

근적외선과 열화상 기법을 이용한 FRP시트 보강 콘크리트 비부착 결함 검출

Nondestructive Evaluation of Fiber-Reinforced Polymer-Concrete Bond Using Infrared Thermography and Near Infrared Heating

심준기* · 지광습** · 이종세***

Sim, Jun gi · Zi, Goangseup · Lee Jong seh

1. 서론

섬유시트로 보강된 콘크리트의 경우, 섬유시트와 콘크리트 사이의 비부착 결함은 인장력을 발휘하는 섬유시트의 보강 효과를 현저히 떨어뜨린다. 이러한 문제점을 해결하기 위해선 비부착 결함을 조기에 발견하고 보수하는 것이 중요하다. 최근 들어 콘크리트 구조물의 안정성을 비파괴적이고 비접촉적이며 빠르고 정확하게 검출할 수 있는 방법에 대한 연구가 활발하게 진행 중에 있다. 이러한 비파괴 검사 기법으로 상기의 요구 조건을 만족시키는 것으로 열화상 기법이 최근 각광받고 있다. 열화상 기법은 외부에서 대상 물체에 동일한 열이 가해 졌을 때, 서로 다른 성질의 대상 물체는 상이한 적외선이 방출되는 차이로 결함을 검출하는 기법이다[2]. 이러한 열화상 기법을 적용하기 위한 가열 방법에는 크게 자연 상태의 열을 이용한 방법과 인위적으로 열을 가하는 방법이 있다[5]. 자연광을 이용한 경우, 인공 열원과 다르게 비교적 깊은 결함을 검출할 수 있는 반면 불규칙한 온도 변화와 주변 환경의 영향을 받아 빠른 검사로는 부적합하다. 그러나 인공 열원을 사용시, 일정한 온도로 대상 물체를 가열하고 열원에 따라 검사 시간이 단축될 수 있다[1]. 이러한 이유로 최대한 빠른 시간에 대상 물체의 결함을 검출할 수 있는 열화상 기법이 필요하다. 이에 빠른 열화상 기법을 위해 할로겐램프, 원적외선램프, 마이크로웨이브 등과 같은 다양한 열원으로 사용한 선행 연구가 있다[4,5]. 본 실험에서는 콘크리트와 FRP시트 사이의 비부착 결함을 검출함에 있어 기존 선행 연구와 다르게 에너지는 원적외선에 비해 작지만 파장이 가시광선에 가까운 780~2,500nm의 근적외선을 열화상 기법의 열원으로 사용하였다[2].

2. 실험 개요

본 실험의 목적은 다양한 크기의 FRP시트와 콘크리트 사이의 비부착 결함을 빠르게 검출하기 위한 열화상 기법을 제시하는 것이다. 이에 표 1과 같은 고감도 열화상 카메라와 열원의 온도가 0.1초 이내에 약 1,900℃까지 상승되는 1,800W급 근적외선 히터가 열원으로 사용되었다.

표 1. 열화상카메라(A40M) 사양

순간 시야 각(mrad)	온도 민감도(℃)	스펙트럼 범위(μm)	이미지 주파수(Hz)
1.3	30에서 0.08	7.5 ~ 13	50 또는 60

* 학생회원 · 고려대학교 건축사회환경공과 석박사통합과정 · E-mail : sjk0605@korea.ac.kr

** 정희원 · 고려대학교 건축사회환경공과 부교수 · 공학박사 · E-mail : g-zi@korea.ac.kr

*** 정희원 · 한양대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : jonglee@hanyang.ac.kr

2.1 시험 공시체 제작

본 실험에서 사용된 시험 공시체는 그림 1과 같다. 지름 2, 4, 6, 8cm의 비부착 부위에 두께가 약 0.5mm인 CFRP시트와 약 1.0mm인 GFRP시트로 각각 보강된 콘크리트 시험체를 제작하였다. FRP시트로 보강된 콘크리트 시험체의 표면은 FRP 방사율의 영향을 최소화하기 위해 흑색 락커로 도료하였다[3]. 이 때, 쓰인 콘크리트는 골재 최대 치수 20mm, 물시멘트비 55%, 슬럼프 11cm로 보통 콘크리트를 사용하였다[1].

