



해상 프리캐스트 콘크리트 부유체 모듈 가접합을 위한 마이크로 실리카 혼입 수중용 에폭시 접합 성능 검토 : Part 1 - 재료 개발 및 성능 검토

최진원¹⁾ · 김영준¹⁾ · 유영준^{1,2)} · 권성준³⁾ · 김장호^{1)*}

¹⁾연세대학교 사회환경시스템공학부 ²⁾한국건설기술연구원 인프라구조연구실 ³⁾한남대학교 건설시스템공학과

Micro-silica Mixed Aqua-epoxy for Concrete Module Connection in Water : Part 1 - Material Development and Evaluation

Jin-Won Choi,¹⁾ Young-Jun Kim,¹⁾ Young-Jun You,^{1,2)} Seung-Jun Kwon,³⁾ and Jang-Ho Jay Kim^{1)*}

¹⁾School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-794, South Korea

²⁾Structural Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 411-712, Korea

³⁾Dept. of Civil Engineering, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

ABSTRACT Recent studies on concrete floating structure development focused on connection system of concrete modules. Precast concrete modules are designed to be attached by prestressing in the water, exposing the structure to the loads from water and making the construction difficult. Therefore, a development of bond material became a key issue in successful connection of floating concrete modules. In this study, micro-silica mixed aqua epoxy (MSAE) is developed for the task. Existing primer aqua epoxy, originally used as a bond material for the retrofit of concrete structures using fiber reinforced polymers, is evaluated to find the optimum micro-silica added mix proportion. Micro-silica of 0~4 volume % was mixed in standard mixture of aqua epoxy. Then, the material property tests were performed to study the effect of micro-silica in aqua epoxy by controlling the epoxy silane proportion by 0, ±5, ±10%. The optimum mix design of MSAE was derived based on the test results. The MSAE was used to connect concrete module specimens with the epoxy thickness variation of 5, 10, and 20mm. Then, 3-point loading test was performed to verify the bond capacity of MSAE. The results show that MSAE improves the bond capacity of concrete module.

Keywords : concrete module, floating structure, connection system, aqua epoxy, micro silica

1. 서 론

최근 국토 확장과 수상 공간 창출을 위한 부유 구조물 개발에 대한 연구가 늘어나는 추세이다.¹⁾ 이러한 부유 구조물은 과거 일본에서 해양 및 조선 분야뿐만 아니라 해상 공항 개발을 위하여 Shipbuilding Research Center of Japan에서 본격적으로 연구 된 바 있다.²⁾ 그러나 이러한 규모의 대형 부유체를 제작할 경우 제작비용이 크고, 해상 환경으로 인한 부식에 대한 위험이 높아진다. 또한, 해상에서는 육상보다 유지보수가 까다로운 점이 있으므로 제작 및 유지보수 단가를 절감하기 위하여 부유체를 강재로 제작하는 것보다 콘크리트로 제작하는 것이 유리할 것으로 보인다. 따라서 해상 부유식 구조물을 콘크리트로 제작

하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.³⁾

이와 같은 콘크리트 부유 구조물은 기존에 사용된 바 있으며 이에 대한 특허 또한 존재한다.⁴⁾ 다만 콘크리트 부유체의 제작 작업은 현장 시공이 불가능하여 프리캐스트 콘크리트 모듈 접합 공법을 활용하는 것으로 진행되고 있다.⁵⁾ 이 공법을 현실화하기 위해 연구되고 있는 방안은 모듈을 해상으로 인양하여 프리스트레스트를 도입하는 방법과 추가적인 접합재를 이용하여 가접합하는 방법이 있다.

그러나 파력 및 풍력이 작용하는 해상 환경에서의 콘크리트 모듈 간 접합 작업에서 모듈 간 충돌사고나 프리스트레싱 텐던 삽입 및 긴장과정에서 시공오차가 발생할 수 있다. 특히, 시공 단계에서 접합부 콘크리트가 파손되어 접합면의 단면 손실이 발생할 경우 모듈 간 하중 전달량의 오차로 인한 균열발생과 수분침투로 보강 철근 및 프리스트레스트 텐던의 부식이 발생할 수 있다. 이러한 이유로 콘크리트 모듈 간의 효율적 접합을 위한 기술이 개발되고

