

수중 보수재료의 부착강도 및 내구성능 평가

Evaluation of Bond Strength & Durability of Repairing Materials for Underwater Concrete Structures

손영현* 임치중** 김완상* 김세준*** 서정우**** 박영석*****
Young-Hyun Son Chi-Joong Lim Wan-Sang Kim Se-Jun Kim Jung-Woo Seo Young-Suk Park

ABSTRACT

Recently, research and development for a number of repairing material like an epoxy-based material and polymer-cementitious material as well as anti-washout underwater concrete have been carried out. But, the study on the materials for the concrete structure exposed to a wetted condition is at a standstill and there are not any suitable reference data at a repairing work for the concrete structure at a splash as well as a structure under severe moisture condition.

In this study, the material, called as "ceramic metal", with an excellent mobility and plasticity as well as with a high bond strength and durability of freezing-thawing resistant properties under any environmental conditions was developed. And, the experimental evaluations for the utility were widely performed.

1. 서론

콘크리트 구조물은 주위환경변화에 따라 수축과 팽창 등의 거동을 하게 되고, 과도한 인장응력이 발생될 경우, 콘크리트 구조체에 균열, 표면박리 및 국부적 탈락 등과 같은 구조체 내력저하 및 내구성 저하요인이 유발된다. 이러한 구조물에 발생된 균열, 박리 및 탈락 등의 결함에 따라 적용되어 온 콘크리트 구조물의 보수 및 보강공법은 기중 환경하에서 어느정도의 효과를 발휘할 수 있는 것으로 알려져 있으나, 습윤조건에 노출된 부위의 콘크리트에 사용될 경우 경화 및 접착불량으로 인하여 피보수재와의 박리가 발생하고, 콘크리트의 재료 및 구조적 거동에 따라 파단되거나 혹은 습윤조건에 적합하다 할지라도 부착강도가 매우 낮다 라는 단점이 지적되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 개발된 세라믹메탈재를 중심으로 습윤 및 수중조건하에 노출된 콘크리트 구조물의 보수재료 널리 사용되는 에폭시계 보수재와 수중불분리성 콘크리트의 압축강도와 부착강도 특성 및 비말대를 고려한 동결융해저항성 통한 내구성능을 보수재 별로 비교분석하였다.

- * 정회원, 현대건설(주) 기술연구소
- ** 정회원, 명지대학교 토목공학과, 석사과정
- *** 정회원, (주)씨테크, 기술이사
- **** 정회원, 광주대학교 토목환경공학부, 교수
- ***** 정회원, 명지대학교 토목공학과, 교수

2. 실험개요

2.1 사용재료 및 배합설계

- 1) 시멘트 : 본 실험에서는 국내 H사 제품인 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.
- 2) 골재 : 본 실험에서 굵은 골재는 경기도 광주 근교에서 채취한 최대치수가 20mm인 채석을 사용하였고 잔 골재는 K사 레디믹스트콘크리트 공장에서 사용 중인 바닷모래로서, KS F 2501에 준하여 시료를 채취하였다.
- 3) 플라이애쉬와 고로슬래그 : 플라이애쉬는 당진화력발전소에서 생산된 KS L 5405 규정에 적합한 제품을 사용하였고 고로슬래그는 광양제철소에서 생산된 슬래그를 사용하였다.
- 4) 세라믹메탈재 : 본 연구에서 사용된 세라믹 메탈재는 기존 에폭시계 성분의 유기체가 아닌 금속성분을 합성 조합시켜 엄밀한 제조과정을 거쳐 생산된 국내 최초로 개발된 세라믹계 제품이다. 본 제품은 금속분말 + 세라믹 분말 + 폴리머(polymer) + α 로 특수제조된 것으로, 기본제와 경화제를 혼합하면 물성자체의 자생발열로 인하여 분자와 분자결합이 이루어지고 피보수재와 완전 화학결합되는 특성을 가진다. 또한, 친수성기와 소수성기를 보유한 계면활성제를 포함한 화합물을 함유하고 있어서 수중에서도 피보수재와의 우수한 접촉특성이 기대되고 있다.
- 5) 에폭시수지 및 수중불분리성콘크리트: 국내에서 시판되고 있는 A사의 기중경화성 에폭시수지 몰탈재(비중 2.15) 및 수중경화성 에폭시수지몰탈재(비중 2.22)와 B사의 증접제 및 유동화제를 이용하여 제조사의 추천배합방법으로 시험체를 제작하였다.
- 6) 사용배합비 : 피보수재 콘크리트 구조물의 설계기준강도를 240gf/cm^2 로 하고, 보수재료로써 세라믹 메탈재를 중심으로 수중불분리성 콘크리트, 기중경화성 에폭시수지모르터 및 수중경화성 에폭시모르터를 변수로 하여 실험을 수행하였다.

