

앵커를 이용한 콘크리트 구조물의 단면보수 공법

Repair Method of Concrete Structures Using Anchors

송형수* 이진용** 윤동용*** 최동욱**** 민창식*****
Song, Hyung Soo Lee, Chin Yong Yoon, Dong Yong, Chio, Dong Uk Min, Chang Shik

ABSTRACT

Recently, the damaged concrete structures are often strengthened or repaired using the polymer concrete or the polymer cement mortar. In the repaired concrete structures at early ages, internal stresses could be developed due to the differential drying shrinkage of the repair material. Due to the difference of the thermal coefficients of the repair material and existing concrete, additional stresses also could be developed as the structures are subjected to the ambient temperature changes. These environmentally-induced stresses can sometimes be large enough to cause damage to the structures, such as debonding of the interface between the two materials. In this study, a rational procedure was developed where anchors can be designed and installed to prevent damages in such structures by thermally-induced stresses. Finally, through the experimental and numerical study, the effects of the repair method using anchors with debonding was investigated and discussed the results.

1. 서론

열화된 콘크리트 구조물을 보수 또는 보강하기 위하여 모르타르를 사용하여 단면을 증대시킬 수 있다. 이때 기존콘크리트와 보수재료 사이에는 계면이 형성되며, 이러한 계면은 두 층이 합성거동을 할 수 있도록 완전하게 부착되어 있어야 한다. 기존공법에서 보수재료는 일반적으로 계면의 합성거동에 충분한 부착강도를 확보할 수 있는 것으로 알려져 있으나, 보수단면 내부의 불균등한 체적변화로 인한 추가적인 응력이 발생할 수가 있다. 이렇게 추가적으로 발생된 응력은 계면파괴를 유도하여 내구성을 저하시킬 수 있으며, 또한 이런 계면의 부분적인 손상은 합성단면의 구조적 효과를 감소시키게 된다.

기존의 보수공법 연구는 보수재료의 물리적인 특성을 개선시키거나, 기존공법에 부착력을 향상시키기 위한 접착재료를 추가하는 방법 등을 포함한다. 그러나 이러한 보수재료만의 특성으로는 보수면의 상태에 따라서 부착강도가 많은 차이를 나타낼 수 있기 때문에 안전한 방법이 될 수 없다. 특히, 열악한 환경(저온, 동해, 습윤환경 등)에 노출된 단면에서 기존의 보수재료만으로는 시공과 품질관리에 어려움이 있어, 재료적인 성능개선 만으로는 한계가 있다. 이러한 보수면을 기존방법으로 시공하는 경우 내구성은 건조한 면을 시공할 때 보다 현저히 감소되고, 따라서 보수된 구조물의 수명이 감소할 수 있다. 이러한 기존공법이 갖고 있는 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 단면보수 및 증대를 위해 사용되는 보수모르타르에 섬유앵커를 추가로 적용함으로써, 계면강도가 증진되는지 여부를 현장실험을 통하여 검토하였다. 또한 앵커의 효과를 유한요소해석을 통하여 검토하고자 하였다.

*정회원, 동국대학교 토목환경공학과 박사과정

**정회원, (주)케어콘 대표이사·공학박사

***정회원, INI STEEL 수료개발팀·공학박사

****정회원, 한경대학교 건축학부 교수·공학박사

*****정회원, 동국대학교 토목환경공학과 교수·공학박사

2. 실험

본 연구에서 기존콘크리트 단면의 보수재료는 폴리머 시멘트 모르타르를 적용하였고, 보수재료의 물성을 측정하고자 압축강도, 탄성계수, 건조수축, 열팽창계수에 대한 시험을 수행하였다. 한편, 단부에서 발생하는 전단응력이 계면에 미치는 영향을 확인하기 위하여, Fig. 1과 같이 중앙부와 단부로 구별하여 부착강도를 시험을 수행하였다. 또한 앵커가 단부의 부착강도에 미치는 영향을 확인하기 위하여, Fig. 2와 같이 앵커를 설치하지 않은 시험체와 설치한 시험체로 구분하여, 현장과 동일한 조건으로 계면의 부착강도를 시험하였다.

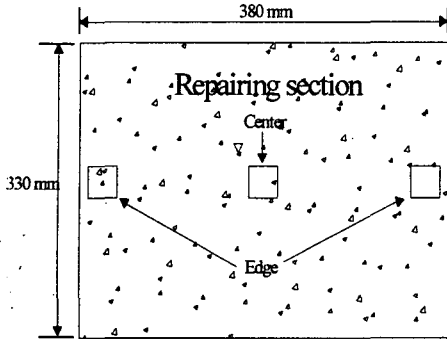


Fig. 1 Pullout test locations

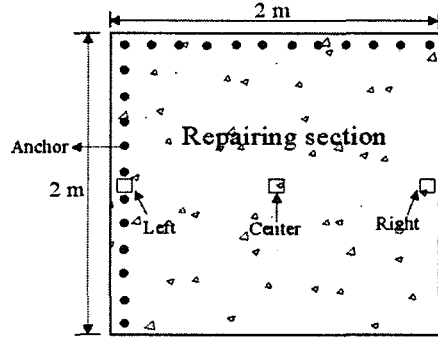


Fig. 2 Anchor and pullout test locations

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 사용된 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도 및 탄성계수 시험결과는 Table 1과 같다.