*Corresponding author E-mail : jjhkim@yonsei.ac.kr

Received April 23, 2014, Revised September 5, 2014,

Accepted November 11, 2014

©2015 by Korea Concrete Institute

Table 4 Material test list

Test type	Standard	Notation
Tensile stress	KS M 3006	T
Compressive stress	KS M 3015	C
Shear stress by tensile loading	KS M 3734	ST
Bond stress by slant shear	ASTM C 882-91	BS
Bond stress	KS F 4923	B

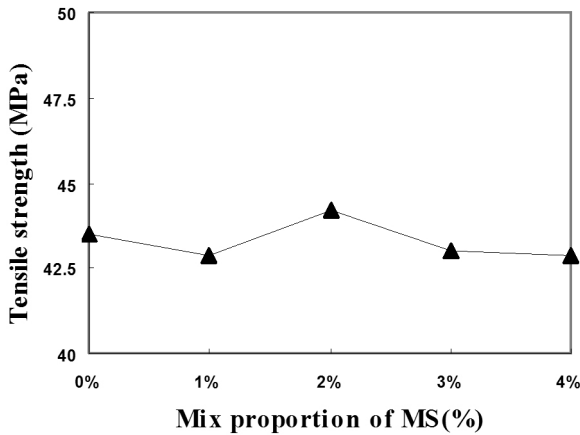


Fig. 3 Tensile strength due to MS mix proportion

을 ±5%, ±10%로 조절하고 이에 대한 재료 실험을 실시하였다. 재료 실험 항목은 Table 4와 같다.

4.2 마이크로 실리카 혼입량 평가

연구에서 사용된 수중용 에폭시는 점도가 33000 cps로 매우 높기 때문에 마이크로 실리카의 혼입에 따른 혼합성이 저하될 수 있다. 따라서 최대 혼입율을 4%로 제한하였다. 인발부착강도 시험은 ASTM C 882-91에 따라 실시하였다. Table 5에서 보는 바와 같이 시험 결과, 강도 차이가 오차범위 내로, 마이크로 실리카 혼입에 따른 부착강도의 변경효과는 없는 것으로 판단되었다. 마이크로 실리카 혼입에 따른 성능 증가가 존재할 수는 있으나 부착강도 값이 비교적 적어 MS혼입에 따른 성능변화는 나타나지 않은 것으로 판단된다. 그러나 파괴 형상에 변화가 없으며 혼입율 변화에 따른 성능 저하가 실질적으로 발생되지 않았으므로 MS는 적용 가능한 것으로 보인다. 단, 3~4%의 MS가 혼입될 경우 혼합성이 현저히 감소되는 것을 확인할 수 있었다. Table 6의 인장강도 실험 결과 또한 미소한 차이를 보였다. MS가 혼입되지 않은 수중용 에폭시 인장강도가 43.5 MPa일 때, 1%를 혼입한 경우 42.9 MPa로 0.6 MPa 감소, 2% 혼입 시 44.2 MPa로 0.7 MPa 향상되었다. 3%, 4%를 혼입한 경우 각각 43.0 MPa, 42.9 MPa로 감소하였다. 하지만 각 시험체 간 성능편차가 크지 않으므로 MS 혼입에 따른 성능 증가는 발생하지 않은 것으로 평가되며, 마이크로 실리카의 혼입비율이 3%를 초과할 경우 작업성이 극단적으로

Table 5 Results from slant shear test

MS (%)	Specimen no.	Bond stress (MPa)	Fracture mode
0%	1	3.92	Interfacial
	2	3.96	Interfacial
	3	3.90	Interfacial
	4	3.81	Interfacial
	Average stress	3.9	
1%	1	3.87	Interfacial
	2	4.11	Interfacial
	3	3.88	Interfacial
	4	3.73	Interfacial
	Average stress	3.9	
2%	1	4.01	Interfacial
	2	3.96	Interfacial
	3	3.91	Interfacial
	4	3.88	Interfacial
	Average stress	3.9	
3%	1	4.03	Interfacial
	2	4.00	Interfacial
	3	3.96	Interfacial
	4	3.86	Interfacial
	Average stress	4.0	
4%	1	3.82	Interfacial
	2	3.74	Interfacial
	3	3.79	Interfacial
	4	3.88	Interfacial
	Average stress	3.8	

