

교면 덧씌우기 콘크리트의 부착강도 평가 방법 제안

Proposal of Bond Strength Evaluation Method for Bridge Deck Overlay

장흥균^{*} 홍창우^{**} 정원경^{***} 이봉학^{****} 윤경구^{*****}
Jang, Heung Gyun^{*} Hong, Chang Woo^{**} Jung, Won Kyong^{***} Lee, Bong Hak^{****} Yun, Kyong Ku^{*****}

Abstract

Significant improvements in bond strength between new and existing concrete can be achieved through the modification of the new concrete by latex modification. But, no test method has been adopted as a standard to measure the bond strength between the concrete used to repair and the substrate being repaired. The performance of old and the new concrete construction depends upon bond strength between old and the new concrete. Current adhesion strength measurement method ignores the effect of stress concentration by shape of specimens. Therefore, this research calculates stress concentration coefficient using finite element analysis and direction tensile strength test (pull-off test). The result shows that the required core depth is 2.5cm. Elastic modulus and overlay thickness do not influence in stress concentration.

키워드 : 직접인장시험, 응력집중, 부착강도

Key word : pull-off test, stress concentrations, Adhesion strength

1. 서론

교량상판의 덧씌우기나 노후된 도로의 보수처럼 콘크리트 구조물은 종종 새로운 콘크리트가 기존 콘크리트에 적용되어 신·구 콘크리트로 구성된 복합 구조체를 이룬다. 두 가지의 서로 다른 콘크리트로 구성된 신·구 콘크리트 구조물의 성능은 신·구 콘크리트 사이의 부착강도에 의해서 구조물로서의 성능이 크게 좌우된다. 부착강도 시험은 전단시험, 직접전단시험, 일축전단시험의 세 가지 방법이 있으나, 건설현장에서는 실제보수나 덧씌우기한 부분을 평가하여 바로 관련자에게 시험결과의 승인여부를 파악할 수 있도록 하거나 공사를 조정하도록 할 수 있는 장점과 시험체의 인장강도에 의한 실제적 부착강도를 측정할 수 있기 때문에 일축인장에 기초한 직접인발 시험(Pull-off Test)을 사용하고 있다. 하지만 이 직접 인발 시험은 편심하중, 응력집중 등 몇 가지 문제를

* 정회원, (주), 국일건설, 대표이사

** 정회원, 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 연구원

*** 정회원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

**** 정회원, 강원대학교 토목공학과 교수

***** 정회원, 강원대학교 토목공학과 조교수

안고 있다. 편심하중의 경우 균일한 인장 응력 상태에서 편심 하중을 최소화하기 위하여 많은 연구가 진행되어져 왔다. 그러나 시험체의 형상과 시험체 경계조건에 따른 응력집중의 영향에 대한 연구는 아직 까지 미비한 상황이다.

현재 응력집중의 영향에 대한 연구는 몇몇 연구진에 의해 행하여지고 있다. 그중 Ohama의 연구[6]는 직접 인장 시험편과 이와같은 단면의 dog-bone을 사용하였다. 실험 결과 직접 인장 시험 시편은 dog-bone 시편보다 부착강도가 작게 나왔다. 이것은 시편의 외형에 의해 발생된 높은 응력의 집중으로 생각될 수 있다. pipe grips에 포함된 시편은 steel pipe 주위로부터의 구속에 의해 응력 집중을 발생시키는 것으로 판단할 수 있다. 현행 부착강도 측정방법은 코어 깊이에 의한 응력집중의 영향을 무시한 것으로 실제적인 부착강도보다 과소하게 평가될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 응력집중계수를 산출하고, 이 응력집중계수를 비교하여 부착면에서 응력집중의 영향이 미소하게 작용하는 적절한 코어깊이를 구하여 최적의 직접인장시험(Pull-off Test) 기준을 제시하고 물/시멘트 변화에 따른 초속경 라텍스 개질 콘크리트의 부착강도를 평가하고자 하였다.

2. 유한요소 해석을 통한 직접인발시험의 평가

2.1 개요

부착 특성평가를 위한 유한요소 해석은 코어깊이, 덧씌우기 두께, 기존 콘크리트와 덧씌우기 재료의 탄성계수비, Steel Disk의 두께를 변화하여 해석을 실시 하였다. 이때 부착면에 발생한 응력의 특성을 비교하고 응력집중계수를 산출하여 최적의 직접인장시험 기준을 마련하고자 하였고, 직접인발에 의한 콘크리트의 부착강도 특성 실험을 수행하기 위해서 실제 교량 상판과 유사한 조건의 슬래브 두께를 설정하여 실내 실험을 실시하고자 하였다.

