

에폭시 섬유판넬과 폴리머 모르타르로 단면보수된 수중구조물의 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study about Behavior of a Repaired Underwater Structure
with an Epoxy Fiber Panel and Polymer Mortar

홍성남* 박준명** 유충준*** 한경봉**** 박선규*****

Hong, Sung-Nam Park, Jun-Myoung You, Chung-Jun Han, Kyoung-Bong Park, Sun-Kyu

Abstract

An underwater structure is made to put with serious damage state by special environmental factors. If this damage phenomena persist, as for the structure, it is generated a structural serious problem because of the corrosion of a reinforcing bar and the loss of the concrete cut end. Repair work of an underwater structure is very harder than repair work in land, and it is actual that certification about a maintenance effect is uncertain. And the existing repair method is applied to a structure damaged with you without verification of a repair effect by a foreign reward and experience. In this study, a repair method about an underwater structure was proposed and observed a behavior characteristic and interface failure of an specimens. and comparison analyzed an effect of a proposed maintenance method.

요 지

수중구조물은 특수한 환경적 요인에 의하여 심한 열화상태에 놓이게 되며, 이러한 열화현상이 지속되게 되면 구조물은 철근의 부식과 콘크리트단면의 손실로 인하여 구조적으로 심각한 문제를 발생하게 된다. 수중구조물은 기중환경에서의 보수작업보다 매우 어려우며, 보수효과에 대한 증명도 불확실한 것이 현실이며, 기존의 보수공법은 외국의 사례를 보수효과의 검증없이 그대로 적용하거나, 경험에 의하여 시공되어져 왔다. 본 연구에서는 수중구조물에 대한 보수공법을 제안하고, 실험체의 거동특성과 보수재와 피보수재의 계면파괴를 관찰하여 제안된 보수공법의 효과를 비교·분석하였다.

Keywords : Epoxy fiber panel, Polymer mortal, Repair, Underwater structure

핵심 용어 : 에폭시 섬유판넬, 폴리머 모르타르, 보수, 수중구조물

* 정회원, 성균관대학교 박사과정

** 정회원, 성균관대학교 박사과정

*** 정회원, 경기대학교 기계시스템공학과 부교수

**** 정회원, 성균관대학교 BK사업단 연구교수

***** 정회원, 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수

E-mail : cama77@skku.edu 031-290-7530

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2009년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

우리나라는 급격한 경제성장과 함께 콘크리트 구조물이 대량으로 건설되어 왔다. 그러나 콘크리트 구조물의 유지관리가 제대로 이루어지지 않았으며, 근래에는 구조물의 노후화 등의 원인으로 성능이 크게 저하되고 있다. 특히 수중부에 위치한 구조물은 육안으로 점검이 불가능한 경우가 많기 때문에 소홀히 하는 경우가 발생하며 작업조건에의 제한으로 구조물의 보수공사에 어려움⁽¹⁾이 많았다.

수중구조물에 대한 기존의 보수기술은 외부의 수중 상태에 대하여 보수단면이 완전한 수밀성을 확보하지 못하여 단면 보수재의 유실, 기존 콘크리트와 단면보수재의 부착성능 저하 등의 요인으로 보수효과가 감소하는 경우가 많이 발생⁽²⁾하고 있다.

본 연구에서는 수중구조물의 보수효과에 영향을 미치는 요인을 파악하여 수중에서 보수효과를 극대화할 수 있도록 보수단면을 보호하는 거푸집과 하중저항능력을 향상시키는 전단연결재를 이용한 수중단면보수시스템을 제안하여 보수성능을 확인하였다.

2. 단면 보수시스템

수중구조물에 대한 기존의 보수공법은 크게 다음과 같이 구분할 수 있다.

- ㉠ 물막이 공사를 수행한 후 손상단면을 보수하는 공법
- ㉡ 수중케이슨을 설치하여 보수하는 공법
- ㉢ 수중에서 잠수부가 수중용 보수재료를 이용하여 보수하는 공법

물막이 및 수중케이슨을 이용하는 보수공법은 시간과 자재비 등 공사비가 크게 증가하며, 특히 부분적인 보수를 필요로 하는 공사에서는 더욱 비경제적인 공법이라 할 수 있다. 또한 수중에서 잠수부가 직접 보수하는 공법은 수중이라는 환경적인 문제로 인하여 재료의 유출이 심하고 품질관리가 어렵고 효과적인 보수공사를 수행하기가 불가능하다.

