

# 폴리머 중간접착층을 가진 철근콘크리트 슬래브의 접합부의 구조거동에 관한 연구

## A Study on the Flexural and Horizontal Shear Behavior of Overlaid Concrete Slabs

오 병환\*, 이 형준\*\*, 장 제욱\*\*\*, 이 병철\*\*\*\*, 최 고일\*\*\*\*

Oh, Byung Hwan, Lee, Hyung Joon, Chang, Je Wook, Lee, Byung Chul, Choi, Ko Il

### Abstract

The flexural and horizontal shear behavior of overlaid concrete slabs is investigated in the present study. An experimental program was set up and several series of overlaid concrete slabs have been tested to study the effect of different surface preparations and dowels between old slab and overlay under service load.

The present study indicates that the overlaid concrete slabs behave integrally with existing bottom slabs up to yield range for rough and doweled joints.

### 1. 서론

교량 바닥판에 대한 콘크리트 포장의 마감 형태는 데크-피니셔에 의해 시공하는 방법을 사용하고 있는데, 이 방법에 의한 시공은 교량 바닥판 콘크리트 포장체의 평탄성 확보가 어렵고, 방수처리의 부족으로 인하여 교량의 수명유지가 곤란하다는 문제가 있다. 교량 바닥판을 1,2차로 구분하여 시공함으로써 평탄성을 확보하고 접착부에 아크릴계 수지 등을 사용함으로써 방수 및 부착강도를 증가시켜 신·구콘크리트의 수평접합면에서의 구조 거동을 일체화 할 수 있다.

본 논문에서는 콘크리트를 1,2차로 구분하여 시공하는 경우에 접착층에서의 구조적 거동을 일체화하기 위한 슬래브의 모형실험을 수행하여 아크릴수지로 접착층을 형성한 슬래브의 하중재하에 따른 구조 거동을 규명하는데 있다.

### 2. 실험개요

#### 2.1 실험변수

2층으로 타설된 슬래브의 접합층에서의 구조적 거동에 영향을 미치는 인자로서 접착제의 도포여부, 다우웰철근의 배치여부 및 주철근의 배치형태 등을 주요 실험변수로 선정하였다.

신·구콘크리트의 2층으로 타설된 슬래브의 접합거동 특성을 규명하기 위해서 슬래브 구조체의 철근배근형태는 직선배근과 주인장철근의 일부를 절곡시킨 배근형태로 시험체를 제작하였다.

신·구콘크리트의 접합거동은 신·구콘크리트 사이의 부착강도에 크게 좌우되기 때문에 구콘크리트의 표면상태에 따른 부착특성을 규명하기 위해서 구콘크리트의 표면상태를 지연제만 처리한 경우와 지연제를 처리한 후 아크릴에멀전수지로 만든 시멘트페이스트를 도포한 경우로 구분하였다. 또한, 신·구콘크리트사이의 접합거동에서 층분리현상은 신·구콘크리트면에 발생하는 전단력에 의해서 일어나므로 접착면사이의 전단강도를 증가시키기 위해서 다우웰(dowel)철근을 슬래브의 접합된 면적의 0.0%, 0.075%, 0.15%, 0.30%를 각각 배치하였다.

\* 정회원 서울대학교 토목공학과 교수  
\*\* 정회원 서울대학교 대학원 박사과정 수료  
\*\*\* 정회원 서울대학교 대학원 석사과정  
\*\*\*\* 한국도로공사 도로연구소

한편, 2차로 타설되는 콘크리트에 강섬유를 혼입한 효과를 규명하기 위해서 강섬유지름  $d_f = 0.5\text{mm}$ , 강섬유 길이  $l_f = 50\text{mm}$ , 형상계수  $l_f/d_f = 100$ 인 강섬유를 콘크리트 체적의 1.3%를 혼입하여 강섬유의 혼입에 따른 신·구콘크리트사이의 접합거동을 고찰하였다.

## 2.2 실험재료

### (1) 콘크리트

콘크리트는 물/시멘트비율 0.44, 슬럼프값을 18cm로 하여 28일 압축강도가  $240\text{kg/cm}^2$ 이 되도록 배합설계하였다. 시멘트는 제1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수가 19mm인 쇄석을 사용하였다.

