



## 크림프 철망 및 단면복구 보수 모르타르를 사용한 일방향 슬래브의 휨 거동에 관한 실험적 연구

이문환<sup>1)\*</sup> · 송태협<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>한국건설기술연구원 건축도시연구부

## An Experimental Study on the Flexural Behavior of One-Way Concrete Slabs Using the Restorative Mortar and Crimped Wire Mesh

Mun-Hwan Lee<sup>1)\*</sup> and Tae-Hyeob Song<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Building & Urban Research Division, KICT, Goyang 411-712, Korea

**ABSTRACT** The repair of concrete surfaces does not normally take into account structural tolerance for longer service life and better capabilities of concrete structures. In particular, the repair of surface spelling completes as mortar is applied, which does not display additional structural performances. The use of crimped wire mesh for better construction and fracture resistance, however, expects to have some reinforcement effects. Particularly, it is also expected that the repair of bottom part in structures built between bridges like irrigation structures results in the increase of flexural resistance. Therefore, this study is intended to perform the repair using crimp wire mesh and examine strength depending on the repair section and depth. For this, a slab with 150 mm in depth, 3,000 mm in length and 600 mm in width and total 8 objects to experiment such as upper part, upper whole, bottom part, bottom whole and crimp wire mesh reinforced are manufactured to perform flexural performance. The results of the analysis show that yield strength and failure load increase as the depth of repair materials in the experiment reinforced with crimp wire mesh get bigger. In the same condition, repair of bottom part is able to increase internal force of bending force. Besides, the results show that partial repair of structures under bending force cannot produce flexural performance. Consequently, the repair method with crimp wire mesh results in the increase of flexural resistance.

**Keywords :** flexural behavior, crimped wire mesh, repair, reinforcement, polymer mortar

### 1. 서 론

콘크리트 보수공사에서 단면복구공법이 적용되는 부위는 구조물의 설계상 보수 재료가 구조적인 보강 성능이 필요치 않은 부분이다. 즉, 보수 재료의 역할은 단면복구면을 단순히 피복하는 것으로서 궁극적으로 철근의 성능 저하 및 부식을 방지하고 수밀성을 증대시켜 동해 등에 의한 콘크리트의 성능 저하를 방지하는데 주목적이었다<sup>1,2)</sup>. 또한, 이산화탄소에 의한 탄산화, 염해 저항성 등을 증대시켜 시설물의 수명 연장을 목적으로 하고 있는 것이다<sup>3,4)</sup>.

그러나 이러한 단순 보수공사시 보수면의 특성 및 작업 조건 등을 고려하여 여러 가지 부속물을 사용한 사례가 증가하고 있다.

크림프 철망을 사용한 보수공법도 이중 한가지로서 주로 보수 재료의 부착성 및 시공성 향상을 위하여 사용

하는 것이지만 휨강도의 향상 등을 기대할 수 있다. 특히 용·배수로 구조물과 같이 3월부터 10월까지 상시적으로 용수가 차있는 경우에는 물의 하중이 지속적으로 가해지기 때문에 이때의 휨 저항 성능에 대한 검토가 필요하다.

예를 들어 높이 500 mm, 너비 600 mm의 용량으로 물이 흐를 때 교각과의 거리가 20 m인 경우에는 총 6톤의 휨 하중이 지속적으로 작용한다. 용·배수로의 최초 설계시에는 이러한 하중을 고려하여 설계되었으나 장기간 경과 후 성능이 저하되어 보수를 실시할 경우 기존의 구조체와 보수재의 일체화가 내력회복 측면에서도 이루어지는지 확인하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

일반적인 보수공법은 손상부위에 대한 단순마감 등을 실시하지만 현장 보수 작업의 여건을 고려하여 와이어메쉬 및 철망 등을 선시공하고 뽀칠을 실시할 수 있다. 이와 같은 이유는 중력에 의한 보수재의 흐름 방지는 물론, 시공 시간의 단축과 함께 표면균열의 억제 및 구조적인 보강 성능도 기대할 수 있을 것으로 예상되기 때문이다<sup>5)</sup>.

\*Corresponding author E-mail : mhlee@kict.re.kr

Received November 16, 2006, Accepted July 20, 2007

©2007 by Korea Concrete Institute

따라서 본 연구에서는 단면복구면의 시공성 및 부착성을 향상하기 위하여 적용한 크립프 철망이 휨저항성 향상에 어느 정도 기여하는지를 파악하고자 피복 두께별로 크립프 철망을 상하부에 설치하고 이때의 휨 거동을 검토하고자 하였다.

## 2. 실험 계획

### 2.1 실험 개요

보수공사에서 단면복구공법이 적용되는 부위는 구조물의 설계상 보수 재료 자체의 역할이 콘크리트 구조체의 내하력과 상관없이 있을지라도 구조체가 장기적으로 여러 하중을 받아 구조 거동을 하게 되므로, 휨 실험체 모델을 제작하고 구조 거동의 극한 상황을 연출하여 검증 실험을 수행할 필요가 있다.