2.2 유한요소 해석

본 연구에서 부착강도 특성을 고찰하기 위하여 범용프로그램인 LUSAS[9]를 사용하여 모델링 하였다. 기본가정은 콘크리트는 탄성거동을 하며, 균질하다고 가정하였다. 모델링은 100cm×140cm, 덧씌우기 두께 5cm, 콘크리트 구조물 두께 25cm의 크기로 하였고, 사용요소는 솔리드 요소를 사용하였다. 경계조건은 하단부를 고정, 나머지 부분을 자유조건으로 고려하였다. 이때 코어깊이를 1cm~10cm로 변화 시켜 코어 깊이에 따른 영향을 보고자 하였으며, 덧씌우기 두께(h_o)를 1cm~10cm로 변화시켜 덧씌우기 두께에 따른 영향을 보고자 하였다. 또한 탄성계수비를 변화 시키면서, 40kgf/cm²의 하중을 코어 상면에 작용하였다. 그림 1은 모델링 형태이며, 표 1은 유한요소 해석시 사용된 물성값을 나타낸 것이다.

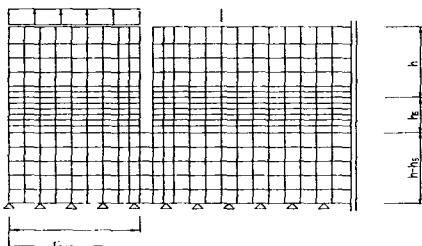


그림 1 부착강도 해석모델

표 1 사용된 물성치

구 분	탄성계수 (kgf/cm ²)	프아송비
Base Concrete (OPC)	307000	0.18
Overlay Concrete (LMC)	288000	0.18

2.3. 응력 해석 결과

유한요소 해석을 통해 코어 깊이, 덧씌우기 두께, 탄성계수비의 변화, Steel disk 두께 변화에 따른 응력을 고찰하여, 응력집중계수를 산출하였다. 응력집중계수는 부착면에 발생하는 최대응력에 대한 시험체에 발생하는 평균응력의 비로 산출하였다.

코어깊이와 코어직경을 변화 하였을 경우의 부착면에서의 응력집중 영향을 그림 3에 나타내었다. 부착면에서의 응력집중계수는 코어깊이의 증가에 따라 코어깊이 2cm까지는 36.14%~38.21%의 급격히 감소율을 보였으며, 코어깊이가 2cm 이상 증가되었을 경우 5.16%~12.98%의 완만히 감소율을 보이며 1에 수렴하였다. 코어직경이 8cm에서 15cm로 증가함에 따라 응력집중계수도 0.3%~7.87%의 증가율을 보였다. 이와 같은 경향은 코어직경 보다는 코어깊이에 따라 응력집중의 영향이 크다는 것을 알 수 있었으며, 응력집중의 영향을 줄이기 위하여 코어깊이를 최소 2cm 이상하여야 할 것으로 판단된다.

탄성계수비를 변화하였을 경우의 부착면에서의 응력집중 영향을 그림 4에 나타내었다. 탄성계수비가 0.6~3의 경우 유사한 응력분포 경향을 보였으며, 탄성계수비가 0.4보다 감소하였을 경우 코어 표면에서 응력이 증가함을 보였다. 응력집중계수는 탄성계수비가 0.2~0.8사이 급격한 감소를 보였으며, 0.8 이상일 경우 응력집중계수는 완만히 증가하는 것을 알 수 있었다.

덧씌우기 두께를 변화 하였을 경우의 부착면에서의 응력집중 영향을 그림 5에 나타내었다. 덧씌우기 두께를 3cm ~9cm로 변화함에 따라 응력은 거의 동일한 형태를 보였으며, 응력집중계수는 1.03의 일정한 형태를 보였다. 이는 덧씌우기 두께가 응력집중에 대하여 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있다.

코어직경 10cm 일 때 Steel Disk 두께에 따른 응력집중의 영향을 그림 6에 나타내었다. 이때 응력은 Disk 바로 밑면을 고찰한 것으로 Disk와 Concrete 경계면에서의 응력집중은 Steel Disk 의 두께가 약 3cm 일 경우 응력집중계수가 최소가 되고 그 이상 두께를 증가시켰을 경우 오히려 응력집중계수가 증가하는 것을 알 수가 있었다. 따라서 Steel Disk 두께는 응력집중을 피하기 위하여 3cm 정도의 두께를 가져야 할 것으로 판단된다.