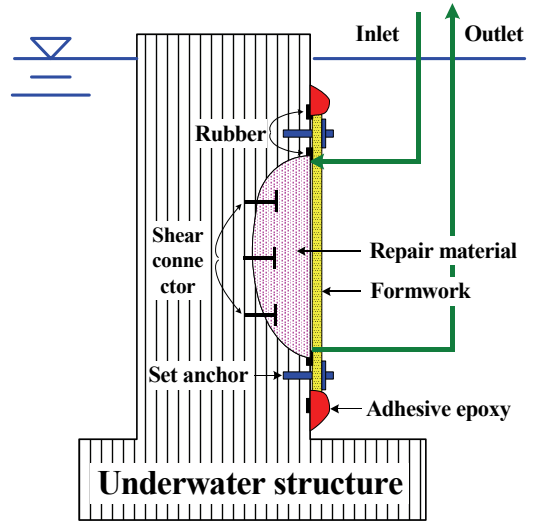


Fig. 1 단면 보수시스템

본 논문에서 제안하는 수중보수공법은 유속에 의한 재료의 유출 및 분리를 억제하여 보수효과를 극대화시킬 수 있는 공법으로서 Fig. 1에 본 연구에서 제안된 단면보수시스템을 나타내었다. Formwork(에폭시 섬유판넬)은 보수단면에 대하여 거푸집의 역할과 동시에 1차적인 수밀성을 확보하며, 에폭시와 고무패킹을 이용하여 2차로 방수처리를 수행한다. 그리고 보수단면에 설치되는 전단연결재는 계면에서의 전단저항의 역할과 보수재의 탈락을 억제하며, 세트앵커는 거푸집을 고정하여 구속력을 발휘하도록 한다.

3. 실험 계획 및 방법

Fig. 1에 나타난 바와 같이 수중구조물 단면보수시스템의 성능 및 영향인자를 파악하기 위하여 총 22개의 실험체를 계획하여 제작하였다. 실험체는 표준 실험체, 육상보수 실험체 및 수중보수 실험체로 구분하여 제작하였다. 실험변수는 거푸집의 유무, 전단연결재의 유무, 보수단면의 표면처리, 보수단면의 손상 깊이, 작업조건(수중작업, 육상작업,), 양생조건 등을 변수로 하였다. 실험변수 및 실험체에 대한 자세한 내용은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specimen details

No.	구분	실험체명	단면치리	거푸집	손상 깊이	작업 조건	양생 조건	단면크기	
1	표준실험체	M1/2	없음	손상없음		육상	기건	15cm ×15cm ×50cm	
2	보수실험체	G-D-D1-1	-	아크릴 판	손상1 (5cm)				
3		G-D-D1-2	치핑		손상2 (7cm)				
4		G-D-D2-1	-		에폭시 섬유 판넬				손상1 (5cm)
5		G-D-D2-2	치핑						손상2 (7cm)
6		G-D-F-D1-1/2	치핑			손상1 (5cm)	수중		수중
7		G-D-F-D2-1/2		손상2 (7cm)					
8		U-W-F-D1-1/2		손상1 (5cm)					
9		U-W-F-D2-1/2		손상2 (7cm)					
10		U-D-F-D1-1/2		손상1 (5cm)					
11		U-D-F-D2-1/2		손상2 (7cm)					
12		U-D,S-F-D1-1/2		에폭시 섬유 판넬	손상1 (5cm)				
13		U-D,S-F-D2-1/2		+ 전단 연결재	손상2 (7cm)				

G: Ground, U: Underwater, D: Dry, W: Wet, S: Shear connector, F: Formwork, DI/2: Damagel/2, 1,2: Serial number

3.1 사용재료의 특성

Table 2에서 Table 4는 표준실험체 및 보수실험체를 제작하는데 사용된 콘크리트 배합과 28일 재령의 압축강도 및 쪼갬 인장강도의 평균치를 양생조건에 따라 나타낸 것이다. 여기서 평균치는 3개의 공시체를 제작 및 실험하여 얻은 값이다.

손상된 단면을 보수하기 위한 단면 보수재는 수중용으로 특수하게 제작된 것으로 물/결합재비가 0.2인 무기계 폴리머 모르타르를 사용하였다. 이 보수재의 재료적인 특성을 알아보기 위하여 콘크리트와 마찬가지로 3개의 공시체를 제작하여 압축강도, 쪼갬 인장강도 시험을 수행하였으며 평균치를 Table 4에 나타내었다. 콘크리트와 보수재의 압축강도 및 쪼갬 인장 시험은 KS F 2405, KS F 2423의 시험방법을 따랐다. 1차 수밀성 확보 및 거푸집의 역할을 동시에 하는 에

폭시 섬유 판넬은 두께가 2.0 mm 인장강도가 587 MPa인 것을 사용하였다.