또한, 해당 보수공법은 직경 5 mm의 크립프 철망이 설치되므로 그 설치 유무에 따라 보강 효과가 달라질 것으로 예상된다. 따라서 본 실험에서는 동일한 보수 재료를 사용하고, 보수 두께, 보수 위치, 보수 면적, 크립프 철망 보강 유무 등을 유형화하여 휨 실험체의 파괴 거동을 분석하도록 하였다.

### 2.2 사용 재료

#### 2.2.1 보수 모르타르

실험에 사용된 보수 모르타르는 내화화성 및 중성화 저항성을 증대하기 위하여 폴리머를 일정량 혼입시킨 제품이며, 균열 저항성 및 인성을 증진시키기 위하여 폴리프로필렌 섬유 및 무기질계 세피오라이트를 함유시킨 재료이다. 실험체 제작에 사용된 보수 모르타르의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

#### 2.2.2 크립프 철망

부식의 발생이 적고, 강성이 우수한 아연도금 크립프 철망 (Fig. 1)을 보강 재료로 사용하면 폴리머 모르타르의 강력한 접착력으로 기존 콘크리트와의 일체화가 이루어지고, 강성 증가로 내하력 향상 효과를 얻을 수 있다<sup>6-8)</sup>.

실험에 사용한 크립프 철망은 KS D 3552에서 규정하는 아연도금 철선 1종을 파형으로 절곡한 것으로서, KS D 7015 규격에서 정하는 중간 크립프 철망의 치수(표준 지름 5 mm), 아연도금 특성(아연도금 부착량 41 g/m<sup>2</sup>) 및 굽힘 특성(90° 굽힘 저항)을 만족하는 것이다<sup>9)</sup>.

Table 1 Physical properties of repairing mortar

Water/mortar (wt%)	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )				Adhesive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Flexural strength (N/mm <sup>2</sup> )	Setting time (Hr)	
	1day	3day	7day	28day			Initial	Final
16 %	12	25	37	51	2.7	12.5	1:20	2:30

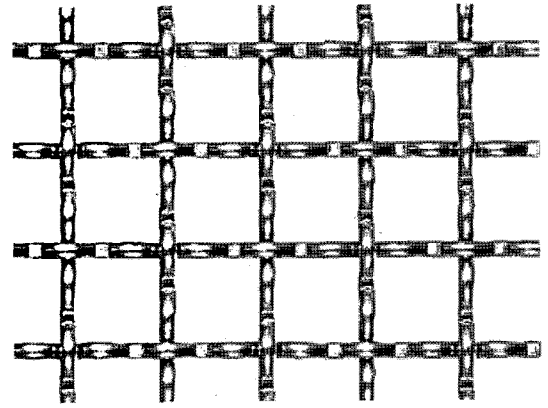


Fig. 1 Example of crimped wire mesh

Table 2 Mix proportion of base concrete

Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				Super-plasticizer
			Water (W)	Cement (C)	Aggregate (a)		
					Coarse	Fine (S)	
24	47.9	49.4	147	351	927	880	2.63

#### 2.2.3 바탕 콘크리트

보수체의 실물 휨강도 측정을 위한 바탕 콘크리트는 슬럼프 150 mm, 공기량 4.5%, 설계기준강도 24 MPa를 사용하였다. 실험체 제작에 사용한 배합은 Table 2와 같다.

#### 2.2.4 철근

바탕 콘크리트에 매입시킨 철근은 KS D 3504에서 규정하는 SD400 이형철근을 사용하였으며, 주근은 직경 16 mm, 부근은 직경 13 mm를 적용하였다 (Table 3).

### 2.3 실험체 제작

휨 실험체의 결손 단면은 콘크리트 모체 제작 당시 선조치 하였으며, 연삭기 및 콘크리트 치평기를 이용하여 표면처리 후, 보수공법을 적용하였다. 양생 조건은 모르타르 뿔칠 시공 후 7일 동안은 습윤양생하고, 그 후 파괴 실험까지 대기양생을 실시하였다.

실험체의 제작은 150 × 600 × 3,000 mm의 형태를 기본으로 하고, 여기에 20, 30 mm 두께의 단면복구를 실시하는 유형과, 상부 보수 및 하부 보수의 유형, 크립프 철망 보강 유무의 유형, 실험체 전면 보수와 부분 보수의 유형으로 구분하여 제작하고, 연직하중에 따른 내부 철근의 변형을 측정하기 위하여 철근 표면에 strain gage를 3개소씩 부착, 매입하였다.

실험체의 인장철근비는 균형철근비 이하인 0.021로 하여 인장철근이 콘크리트 압축파괴 이전에 먼저 항복하는 휨파괴가 이루어지도록 설계하였고, 전단보강 철근은 사용하지 않았다. 전체적인 실험체의 크기와 형상에 대한 개략도는 Fig. 2와 같다.