표 1 세라믹메탈재 배합비(질량비)

종류	주제	경화제	회석제	굵은골재	잔골재
순수세라믹 메탈재(CO)	6	1	(6+1)×2%	-	-
세라믹메탈재 + 굵은골재(CG)	6	1	(6+1)×2%	7	-
세라믹메탈재 + 잔골재(CS)	6	1	(6+1)×2%	-	7

주) 골재 1 : 규사, 골재 2 : 채석

표 2 에폭시수지계 배합비(중량비)

종류	주제	경화제	건식모르터	골재 1	골재 2
기중에폭시수지(DM)	2	1	-	4	-
수중에폭시수지(WE)	2	1	6	3	6

표 3 수중불분리성 콘크리트 배합비

종류		단위량(kg/m ³)								
		W	C	S	G	혼화재료				
						FA ¹⁾	SL ²⁾	AE 감수제	증점제 (W ²⁾ *%)	유동화제 (B ³⁾ * %)
일반콘크리트	NO	171	354	841	926	-	-	1.77	-	-
수중불분리성 콘크리트	PL	210	430	747.9	877.9	-	-	-	1.2	1.5-1.8
	FA	210	352.6	733.9	861.6	77.4	-	-	1.2	1.5-1.8
	SL	210	236.5	738.5	866.9	-	193.5	-	1.2	1.5-1.8

주 1) FA : 플라이애쉬(비중 2.34) , SL : 고로슬래그(비중 2.80)

주 2) 셀룰로스에테르계 증점제(비중 0.33)

주 3) 멜라민계 유동화제(비중 1.24), B : Binder총량

상기 표의 기호에서 타설환경이 기중인 경우 D, 담수중인 경우 W, 해수중인 경우 S를 나타낸 것이다(예:세라믹매탈재와 굵은골재를 혼합한 재료를 담수중에 타설한 경우-CGW).

2.2 실험체 제작 및 실험방법

1) 압축 및 부착강도 실험 : 수중제작 압축강도 시험체는 $\Phi 10 \times 20 \text{cm}$ 의 몰드에서 재령별로 KS F 2405에 의하여 실시하였다. 또한, 휨부착시험에서는 1/2로 절단된 $10 \times 10 \times 40 \text{cm}$ 몰드의 1/2을 보수재로 충전한 후 부착특성을 KS F 2407에 의하여 실시하였다. 한편, 실험체의 제작이 완료된 24시간 후(수중 불분리성 콘크리트의 경우 72시간 후)에 탈형하여 양생수조에 침수시켜 재령 3일, 7일, 28일에 압축강도 및 휨부착강도실험을 수행하였다.

2) 동결융해저항성 실험 : 동결융해저항성 실험은 KS F 2403에 의해 제작된 시험체($10 \times 10 \times 40 \text{cm}$)를 이용하여 KS F 2456상의 시험방법인 A인 수중 급속 동결융해시험과정에 따라 실험을 수행하였다. 각 제작 환경하에서 제작된 시험체는 재령 14일에 시험을 실시하였고 KS F 2437에 의해 동탄성계수를 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 압축강도

세라믹매탈재를 사용한 보수재들의 경우 재령 초기에 급격한 강도발현 특성을 보였으며, 재령 7일 이후 강도증가 현상은 미비하게 나타냄을 그림 1에서 알 수 있다. 압축강도의 발현은 제작 및 양생환경에 의하여 영향을 받았고 기중, 담수중, 해수중에서 제작, 양생된 재료의 순으로 높게 나타났다. 그림 2과 그림 3의 타 보수재료들과 비교하였을때, 기중의 경우 초기 3일강도는 CGD가 7일 이후에는 DMD가 가장 큰 값을 보였으며, 담수중의 경우 CGW, WEW, CSW, COW, 수중불분리성 콘크리트들의 순으로 높게 나왔으며, 해수의 경우 CGS, WES, CSS, COS, 수중불분리성 콘크리트들의 순으로 높게 나왔다.

