

탄소나노재료를 혼입한 급속경화궤도의 겨울철 시공성 검토를 위한 발열성능 및 교량 상호작용 분석

Thermal performance and bridge interaction analysis for constructability of quick hardening track mixed with carbon nano-material on winter

조상현*, 이희영**, 신양섭*, 박소현*, 정원석*†

Sanghyeon Cho*, Heeyoung Lee**, Yangsub Shin*, Sohyeon Park*, Wonseok Chung**†

초 록 기존의 자갈궤도에 급속경화 모르타르를 주입하여 단시간 내에 경화되는 급속경화궤도는 교량상에 부설될 시 겨울철 폭설로 인하여 문제가 발생할 수 있다. MWCNT (multi-walled carbon nanotube)와 같은 탄소나노재료는 콘크리트에 혼입할 시 구조물의 발열성능을 확보할 수 있다. 따라서 본 연구는 탄소나노재료를 혼입한 나노 콘크리트 복합체에 발열성능을 분석하여 MWCNT가 혼입된 급속경화궤도의 겨울철 시공 가능성을 분석하였다. 또한, 본 연구는 상호작용해석을 수행하여 MWCNT를 교량상 급속경화궤도에 도입할 시 발열에 따른 레일부가응력을 분석하고, 급속경화궤도의 안전성을 검토하였다.

주요어 : 급속경화궤도, 탄소나노재료, 발열성능, 상호작용해석, 레일부가응력

1. 서 론

기존의 자갈궤도는 부설 후 궤도틀림이 발생하여 지속적인 유지 및 보수 작업이 필요하다. 급속경화궤도는 이를 개선하기 위하여 자갈궤도에 급속경화 모르타르를 주입하여 단시간 내에 시공되도록 개발되었다. 이러한 급속경화궤도는 교량상에 부설될 시 겨울철 폭설로 인하여 빙결 문제가 유발될 수 있다. 교량상에서 폭설로 인한 빙결 문제가 발생할 경우에는 열차 운행에 차질이 발생한다. 최근 국내에서는 구조물의 빙결 현상을 해결하기 위하여 콘크리트에 MWCNT (multi-walled carbon nanotube)와 같은 탄소나노재료를 혼입하여 발열성능을 확보하는 연구를 진행하고 있다.

나노 콘크리트 복합체의 발열성능을 분석하여 교량상 급속경화궤도에 대한 겨울철 시공 가능성을 파악하고자 한다. 또한, 본 연구는 상호작용해석을 수행하여 교량상 급속경화궤도에 MWCNT를 도입하여 발열을 발생시킬 시 레일부가응력을 분석하고, 급속경화궤도의 안전성을 검토하고자 한다.

2. 발열성능 실험

나노 콘크리트 복합체는 포틀랜드 1종 시멘트, KSL ISO 679 표준사, 굵은 골재, 그리고 MWCNT를 혼입하였다. 굵은 골재는 ASTM C 33에 따라 치수가 4.75 ~ 9.50 mm인 골재를 사용하였다. 복합체 크기는 100 x 100 x 60 mm³로 설정하였으며, 양생일은 28일이다. 매개변수인 MWCNT 농도는 0.0, 0.25, 0.5, 1.0wt%로 구분하였으며, 공급 전압은 30, 60 V로 설정하였다.

† 교신저자: 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 (wschung@khu.ac.kr)

* 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과

** 조선대학교 공과대학 토목공학과

이러한 이유로 본 연구는 MWCNT가 혼입된 나

Table 1 Results of test and FE-analysis.

| Name | MWCNT concentraion (wt%) | Supply voltage (V) | Maximum temperature variation (°C) | Additional rail axial stress (MPa) |
|-----------|--------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| C0.0-30V | 0.0 | 30 | 0.2 | 0.02 |
| C0.25-30V | 0.25 | 30 | 2.1 | 0.21 |
| C0.5-30V | 0.5 | 30 | 4.3 | 0.42 |
| C1.0-30V | 1.0 | 30 | 11.8 | 1.12 |
| C0.0-60V | 0.0 | 60 | 0.2 | 0.02 |
| C0.25-60V | 0.25 | 60 | 5.1 | 0.50 |
| C0.5-60V | 0.5 | 60 | 14.2 | 1.35 |
| C1.0-60V | 1.0 | 60 | 43.8 | 3.07 |

3. 상호작용해석

본 연구는 실험결과를 바탕으로 MWCNT가 혼입된 급속경화케도의 발열에 따른 안전성을 분석하기 위하여 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS (2019)를 활용한 상호작용해석을 수행하였다. 상호작용해석은 조상현 등 (2018)에서 제시한 레일 길이 100 m, 교량 길이 40 m인 유한요소모델을 활용하여 수행하였다.

4. 실험 및 해석 결과

Table 1은 발열성능 실험 및 상호작용해석 결과이다. 실험 분석결과, 나노 콘크리트 복합체는 MWCNT 혼입 농도가 높아질수록 최대 온도 변화량이 증가하였다. 전압을 30 V 공급할 시 나노 콘크리트 복합체의 최대 온도 변화량은 11.8 °C이며, 전압을 60 V 공급할 시 최대 온도 변화량은 43.8 °C인 것으로 분석되었다.

발열성능 실험을 바탕으로 상호작용해석을 수행하였을 시 교량상 급속경화케도의 레일부가응력은 최대 3.07 MPa이 발생하였다. 따라서 본 연구는 레일부가응력이 KR C-14050에서 제시한 허용치 92.0 MPa 이하로 발생한 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구는 나노 콘크리트 복합체의 발열성능 실험을 수행하였고, 이를 상호작용해석에 반영하여 MWCNT가 혼입된 교량상 급속경화케도의 시공 가능성 및

안전성을 검토하였다.

- 1) 콘크리트에 MWCNT를 혼입한 경우에는 혼입 비율이 증가함에 따라 발열성능이 최대 59배 상승하였다. 따라서 MWCNT를 혼입한 급속경화케도는 겨울철에 시공하여도 0 °C 이상을 유지할 수 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 발열성능 실험 결과를 바탕으로 상호작용해석을 수행하였을 시 MWCNT가 혼입된 교량상 급속경화케도는 최대 레일 부가응력이 3.07 MPa 발생하였다. 이러한 이유로 MWCNT를 혼입한 급속경화케도는 발열이 발생하여도 레일 부가응력이 허용치인 92.0 MPa 보다 낮게 측정되어 안전한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 연구비 지원 (2020R1C1C1005448, 2021R1A2C1011517)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 조상현, 이일화, 정원석, 이희영, 이경찬 (2018) 앵커와 마찰의 영향을 고려한 교량상 급속경화케도의 케도-교량 상호작용해석, 한국전산구조공학회 논문집, 31(1), pp. 53-61.
- [2] H.Y. Lee, S.H. Park, S.H. Cho, W.S. Chung (2020) Correlation analysis of heating performance and electrical energy of multi-walled carbon nanotubes cementitious composites at sub-zero temperatures, Composite Structures, 238, 111977.