단순 굽힘 실험용 시편은 재령 28일이 경과한 콘크리트

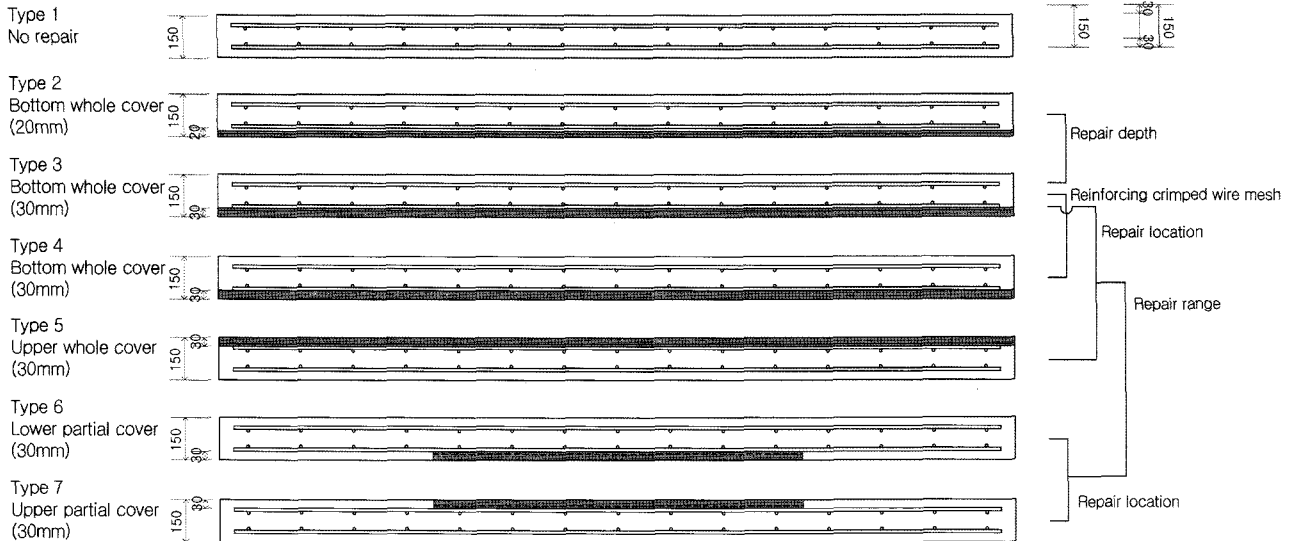
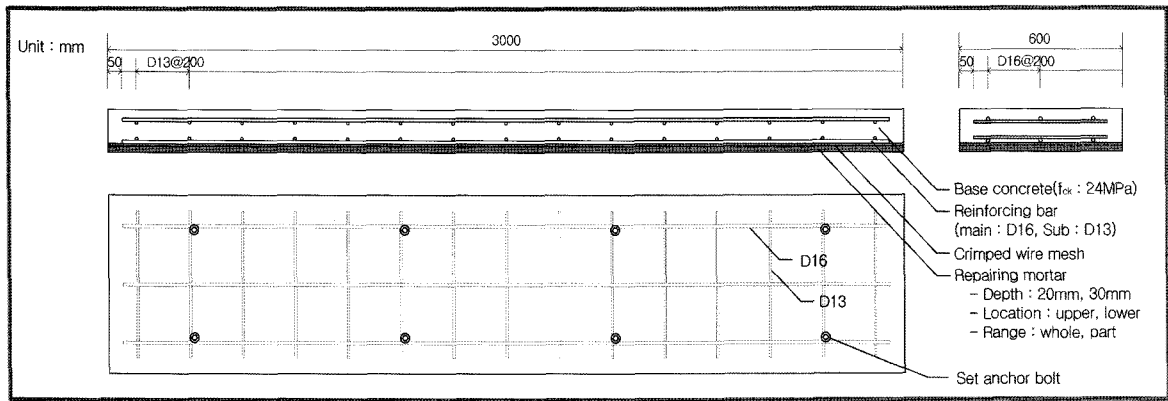


Fig. 2 Description for size and repair pattern of specimens

트 바탕체를 대상으로 상부 표면에 30 mm 두께로 보수 모르타르를 단면복구하였다. 실험체 제작시 적용된 보수 공정은 Fig. 3과 같다. 여기서, 크립트 철망 포설 공정은 필요에 따라 생략되었다.

#### 2.4 실험 및 평가 방법

실물 휨강도 실험은 KS F 2273에서 규정하고 있는 단순 굽힘 실험 방법에 따라 등분포하중 (4 point)을 가하여 실험을 실시하였다.

휨 가력은 250 kN 액추에이터를 사용하는 것으로 하였으며, 가압에 따른 휨 변형과 보강 철근의 변형을 측정하기 위하여 시편 내부에 strain gauge를 설치하고 TDS303 데이터 로거를 통해 데이터를 확보하도록 하였다 (Fig. 4).