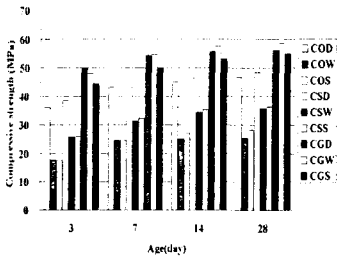


그림 1 세라믹메탈재 압축강도

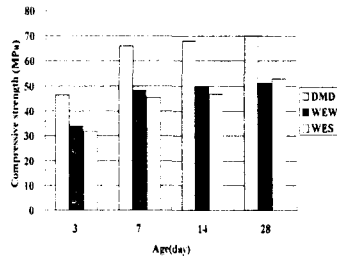


그림 2 에폭시 압축강도

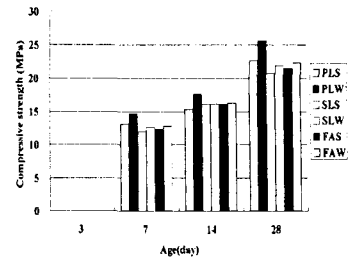


그림 3 수중불분리콘크리트 압축강도

3.2 휨부착강도

기중환경하에서의 발현특성을 보이고 있는 그림 4에서 재령 7일 이전에 상대적으로 높은 부착강도를 보인 에폭시계 보수재료(DMD)는 재령에 따라 그 발현율이 급격히 저하되는 반면, 세라믹메탈재는 지속적으로 강도발현이 이루어지는 경향을 보이고 있으며, 굵은골재와 잔골재를 각각 혼입한 세라믹메탈재는 오히려 에폭시계의 부착강도를 10~15% 정도 상회하고 있다. 이는 전술한 바와 같이 부착계면에 존재하여 마치 필름역할을 하는 회석재가 골재내부로 침투·소진되면서 계면내부에서 소성상태로 존재하는 세라믹메탈재에 의해 부착특성이 개선되기 때문으로 판단된다.

이러한 효과는 담수중 혹은 해수중에서 다소 저하되는 경향을 그림 5와 그림 6에서 알 수 있다. 그림 5에서 비록 부착강도가 수중불분리성 콘크리트보다 매우 높게 나타나고 있으나, 에폭시계보다 약 8% 정도 낮은 부착강도를 보이는 굵은골재를 혼입한 세라믹계 보수재료를 제외하고는 크게 하회하는 것으로 나타나고 있다. 해수환경하에서의 실험결과를 나타낸 그림 6의 경우, 굵은골재를 혼입한 세라믹메탈재는 수중경화성 에폭시 보수재료보다 최대 20%까지 높은 부착강도를 나타내고 있다.

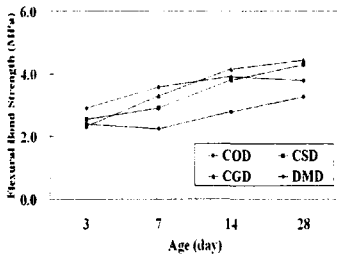


그림 4 기중환경 휨부착강도

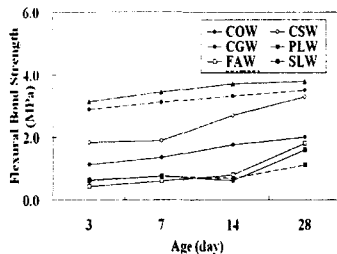


그림 8 담수환경 휨부착강도

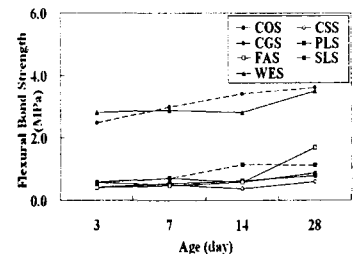


그림 6 해수환경 휨부착강도

3.3 동결융해 저항성시험

콘크리트 시험체를 제작하고 20±3℃의 양생수조에서 14일간 습윤양생을 실시한 후 초기 동탄성계수와 질량을 측정 후 실시한 동결융해저항성시험 결과는 각 재료별로 그림 7~그림 10에 나타내었다.