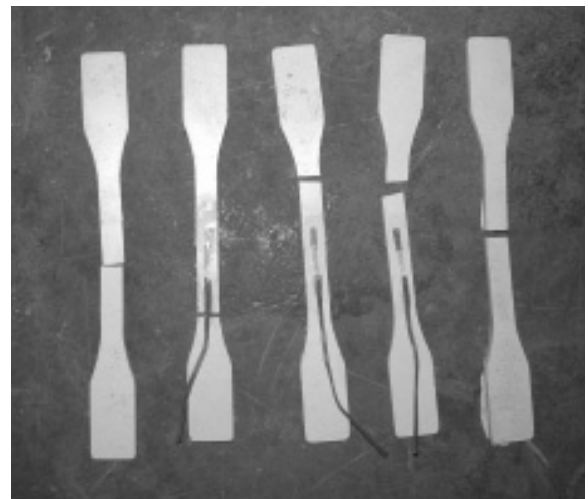


Fig. 4 Fracture mode of tensile test specimens

로 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 실험 결과는 MSAE의 개발에 있어 MS의 역할은 micro-filler로 한정되며, 수중용 에폭시의 성능 역시 유지되는 것을 확인하였다.

Table 6 Results of tensile test

MS (%)	Specimen no.	Thick. (mm)	Width (mm)	Tensile stress (MPa)
0%	1	4.11	10.04	46.3
	2	4.11	10.12	40.9
	3	4.11	10.30	43.6
	4	4.11	10.29	44.0
	5	4.11	10.17	42.9
	Average stress			
1%	1	4.11	10.29	46.7
	2	4.11	9.90	45.2
	3	4.11	9.99	40.9
	4	4.11	10.22	40.4
	5	4.11	9.93	40.3
	Average stress			
2%	1	4.11	10.29	44.3
	2	4.11	9.90	47.2
	3	4.11	9.99	45.2
	4	4.11	10.22	42.3
	5	4.11	9.93	42.3
	Average stress			
3%	1	4.11	10.29	42.7
	2	4.11	9.90	45.2
	3	4.11	9.99	43.4
	4	4.11	10.22	42.7
	5	4.11	9.93	40.0
	Average stress			
4%	1	4.11	10.29	44.0
	2	4.11	9.90	44.6
	3	4.11	9.99	45.9
	4	4.11	10.22	39.9
	5	4.11	9.93	40.3
	Average stress			

4.3 마이크로 실리카 혼입에 따른 성능 평가

성능평가를 위해 2%의 MSAE 주재 및 경화제 배합 비율 변화로 점도를 조정하며 재료 성능을 평가하였다. 정량, ±5%(A제), ±10%(A제)로 구성된 5가지 배합과 여기에 MS 2%를 혼입한 5가지 배합을 추가하여 총 10개 배합에 대한 성능 검토를 실시하였다. 시험 항목은 인장강도(T), 압축강도(C), 인장전단 부착강도(ST), 인발부착강도(BS), 접착강도(B)이며, 인발부착강도 시험에서는 파괴형상을 관찰하였다.

Table 7은 시험항목에 대한 결과를 나타낸 표이다. MSAE는 정량 배합한 수중용 에폭시에 비해 성능 저하가 나타나

Table 7 Results of material tests [unit:MPa]