또한, 가압기 자체적으로 측정하는 실험체의 변형 이외에 부위별 변위를 측정하기 위하여 시편의 중앙 및 좌

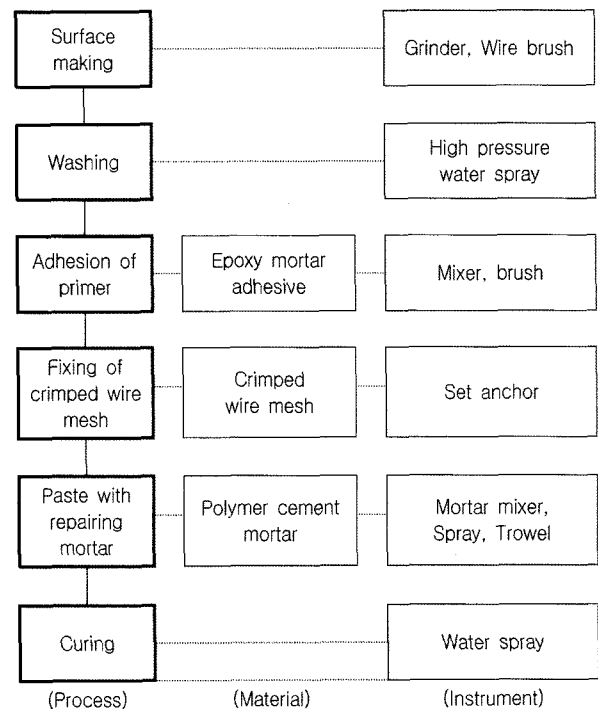
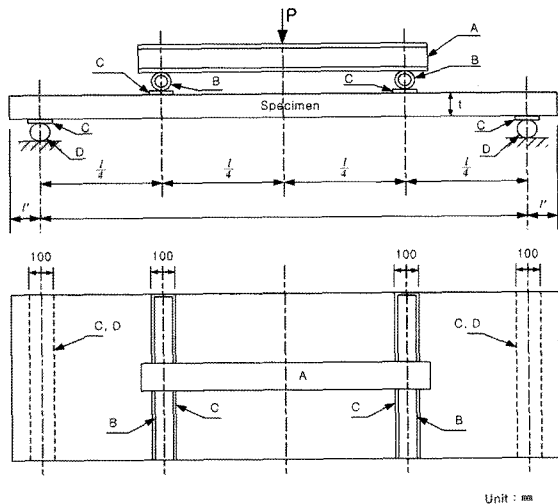
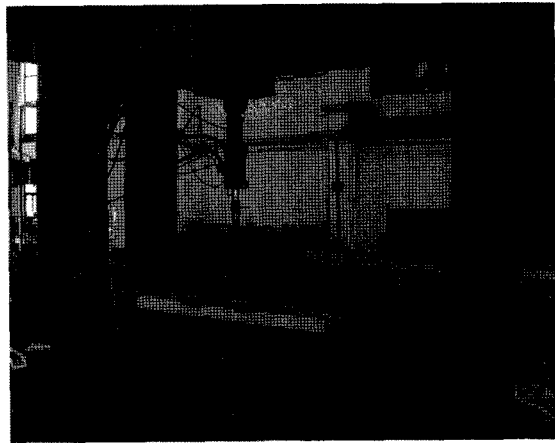
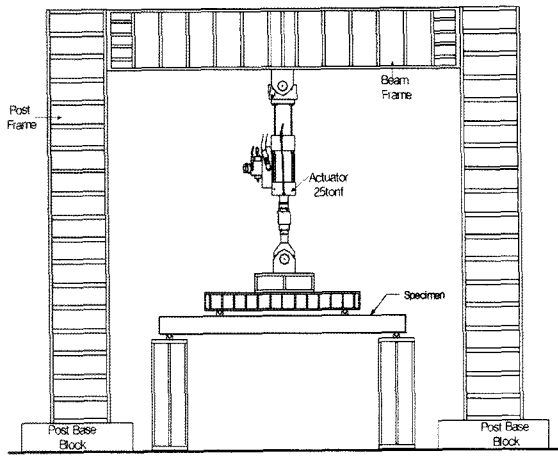


Fig. 3 Standard process of making specimens

우측 상하부에 LVDT를 설치하여 변위를 종합적으로 측정하였다.

Table 3 Physical properties of reinforcing bar

Type	Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
D13	440	640	23
D16	480	700	16

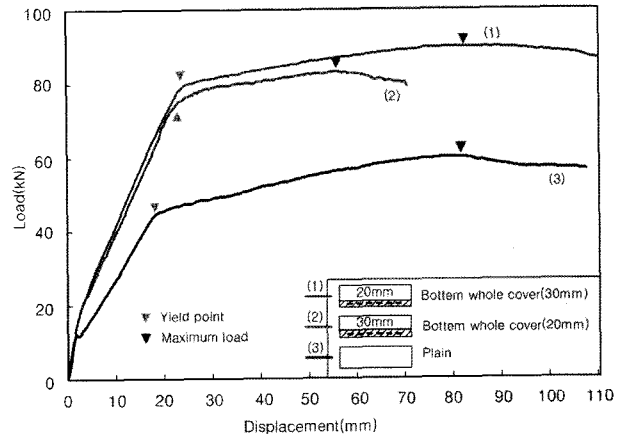


**Fig. 4** Test set-up of flexural strength specimens  
 A: Loading beam  
 B: Roller for loading point  
 C: Loading plate  
 D: Support roller  
 $l$ : Span  
 $l'$ : Length of support point and end plate