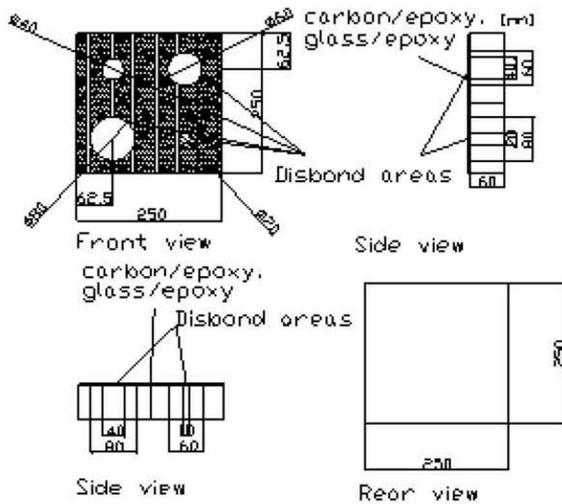


그림 1 FRP시트 보강 콘크리트 시험체



그림 3 열화상 기법 적용 실험

2.2 FRP시트와 콘크리트 표면 사이의 비부착 결함 측정 방법

열화상 기법 적용을 위한 FRP시트 표면 가열은 높은 온도로 인하여 FRP시트가 손상될 수 있다. ACI코드에서는 FRP시스템에서 허용 가능한 온도를 60~82°C로 정하였다[7]. 이에 본 실험에서는 대상 시험체의 온도를 60°C로 이하로 하였다. 근적외선 히터와 열화상 카메라는 시험체로부터 수평거리로 84cm 떨어진 위치시키고 시험체 가열 시간은 180초로 하며 근적외선 히터와 열화상 카메라는 그림 2와 같이 동시에 작동하였다. 열화상 실험 결과는 주변 온도의 변화에도 일정한 온도 변화 상태를 판단할 수 있는 상대적인 온도를 이용한 무차원 그래프가 이용되었다[1,2].

$$\Delta T = \frac{T_s - T_d}{T_s} \quad (1)$$

식(1)에서 T_d 는 공극 위치의 온도를 나타내며 T_s 는 공극 주변의 온도를 나타낸다. ΔT 는 상대적인 무차원 온도 변화이다.