슬래브 시험체의 제작에 사용된 콘크리트의 배합성분은 표 1과 같다.

표 1 콘크리트 배합성분( $\text{kg/m}^3$ )

구분	시멘트	물	굵은골재	잔골재
수량	382	168	1,129	1,056

슬래브 제작시 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위하여 압축강도 시험용시험편을 1차 및 2차 콘크리트에 대하여 각각 6개를 제작하였다. 이로부터 얻은 1차 콘크리트의 압축강도는  $217\text{kg/cm}^2$ , 2차 콘크리트의 압축강도는  $208\text{kg/cm}^2$ 이었다.

### (2) 철근 및 강섬유

본 연구에서 시험체의 제작에 사용된 철근은 항복강도가  $3,000\text{kg/cm}^2$ 인 SD30 철근으로서 주인장철근 및 압축철근, 배력철근으로 D13 철근을 사용하였다. 또한, 2차 콘크리트의 보강재로 사용한 강섬유는 강섬유지름  $d_f = 0.5\text{mm}$ , 강섬유 길이  $l_f = 50\text{mm}$ , 형상계수  $l_f/d_f = 100$ 로 양끝이 구부러진 형태(hooked type)를 사용하였다.

### (3) 지연제

구콘크리트위에 신콘크리트를 직접타설하는 경우에 신·구콘크리트의 부착강도는 구콘크리트의 표면상태에 따라 크게 좌우된다. 따라서, 본 연구에서는 신·구콘크리트 사이의 부착강도를 증가시키기 위하여 구콘크리트 표면의 몰탈을 제거하여 골재가 노출이 되도록 하고, 표면

을 깨끗이 하기 위하여 구콘크리트의 표면을 지연제로 처리하였다. 이때 사용한 지연제는 설탕물로서 설탕물의 농도는 설탕과 물과의 중량비가 2.5%이다.

### (4) 접착층

신·구콘크리트와의 부착강도를 향상시키기 위하여 접착층으로는 아크릴에밀전수지로 만든 시멘트 페이스트를 사용하였으며, 아크릴 공중합체로 조성된 아크릴에밀전수지는 우유빛 백색액상을 띄고 있으며 우수한 부착특성과 강도 증진, 방수성을 갖고 있다.

## 2.3 시편제작 및 양생

### (1) 시편제작

본 연구에서 실험을 수행한 슬래브 시험체는 총 길이가 1.7m이고, 순지간이 1.5m인 폭 45cm로 제작한다. 슬래브는 1차 콘크리트를 20cm 타설한후 2차 콘크리트를 7cm 타설하여 슬래브의 총 두께를 27cm로 하였다. 주철근은 D13철근을 12cm간격으로 배근하였고, 다우웰 철근은 D13철근을 사용하였다. 부재의 단면형태 및 철근의 배근형태는 그림 1과 같다.

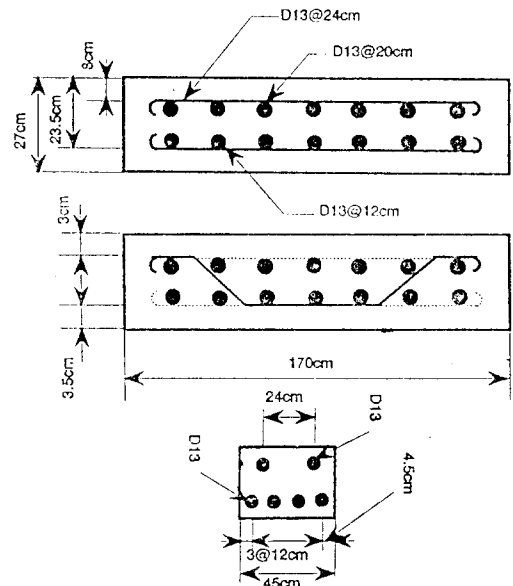


그림 1. 부재 단면 및 배근형태

### (2) 타설 및 양생

1차 콘크리트의 타설은 레미콘을 이용하여 모든 시험체를 동시에 타설하였다. 1차 콘크리

곡선 등을 얻었다.

#### (5) 균열형상

실험부재의 표면에 흰색 페인트를 도포하여 초기 균열이 발생한 후 각 하중단계마다 균열의 진행상황을 부재에 표시하여 하중의 증가에 따른 균열의 형상, 새로운 균열의 발생, 균열 간격 등을 측정하였다.