3.2 실험체 제작

실험체는 표준실험체와 보수실험체로 구분하여 무근 콘크리트로 제작하였다. 수중구조물의 열화, 피복분리 및 세굴로 인하여 손상된 부위는 대부분 무근콘크리트 부분이기 때문에 실험체는 철근을 배치하지 않았다. 제작된 실험체들의 형상을 Fig 2(a)에 나타내었다. 보수실험체는 손상깊이가 각각 5cm, 7cm인 2종류의 손상된 실험체에 보수작업을 수행한 실험체이다.

보수실험체 G-D-D1/2-1/2는 섬유판넬 거푸집의 영향을 평가하기 위한 실험체로써 손상단면의 측면에 보수재료가 흘러내지 않도록 아크릴판을 거푸집으로 사용한 후, 보수재료의 경화 후에 제거하였다. 단면보

Table 2 콘크리트 배합

W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)					S/a (%)
	C	W	S	G	AE	-
54.7	335	183	825	930	1.68	47.5

Table 4 폴리머 모르타르 (MPa)

양생 방법	압축강도	인장강도	탄성계수
기건 양생	52.6	2.6	2.7×10 ⁴
수중 양생	58.1	2.3	

Table 3 콘크리트 (MPa)

양생 방법	압축강도	인장강도	탄성계수
기건 양생	20.0	1.7	2.1×10 ⁴
수중 양생	21.2	1.7	

Table 5 에폭시섬유 판넬

두께 (mm)	인장강도 (MPa)	신장율 (%)	주 성분
2.0	587	2.2	유리섬유 + 섬유합침재(SJ-222)

수재를 주입하여 제작하였으며, Fig. 2(b)는 아크릴 판을 제거한 후 보수된 단면을 나타내는 것이다. 보수 실험체 G-D-F-D1/2-1/2는 손상단면에 대하여 거푸집을 앵커로 고정하여 거푸집에 연결된 주입구를 통하여 단면보수재를 주입하여 제작하였다. Fig. 2(c)는 거푸집을 고정하기 위한 앵커를 실험체에 설치한 모습을 나타낸 것이다.

수중에서 보수된 실험체 U-W-F-D1/2-1/2는 물속에서 거푸집을 고정하고 거푸집과 손상단면의 물을 제거하지 않고 단면보수재를 주입하여 보수한 실험체이다.

실험체 U-D-F-D1/2-1/2는 물속에서 거푸집을 고정한 후, 물을 제거하고 단면보수재를 주입하여 보수 작업을 수행하였다. 실험체 U-D,S-F-D1/2-1/2는 손상단면에 전단연결재의 역할을 하는 앵커를 삽입하고 거푸집을 고정하고 물을 제거한 후, 단면보수재를 주입하여 제작하였다. 전단연결재의 설치 및 수중 보수재의 주입에 대한 것을 Fig. 2(c)와 Fig. 2(d)에 각

각 나타내었다. 모든 실험체는 거푸집을 고정한 후, 수중에폭시를 이용하여 거푸집과 실험체에 발생하는 틈새에 대하여 방수처리를 하였다.

섬유판넬 거푸집은 보수단면의 모든 형상에 따라 제작이 가능하며, 보수단면을 3면에서 감싸도록 Fig. 3과 같이 제작하였다.

콘크리트와 단면보수재의 변형 특성, 실험체의 파괴 형상을 파악하기 위하여 실험체의 측면에 변형률 게이지(S1, S2, S3, S4, S5)를 설치하였으며 Fig. 4에 나타내었다. 하중재하는 980 kN 용량의 만능재료시험기(U.T.M)를 사용하였으며 하중과 변형률은 Data logger를 이용하여 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

수중구조물에 적용된 단면보수 시스템의 보수효과를 확인하기 위하여 정적 하중재하 실험을 수행하였으며 측정된 최대하중을 각 실험체 별로 Table 6에 나타내었다.