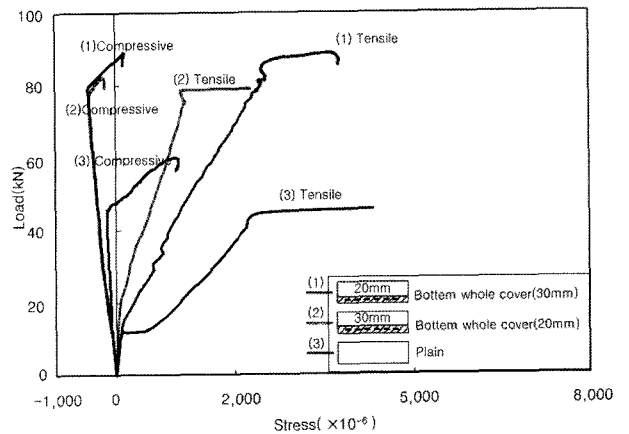
### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 보수 모르타르의 시공 두께별 비교 (plain, 20 mm, 30 mm)

Fig. 5는 슬래브 하부의 단면 회복 두께를 0, 20, 30 mm



**Fig. 5** Load-deflection curves with depth of repairing mortar



**Fig. 6** Load-strain curves with depth of repairing mortar

로 한 경우의 하중-변위 곡선으로서, 크립트 철망의 보강을 도입함으로써 강성이 증대되는 것으로 나타났다. 보수를 실시하지 않은 plain 실험체는 약 42 kN에서 항복점이 나타났으며, 20 mm를 보수할 경우 74 kN에서 항복하중을 발현하였고, 80 kN에서 최대하중을 나타내었다.

30 mm를 보수할 경우, 항복하중과 최대하중은 각각 80 kN, 89 kN으로 나타나 크립트 철망을 보강한 단면 복구를 실시할 경우 두께가 증가할수록 휨 저항성이 증가하여 크립트 철망을 사용하여 두께를 증가할 경우 휨 저항성은 일정하게 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 6은 하중-변형률 곡선을 나타낸 그래프로서 보수를 실시하지 않을 경우 슬래브 내부의 철근은 낮은 하중에서 변형률이 변하는 것을 알 수 있다.

또한 실험체를 계속적으로 가력할 경우 가장 먼저 하부면부터 균열이 발생하며, 보수의 두께가 증가할수록 최초균열의 발생 하중도 점차 높아지는 것으로 나타났다.

#### 3.2 보수 모르타르의 시공 위치별 비교 (하부, 상부)

보수면의 위치를 복구면의 상부 및 하부로 구분하고, 이때 동일한 두께로 보수를 실시할 경우 받는 휨 저항성을 비교한 결과, Fig. 7에서와 같이 상부 전면 보수를