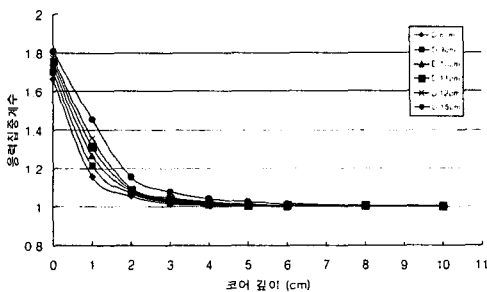


그림 2 부착면에서의 응력집중계수

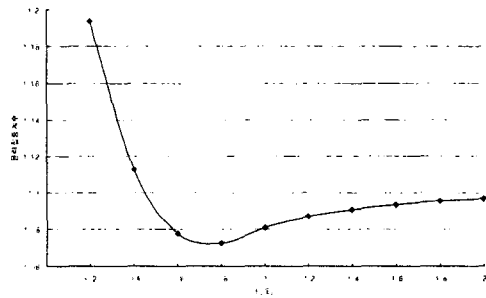


그림 3 부착면에서의 응력집중계수

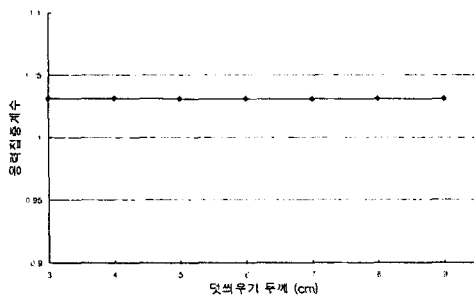


그림 4 부착면에서의 응력집중계수

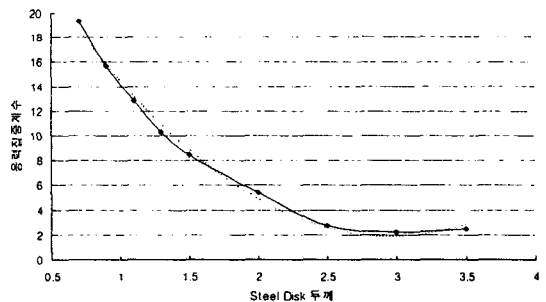


그림 5 부착면에서의 응력집중계수

3. 실험

3.1 개요

본 연구는 제안된 실험 방법의 검증을 위하여 보통콘크리트와 초속경 라텍스 개질 콘크리트를 사용하여 실험을 실시하였다. 이 두 재료의 부착강도특성을 분석하기 위해서 보통콘크리트와 라텍스 개질 콘크리트로 구성된 복합콘크리트 슬래브를 제작하여 직접인발실험(Pull-out test)을 실시하였다. 주요 실험변수로서 코어직경, 코어깊이, 부착면의 수분상태에 따른 초속경 라텍스 개질 콘크리트의 부착강도 특성을 분석하였다.

3.2 시험체 제작 및 실험

본 연구에서 보통콘크리트에 대한 초속경 라텍스 개질 콘크리트의 부착강도특성을 평가하고자, Styrene- Butadiene 계열의 라텍스를 사용하였다. 구 콘크리트는 최대 치수가 25mm인 굵은 골재를 사용하였고, 덧씌우기용 라텍스 개질 콘크리트는 최대 치수가 13mm인 굵은 골재를 사용하여 실제교량 상판의 덧씌우기 환경과 유사하게 하여 그림 6과 같은 시험체를 제작하였다. 코어직경을 코어깊이는 유한요소 해석 시 사용된 변수와 같이 부착면으로부터 1cm~5cm까지 코어링 하였으며, 그림 8~9의 시험기를 사용하여 직접인발을 실시하였다.

