유한요소법에 의한 Steel 및 GFRP로 연속 보강된 콘크리트 포장의 거동 비교

이재훈[1] · 이재훈[2] · 임진선[3] · 임재규[4] · 박상구[5] · 정진훈[6*]

Jae-Hoon Lee[1], Jae-Hoon Lee[2], Jin-Sun Lim[3], Jae-Kyu Lim[4], Sang-Gu Park[5], Jin-Hoon Jeong [6*]

[1] 정회원, 인하대학교 스마트시티공학과 박사과정 , [2] 학생회원, 인하대학교 스마트시티공학과 석사과정,
[3] 정회원, 삼우IMC 기술연구소 소장·공학박사[4] 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원, 인하대학교 토목공학과 박사과정,
[5] 정회원, 누보켐 책임연구원·인하대학교 토목공학과 박사과정, [6*] 정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 교수 – *교신저자

1. 연구 배경 및 목적

연구 배경

- 연속철근 콘크리트 포장(Continuously Reinforced Concrete Pavement, CRCP)은 세로 방향의 연속적인 철근을 배근한 콘크리트 포장으로 슬래브에 발생하는 횡방향 균열을 허용하는 포장형식이다.
- 겨울철 염화물계 제설제의 살포로 염화물이 균열부에 침투할 경우, 철근에 부식이 발생하여 이로 인해 포장의 내구성 및 공용성이 저하된다.
- GFRP(Glass Fiber-reinforced Plastic) Rebar는 내부식성이 뛰어난 재료로 현재 철근 부식에 의한 콘크리트 구조물의 성능 저하가 발생하고 있는 다양한 구조물에서 기존의 Steel Rebar를 대체하고 있다.

(a) Steel (b) GFRP

Fig. 1 Rebar의 종류

연구 목적 및 방법

- 본 연구에서는 연속철근 콘크리트 포장에 대한 거동 해석을 위해 상용 유한요소해석 프로그램을 사용하여 Rebar의 종류에 따른 포장의 균열발생 경향을 분석하고자 하였다.
- 우선 실제 포장 균열발생 경향에 대한 자료가 존재하는 일반적인 연속철근 콘크리트 포장에 대한 3차원 유한요소해석을 수행하여 유한요소해석 모형의 해석능력을 검증하였으며, Rebar의 종류에 따른 물성을 적용하여 균열발생 간격 등을 검토하였다.

2. 연구내용

Steel 및 GFRP로 보강된 연속철근 콘크리트 포장

- GFRP는 일반적으로 연속철근 콘크리트 포장에 사용되는 Steel과 달리 부식에 대한 저항성이 뛰어난 재료이나 탄성계수가 Steel의 ¼ 정도로 매우 낮다.
- GFRP의 열팽창 계수는 유리섬유, 폴리머의 종류 및 유리섬유의 체적비에 의하여 결정되며 방향에 따라 값이 다르게 나타나는 이방성 재료이다. 횡방향 CTE가 종방향 CTE의 약 3배로 크나 80℃ 이하의 환경에서 횡방향 열팽창에 의한 콘크리트 구조물의 손상 가능성은 매우 낮은 것으로 알려졌다.
- Fig. 2와 같이 탄성 거동을 하는 Steel과 달리 GFRP의 경우 선형 거동에 의한 취성 파괴를 일으킨다.