일반콘크리트는 목표 사이클수 300에 이르기 전 혼화재료의 사용유무에 관계없이 상대동탄성계수 60% 이하에 도달하여 시험이 완료되었다. 또한, 혼화재료의 사용유무에 따른 실험결과에서는 플라이 애쉬나 고로슬래그를 사용하지 않은 경우가 상대적으로 높은 동결융해저항성을 갖는 것으로 나타났으며, 혼화재료의 종류에 따른 영향에서는 사이클수 100cycle 전까지의 상대동탄성계수에 있어서 플라이 애쉬를 혼입한 경우가 높게 나타나고 있으며, 100cycle 이후 상대동탄성계수 60%이하 직전까지는 고로

슬래그의 경우가 높게 나타나고 있다.

한편, 세라믹메탈재를 대상으로 실험한 결과, 전체적으로 모두 동결융해 300cycle에서 상대동탄성 계수가 에폭시계 콘크리트와 마찬가지로 90%를 초과하고 있어 동결융해에 대한 내구성이 매우 우수하다고 판단된다. 특히, CGD, CSD 등 세라믹메탈재와 자갈, 모래를 혼합하고 기중에서 제작된 시편의 경우 상대동탄성계수가 95%를 초과하는 가장 큰 내구성을 보이는 것으로 나타났다.

기중경화성 에폭시수지와 수중경화성 에폭시수지 보수재를 대상으로 실시한 실험의 결과에서는 기중경화성의 경우가 다소 높은 저항성을 갖는 것으로 나타났으나, 대체로 모든 경우가 동결융해 300cycle에서 상대동탄성계수가 90%를 초과하고 있어 동결융해에 대한 내구성이 매우 우수한 것으로 판단된다. 또한, 수중경화성에폭시를 대상으로 담수와 해수 등 환경조건의 변화를 검토한 결과, 제작 및 양생환경에 영향을 받지않고 높은 내구성을 갖고 있음을 알 수 있다.

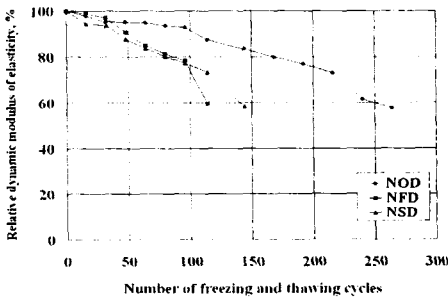


그림 10 일반콘크리트 동결융해저항성

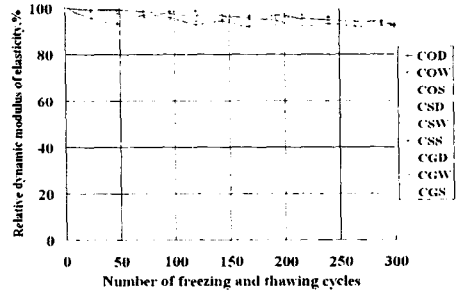


그림 11 세라믹메탈재 동결융해저항성

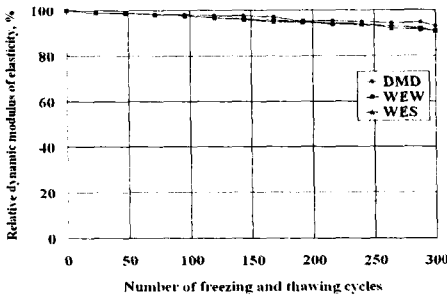


그림 10 에폭시계 동결융해저항성

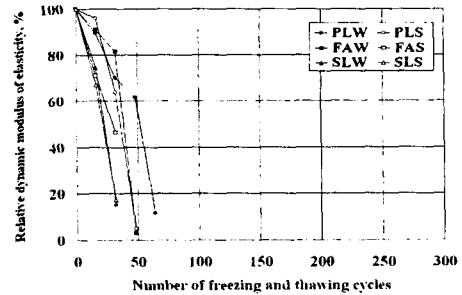


그림 11 수중불분리성 콘크리트 동결융해저항성

표 4에서는 동결융해반복사이클에 따른 동탄성계수의 변화를 중심으로 산정된 내구성지수를 정리한 것이다. 혼화재료를 혼입하지 않은 일반콘크리트는 약 50.7%의 내구성지수를 보이고 있으나, 고로슬래그와 플라이애쉬를 혼입함으로써 28%, 22.6%로 급격히 저하됨을 알 수 있다.