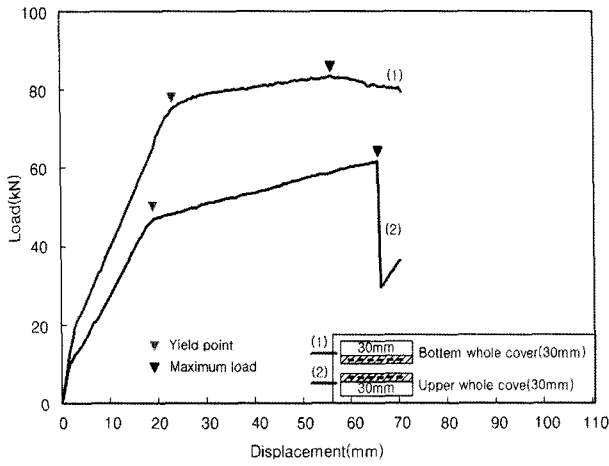


Fig. 7 Load-deflection curves with location of repairing mortar

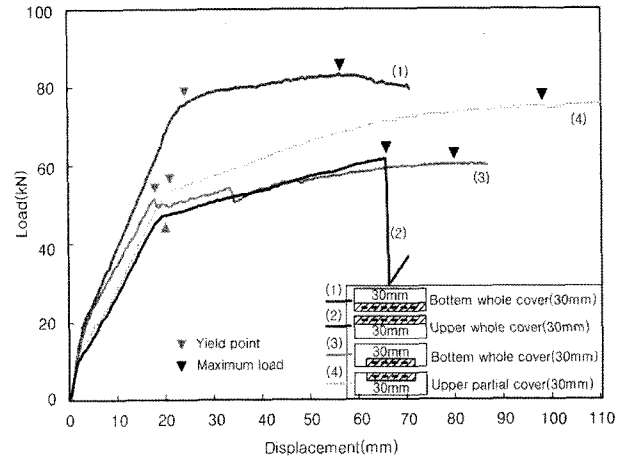


Fig. 9 Load-deflection curves with application range of repairing mortar

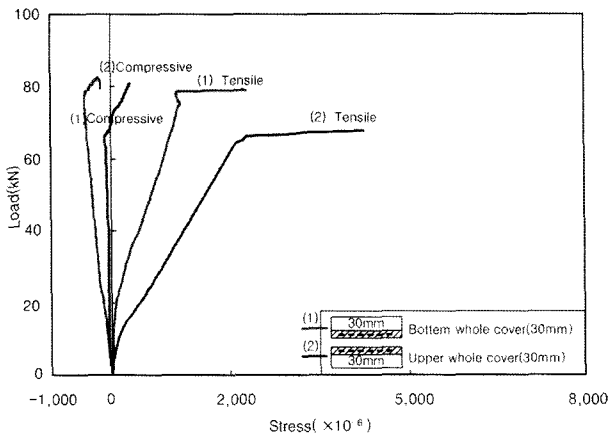


Fig. 8 Load-strain curves with location of repairing mortar

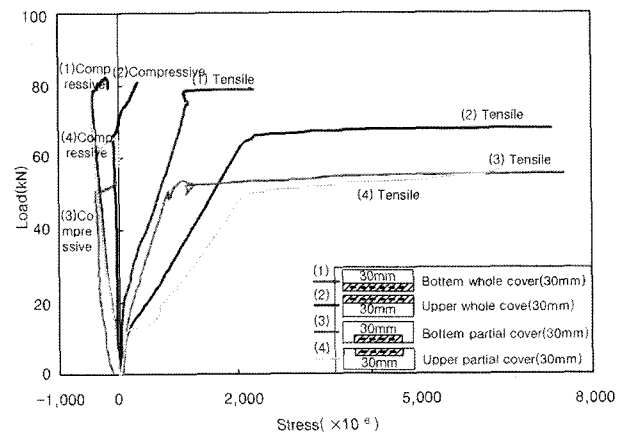


Fig. 10 Load-strain curves with application range of repairing mortar

실시할 경우 최초 균열은 10 kN에 발생하였으며, 항복하중은 49 kN, 최대하중은 60 kN으로 나타났다.

하부 전면 보수와 비교하였을 경우 항복하중과 최대하중은 각각 61%와 76%를 발현하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 보수를 실시하지 않은 plain 시편과 비슷한 것으로서 크립 철망을 사용하여 상부 보수를 실시한다 할지라도 휨 보강성은 없을 것으로 사료된다.

하중-변형률을 측정된 결과, Fig. 8에서와 같이 상부 보수를 실시한 실험체의 초기 하중에서 압축력을 받는 부분이 바로 변형하는 것을 알 수 있었으며, 인장력을 받는 하부의 경우 실험체의 최대하중이 가해질 때까지 지속적인 변형이 있는 것으로 나타났다.

### 3.3 보수 모르타르의 시공범위별 비교 (상부 전면, 상부 부분, 하부 전면, 하부 부분)

보수 모르타르를 사용하여 시공 범위별 보수를 실시하고 이때의 휨 저항성을 측정된 결과, Fig. 9에서와 같이 하부 부분 보수를 실시할 경우 항복하중 50 kN, 최대하중 59 kN으로 나타났으며, 최대하중이 발현되기 이전인 52 kN에서 부분 보수 부위가 탈락하는 현상이 발생하였다. 이와 같이 하부 부분 보수를 실시할 경우에는 상부

에서 가해지는 내력에 대하여 휨 저항성을 완전히 발휘할 수 없기 때문에 휨 보강 성능의 향상이 관찰되지 않았다.

상부 부분 보수 실험체는 항복하중이 55 kN, 최대하중이 77 kN으로 나타나 상부 전면을 보수한 실험체보다 오히려 저항성이 높은 것으로 나타났다. 그리고 항복점 이후의 변위도 안정적인 구조를 나타내었다. 그러나 Fig. 10의 하중-변형률 곡선에서 압축력에 의한 변형률은 높게 나타나지만 인장력을 받는 하부의 내력이 낮게 나타남으로써, 슬래브의 밑면 또는 내력을 받는 이면의 경우 부분적인 보수는 전혀 효과를 발휘하지 못함을 알 수 있었고, 상부 전면 보수도 휨 저항성의 향상은 나타나지 않는 것을 알 수 있었다.

### 3.4 크립 철망 보강 유무별 비교 (유, 무)

크립 철망의 사용 유무에 따른 휨 저항성 측정을 위하여 하부 보수 모르타르의 두께를 30 mm로 동일하게 하고 크립 철망을 설치한 실험체와 설치하지 않은 실험체의 측정 결과, Fig. 11에서와 같이 크립 철망을 설치하지 않은 실험체의 항복하중은 44 kN으로 나타났고,