### 4. 측정결과 및 분석

일체로 타설된 슬래브, 1차 콘크리트의 표면을 지연제로만 처리한 후 2차 콘크리트를 타설하여 제작한 슬래브, 1차 콘크리트의 표면을 지연제 처리와 아크릴 에멀전 수지를 접착층으로 사용한 후 2차 콘크리트를 타설한 슬래브 및 다우웰 철근을 배근한 슬래브 등 각 실험변수에 대해 제작한 슬래브의 구조시험체의 부재 실험 결과는 다음과 같다.

#### 4.1 하중-처짐곡선

인장철근의 배근형태가 직선인 부재에 대한 각각의 하중-처짐곡선은 그림 3과 같다. 철근의 배근형태가 직선인 경우에 초기균열이 발생하는 하중은 일체로 타설한 경우와 2층으로 분리해서 타설하는 경우는 거의 같게 나타났으며, 또한 접합면에 대한 아크릴 수지 도포여부 및 다우웰철근의 배치여부에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 초기균열이 발생하는 하중은 약 8 - 9ton으로 거의 비슷했으나, 접합면을 지연제 처리와 아크릴 수지를 도포하고 다우웰철근이 0.3%인 경우(SS230)에는 0.85ton에서 초기균열이 발생했다. 다우웰철근이 0.30% 배근된 부재는 일체식과 같은 하중에서 초기균열이 발생했으며, 다우웰철근이 없는 부재는 이 보다 낮은 하중에서 초기균열이 발생했다.

또한, 부재의 극한하중도 일체로 타설한 경우와 2층으로 분리해서 타설하는 경우에 큰 차이는 없으나, 접합면에 아크릴수지를 도포하고 다우웰철근의 배근한 부재에서 다소 큰 값을 나타냈다. 실험부재의 극한하중은 16ton 정도로 나타났다.

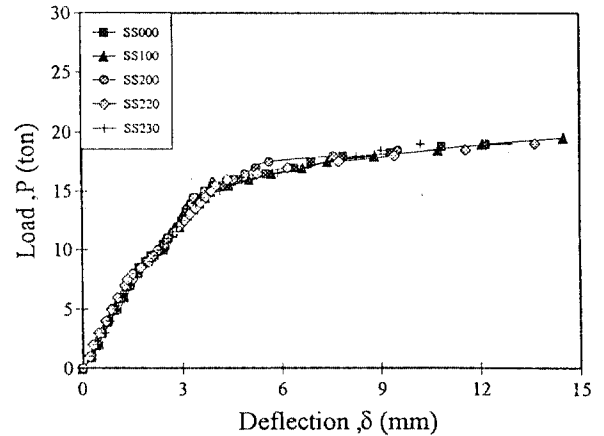


그림 3. 직선배근된 부재의 하중-처짐곡선

#### 4.2 하중 - 철근응력 관계

인장철근을 절곡시켜 배근한 부재의 하중 증가에 따른 인장철근의 응력변화는 그림 4와 같다. 이 그림에서 슬래브에 초기 균열이 발생하기전까지는 인장철근의 응력은 작으나 초기 균열이 발생한 후에는 철근의 인장응력이 급격히 증가함을 알 수 있다. 또한, 초기 균열이 발생한 후에는 접합면을 아크릴수지로 도포하고 다우웰철근의 배근량이 증가할수록 철근에 발생하는 응력이 다소 작음을 보여주고 있다.