라텍스의 치환은 단위체적당 시멘트에 대하여 15% 혼입률로 고정후, 물-시멘트비는 36%, 38%, 40% 로 변화하였다. 또한, 각 변수에 따른 거동특성을 파악하고자 동일한 조건으로 배합계획을 하였으며, 이 콘크리트 배합 내용은 표 2 에 나타내었다

표 2 기존 콘크리트와 라텍스 개질 콘크리트의 배합 설계

(Unit : kg/m³)

구분	W/C (%)	S/a (%)	시멘트	Latex	물	sand	굵은 골재	지연제	소포제
RS-LMC	36	58	390	74	122	952	716	1.17	1.22
	38	58	390	82	122	940	707	1.17	1.22
	40	58	390	89	122	928	698	1.17	1.22
Substrate	35	40	500	0	175	675	1041	-	-

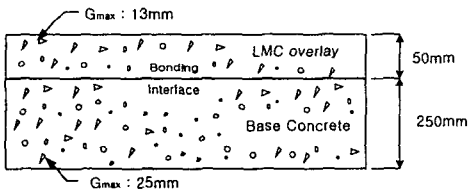


그림 6 직접인발시험을 위한 콘크리트 슬래브

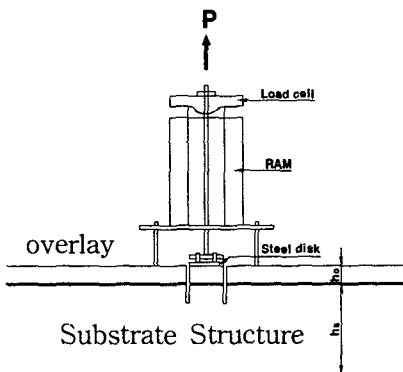


그림 7 부착강도 시험의 개요도

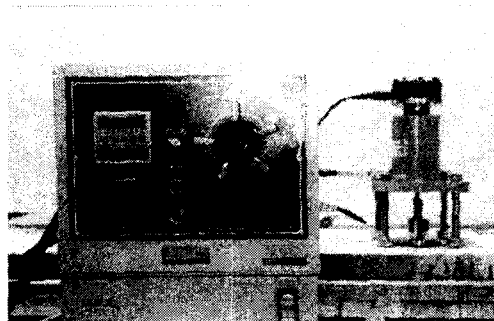


그림 8 직접인발 부착강도 시험기 설치광경

시험체 제작은 직접인발에 의한 라텍스 개질 콘크리트의 부착강도 특성 실험을 수행하기 위해서 두께 250mm, 폭 1200mm, 그리고 길이 1400mm의 콘크리트 슬래브를 제작하였다. 콘크리트 슬래브를 28일 양생 후에 50mm 두께의 초속경 라텍스 개질 콘크리트 덧씌우기를 적용하여 실제 교량 상판과 유사한 조건으로 설정하였다. 코어직경, 코어깊이, 부착면의 수분상태에 따른 부착강도 특성 평가에서는 라텍스 혼입률 15%로 덧씌우기를 적용한 후 적정 기간동안 콘크리트 슬래브에 살수 양생을 실시하고 그후 기건양생을 실시하였다.

3.3 실험결과

직접인발에 의한 코어깊이에 따른 부착강도 측정결과를 그림 9에 나타내었다. 실험결과, 부착면에서 코어깊이가 깊어짐에 따라 부착강도가 커질 것으로 예상하였다. 그러나 코어깊이 0cm일 경우 최대의 부착강도를 나타내었으며, 1cm ~5cm까지 증가함에 따라 부착강도가 증가하는 경향을 보였다. 코어깊이 0cm 일 때 최대의 부착강도를 보인 원인은 정확하게 부착면까지 코어링을 하지 못한 실험오차로 판단된다. 코어직경에 따른 부착강도 특성은 그림 10에 나타내었다. 전체적으로 코어직경이 커감에 따라 부착강도는 24.1 kgf/cm²에서 11.4kgf/cm²로 적어지는 경향을 보였다.

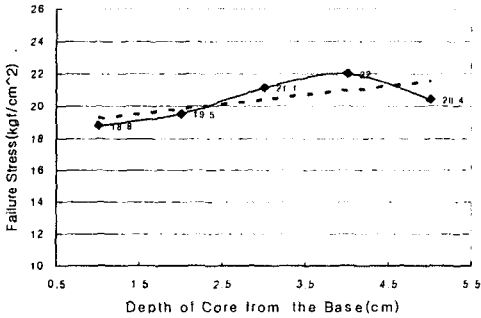


그림 9 코어깊이에 따른 부착강도 (D100)

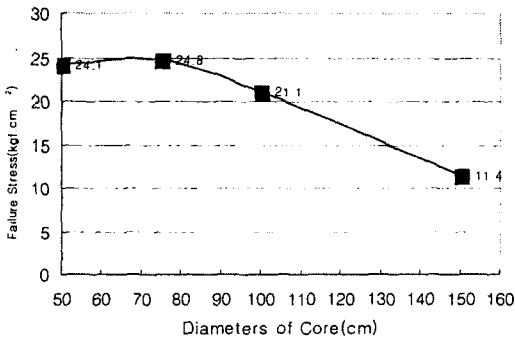


그림 10 코어 직경에 따른 부착강도

그림 11는 물/시멘트비가 증가할때 부착면의 수분상태에 따라 부착강도를 나타낸 것이다.