A (%)	no.	T		C		ST		B		BS	
		MS 0%	MS 2%	MS 0%	MS 2%	MS 0%	MS 2%	MS 0%	MS 2%	MS 0%	MS 2%
-10%	1	32.7	33.5	65.4	69.0	9.0	9.2	2.63	3.46	2.97	2.90
	2	30.3	35.3	72.5	59.6	8.1	9.2	3.00	3.32	2.85	3.04
	3	32.1	35.4	58.8	66.0	8.4	9.0	2.63	3.58	2.80	3.10
	4	31.3	32.9	63.1	66.5	8.8	9.1	3.12	3.44	2.90	3.00
	5	33.2	32.2	68.4	70.2	9.0	8.9	-	-	-	-
	Avg	31.9	33.8	65.6	66.3	8.7	9.1	2.8	3.4	2.9	3.0
-5%	1	35.4	34.6	72.0	78.0	10.4	10.3	3.27	4.21	3.42	3.48
	2	33.8	37.7	74.3	78.0	11.5	10.8	3.71	3.58	3.29	3.3
	3	35.6	37.7	76.1	78.7	10.9	9.7	3.45	3.76	3.33	3.73
	4	35.3	40.0	76.5	73.1	10.2	10.6	3.95	4.03	3.21	3.42
	5	38.1	38.0	75.5	77.1	9.9	9.6	-	-	-	-
	Avg	35.6	37.6	74.9	77.0	10.6	10.2	3.6	3.9	3.3	3.5
0%	1	41.9	42.0	81.0	84.4	12.2	11.8	3.53	4.60	3.74	3.90
	2	40.0	44.7	87.2	85.7	11.3	11.6	4.70	4.74	3.53	3.98
	3	42.9	43.5	84.7	86.1	11.8	12.8	4.50	5.16	3.72	3.88
	4	39.4	41.3	84.8	88.3	12.5	11.8	4.64	4.62	3.77	3.75
	5	42.1	44.3	84.6	82.7	12.1	12.3	-	-	-	-
	Avg	41.3	43.2	84.5	85.4	12.0	12.1	4.6	4.8	3.7	3.9
+5%	1	37.5	36.3	75.6	79.1	11.2	12.0	3.65	4.19	3.72	3.60
	2	36.2	35.5	76.8	80.0	11.2	11.0	3.76	4.32	3.50	3.50
	3	36.9	36.6	82.5	69.8	11.8	11.4	4.12	3.97	3.21	3.57
	4	37.7	34.4	83.5	82.9	11.1	11.2	3.68	4.14	3.58	3.73
	5	36.2	36.3	82.0	75.0	11.3	12.5	-	-	-	-
	Avg	36.9	35.8	80.1	77.4	11.3	11.6	3.8	4.2	3.5	3.6
+10%	1	36.0	35.9	74.4	77.5	10.6	11.0	3.10	4.43	2.92	3.67
	2	35.2	34.7	75.2	81.5	11.1	10.7	2.87	4.22	2.97	3.76
	3	35.0	37.2	76.4	80.5	10.9	11.0	3.20	3.97	3.10	3.74
	4	33.9	38.2	73.7	83.6	10.1	12.0	3.06	3.76	2.93	3.65
	5	38.4	36.4	75.9	77.8	11.1	11.2	-	-	-	-
	Avg	35.7	36.5	75.1	80.2	10.8	11.2	3.1	4.1	3.0	3.7

지 않았으며, 수중용 에폭시의 주재(A)와 경화제가 화학반응을 통해 경화체를 생산함으로써 점도의 변화와 무관하게 최대 성능을 나타내었다. MS 혼입에 따른 성능은 인장강도 5%, 압축강도 1.2%, 인장전단부착강도 0.9%, 부착강도 4% 향상되었으며, 인발부착강도의 경우 8%의 증가량을 보임과 동시에 부착면에서의 파괴가 발생됨을 확인할 수 있었다. 다만, 증가량은 실험 오차일 가능성이 있지만 MS 혼입이 수중용 에폭시의 접합성능에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

5. MSAE 콘크리트 구조부재 접합 성능 평가

5.1 실험 개요

MSAE의 콘크리트 모듈 접합 성능을 평가하기 위해 구조실험을 수행하였다. Fig. 5와 같이 100×100×190 mm 무근 콘크리트 모듈을 제작하여 20°C, 상대습도 60%의 환경에서 28일간 기중양생 시켰으며, 28일 평균 압축 강도는 30 MPa였다. MSAE접합은 수중환경에서 5, 10, 20 mm 두께로 주입 또는 도포하였다. 24시간 기중(20°C, 60 RH%) 및 수중(18°C)에서 경화 후 Fig. 6과 같이 왼쪽에서부터 지간(360 mm) 1/3지점에서 재하하였다. 실험변수는 Table 8에 나타내었다.