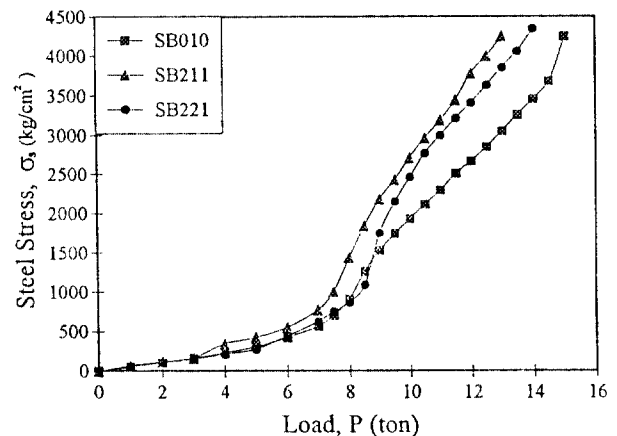


그림 4. 부재의 하중-철근응력 관계

#### 4.3 하중 - 콘크리트 압축변형도 관계

하중의 증가에 따른 인장철근이 절곡배근된 각 부재의 압축연단 콘크리트 변형도는 그림 5와 같다. 이 그림에서 보듯이 콘크리트의 압축

트의 표면을 마감처리한 후 구콘크리트의 표면을 깨끗이 하기 위하여 2.5%의 농도를 갖는 설탕물로서 지연제 처리를 실시하였다. 구콘크리트의 표면을 지연제로 처리하여 24시간이 경과한 후 와이어 브러쉬(wire brush) 및 살수에 의해서 콘크리트 표면의 몰탈 및 분순물을 제거한 후 굵은골재의 표면이 노출되도록 구콘크리트의 표면을 처리하였다.

접착층으로 사용한 아크릴 수지로 만든 시멘트 페이스트는 구콘크리트의 표면을 습윤상태로 유지한 후 2차콘크리트를 타설하기 2시간 전에 붓으로 구콘크리트의 표면에 골고루 도포하여 2차 콘크리트를 타설하였다. 또한, 슬래브 시험체를 야외에서 제작하였기에 1차 콘크리트 타설 후 습윤상태를 유지하기 위해서 시험체를 비닐로 보호하고 살수를 하였다. 2차콘크리트를 타설한 후에는 수분의 증발을 방지하기 위하여 피막양생제를 슬래브의 표면에 도포하여 콘크리트를 양생시켰다.

### 3. 실험방법 및 측정

#### 3.1 재하방법

실험부재에 대한 재하방법은 양쪽 지지점에서 55cm 떨어진 점에 4-점재하방법(4-point bending test or third point bending test)으로 연직하중을 가하였다. 하중은 60ton용량의 유압 잭을 사용하여 재하 하였으며, 정확한 하중을 얻기 위하여 유압피스톤 아래에 20ton용량의 로드 셀(load cell)을 설치하였다. 실험부재에 대한 자세한 재하장치도는 그림 2와 같다.

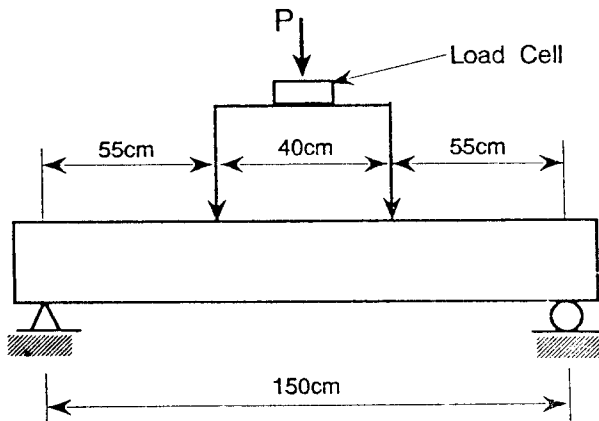


그림 2. 재하장치도

#### 3.2 측정 및 결과기록

각 하중단계마다 시험체의 처짐, 철근과 콘크리트의 변형도(strain), 균열폭(crack width) 및 균열의 전파현황 등을 측정하였다.

##### (1) 처짐

실험부재 지간의 1/2점, 하중재하점 및 부재의 지지점에 대한 각 하중단계에서의 처짐을 측정하기 위해서 각각의 위치에 변위측정용인 정도가 0.01mm인 다이알 게이지(dial gague)를 설치하였다. 이로부터 측정한 처짐으로 각 실험부재의 하중-처짐곡선(load-deflection curve)을 얻었다.

##### (2) 철근의 변형도

각 하중단계마다 철근의 변형도를 측정하기 위해서 철근의 표면을 매끄럽게 처리한후 5mm 부착식 전기저항 스트레인 게이지(strain gague)를 인장철근의 중앙 및 하중의 재하지점에 설치하였으며, 압축측 철근의 경우에는 부재의 중앙 지점에 설치하였다. 각 하중단계마다 측정한 철근의 변형도를 철근의 응력으로 환산하여 초기균열의 발생시점, 철근이 항복할 때의 외부하중, 철근응력-균열폭 관계를 얻었다.

