트, 저발열시멘트 및 5종시멘트가 사용되었다. 또한, 실험재령은 3일, 7일 및 28일을 기준으로 하였으며, 각각 3개씩의 부재를 제작하였다. 실험부재의 제작을 위한 시멘트별 배합비는 표 2-1과 같다. 여기서 모래의 비중은 2.603이며, 굵은골재의 비중은 2.631이었다.

표 2-1 각 시멘트별 배합비

기준강도 (kg/cm ²)	시멘트 종류	골재 크기 (mm)	W/C (%)	S/A (%)	단위체적당 재료량 (kg/m ³)					
					W	C	굵은 골재	잔 골재	증점제	유동화제 (%)
300	1종	25	38	42	220	579	879	630	4.5	2
	저발열				220	579	844	605		
	5종				220	579	878	629		

3. 강도실험

3.1 압축강도 실험

수중불분리 혼화제의 성능규정을 위한 압축강도값은 일본토목학회의 경우 표 3-1과 같이 규정하고 있다.⁽¹⁾

표 3-1 수중불분리 혼화제의 압축강도 성능규정 (일본토목학회)

구분	재령	기준값
수중제작공시체의 압축강도 (kg/cm ²)	7일	150 이상
	28일	250 이상
수중/기중 강도비(%)	7일	80 이상
	28일	80 이상

본 실험에서 측정된 각 시멘트별(1종, 5종 및 저발열시멘트) 수중불분리 콘크리트의 타설방법(수중 타설 및 기중타설) 및 재령(3일, 7일 및 28일)에 따른 압축강도 측정결과는 표 3-2에 나타난 것과 같다. 압축강도 측정결과 표 3-2에 나타난 수중제작공시체에 대한 기중제작공시체의 재령에 따른 강도비는 시멘트의 종류에 관계없이 모두 기중값인 80%를 상회하였다. 그러나 저발열시멘트의 경우 재령 7일의 강도가 재령 28일 강도의 50~54%정도로 다소 낮은 강도값을 나타내었다.

표 3-2 압축강도 측정결과 (kg/cm²)

시멘트 종류	제작방법	재령		
		3일	7일	28일
1종시멘트	수중제작	261	394	466
	기중제작	327	430	499
저발열시멘트	수중제작	73	227	453
	기중제작	91	246	493
5종시멘트	수중제작	195	329	443
	기중제작	226	329	453

3.2 휨인장강도 실험

표 3-3은 시멘트종류와 재령에 따른 수중 및 기중 및 기중 제작공시체의 휨인장강도를 나타낸 것이다.

표 3-3 휨인장강도 측정결과(kg/cm²)

제작방법 및 시멘트종류		재령	수중/기중 강도비 기준	3일	7일	28일
기중타설	1종	재령 7일 : 50%이상		53.9	64.7	75.9
	저발열			17.6	63.0	74.0
	5종			42.4	59.4	59.2
수중타설	1종	재령 28일 : 60%이상		50.2	59.3	67.7
	저발열			17.6	57.2	73.4
	5종			34.4	55.0	54.2
수중/기중	1종			93%	92%	89%
	저발열			101%	91%	99%
	5종			81%	93%	92%

휨인장강도에 대한 규정은 일본토목학회의 지침안에서는 제시되어 있지 않기때문에, 일본 어항어촌 건설기술연구소의 지침안을 참조하였으며, 위의 결과에 의하면 그 기준을 모두 만족함을 알 수 있다.²⁾ 그러나 압축강도에 비해서 상대적으로 매우 낮은 기준에 대해서는 더 많은 실험을 통하여 강도비에 대한 세부적인 기준을 다시 정립할 필요가 있을 것으로 생각되며, 5종시멘트의 경우 재령 7일에서의 휨인장강도값에 비해서 재령 28일에서의 휨인장강도값의 증가가 나타나지 않음을 알 수 있었다.

3.3 부착강도 실험결과

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

본 실험은 콘크리트의 수중타설시 지중보와 같은 부재의 활렬파괴특성을 검토하기 위하여 미국의 ASTM 실험 방법을 도입하였고, 또한 기초(Footing)와 기둥의 연결 부분에 대한 인발특성을 검토하기 위하여 영국의 BS(CP114) 규준을 도입하였다.