건조수축은 7, 28, 56일 동안 측정하였으며, 측정결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 3에 나타난 결과는 일반적인 폴리머 시멘트 모르타르의 28일 건조수축 범위¹⁾인 $8 \sim 16 \times 10^{-4} \text{m/m}$ 보다 적어 우수한 것으로 나타났다. 열팽창계수는 각각 재령 56, 225일에 시험체를 thermocouple을 사용하여 측정하였으며, $21.5 \times 10^{-6} \text{m/m/}^\circ\text{C}$ 로 재령 56, 225일의 시험체 모두 동일하였다.

기존콘크리트와 보수모르타르 사이의 계면 전단응력이 단부에 미치는 영향을 실험을 통하여 측정한 결과 Table 2와 같았다. 모르타르의 타설 후 재령일의 증가에 따라 보수단면의 중앙부는 강도가 증가되는 현상을 보였다. 단부의 부착강도는 중앙부보다 재령별 약 26~63% 정도의 강도저하를 나타냈으며, 강도저하는 재령일이 증가

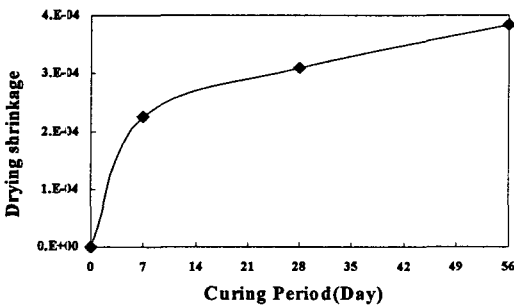


Fig. 3 Drying shrinkage of repairing material

Table 1 Mechanical properties of material (Unit: MPa)

Age	Compressive strength	Modulus of elasticity
7 days	57.7	21,990
28 days	66.7	22,850

Table 2 Pullout test result (Unit: MPa)

Age	Center	Edge
28 days	1.75	1.29
56 days	1.86	1.33
225 days	2.47	0.92

* average of 3 tests.

에 따라 더 크게 나타났다. 이러한 현상은 재령일이 증가에 따라 불균등 건조수축 등에 의한 계면의 전단응력이 단부에 집중되어, 부착강도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

앵커가 기존콘크리트와 보수모르타르 계면의 전단응력에 미치는 영향에 대한 실험의 결과는 Table 3과 같다. 앵커로 단부에 보강을 한 면의 부착강도는 중앙부의 강도보다 약 6% 정도의 강도차이를 보였고, 앵커를 보강하지 않은 면은 중앙부의 강도보다 약 25% 정도의 강도저하를 보였다. 단부에 앵커를 보강한 면과 보강하지 않은 면을 비교하면 약 20%의 강도차이를 보였으며, 이러한 현상은 앵커를 사용한 보강이 계면에 발생하는 전단응력을 저감시키는 효과가 크다는 것을 보여주는 것으로 판단된다.

4. 유한요소 해석

단부에 앵커를 적용한 공법이, 단부측 계면 전단응력을 저하시키는데 미치는 영향을 분석하고자 유한요소 프로그램을 이용하여 해석하였다. 해석에 사용된 프로그램은 구조해석 범용 프로그램인 ADINA 8.1을 사용하였으며, 3차원 모델링을 통하여 온도변화에 따른 계면의 전단응력을 검토하였다. 본 해석에서는 기존콘크리트와 보수단면이 집합되도록 설정하였다. 재료의 특성은 본 연구의 실험을 통하여 결정된 값을 사용하였으며, Table 4에 정리하였다.

Fig. 4는 앵커를 설치하지 않은 보수단면의 모델이며, 이 모델을 Fig. 5와 같이 유한요소 모델링을 하였다. 한편 앵커

Table 3 Pullout test results performed on sections with anchors (Unit: MPa)

Age	Left ¹	Center	Right ²
7 days	1.15	1.23	0.92

※ 1 : anchors were used
2 : no anchors

Table 4 Properties of materials used for Finite Element Analysis

	Existing concrete	Repair mortar
Modulus of elasticity(MPa)	23,025	21,990
Coefficient of thermal expansion (m/m/°C)	10×10^{-6}	21.5×10^{-6}
Poisson's Ratio	0.18	0.16