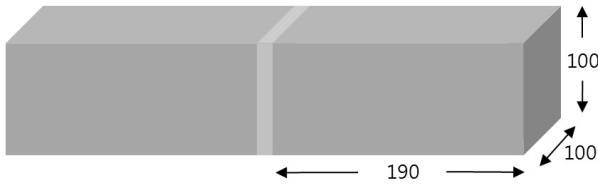


Fig. 5 Test specimen dimensions

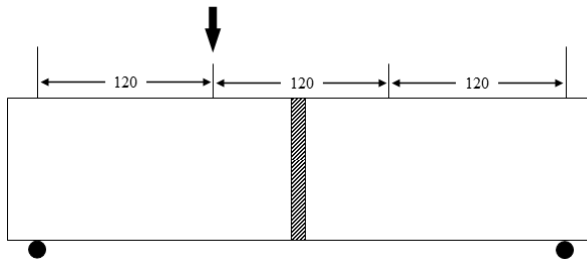


Fig. 6 Eccentric 3-point loading test

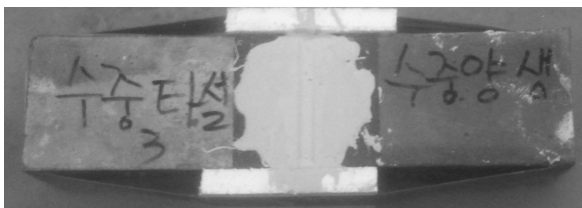


Fig. 7 Casting and curing in soaked condition

Table 8 Test case notation

Bond length	Hardening condition	
	Dry	Wet(Soaked)
5 mm	AE5	AE5(w)
	MSAE5	MSAE5(w)
10 mm	AE10	MSAE5(w)
	MSAE10	MSAE5(w)
20 mm	AE20	MSAE5(w)
	MSAE20	MSAE5(w)

5.2 구조부재 실험 결과 및 분석

MSAE의 콘크리트 모듈 접합 성능을 평가하기 위한 부재실험 결과를 Fig. 8과 Table 8에 나타내었다. AE5, AE10, AE20은 각각 12.74, 14.14, 10.92 kN, 마이크로 실리카가 혼입된 MSAE5, MSAE10, MSAE20은 각각 21.78, 23.15, 14.25 kN으로 AE에 비해 약 60% 이상 성능이 향상되었으며, 두께 10 mm에서 최적 성능을 보였다. 수중양생조건에 따른 성능 변화는 MSAE5-MSAE5(w) 간 1.7%, MSAE10-MSAE10(w) 간 1.7%로 미소하게 나타났으며, MSAE20-MSAE20(w) 간에서만 8.9%로 발생되었다. MS 혼입에 따른 성능변화는 MS 혼입량 2%인 수중용 에폭시의 사용으로 인해 콘크리트-AE 간 접합면적이 증가하였으며, 수중에서 작업할 경우 에폭시의 성형이 어려워 표면처리를 하지 않은 콘크리트 계면에서 공극이 발생하기 쉽기 때문이다. 이러한 공극은 계면 부착면적을 저하시켜 전체 부착력(net bond stress)을 저하시켜 부착파괴가 발생하게 된다. 반면, Fig. 9에서 보는 바와 같이 MS로 미세 공극을 채울 경우, 계면 부착면적과 부재의 연속성이 증가하게 되어 성능이 향상되는 것으로 판단된다. Fig. 10은 계면에서 발생한 공극을 MS로 채우지 못한 시편과 채운시편을 보여주는 그림이다. 이러한 MS 채움효과로 Fig. 10(a) 계면 탈락 파괴에서 Fig. 10(b) 계면 에폭시 인장파괴로 전환되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 공극 감소는 실제 구조물의 수중 접합 시 내부 수분을 줄이는 효과가 있으므로 동결융해 저항성을 추가적으로 확보할 수 있을 것으로 보인다.