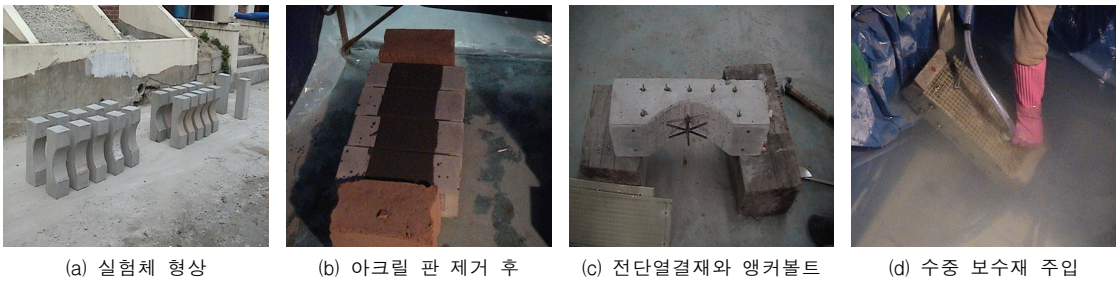


Fig. 2 실험체 제작 과정

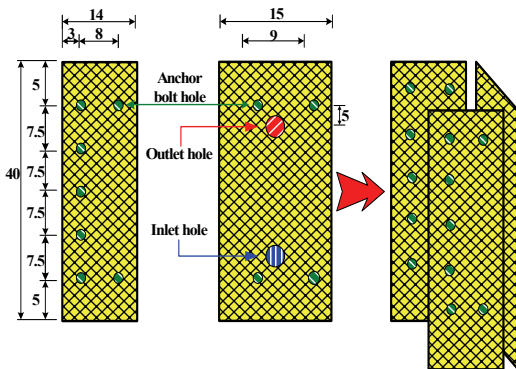


Fig. 3 에폭시 판넬 형상 (단위: cm)

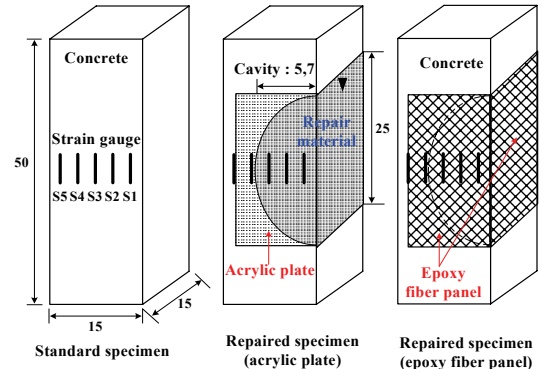


Fig. 4 게이지 설치 (단위: cm)

Table 6 실험결과

실험체	최대하중 (kN)	실험체	최대하중 (kN)
M 1	555.1	U-W-F-D1-2	520.7
M 2	560.9	U-W-F-D2-1	527.6
G-D-D1-1	513.9	U-W-F-D2-2	531.4
G-D-D1-2	553.6	U-D-F-D1-2	520.1
G-D-D2-1	518.3	U-D-F-D2-1	505.6
G-D-D2-2	544.3	U-D-F-D2-2	512.9
G-D-F-D1-1	567.8	U-D,S-F-D1-1	578.6
G-D-F-D1-2	569.4	U-D,S-F-D1-2	550.6
G-D-F-D2-1	551.5	U-D,S-F-D2-1	567.8
G-D-F-D2-2	546.7	U-D,S-F-D2-2	562.4
U-W-F-D1-1	514.8	-	-

4.1 하중-변형률 관계

(1) 표준실험체(M1)

Fig. 5는 표준실험체 M1 측면의 수직변형률을 나타내고 있다. 하중이 증가함에 따라 측면의 각 위치에서 변형률이 일정하고 응력이 콘크리트의 전단면에 대

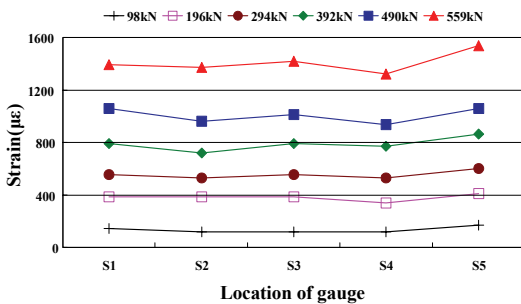


Fig. 5 M1

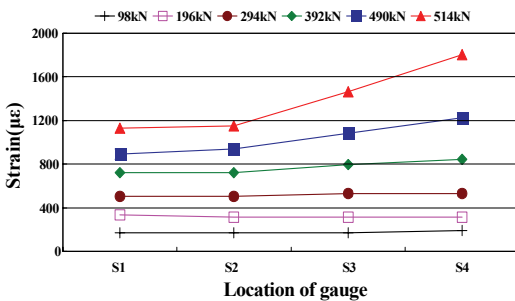


Fig. 6 G-D-D1-1

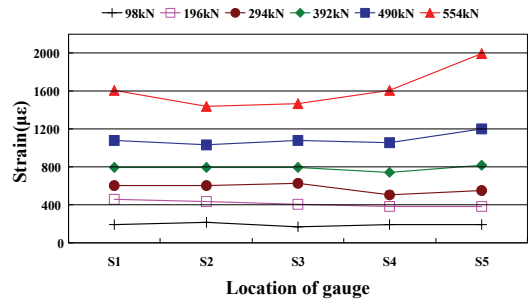


Fig. 7 G-D-D1-2

하여 고르게 분포하는 것을 알 수 있으며, M1과 M2은 555.1 kN와 560.9 kN에서 파괴되었다.