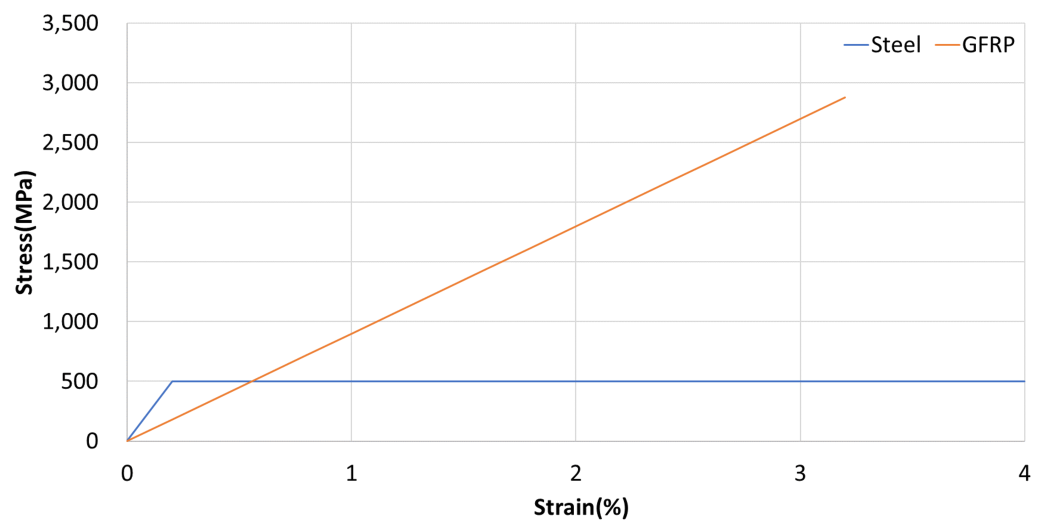


Fig. 2 Rebar 재료에 따른 응력-변형률 선도

연속철근콘크리트 포장 해석 방법 결정

- Rebar의 종류에 따른 연속철근 콘크리트 포장의 거동을 해석적으로 연구하기 위해 본 연구에서는 상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하였으며, 재료적 특성은 균질하다고 가정하였다.
- 콘크리트 포장의 유한요소모형에 대표적으로 사용되는 3차원 Brick element에는 C3D8, C3D20, C3D8R, C3D8I가 있다. 본 연구에서는 해석시간이 비교적 빠르며 C3D8 요소의 단점을 개선한 C3D8R 요소를 적용하였다.
- C3D8R 요소는 감차적분을 통해 해석시간을 단축하는 효과가 있지만, Mesh 밀도에 민감하게 반응하는 요소이다. 이에 따라 본 연구에서는 중요도가 상대적으로 큰 Rebar 및 Rebar와 부착하는 콘크리트의 Mesh 밀도를 높게 적용하였다.
- 콘크리트의 압축과 인장에 의한 균열 및 균열의 진전에 관해 해석하기 위한 방법으로 CDP(Concrete Damaged Plasticity) Model을 적용하였다.

연속철근 콘크리트 포장 해석

- 연속철근 콘크리트 포장에 대한 유한요소해석은 해석 결과와 실제 포장에 발생하는 균열을 유사하게 모사할 수 있는지에 대한 검증이 필요하다.
- 이를 위해 본 연구에서는 한국도로공사의 시험도로 시공된 철근비 0.7%의 두께 30cm 연속철근 콘크리트 포장을 Fig.3 과 같이 모델링하였다.