그러나 접합두께가 10 mm를 초과할 경우 MS 혼입효과

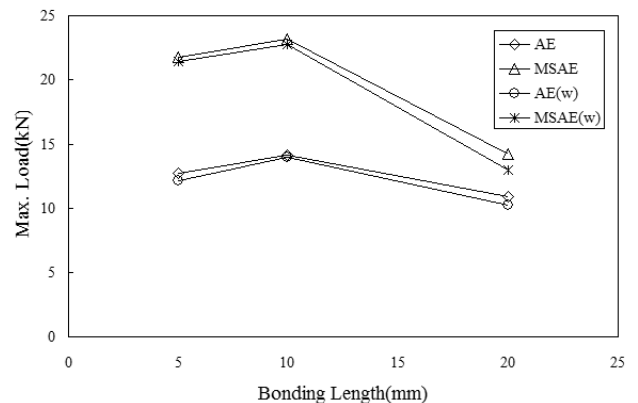


Fig. 8 Max. load versus bonding length test results

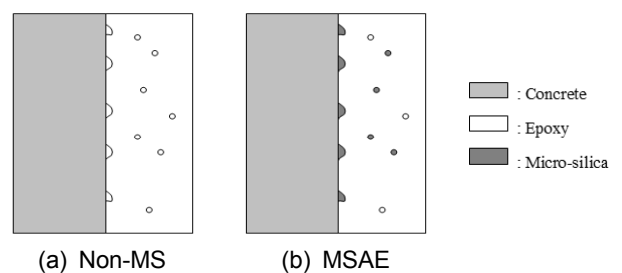
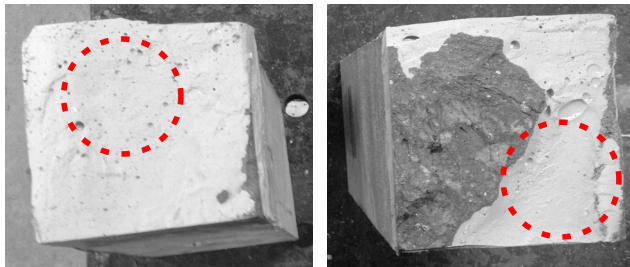


Fig. 9 Pore reduction by MSAE

Table 9 Test result [unit:kN]

Case	Dry			Case	Wet		
AE	12.6	13.25	12.37	AE	11.68	12.56	12.15
5	Avg : 12.74			5(w)	Avg : 12.13		
MSAE	20.08	21.27	23.99	MSAE	23	21.14	20.11
5	Avg : 21.78			5(w)	Avg : 21.42		
AE	14.7	13.72	14.01	MSAE	14.54	14.27	12.9
10	Avg : 14.14			5(w)	Avg : 13.98		
MSAE	24.12	22.1	23.24	MSAE	22.66	22.01	23.62
10	Avg : 23.15			5(w)	Avg : 22.76		
AE	10.72	11.75	10.3	MSAE	9.47	9.85	11.46
20	Avg : 10.92			5(w)	Avg : 10.25		
MSAE	14.47	12.99	15.28	MSAE	12.04	12.78	14.1
20	Avg : 14.25			5(w)	Avg : 12.97		



(a) Non-MS AE

(b) MSAE

Fig. 10 Fracture section and pore reduction

는 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 이는, MS 혼입이 접착면적의 증가에 효과가 있을 뿐 AE 자체 접착강도에는 효과가 없음을 나타내며, AE 접착면 두께가 증가할수록 계면 공극 감소로 인한 부착성능 효과가 줄어든다는 것을 말한다. 따라서, 추후 접합모듈 형상과 MSAE 접합두께 간 상관관계에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

6. 결 론

이번 연구에서는 마이크로 실리카를 혼입한 최적 수중용 에폭시를 개발하고 콘크리트 모듈 접합을 위한 재료로서의 접합성능 평가를 실시한 결과는 다음과 같다.

- 1) 시공성이 확보되는 마이크로 실리카 혼입량을 선정하기 위해 마이크로 실리카를 1~4% 혼입하여 수중용 에폭시에 대한 인발부착강도, 인장강도 시험을 실시한 결과, 혼입율 2%에서 강도 44.2MPa로 그 성능이 가장 뛰어난 것으로 확인되었다.
- 2) 주재:경화제 비율 변수로 시험체를 제작하여 인장강도, 압축강도, 인장전단 부착강도, 인발부착강도, 접착강도 시험결과에서 주재:경화제 100:88 비, MS 2% 혼입율은 수중용 에폭시 자체 성능에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