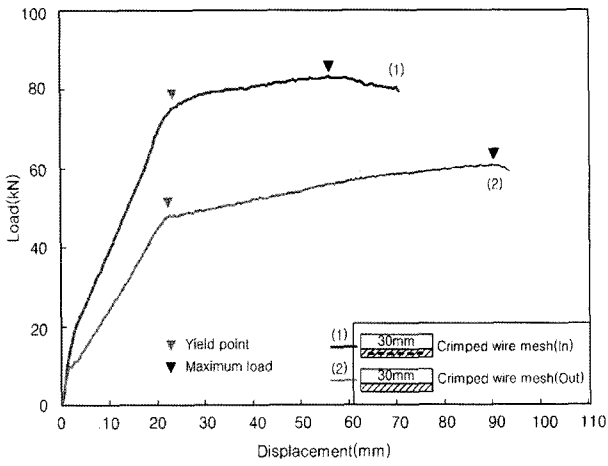


Fig. 11 Load-deflection curves with reinforcing of crimped wire mesh

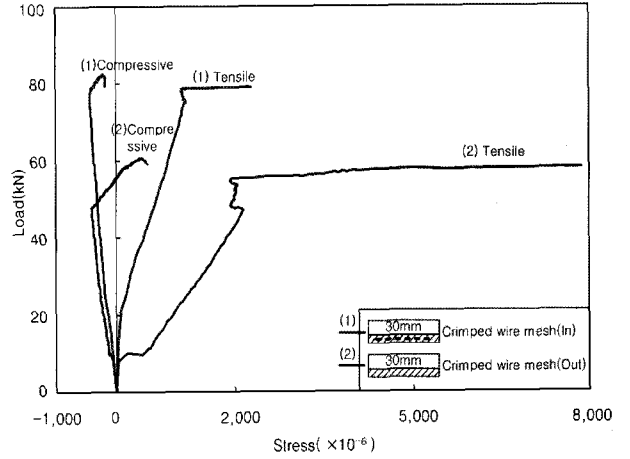
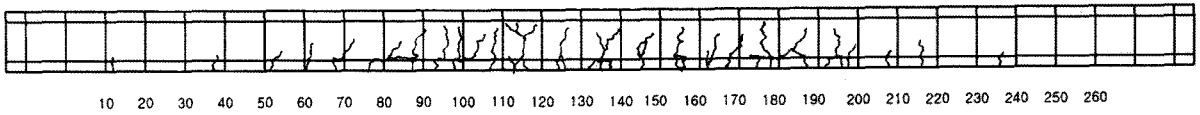
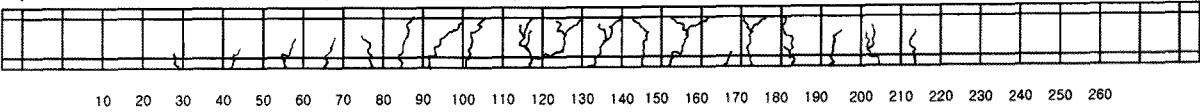


Fig. 12 Load-strain curves with reinforcing of crimped wire mesh

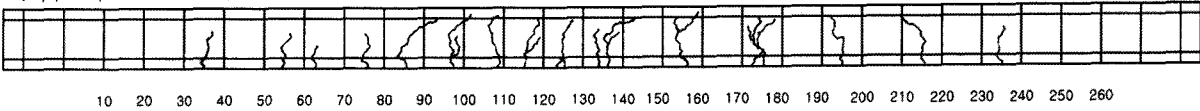
No.1 (Bottom whole cover, 30 mm)



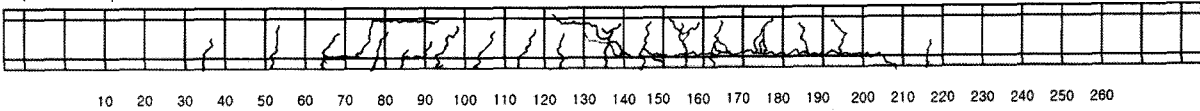
No.2 (Bottom whole cover, 30 mm, nonexistent crimped wire mesh)



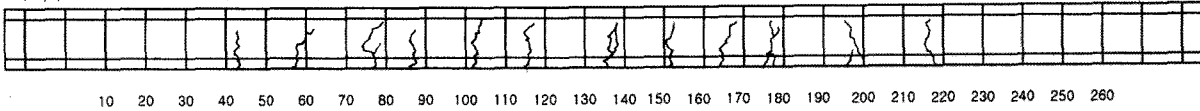
No.3 (Upper partial cover, 30 mm)



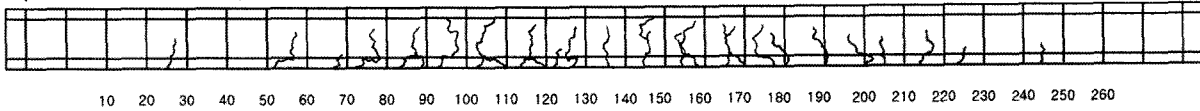
No.4 (Bottom partial cover, 30 mm)



No.5 (Upper whole cover, 30 mm)



No.6 (Bottom whole cover, 20 mm)



No.7 (No repair, reference)

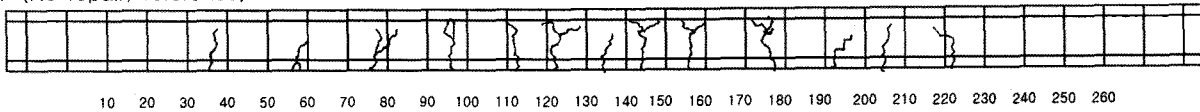


Fig. 13 Crack patterns of specimen

최대하중은 57 kN으로 나타났다.

이는 크리프 철망을 설치한 실험체에 비하여 각각 55%와 64%의 내력을 나타낸 것으로, 이를 통해 크리프 철망의 사용이 휨 저항성 향상에 효과적으로 작용함을 알 수 있다.