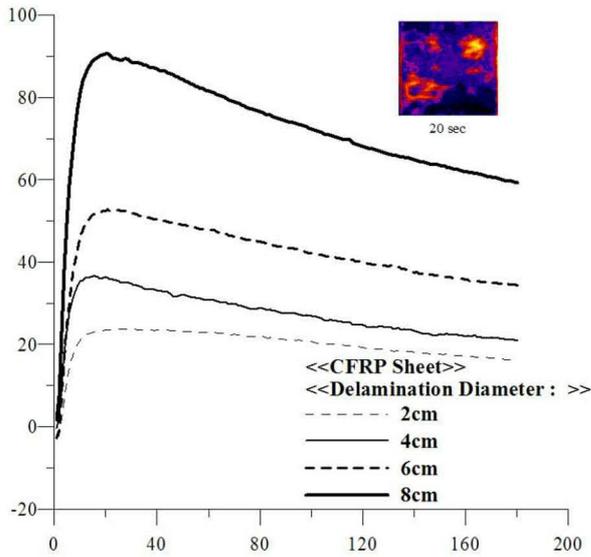


그림 3 CFRP시트보강 콘크리트
무차원 그래프

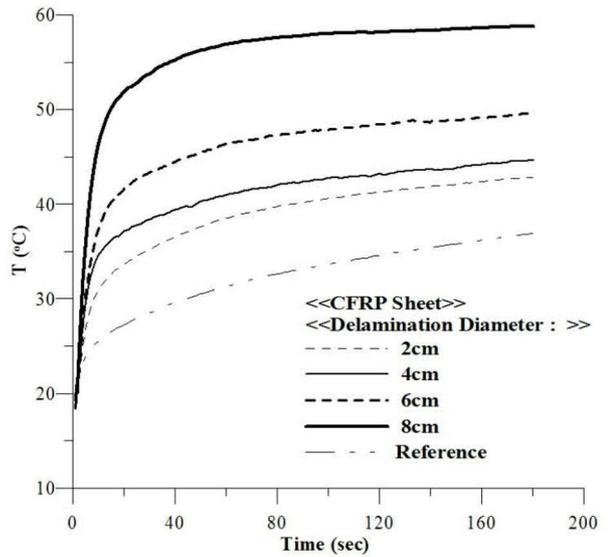


그림 4 CFRP시트보강 콘크리트
표면온도 그래프

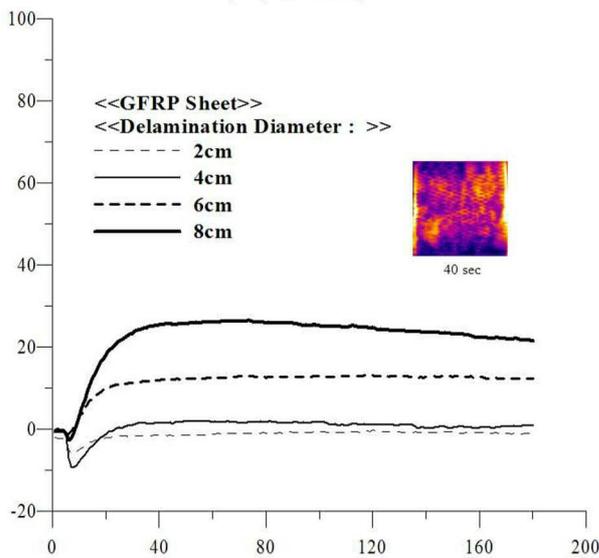


그림 5 GFRP시트보강 콘크리트
무차원 그래프

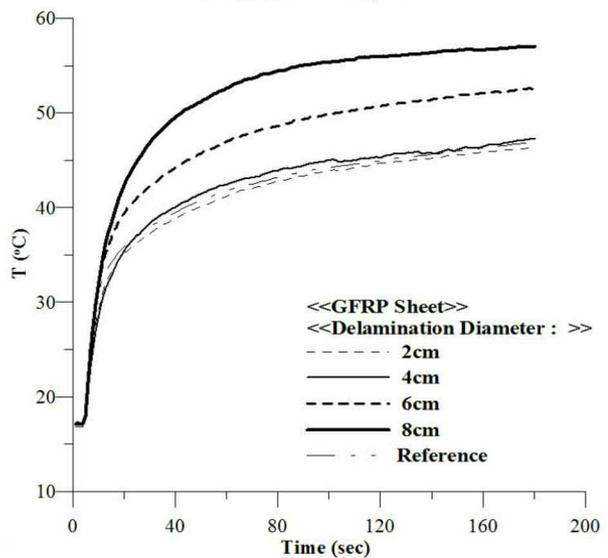


그림 6 GFRP시트보강 콘크리트 표면온도
그래프

3. 결론 및 토의

본 연구에서는 FRP보강 콘크리트의 비부착 결함을 근적외선 히터를 이용한 열화상 기법으로 검출하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 그림 3과 같이 CFRP시트 보강 콘크리트의 비부착 결함 검출에서는 결함 크기가 클수록 열화상 응답률이 높았다. 각 비부착 부위의 실제 온도 분포에서도 그림 4과 같이 결함이 존재하는 곳의 크기가 클수록 표면온도가 높았다.
2. GFRP시트 보강 콘크리트의 경우도 그림 5와 그림 6에서와 같이 비부착 결함 부위의 크기가 클수록 열화상 응답과 표면 온도가 높았다. 근적외선을 이용한 열화상 기법 적용 결과, GFRP시트 보강 콘크리트보다 CFRP시트 보강 콘크리트의 결함 검출이 높았다.

3. 근적외선 히터 가열과 동시에 약 20초 이내에 CFRP보강 콘크리트 시험체의 비부착 결함을 식별할 수 있었고 GFRP보강 콘크리트 시험체의 비부착 결함은 약 40초 이내에 식별되었다.

본 연구에서 수행된 근적외선을 이용한 열화상기법은 FRP시트보강 콘크리트의 비부착 결함을 20초에서 40초 이내로 빠르게 검출하였다. 그러나 본 기법이 일반적으로 쓰이는 다른 열원과 비교하여 성능이 우수한 것인가에 대한 검토는 할로겐램프나 원적외선램프 그리고 자연광과 같은 다른 열원과 동일한 전력과 광도로 비교 실험이 필요하다. 또한 근적외선을 열원으로 사용한 열화상 기법의 적용성을 판단하기 위해선 FRP시트보강 콘크리트의 비부착 결함뿐 아니라 콘크리트의 내부 공극이나 철근콘크리트 구조물의 균열 또는 부식도 등에 대한 기법적용이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업 “레이더와 열화상 카메라를 이용한 콘크리트 비파괴시스템 개발”(과제번호: 05 첨단융합 B01)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. 심준기, 지광습. (2007) 콘크리트의 내부 공극 결함 진단을 위한 최적 서모그래피 기법 적용, 2007년도 대한토목학회 정기 학술대회, 3072-3075.
2. 안태호, Kanada, H., Uomoto, T. (2006) 근적외선 분광법에 의한 콘크리트 진단방법, 콘크리트학회지 제 18권 3호.
3. 지광습. (2007) 레이더와 열화상 카메라를 이용한 콘크리트 비파괴 검사 시스템 개발, 교량검사로봇개발사업단 2차년도 연구보고서.
4. Carosena, M. and Giovanni, M. C. (2004). Recent advances in the use of infrared thermography, *Measurement science & technology*, R27-R58.
5. Kamoi, A. Okamoto, Y. Vavilov, V. (2004). Study on detection limit of buried defects in concrete structures by using infrared thermography, *Key engineering materials*, pp.270-273: 1549-1555, Part 1-3.
6. Meola, C. Carlomagno, G. M. (2006). Application of infrared thermography to adhesion science, *Journal of adhesion science and technology*, pp.589-632.
7. ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE 2005 PART 5 ACI 440.2R-4.