본 실험에 사용된 철근은 직경이 19mm인 SD30 강도의 철근을 사용하였다. 그 이유는 교각 등의 수중구조물에 배근되는 철근은 주로 SD30을 많이 쓰기 때문이며, ASTM 규준 및 BS 규준의 표준적 의미를 갖기 위함이다. 사진 3-1은 ASTM 규준으로 부착실험을 한 경우를 나타낸 것으로서, 실험부재는 일반적인 활렬파괴양상을 보이는 것으로 나타났으며, 사진 3-2는 BS 규준에 의하여 실험을 수행한 경우로서 실험부재는 콘크리트 표면에 미세한 균열이 발견되지만 활렬파괴는 일어나지 않았고 철근 마디간의 전단과 마디전면의 콘크리트 분상화에 의한 인발(Pullout)파괴가 발생하여 상당한 슬립이 발생하였다. 그리고 부착강도 $100\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 140\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 철근의 항복현상이 발생하였다.

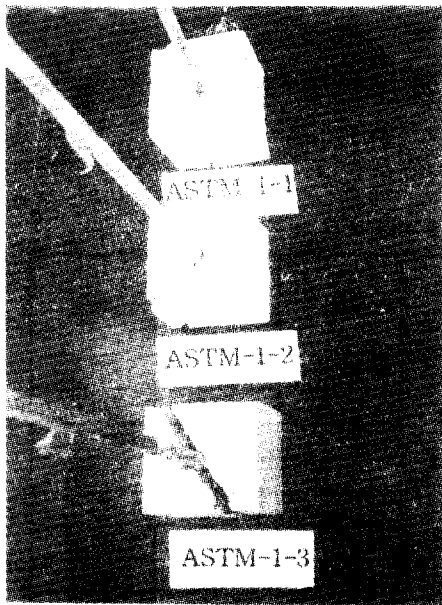


사진 3-1 ASTM 규준에 의한 부착강도 실험

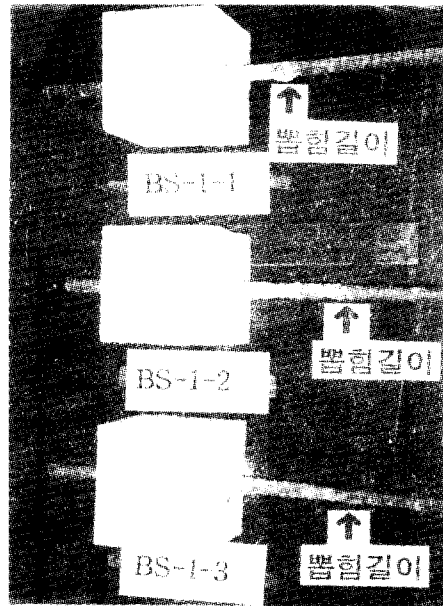


사진 3-2 BS 규준에 의한 부착강도 실험

1종, 5종 및 저발열시멘트에 대하여 각각 제작된 수중불분리 콘크리트의 수중타설 및 기중타설에 따른 평균최대부착강도비의 재령별 비교는 그림 3-1 및 그림 3-2에 나타나있다. 그림 3-1은 ASTM 규준인 경우를 나타낸 것이며, 그림 3-2는 BS 규준인 경우를 나타낸 것이다.

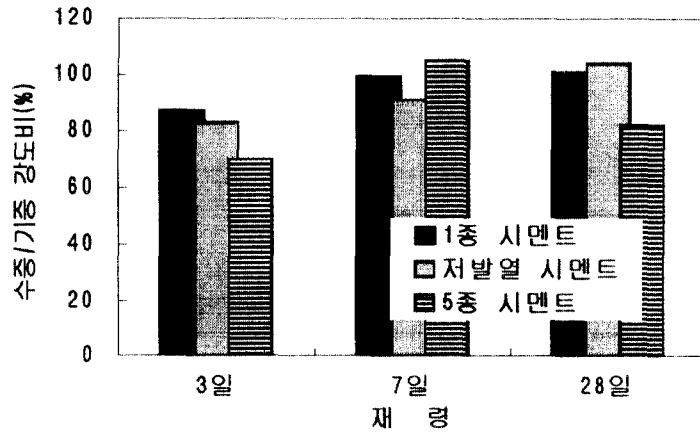


그림 3-1 평균최대부착강도 실험결과(ASTM 기준의 경우)

