UT-CRBCO 설계법 개발을 위한 유한요소해석 모형 개발

박해원[1] · 이재훈[2] · 김유경[3] · 임진선[4] · 나계주[5] · 정진훈[6*]

Park Hae-Won [1], Lee Jae-Hoon[2], Kim Yu-Kyung[3], Lim Jin-Sun[4], Na Kye-Joo[5], Jeong Jin-Hoon[6*]

[1] 정회원, 인하대학교 스마트시티공학과 박사과정 (czess@naver.com), [2] 정회원, 인하대학교 스마트시티공학과 박사과정 (leejaehoon9@naver.com),
[3] 학생회원, 인하대학교 사회인프라공학과 학부과정 (papz032@nate.com), [4] 정회원, 삼우IMC 기술연구소 소장 · 공학박사 (coreplay@hanmail.net)
[5] 정회원, 인하대학교 토목공학과 박사과정, 평화엔지니어링 해외개발본부 상무 (foremans@naver.com), [6*] 정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 교수 (jhj@inha.ac.kr) – *교신저자

1. 배경 및 목적

연구 배경

- 설계수명 20년을 초과하여 공용된 한국 고속국도 노후 콘크리트포장의 연장은 2015년 1,150km/차로에서 2025년 6,662km/차로까지 5배 이상 증가할 것으로 예측되고 있으며 노후 콘크리트포장 구간에 대한 유지보수 비용도 유사한 비율로 증가할 것으로 예측되고 있다.
- 공용년수가 20년을 초과한 노후 콘크리트 포장의 경우 부분단면 보수 등 국부적인 보수만으로는 포장의 공용성능 회복이 어려우며 일부 구간들에 대해서는 대규모 개량공사가 필요한 상황이다.
- 현재 노후 콘크리트 포장에 가장 많이 적용되고 있는 개량공사 방법은 아스팔트 덧씌우기 포장이 있으나 반사균열 문제, 콘크리트 포장에 비해 상대적으로 짧은 재포장 간격 등의 문제가 있다.

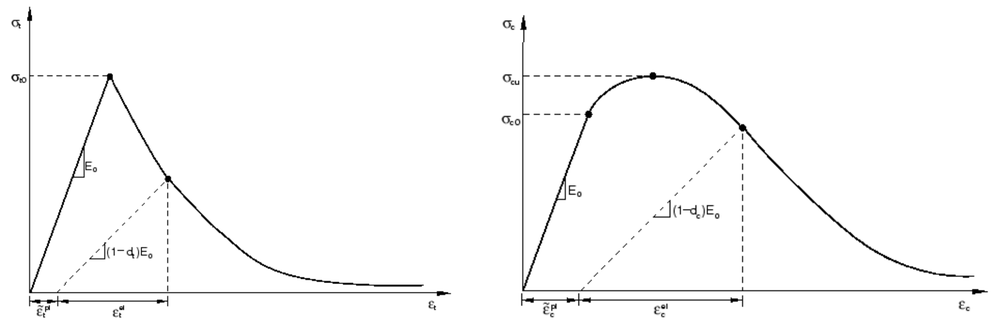
연구 목적 및 방법

- 본 연구에서는 얇은 접착식 연속철근콘크리트 덧씌우기(UT-CRBCO; Ultra Thin Continuously Reinforced Bonded Concrete Overlay) 포장에 대한 거동 해석을 위해 상용 유한요소해석 프로그램을 사용해 덧씌우기 포장의 응력집중과 균열발생 경향 등을 분석하고자 하였다.
- 유한요소해석 모형의 해석능력을 검증하기 위해 균열간격 등에 대한 자료가 존재하는 일반 연속철근콘크리트 포장에 대한 해석을 먼저 수행하여 모형의 입력물성 등을 결정하였으며, 연속철근콘크리트 덧씌우기 포장 해석모형에 해당 물성을 적용하여 균열발생 간격 등을 검토하였다.

2. 연구내용

연속철근콘크리트 포장 균열해석 방법 결정

- 일반적으로 줄눈콘크리트 포장에 대한 유한요소해석을 수행할 때 포장의 거동 특성에 따라 콘크리트 재료를 강체(Rigid body)로 정의하고 환경하중이나 교통하중 등에 따라 포장에 발생하는 응력에 초점을 맞춰 해석을 수행한다.
- 하지만 연속철근콘크리트 포장의 경우 줄눈이 따로 존재하지 않아 시공 후 시간이 지남에 따라 균열이 발생하며, 연속철근콘크리트 포장에 대한 해석시 콘크리트 포장에 발생하는 균열에 대한 고려가 필요하다.
- 상용유한요소해석 프로그램을 이용한 콘크리트 균열 해석에는 Mohr-Coulomb model, Drucker-Prager model, Cohesive Zone Model(CZM), Concrete Damaged Plasticity(CDP) model, 확장유한요소법(XFEM; Extended Finite Element Method) 등이 적용될 수 있다.
- 연속철근콘크리트 포장에 대한 균열해석에는 환경하중(정적하중) 뿐 아니라 동적하중(교통하중)의 해석에 대한 해석을 고려하기 적절할 것으로 판단되는 CDP model을 모형을 적용하고자 하였다 . Figure 1은 CDP 모형의 인장, 압축거동을 나타낸 것이다.