(2) 보수실험체(G-D-D1/2-1/2)

Fig. 6과 7은 보수단면이 표면처리되지 않은 실험체와 표면처리된 실험체의 측면의 수직변형률을 나타내고 있으며, 실험체의 측정위치에 따라 변형률의 분포가 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 재료적인 특성이 다른 보수재료의 사용에 의해 거동특성이 다른 것을 보여주고 있으며, Austin⁽³⁾과 Emberson⁽⁴⁾의 연구에서도 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 보수단면이 표면처리되지 않은 실험체는 509.9 kN에서 계면 파괴가 발생할때까지 전단면에서 유사한 변형률을 나타내었으며, 표면처리된 실험체는 549.2 kN에서 파괴되었으나 계면파괴는 발생하지 않았으며, 강도가 약한 콘크리트면에서 급격한 변형률의 증가와 함께 균열이 발생하면서 갑작스런 파괴가 발생되었다. 이러한 결과에서 구조물의 손상단면에 대한 표면처리가 보수 효과에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

(3) 실험체(G-D-F-D1/2-1/2)

Fig. 8~11은 육상에서 섬유판넬 거푸집을 이용하여 보수된 실험체의 하중과 측면의 수직변형률을 나타내고 있으며, 표면처리에 의한 계면의 부착력 증대와 거푸집과 앵커볼트의 구속력에 의하여 계면파괴는 발생하지 않았다. 그러나 하중이 490.3 kN이상이 되면 콘크리트단면의 변형률이 급격히 증가하면서 539.4 kN이상의 하중에서 파괴되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 표면처리에 의한 계면의 부착력 증대와 합

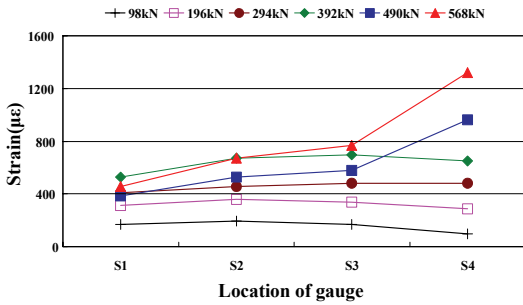


Fig. 8 G-D-F-D1-1

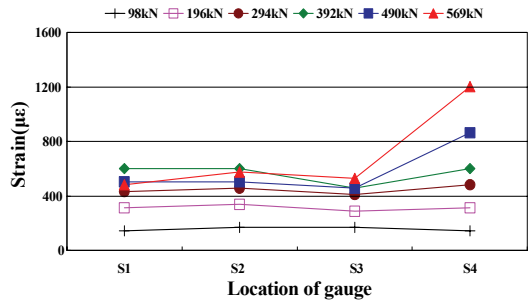


Fig. 9 G-D-F-D1-2

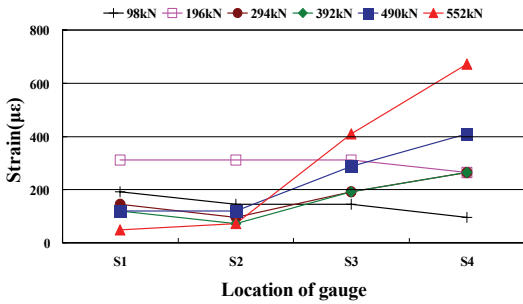


Fig. 10 G-D-F-D2-1

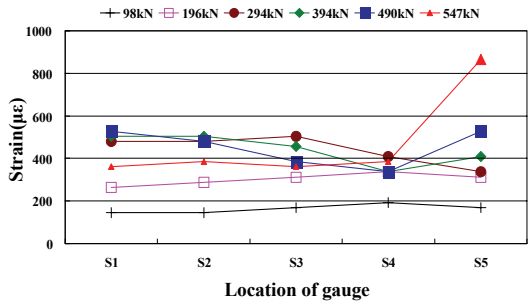


Fig. 11 G-D-F-D2-2

깨 거푸집과 앵커에 의한 구속력이 보수면의 팽창과 파괴를 억제하여 보수효과를 증대시킨 것으로 판단된다.