##### (3) 콘크리트의 변형도

각 하중단계마다 콘크리트의 변형도를 측정하기 위해서 부재의 중앙점의 인장연단 및 압축연단, 인장철근이 위치한 지점, 부재의 중립축, 그리고 신·구콘크리트 접합면의 연단에 각각 68mm 매입용 콘크리트 스트레인 게이지를 설치하였다. 또한 전단력이 크게 발생하는 지점 즉, 지점부에서 25cm 떨어진 점에 있는 신·구콘크리트의 접합면의 연단에 콘크리트 게이지를 부착하여 각 하중단계마다 콘크리트의 변형도를 측정하였다.

##### (4) 균열폭

균열폭은 순수힘이 작용하는 부재의 중앙 및 힘과 전단력이 동시에 작용하는 부분에 발생한 대표적인 몇개의 균열에 대해 최소독치 0.01mm인 광학균열측정기구(eye gauge)를 사용하여 각 하중단계마다 측정하였다. 균열폭의 측정위치는 주 인장철근의 배치된 위치와 같게 하였으며, 부재의 하단으로부터 3.5cm떨어진 지점에서 균열폭을 측정하였다. 이로부터 측정 한 균열폭을 사용하여 철근응력-균열폭 관계

변형도는 초기 균열이 발생하면서 약간 증가하는 경향을 보이고, 하중이 부재의 극한하중 근처에 도달하면 콘크리트의 압축변형도가 급격히 증가함을 알 수 있다. 또한, 접합면을 아크릴수지로 도포하고 다우웰철근의 배근량이 증가할수록 콘크리트에 발생하는 응력이 다소 작음을 보여주고 있다.

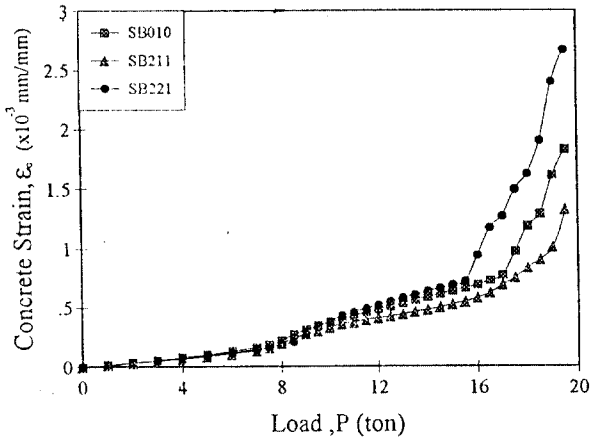


그림 5. 부재의 하중-콘크리트 변형도 관계

#### 4.4 수평접합부의 거동 및 균열형상

하중 증가에 따라 각 시험부재에 발생하는 균열은 휨균열이 주종을 이루고 있다. 신·구콘크리트의 접착층에서의 층분리현상은 접착층에서 균열이 단독으로 발생하는 것보다는 부재의 하단에서 발생한 휨균열이 하중의 증가에 따라 접착층까지 확산된 후 이 휨균열이 접착층을 따라 진전하는 경향을 보이고 있다. 대체적으로, 신·구콘크리트사이의 접착면에 아크릴에멀전수지로 만든 시멘트페이스트를 도포하여 제작한 시험체는 부재의 인장철근이 항복응력에 도달할 때까지 일체로 거동함을 알 수 있다.

그림 6과 그림 7은 일체로 타설한 슬래브와 다우웰철근을 0.30% 배근된 경우에 접합면에서의 신·구콘크리트의 변형도를 각각 도시한 것으로 15ton의 하중이 작용할 때까지 같은 거동을 함을 보여주고 있다.