특히, 동일한 시멘트계인 수중불분리성 콘크리트는 혼화재료를 혼입하지 않은 경우, 플라이애쉬 혼입, 고로슬래그 혼입의 경우 순으로 내구지수가 감소하는 경향을 보이고 있는데, 담수 중인 경우 약 9.8% - 6.4%, 해수 중인 경우, 약 6.8% - 3.4%로 해수 중에서 평균적으로 낮게 나타나고 있다.

세라믹메탈재의 경우 동결융해에 대해서 가장 우수한 저항성을 갖는 것으로 평가되었으나 에폭시계 수중경화성 보수재와 1%~3%정도의 미세한 차이만을 보였다. 에폭시계 수중경화성보수재를 사용한 실험결과에서는 동결융해시험 결과의 상대동탄성계수의 변화에서도 알 수 있었듯이 수중불분리성 재료에 비하여 우수한 저항성을 갖는 것으로 평가되었다.

표 4 내구성지수 계산 결과

시험체 기 호	P (%)	N (Cycle No.)	M (Cycle No.)	DF	시험체 기 호	P (%)	N (Cycle No.)	M (Cycle No.)	DF
NOD	57.6	264	300	50.7	DMD	93.1	300	300	93.1
NFD	59.4	114	300	22.6	WEW	90.8	300	300	90.8
NSD	58.4	144	300	28.0	WES	91.1	300	300	91.1
PLW	61.5	48	300	9.8	COD	92.4	300	300	28.0
FAW	81.6→3.0 (급강하)	32-48	300	6.4*	COW	91.7	300	300	91.7
					COS	93.4	300	300	93.4
SLW	74.7→15.6 (급강하)	16-32	300	3.4*	CSD	95.1	300	300	95.1
					CSW	93.4	300	300	93.4
PLS	64.0	32	300	6.8	CSS	92.5	300	300	92.5
FAS	71.1→46.5 (급강하)	16-32	300	4.3*	CGD	96.7	300	300	96.7
					CGW	92.4	300	300	92.4
SLS	67.1→17.4 (급강하)	16-32	300	3.4*	CGS	92.1	300	300	92.1

주) * 은 상대동탄성계수의 급강하의 직선성을 가정하여 보간법으로 계산한 것임.

4. 결론

1. 습윤조건 혹은 수중 구조체의 보수재로 적용시 기본적으로 요구되는 압축강도 및 부착강도를 비교·분석한 결과, 세라믹 메탈재와 굵은골재를 혼합하여 사용한 경우, 기존 에폭시계 재료 및 수중 불분리성 콘크리트에 비하여 사용환경에 관계없이 탁월한 강도발현을 나타내었다.
2. 비말대와 같이 동절기 동결융해작용을 받기쉬운 영역에 대한 저항성을 평가한 결과, 에폭시계 보수 재료와 세라믹 메탈재가 공히 내구지수 90%를 초과하는 우수한 저항성을 갖는 것으로 나타났다.
3. 본 연구를 통하여 개발된 세라믹 메탈재는 기존 보수재료와의 비교검토 결과에 따라, 수중환경 및 습윤환경하에서의 충분한 부착성능, 그리고 비말대 영역과 같이 빈번한 동결융해반복 작용이 일어나는 영역에 적용시 우수한 내구성능을 발휘할 수 있는 보수재료인 것으로 판단되며, 향후 그 적용성이 충분히 기대되는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김명식, 김기동, 윤재범, "수중불분리성 콘크리트의 부착강도특성에 관한 연구," 콘크리트학회 논문집, 제12권 1호, pp89-99, 2000. 2.
2. 남용혁, 최세규, 김동신, 김생빈, "고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성에 대한 실험적 연구," 콘크리트학회 가을학술발표회논문집 pp. 148-153, 1996. 10.
3. 박경상, 이용중, 채재홍, 이종열, 최룡, "폴리머시멘트모르타의 부착특성에 관한 연구," 콘크리트학회 봄학술발표회논문집, pp. 203-208, 1999. 5.
5. Pheeraphan, T. and Leung, C.K.Y., "Freeze-Thaw Durability of Microwave Cured Air-Entrained Concrete," Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 3, pp. 427-435, 1997.
6. 吉田 行, 堺 孝司, 態谷守莞, "改質ビークライト系セメントを用いたコンクリートの凍結融解抵抗性," 콘크리트 工學年次大會論文集, Vol. 22, No. 1, pp. 79-84, 2000.