(4) 실험체(U-W-F-D1/2-1/2)

Fig. 12~13은 실험체 U-W-F-D1/2-1/2에 대한 측면의 수직변형률 분포를 나타내고 있다. 하중에 따라 보수면의 에폭시판넬에서 변형률은 고른 분포를 나타내며, 519.8 kN에서 파괴되었다. 실험중 변형률 측정게이지의 손상으로 콘크리트면에서의 변형률은 측정하지 못하였다. 그러나 콘크리트면의 파괴가 아닌

계면파괴가 발생하여 하중이 보수단면으로 전달되지 못하여 최대하중과 변형률이 감소한 것으로 판단된다.

(5) 실험체(U-D-F-D1-1)

Fig. 14는 수중보수실험체인 U-D-F-D1-1의 측면의 수직변형률을 나타내고 있다. 보수단면의 계면파괴는 발생하지 않았으며 콘크리트에 갑작스런 변형이 증가하면서 509.9 kN정도에서 콘크리트의 파괴가 발생하였다. 측면에서 콘크리트단면과 보수단면의 변형률에서도 파괴전까지는 변형률의 변화가 일정한 것으로

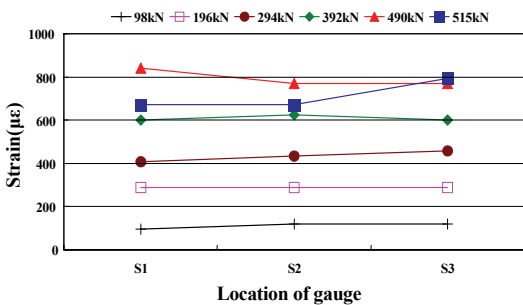


Fig. 12 U-W-F-D1-1

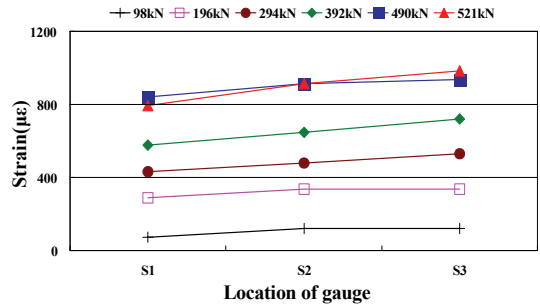


Fig. 13 U-W-F-D1-2

확인할 수 있으며, 이는 거푸집에 의한 수밀성 확보가 보수단면의 부착력을 증대하여 하중전달이 원활하게 된 것으로 판단된다. 즉 단면보수재의 주입전에 거푸집과 보수단면 안에 있는 물을 제거하여 보수재의 유출, 셋짐을 최대한 억제한 것이 계면에서의 부착력을 증대시키고, 거푸집에 의한 수밀성 확보와 구속력이 수중작업조건에서도 효과를 발휘하여 계면에서의 보수재와 콘크리트단면의 부착력을 증대시켜 보수효과를 높인다.

(6) 실험체(U-D,S-F-D1/2-1/2)

Fig. 15~17은 계면에서 발생하는 전단력에 저항하도록 전단연결재를 설치한 후 섬유판넬 거푸집을 이용하여 손상된 실험체를 수중에서 보수한 실험체의 측면 변형률을 나타내고 있다. U-D,S-F-D1/2-1/2는 549~579 kN에서 콘크리트면에서 변형률의 증가와 함께 균열이 발생하면서 실험체가 파괴되었으며 계면에서의 파괴는 발생하지 않았다. 각각의 위치에서 측면의 수직변형률을 살펴보면 하중의 증가에 따라 변형률이 일정하게 증가하다가 파괴시 콘크리트단면의 변형률이

급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 거푸집의 구속의 수밀성 확보와 보수단면에 설치된 전단연결재가 단면보수재와 콘크리트의 계면에서 발생하는 전단력에 대해 저항하여 계면의 파괴를 억제하고 콘크리트단면과 보수단면이 고르게 하중에 전달되다가 상대적으로 강도가 약한 콘크리트면에서 파괴된 것으로 판단된다.