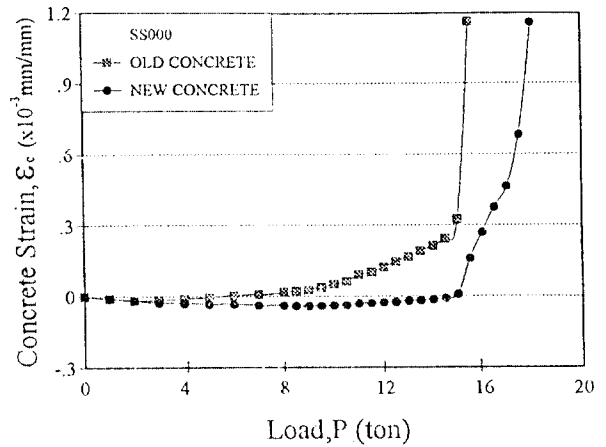


그림 6. 일체로 타설한 부재의 접합면에서의 신·구콘크리트 변형도

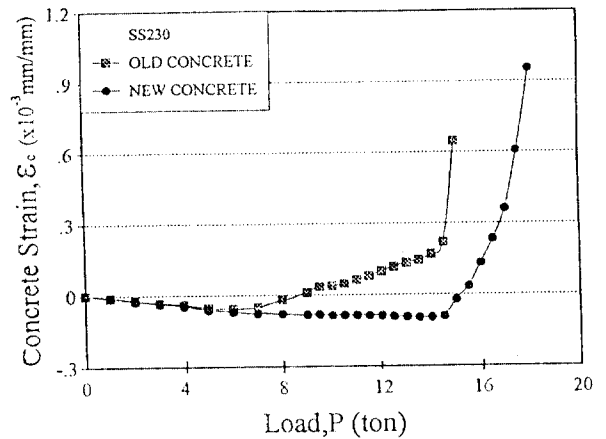


그림 7. 2층으로 타설한 부재의 접합면에서의 신·구콘크리트 변형도

## 5. 결론

본 연구에서는 2층으로 타설된 콘크리트 슬래브의 신·구콘크리트 접합면에서의 거동 특성을 규명하기 위하여 실험을 수행하였으며, 이와같은 연구를 수행하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 슬래브부재에서 신·구콘크리트사이의 수평접합면을 지연제로 처리하고 접착제만을 도포한 경우 철근이 항복한 후부터 신·구콘크리트사이에 층분리현상이 일어나며, 극한하중에서는 완전한 층분리현상이 일어났다.

2. 신·구콘크리트사이의 접합면을 지연제와 접착제를 도포한후 다우웰철근을 배치한 경우에는 극한하중에 근처에서 충분리현상이 일어나며, 극한하중에 도달해도 완전한 충분리현상은 나타나지 않았다.
3. 접합면을 지연제와 접착제로 도포하고 다우웰철근을 배치한 부재의 2차 콘크리트에 강섬유를 혼입한 경우에는 극한하중에 도달한 후에 충분리현상이 일어났다.
4. 접합면을 아크릴수지로 도포하고 다우웰철근의 배근량이 많을수록 초기균열하중 및 극한하중이 약간 증가하는 경향을 보인다.
5. 2층으로 타설된 슬래브에서 철근이 항복할 때의 균열폭은 다우웰철근의 영향을 받지 않으나, 철근의 용력이 극한용력에 도달하면 다우웰철근의 양이 많을수록 균열폭이 작으므로 큰 하중에서는 다우웰철근이 균열폭 제어에 효과를 발휘한다.
6. 부재의 충분리 현상은 접착층에서의 단독의 균열발생에 의한 것보다는 휨 균열이 확산하여 접착층으로 휨균열이 진전하면서 일어나는 경향이 있다.

## 6. 참고문헌

1. Seible, F., Latham, C., and Krishnan, K., "Structural Concrete Overlays in Bridge Deck Rehabilitation," Structural Systems Research Project, Report No. SSRP-88/04, University of California, San Diego, June, 1988.
2. Murakami, H., "A Laminated Beam theory with Interlayer Slip," Journal of Applied Mechanics, Vol.51, 1984.
3. State of California Department of Transportation Division of Structures, "Bridge Deck Construction Manual," Jan., 1991.
4. Luis, C., and Martin, M., "Overlay Materials for Bridge Decks," Concrete International, ACI, July, 1991, pp.46-47.
5. Fowler, D.W., Houston, J.T., and Faul, D.R., " Polymer Impregnated Concrete Surface Treatments for Highway Bridge Decks," POLymers in Concrete, SP-40, ACI, Detroit, 1973, pp.93-117.