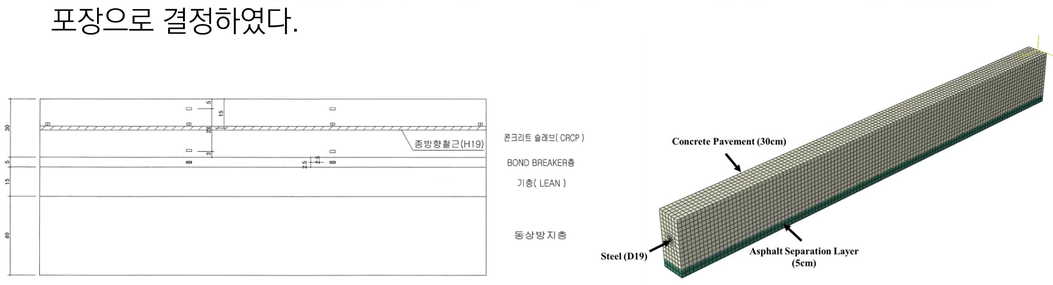


(a) 인장 (b) 압축

Figure 1. CDP 모델의 인장 압축거동

일반 CRCP 포장 해석을 통한 입력물성 결정

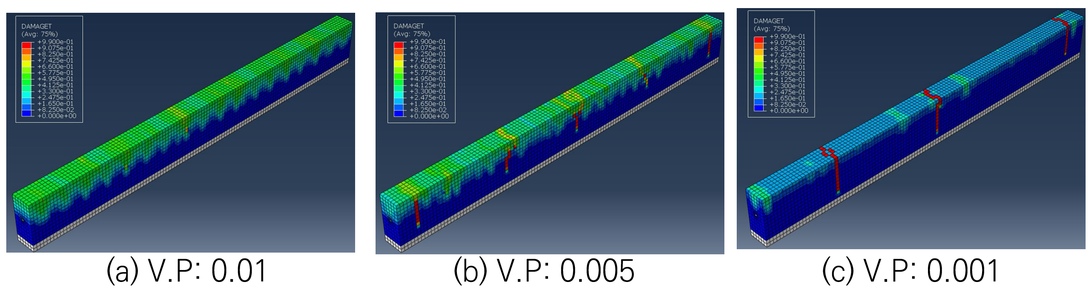
- CRCP 포장에 대한 유한요소해석에서는 해석이 실제 포장에 발생하는 균열간격이나 균열 폭 등을 제대로 모사할 수 있는지에 대한 검증이 필요하며, 해석수행에 적용하는 Parameter에 대한 검증이 필요하다
- UT-CRBCO의 경우 실제 시험시공 사례가 적고 해석으로 검증할 수 있는 현장데이터가 부족한 상황이기 때문에 일반 CRCP 포장에 대한 해석을 먼저 수행하여 균열모사 해석에 대한 검증을 실시하고자 하였다.
- 대상 CRCP 포장 단면은 한국도로공사의 시험도로에 시공된 30cm 연속철근콘크리트 포장으로 결정하였다.



(a) 시험도로 CRCP 포장 종단면도 (b) 일반 CRCP포장 유한요소해석모형

Figure 2. 해석대상 일반 CRCP 포장의 종단면도 및 해석모형

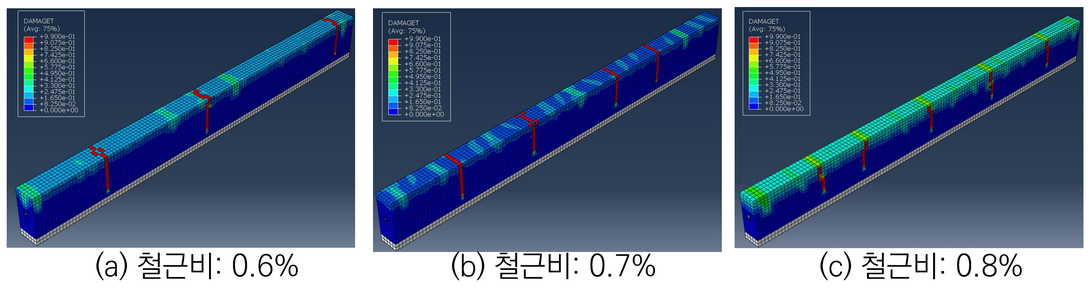
- CRCP 포장의 균열 모사를 위한 인장강도는 3.15MPa로 고정하고 CDP model의 균열해석 주요 parameter인 viscosity parameter를 조정하여 모사해석을 수행하였다.
- Figure 3은 철근비 0.6%의 30cm CRCP 포장에 viscosity parameter를 조정하여 해석을 수행한 결과이다.