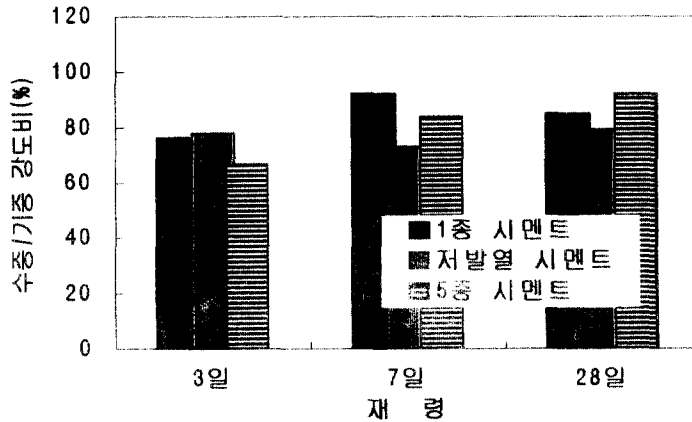


그림 3-2 평균최대부착강도 실험결과(BS 기준의 경우)

3.4 실험결과의 정량화

3.4.1 압축강도실험에 의한 평가 및 고찰

본 실험에서의 압축강도에 대한 평가는 일본토목학회기준인 표 3-1을 근거로 하였으며, 본 실험에

표 3-4 수중불분리 콘크리트의 압축강도에 대한 성능평가 결과

시멘트의 종류	수중타설시의 압축강도 (kg/cm ²)		수중/기중 (%)			평가 결과
	재령 7일	재령 28일	재령 3일	재령 7일	재령 28일	
1종 시멘트	394	466	80	92	93	O.K
저발열 시멘트	227	453	80	92	92	O.K
5종 시멘트	313	443	86	95	98	O.K

사용된 시멘트 종류에 따른 압축강도의 성능평가는 표 3-4와 같다.

3.4.2 휨강도실험에 의한 평가 및 고찰

일반적인 콘크리트의 휨인장강도는 압축강도와외의 관계를 통하여 추정하는 것이 일반적이나 본 연구에서는 휨인장강도 실험치와 표 3-3에 나타나 있는 일본어항어촌 기술연구소의 기준을 사용하여 평가하였다. 본 실험에 사용된 시멘트에 따른 휨인장강도의 성능평가는 표 3-5와 같다.

표 3-5 수중불분리 콘크리트의 휨인장강도에 대한 성능평가 결과

시멘트 종류	수중 / 기중 (%)		평가 결과
	재령 7일	재령 28일	
1종 시멘트	92	89	O.K
저발열 시멘트	91	99	O.K
5종 시멘트	93	92	O.K

3.4.3 부착강도실험에 의한 평가 및 고찰

표 3-6은 부착강도에 대한 실험결과를 나타낸 것이지만, 일본의 경우도 압축강도나 휨인장강도에서와 같은 기준이 부착강도의 경우에는 아직 정립되어 있지 않아서 본 실험결과에 대한 평가에는 다소 어려움이 있었다.

다만 일본에서의 한 실험예를 근거로 하면 본 실험에서의 저발열시멘트의 경우 수중에 대한 기중의 평균부착강도비가 다소 부족한 것을 알 수 있었지만 앞으로 더 많은 실험자료를 통해서 정확한 성능평가가 가능할 것으로 생각된다.

표 3-6 수중불분리 콘크리트의 부착강도에 대한 실험결과

시멘트의 종류	철근의 종류	실험 방법	수중 / 기중 (%)		
			재령3일	재령7일	재령28일
1종 시멘트	수평균	ASTM	87	97	101
		B S	76	92	85
저발열 시멘트	수평균	ASTM	83	91	104
		B S	78	73	79
5종 시멘트	수평균	ASTM	70	105	82
		B S	67	84	92

4. 결 론

본 연구를 통해서 얻어진 결론은 다음과 같다. 압축강도의 경우는 수중제작공시체에 대한 기중제작 공시체의 재령에 따라 얻어진 강도비가 시멘트의 종류에 관계없이 모두 기중값인 80%를 상회하였다. 그러나 저발열 시멘트의 경우 재령 7일의 강도가 재령 28일 강도의 50~54% 정도로 다소 낮은 강도