4.2 파괴양상

실험체의 파괴양상은 단면보수재와 콘크리트의 접착면에서 발생하는 계면파괴, 그리고 콘크리트의 파괴로 크게 구분할 수 있다. 계면파괴는 Fig. 18의 (a), (b)와 같이 갑작스럽게 발생하는데 이러한 파괴양상은 보수단면이 매끈한 경우와 거푸집과 보수단면의 물이 제거되지 않은 경우에 발생하였으며 구조물의 보수·보강에서 바람직하지 못한 파괴형태라고 할 수 있다. 콘크리트의 파괴는 Fig. 19의 (a), (b)에서 잘 나타나 있으며, 접촉면에서 하중의 전단이 원활하고 거푸집에

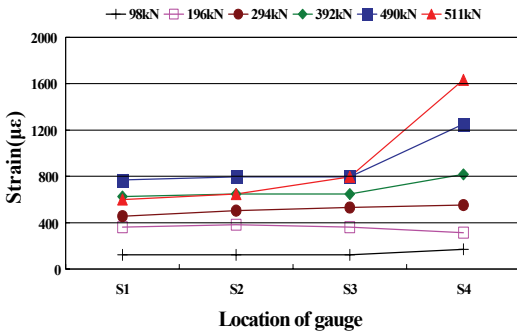


Fig. 14 U-D-F-D1-1

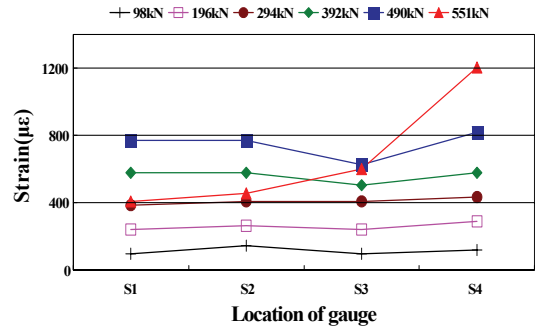


Fig. 15 U-D,S-F-D1-2

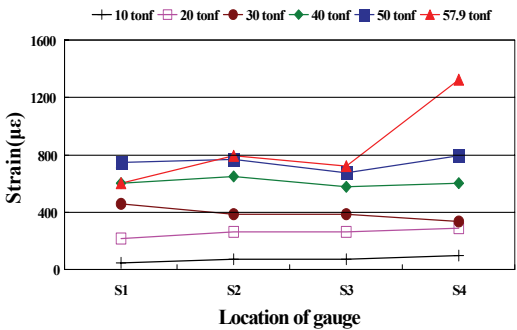


Fig. 16 U-D,S-F-D2-1

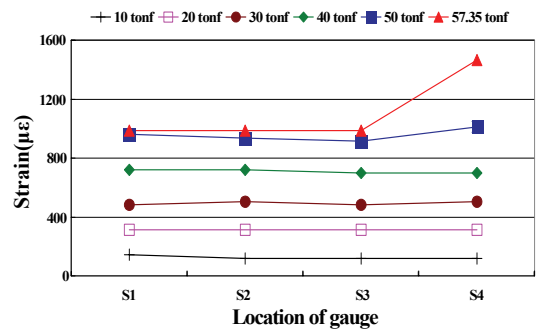


Fig. 17 U-D,S-F-D2-2

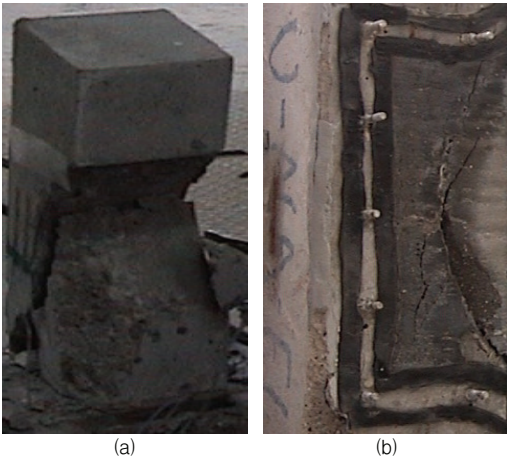


Fig. 18 계면파괴

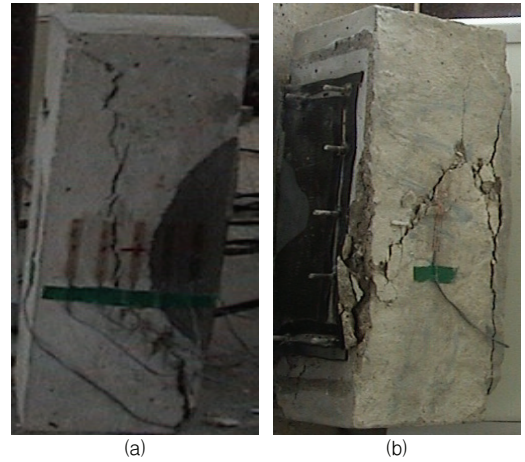


Fig. 19 콘크리트 파괴

의한 구속력의 효과, 전단연결재의 역할에 의하여 보수재료보다 상대적으로 강도가 약한 콘크리트에서 발생하게 된다. 그러나 실제 구조물에서는 보수단면보다 기존의 콘크리트단면이 크기 때문에 콘크리트의 파괴는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

5. 건식 단면보수시스템에 대한 보수효과 검토

수중에서 손상된 구조물의 단면을 보수할 경우, 본 연구에서 거푸집과 전단연결재를 제안한 단면보수시스템은 외부의 수중환경에 대하여 수밀성을 확보하여 보수재료의 유실을 막으며 기존의 콘크리트와 보수재의 부착능력을 향상시켜 보수효과를 증대한다. 본 단면보수시스템에서 보수효과를 증대시키는 요인을 정리하면 다음과 같다.