부착면이 표건상태일 경우 물/시멘트비가 증가함에 따라 부착강도는 25.5 kgf/cm²에서 18.6 kgf/cm²으로 감소하는 경향을 보였으며, 건조상태인 경우 15.5 kgf/cm²에서 14.5kgf/cm²의 미소한 감소를 보였다. 물/시멘트 비의 변화에 따라 표건상태의 조건이 부착강도에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단되며, 물/시멘트 비가 클수록 부착면 수분상태의 조건 상태가 주는 영향은 줄어드는 것을 알 수 있었다.

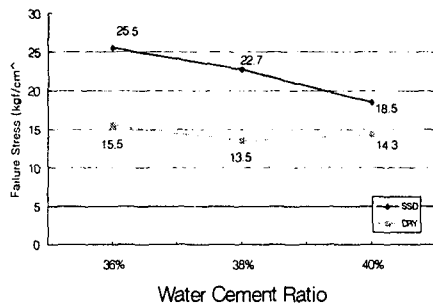


그림 11 부착면 수분조건에 따른 부착강도

5. 결 론

본 연구에서는 건설현장에 사용되는 직접인발시험에서 코어 깊이와 덧씌우기 두께, 탄성계수비, Steel Disk 두께에 대한 유한 요소 해석을 통하여 실험기준을 마련하고 실험을 통하여 검증하고자 하였다. 이때 응력의 영향을 고찰하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 덧씌우기 된 슬래브를 유한요소 해석을 한 결과 코어깊이가 증가함에 따라 응력집중의 영향이 현저히 감소함을 알 수 있었다. 이는 응력집중의 영향을 최소화하기 위한 코어깊이는 2.5cm 이상이어야 할 것으로 판단된다.
- 2) 덧씌우기 재료의 탄성계수와 기존 콘크리트의 탄성계수가 다른 이질재료를 사용할 경우 탄성계수비가 0.6~1.0사이의 재료가 응력집중의 영향이 감소됨을 알 수 있었고, 덧씌우기 두께는 응력집중에 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.
- 3) Disk와 Concrete 경계면에서의 응력집중은 Steel Disk 의 두께가 3cm 일 경우 응력집중계수가 최소가 되는 것을 알 수 있었다. 따라서 Steel Disk 두께는 응력집중을 최소화하기 위하여 3cm의 두께를 가져야 할 것으로 판단된다.
- 4) 코어깊이가 증가함에 따라 응력집중의 영향이 감소하여 부착강도가 증가하는 것을 알 수 있었고, 코어직경이 증가함에 따라 부착강도는 감소하는 경향을 보였다.
- 5) 물/시멘트 비의 변환에 따라 건조상태의 조건 보다 표건상태의 조건이 부착강도에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단되며, 물/시멘트 비가 클수록 부착면 수분상태의 조건이 주는 영향은 줄어드는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Emmons, Peter H.(1994), "Concrete Repair and Maintenance Illustrated," R. S. MEANS COMPANY, INC. pp. 155-164.
2. Louis A. Kuhlmann(1990), "Test Method for Measuring the Bond Stength of Latex-Modified Concrete and Mortar," *ACI Materials Journal*, V. 87, No. 4.
3. Y. Ohama(1987), "Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of LMC," *ACI Materials Journal*, Vol. 84, No. 6, pp.511-518.
4. Austin, S ; Robins,P.J;Pan Y ; Tenile Bond Testing of Concrete Repairs. *RILEM-Materials and Structures*. Vol. 28. pp.249-259.1995.
5. ASTM D4541-95e1 Standard Test Method for Pull-off Strength of Coatings Using Partable Adhesion Terters, *ASTM*.
6. Y. Ohama et al., "Adhesion of polymer-modified mortars to ordinary cement mortar by different test methods," *Ibid*, pp.719-729.
7. 윤경구, 김경진 등(2000), "라텍스 개질 콘크리트의 부착강도 특성," *한국콘크리트학회 가을 학술발표회논문집*, Vol. 12, No. 2.
8. FEA. Ltd, "*LUSAS Manual*."