(a) V.P: 0.01 (b) V.P: 0.005 (c) V.P: 0.001

Figure 3. 일반 CRCP 포장의 Viscosity parameter에 따른 균열간격 해석결과

- 해석을 수행한 결과 Figure 3(c)의 조건에서 평균 균열간격 1.5m, 평균 균열폭 0.2mm로 해석 되었다.
- FHWA와 AASHTO에서 제시하고 있는 일반적인 CRCP 포장의 균열간격은 1.0 ~ 2.0m로 해석결과가 해당 범위는 내에 해당된다. 또한 균열 폭 역시 AASHTO에서 제시하고 있는 최대균열폭 0.5mm 이내로 확인되었다.
- 동일조건의 한국도로공사 시험도로 CRCP 포장에서 발생한 평균 균열간격인 1.7m로 0.2m 내외의 간격 차이가 있었다.
- 해석의 적정성을 재평가하기 위해 철근비에 따라 해석을 추가 수행하였으며 결과는 Figure 4와 같다. 해석결과는 일반적인 CRCP의 균열 발생 패턴과 같이 철근비 증가에 따라 균열발생 간격이 좁아지고 균열폭이 좁아지는 것으로 확인되었다.



(a) 철근비: 0.6% (b) 철근비: 0.7% (c) 철근비: 0.8%

Figure 4. 철근비에 따른 균열간격 해석결과

UT-CRBCO 해석 모형 개발

- 일반 CRCP 포장에 대한 해석결과를 바탕으로 기본 입력물성을 결정하였으며, UT-CRBCO의 균열발생 패턴을 확인하기 위해 12m의 UT-CRBCO 유한요소모형을 개발하였다.

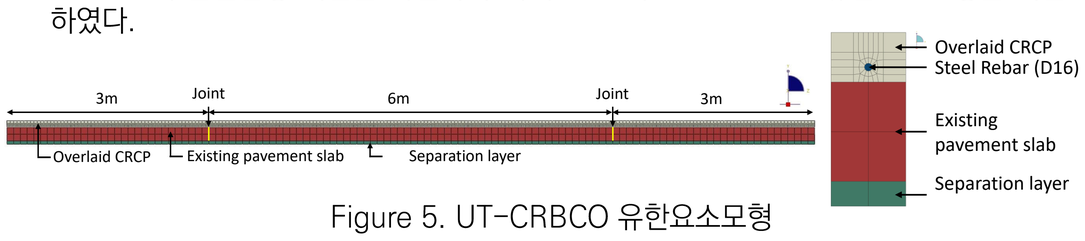


Figure 5. UT-CRBCO 유한요소모형

- CRBCO는 줄눈콘크리트 포장 위에 시공되며 이에 따라 반사균열의 발생가능성이 높다. 그러므로 반사균열과 횡방향 균열의 발생 패턴을 확인하기 위해 2개의 줄눈을 반영할 수 있는 12m 길이의 길이를 적용하여 해석을 수행하였다.

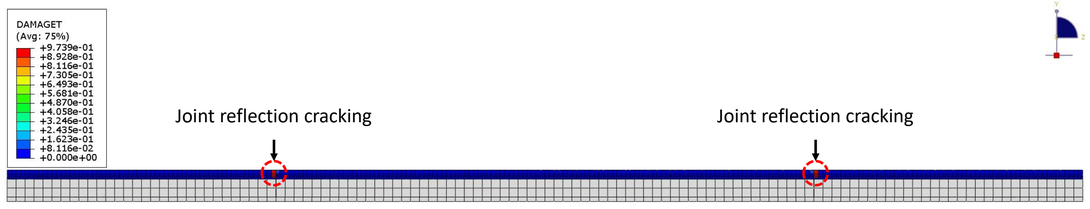


Figure 6. UT-CRBCO 해석결과

- CRBCO의 균열발생 해석결과는 Figure 6과 같으며, 기존 슬래브의 줄눈부 위에서 반사균열 2개가 발현된것 이외에 균열이 발생하지 않았다. 균열폭은 0.15mm로 해석되었다.

3. 결론

- 본 연구에서는 UT-CRBCO 해석을 위한 유한요소해석 모형을 개발하고자 하였으며 콘크리트 포장에 발생하는 균열을 해석하기위해 CDP(Concrete Damaged Plasticity) model을 적용하였다.
- 먼저 일반 CRCP 포장에 대한 모형개발 및 해석을 수행하여 CDP model을 적용하여 CRCP 포장의 균열발생을 충분히 해석할 수 있는지에 대한 검증을 수 행하였다. 한국도로공사의 시험도로에 시공된 30cm의 CRCP 포장을 대상으로 해석을 수행하여 CDP model의 paramete를 결정하고 해석 능력을 확인하였다.
- 줄눈콘크리트 포장 위에 시공되는 UT-CRBCO에 발생하는 균열패턴을 분석한 결과 반사균열이외의 균열이 발생하지 않았음을 확인하였다. 실제 UT-CRBCO의 시공사례와의 비교분석을 실시하여 해석모형에 대한 검증 및 보정을 실시할 계획이다.

4. 감사의 글

- 본 연구는 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 도로기술연구사업『도로수명연장을 위한 고기능성 콘크리트 포장유지보수 실용화기술개발(과제번호: 21POQW-B146707-04』의 연구지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

ROAD & AIRFIELD LAB 인하대학교 INHA UNIVERSITY