5.1 에폭시 섬유판넬 거푸집

본 연구에서 섬유판넬 거푸집과 이를 고정하는 앵커는 수중구조물의 단면보수과정에서 매우 중요한 역할을 하고 있다. 거푸집 및 보수단면의 보호에 사용되는 에폭시 섬유판넬은 수중구조물의 보수공사에서 보수단면의 수밀성을 확보하여 단면보수재의 유출, 물의 유입 등을 억제한다. 또한 보수단면에 구속력을 발휘하여 구조부재의 강도를 향상시킨다. 다음의 Table 7에

Table 7 건식 단면보수시스템의 보수효과

에폭시 섬유판넬 거푸집의 보수효과		전단연결재의 보수효과	
실험체명	보수효과	실험체명	보수효과
M	1	M	1
G-D-D1-1	0.92	U-D-F-D1-1	0.92
G-D-D1-2	0.99	U-D-F-D1-1	0.93
G-D-F-D1-1	1.02	U-D,S-F-D1-1	1.01
G-D-F-D1-1	1.04	U-D,S-F-D1-1	0.99

보수효과 = 보수실험체의 파괴하중 / 표준실험체의 파괴하중

서 표준실험체와 거푸집을 적용하지 않은 보수실험체, 거푸집을 적용한 보수실험체를 비교한 결과, 에폭시 섬유판넬 거푸집을 사용한 실험체는 표준실험체의 강도를 상회하는 것을 확인하였다.

5.2 전단연결재

본 연구에서 보수단면에 사용되는 전단연결재는 기존 콘크리트와 보수재의 계면에서 발생하는 전단력에 저항하고 단면보수재와 기존 콘크리트단면의 일체화시키는 역할을 하게 되어 계면의 갑작스런 파괴를 억제하고 단면 보수재 구속하여 보수단면의 탈락을 방지하게 된다. 다음의 Table 7은 전단연결재의 효과를 나타내고 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 손상된 수중구조물에 단면보수시스템을 적용하여 파괴양상과 보수효과를 검증하였다. 일반적으로 손상된 단면에 대하여 보수·보강된 구조물은 내력을 완전히 발휘하기 전에 접합계면의 조기파괴가 발생하는 문제점을 가지게 된다.

수중구조물에 대한 단면보수의 경우, 환경적인 요인, 즉 보수재료의 유출 및 씻김, 보수단면으로 물이 유입 등에 의하여 보수단면에서 계면파괴의 가능성이 매우 크게 된다. 그러나 섬유판넬 거푸집을 이용한 단면보수시스템을 적용하는 경우, 거푸집에 의한 구속력과 전단연결재의 전단저항에 의하여 계면파괴는 발생하지 않았으며 부재의 내력을 충분히 발휘하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 단면보수시스템은 거푸집과 수중에폭시에 의하여 외부의 물을 완전하게 차단하고 보수단면과 거푸집안의 물을 제거한 후, 보수작업을 수행하므로 보수효과를 극대화할 수 있다.

본 연구결과는 수중구조물의 보수효과를 극대화할 수 있는 방법을 제안하고 있으며 현실적인 구조물의

보수작업에 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김생민, "漢江橋梁의 水中下部 構造物의 損傷調査 및 安全診斷", 토목학회지, 1994, 4, pp. 39-54.
2. 엄종윤, "UnderWater Concrete Repairing", 롯데건설기보, 1998, 6, pp. 77-82.
3. Austin, S. A. and Robin, P. J., "Development of Patch Test to Study Behaviour of Shallow Concrete Patch Repairs", Magazine of Concrete Research, Vol. 45, No. 164, Sept. 1993, pp. 221-229.
4. Emberson, N. K. and Mays, G. C., "Significance of property mismatch in the patch repair of structural concrete Part 2: Axially loaded reinforced concrete members", Magazine of Concrete Research, V. 42, No. 152, Sept. 1990, pp. 147-170.

(접수일자 : 2008년 7월 25일)

(심사완료일자 : 2008년 8월 29일)