- 3) 개발된 MSAE의 콘크리트 모듈 접합 성능을 평가하기 위해 수중접합한 시험체를 3점 재하한 결과에서 MS 혼입에 따른 에폭시 내부 및 계면의 미세 공극 감소로 인해 MSAE로 접합한 시험체의 최대하중이 일반 AE로 접합한 시험체보다 60% 이상 높게 나타난 것을 확인하였다.
- 4) 접합두께가 증가할수록 마이크로 실리카 혼입 효과가 감소하는 이유는 MS 혼입으로 계면 접합 면적이 증가하여 부착력을 향상시킬 뿐, 수중용 에폭시 자체의 부착력을 증가시키지 않으므로 모듈 형상과 접합두께 간 상관관계에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 “콘크리트 부유체의 효율적 모듈 접합기술 개발”의 일환으로 수행되었으며, 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단(No. 2011-0030040)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Zaleski-Zamenhof, L. C., Gerwick, B. C., Hellesland, J. Matsuishi, M., and Zhang, X., “Concrete Marine Structures: A State-of-the-Art Review”, *Marine Structures*, Vol. 3, No. 3, 1990, pp. 199-235.
2. Yang, I. H. and Kim, K. C., “Strength Estimation of Joints in Floating Concrete Structures Subjected to Shear”, *J. Navig. Port Res.*, Vol. 37, No. 2, 2011, pp. 156-163.
3. Rognaa, G., Xu, J., Lindseth, S., and Rosendahl, F., “Mobile Offshore Base Concepts. Concrete Hull and Steel Topsides”, *Marine Structures*, Vol. 14, No. 1, 2001, pp. 5-23.
4. KICT, *Offshore floating-type structure having buoyancy preflexion, and constructing method for the same*, KPRIS, 2011, Patent no. 1020110038407.
5. Choi, J. W., Kim, Y. S., Yoo, Y. J., Kwon, S. J., and Kim, J. H. J., “Study On the Improvement of Aqua-epoxy for Floating Concrete Module Connection” *Proceedings Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 25, No. 1, 2013, pp. 409-410.
6. Kim, Y. J., Lee, S. W., You, Y. J., and Kim, J. H. J., “Bonding Material for Performance Evaluation of Bonding Material for Floating Concrete Structure”, *Proceeding of Korea Concrete Institute Autumn conference*, 2011, pp. 227-228.
7. Woo, Y. J., “Concrete-to-Concrete Bond Strength : Influence of an Epoxy-Based Bonding Agent on a Roughened Substrate”, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 19, No. 2, 2001, pp. 66-70.
8. Kumar Mehta, P., Paulo, J., and Moteiro, M., “Concrete microstructure, properties, and materials”, *McGraw Hill*,

- 2006, pp. 21-47.
9. Emmons, P. H., "Concrete repair and maintenance, part Three: surface repair", section 6: bonding repair materials to existing concrete, R. S. means company MA, 1994, pp. 154-163.
 10. Kim, S. B., Yi, N. H., Phan, H. D., Nam, J. W., and Kim, J. H. J., "Development of Aqua Epoxy for Repair and Strengthening of RC Structural Members in Underwater" *Construction and Building Materials*, Vol. 23, No. 9, 2009, pp. 3079-3086.
 11. Ajay, V., Rajev, C., and Y. R. K., "Effect of Micro Silica on The Strength of Concrete with Ordinary Portland Cement" *Research Journal of Engineering Sciences*, Vol. 1, No. 3, 2012, pp. 1-4.

요 약 최근에 콘크리트 모듈로 건설하는 부유 구조물에 대한 연구가 활발히 이루어짐에 따라 콘크리트 모듈 간 접합 공법에 대한 필요성이 대두되고 있다. 모듈 간 접합 작업은 수중에서 프리스트레싱 텐션을 긴장하여 이루어지므로 시공성이 저하될 가능성이 있어서 가접합을 위한 부착재료 개발이 요구된다. 이번 연구에서는 콘크리트 구조물 보수보강용 섬유보강 패널 부착에 사용된 수중용 에폭시에 SiO₂ 계열 마이크로 실리카(Micro-silica : MS)를 혼입하여 콘크리트 모듈 가접합용 접합재료를 개발, 평가하였다. 기존 수중용 에폭시에 0~4% MS를 혼입하여 부착성능 평가를 통하여 최적 MS 혼입량을 산정하였으며 수중용 에폭시의 점도에 따른 MS 혼입 효과를 확인하기 위하여 주재 비율을 각각 0, ±5%, ±10%로 조정하여 재료성능을 검토한 후 최적 비율을 도출하였다. 도출된 마이크로 실리카 수중용 에폭시(MSAE)의 콘크리트 모듈 접합 성능을 검증하기 위하여 콘크리트 모듈 접합 시험체에 3점 재하 실험을 실시한 결과 MSAE는 기존 수중용 에폭시에 비해 콘크리트 모듈 접합 성능이 크게 향상된 것으로 나타났다.

핵심용어 : 콘크리트 모듈, 부유 구조물, 모듈 간 접합, 수중용 에폭시, 마이크로 실리카