하중-변형을 측정에서도 크리프 철망을 삽입하지 않을 경우, 인장력을 받는 하부의 철근의 경우 10 kN 이하에서 변형이 크게 나타나는 것을 알 수 있었다 (Fig. 12). 압축력을 받는 상부의 경우도 낮은 하중에서 변형이 종료되는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

크립프 철망과 단면 보수 재료를 이용한 일방향 단면 복구시 역학적 특성을 위한 실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 크립프 철망을 보강한 실험체에서 보수 재료의 두께가 증가할수록 항복하중 및 파괴하중은 높아지는 것으로 나타나 보수 재료의 시공 두께가 내하력을 높이는데 기여하는 것으로 검토되었다.
- 2) 보수를 실시하지 않은 plain 실험체와 크립프 철망이 없이 모르타르만을 도포하여 보수한 실험체의 휨 저항 성능 측정 결과, 두 실험체의 항복하중은 42~44 kN으로 나타났고, 최대하중도 57~58 kN으로 나타나 섬유보강을 실시한 모르타르를 30 mm 정도 도포하더라도 휨 저항 성능의 향상은 발생하지 않는 경향으로 나타났다.
- 3) 슬래브의 밑면 또는 내력을 받는 이면의 경우 부분적인 보수 효과를 전혀 발휘하지 못함을 알 수 있었고, 상부전면 보수도 휨 저항성의 향상은 크지 않은 경향으로 나타났다.
- 4) 크립프 철망 설치 유무에 따른 파괴하중 및 변형을 측정 결과, 크립프 철망을 설치하지 않을 경우에는 설치한 실험체에 비하여 각각 55%와 64%의 내력을 나타내어 크립프 철망의 사용이 휨 저항성 향상에 효과적으로 작용함을 알 수 있었으며, 하중-변형량 측정에서도 크립프 철망을 설치하지 않을 경우, 인장력을 받는 하부 철근의 경우 10 kN 이하에서 변형이 큰 경향으로 나타났다.
- 5) 이상의 결과를 통하여 콘크리트 슬래브 단면복구에 있어서 파형의 크립프 철망이 뿔칠 시공에 유리한

작업 조건을 구현하는 것 이외에 보강재로서의 효과도 발현할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

1. 엠앤에스인더스트리 주식회사, “이형 와이어로프 PS강연성과 알루미늄 폴리사카라이드 폴리머모르타르를 이용한 콘크리트 구조물의 보수·보강 공법 (SRAP공법)”, 신기술지정신청서, 2003. 5, pp.257~283.
2. 한국건설기술연구원, “RC 구조물의 철근부식 방지 및 보수공법 시스템화 연구”, 2000. 12, pp.49~57.
3. Beeby, A. W., *Concrete in the Oceans, Cracking and Corrosion*, Cement and Concrete Association, 1978, pp.1~77.
4. 김무한, 김규용, 김재환, 조봉석, 김영선, “염해 및 중성화의 복합열화 작용에 의한 표면피복 종류별 철근콘크리트의 부식특성”, 대한건축학회논문집 구조계, 21권 9호(통권203호), 2005, pp.97~104.
5. 허갑수, 윤영호, 양지수, 김석중, 정현수, “구조용 용접철망을 사용한 일방향 슬래브의 휨 거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회학술발표대회, 13권 2호, 1993, pp.555~558.
6. Allen, R. T. L., et al., *The Repair of Concrete Structure*, 1993, pp.15~32.
7. 안상호, “경량패널에 탄소섬유시트가 접착된 복합패널로 보강한 RC 슬래브의 휨 거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 18권 4호 (통권162호), 2002, pp.51~58.
8. Ross, C. A., Jerome, D. M., and Hughes, M. L., “Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Composite Laminates”, *ACI Structural Journal*, Vol.96, No.23, 1999, pp.212~220.
9. 한국건설기술연구원, “PSMD 보수공법의 현장 적용성 및 품질 평가 연구”, 한국건설기술연구원, 2005. 10, pp.487~495.

**요 약** 철근콘크리트 구조물의 수명 연장 및 기능 보완을 위하여 콘크리트 면의 보수를 실시할 경우 일반적으로 구조적 내력을 고려하지 않는다. 특히, 표면박락 등의 보수에는 단순히 모르타르 도포만을 이용하여 보수가 완료되므로 별도의 구조적인 보강 성능을 발휘하지 않는다. 그러나 시공성의 향상 및 균열의 억제를 위하여 철망 등의 재료를 사용할 경우 일정부분 보강의 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되며, 특히, 수로 구조물과 같이 교각 간에 놓여지는 구조요소의 경우 하부면의 보수를 실시할 경우 휨 저항성의 증가를 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 크립프 철망에 의한 보수를 실시하고 보수 부위 및 보수 두께에 따른 보강 성능을 확인하고자 하였다. 이를 위하여 두께 150 mm, 길이 3,000 mm, 너비 600 mm 슬래브를 제작하고, 상부 부분 보수, 상부 전면 보수, 하부 부분 보수, 하부 전면 보수, 크립프 철망 보강 유무 등 총 8개 실험 유형을 선택하고 이에 대한 휨 보강 성능 실험을 실시하였다. 분석 결과, 크립프 철망을 보강한 실험체에서 보수 재료의 두께가 증가할수록 항복하중 및 파괴하중은 높아지는 것으로 나타났으며, 동일 조건일 경우 하부면의 보수가 휨 하중에 대한 내력을 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 휨 하중을 받는 구조물 중 부분 보수만을 실시할 경우 휨 보강 성능은 기대하기 어려운 것으로 나타났다. 결론적으로 크립프 철망에 의한 보수공법 적용 시 휨 저항성의 증가가 있는 것을 알 수 있었다.

**핵심어** : 휨 거동, 크립프 철망, 보수, 보강, 폴리머모르타르