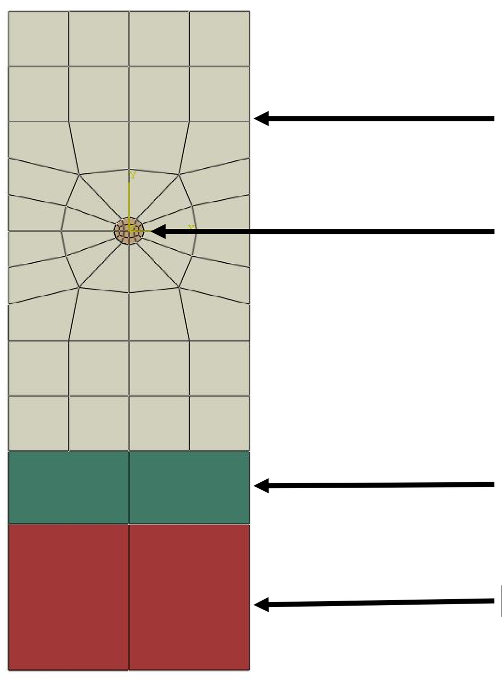
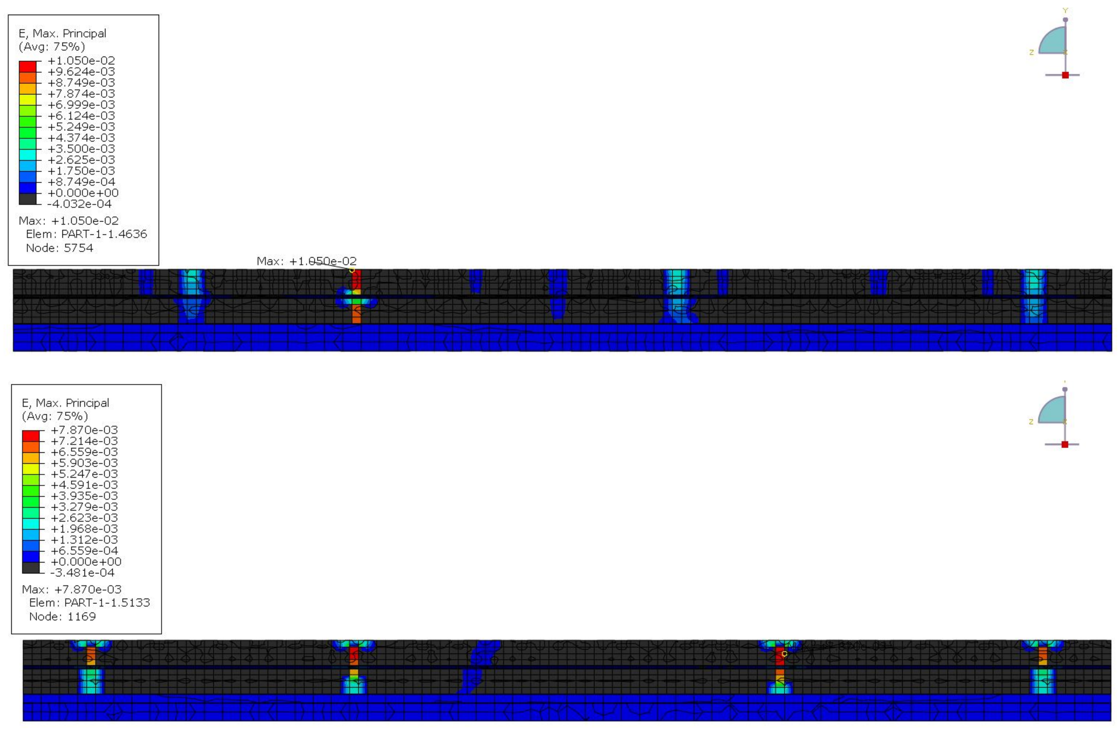


Fig. 3 시험도로 연속철근 콘크리트 포장 단면

- GFRP의 부착강도는 Rebar의 형태 및 코팅 상태에 따라 Steel의 약 70~90%의 값을 가지는데 본 연구에서는 70%의 값을 적용하였다.
- Rebar의 종류에 따른 해석 결과는 Fig. 4와 같다. Rebar에 발생한 최대 응력은 Steel이 GFRP에 비해 4배정도 높게 분석되었다.
- 균열간격의 경우 Steel로 보강된 포장이 GFRP로 보강된 포장에 비해 넓은 것으로 나타났으나 두 경우 모두 일반적인 균열간격의 범위인 1~2m를 만족하였다. 최대 균열 폭은 Steel로 보강된 포장은 0.7mm, GFRP로 보강된 포장은 0.6mm로 Steel의 경우가 상대적으로 높은 것으로 분석되었다.



(a) Steel

(b) GFRP

Fig. 4 Rebar의 종류에 따른 연속철근 콘크리트의 균열발생 경향

3. 결론

- 본 연구는 Rebar의 종류를 고려한 연속철근 콘크리트 포장의 유한요소해석 모형을 개발하고자 하였으며 포장에 발생하는 균열 해석을 위해 CDP Model을 적용하였다.
- 일반 연속철근 콘크리트 포장에 대한 해석을 실시하여 모델의 균열 해석 능력을 검증하였으며, Rebar의 종류에 따른 재료의 물성 차이를 고려하여 연속철근 콘크리트의 균열발생 경향을 분석하였다.