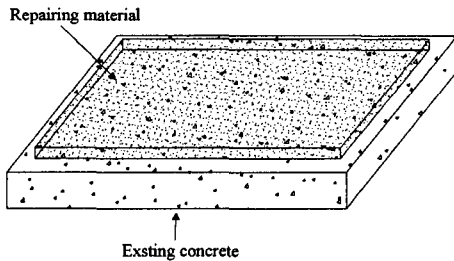


Fig. 4 Repairing section model

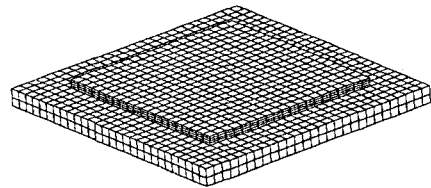


Fig. 5 Repairing section model by Adina

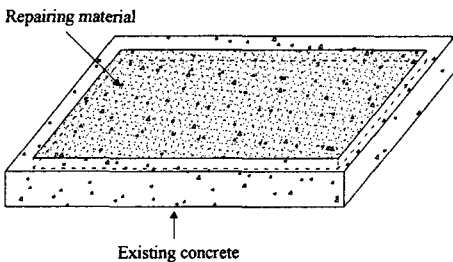


Fig. 6 Repairing section model with anchors

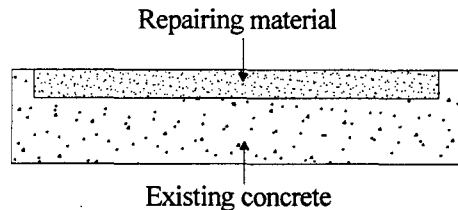


Fig. 7 Repairing cross-section by idealized anchor

를 고려한 단면을 유한요소 모델링하기 위하여 Fig. 6과 같이 이상화하였다. 단부의 앵커 구속효과는 Fig. 7과 같이 보수단면의 단부에서 콘크리트가 모르타르를 구속하는 모델로 이상화하였다. 해석모델의 온도하중재하는 도로교 설계기준²⁾에 제시된 콘크리트 교의 온도변화 범위인 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 를 사용하여 모델전체에 균등하게 재하하였다.

앵커를 보강하지 않은 보수단면의 해석결과, 계면의 전단응력 분포는 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서는 계면의 전단응력이 단부에 크게 일어나는 것으로 나타났다. 한편 단부의 앵커 구속효과를 이상화한 응력분포는 Fig. 9와 같다. 전단응력 분포는 Fig. 8과 유사한 경향을 보이고 있으나, Chen et al.³⁾의 이론과 비교한 결과 최대 전단응력이 약 73%가 저하되는 것으로 나타났다. 따라서 앵커로 인한 단부의 구속효과가 계면에 발생하는 전단응력을 크게 저감시켜 주는 효과가 있음을 확인하였다.

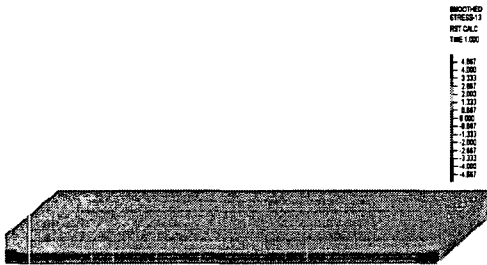


Fig. 8 Shear stress of repaired section at interface without anchors



Fig. 9 Shear stress of repaired section at with anchors interface

5. 결론

본 연구에서는 보수단면에 온도변화 및 불균등 건조수축으로 인해 발생하는 계면의 전단응력이 보수성능에 미치는 영향을 실험을 통하여 Chen et al.³⁾의 이론과 비교하였다.

불균등 건조수축으로 인해 계면의 단부에 나타나는 부착력 저하를 재령 28~225일간 실험을 통하여 측정하였으며, 중앙부보다 약 26~63%의 강도저하가 일어나는 것으로 나타났다. 실험의 결과로부터 나타난 단부의 부착력 저하를 해결하고자 본 연구에서는 단부에 앵커 설치를 고안하였다. 보수단면의 단부에 앵커를 설치했을 때, 앵커가 계면강도에 미치는 영향을 분석하고자 현장실험을 통하여 측정한 결과 중앙부와 비교하여 강도저하를 약 6% 정도로 감소시킬 수 있었으며, 앵커를 미설치 한 부분과 비교하면 약 20%의 강도차이를 보였다. 이러한 실험 결과는 앵커의 설치가 계면에 발생하는 전단응력에 미치는 영향이 크다는 것을 보여주는 결과라고 판단된다.

한편, 보수단면에 앵커가 미치는 영향에 대한 검증을 하고자 선형 유한요소해석을 하였으며, 유한요소 모델링에서 단부의 구속효과로 앵커가 미치는 효과를 이상화시켰다. 유한요소 해석결과 나타난 계면의 전단응력 분포는 앵커를 고려하지 않은 모델과 앵커를 고려한 모델이 유사한 경향을 보였으나, 앵커를 고려한 모델이 최대 전단응력이 약 73%가 저하되는 것으로 나타났다. 이러한 해석결과로부터 단부의 구속효과가 계면에 발생하는 전단응력을 크게 저감시킬 수 있는 방법이라고 판단된다.

참 고 문 헌

1. S. Chandra, and Y. Ohama, "Polymers in Concrete." CRC Press, 1994, pp.81~185.
2. 건설교통부, 도로교 설계기준, 2000
3. D. Chen, S. Cheng and T. D. Gerhardt, "Thermal Stresses in Laminated Beam.," Journal of Thermal Stresses, Vol. 5, No. 1, 1982, pp.67-84.