

마이크로웨이브와 열화상 카메라를 이용한 콘크리트 내부 결함 검출 비파괴 검사법 연구

Non-destructive evaluation technology using infrared thermography
and micro waves for detecting inside-defects of concrete structures

심준기* 박진형** 지광습***
Sim, Jun Gi Park, Jin Hyung Zi, Goangseup

ABSTRACT

Microwave power as an alternative to the conventional heating technique for thermography-NDT is tried in this paper. A concrete specimen containing a defect was heated on a microwave chamber before the thermography-NDT technique was applied. It was found that microwave power could heat up the concrete specimen in very short time compared to others conventional methods like lamps, heat flow, etc.

1. 서론

열화상 카메라를 이용하여 콘크리트 내부의 결함을 검출하기 위해서 서모그래피법을 사용했다. 서모그래피법은 외부에서 대상 물체에 열을 가하였을 때 발생하는 적외선 방출 차이를 이용해 내부 결함을 식별한다. 이러한 서모그래피법을 적용하기 위한 가열 방법에는 크게 자연 상태의 열을 이용한 방법과 인위적으로 열을 가하는 방법이 있다. 본 연구에서는 외부 환경 요건에 구속되지 않게 서모그래피법을 적용하기 위하여 대상 물체에 인위적으로 열을 가하는 방법을 이용하였다. 본 연구와 유사한 선행 연구로는 램프를 이용해서 콘크리트 표면에 열을 가하여 콘크리트 내부 결함을 검출한 연구[2]가 있다. 본 연구에서는 기존 선행 연구와 다르게 단시간에 큰 온도상승을 유도할 수 있는 마이크로웨이브를 이용하였고 이로 인해 발생하는 열을 이용하여 콘크리트 표면에 열을 가하여 콘크리트 내부 결함을 검출한다. 그리고 불균등한 가열로 인한 열화상 결과에 대한 이미지 분석을 통하여 열화상 분석이 가능한지에 대한 여부를 정량적인 방법으로 제시한다.

* 정회원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 석박사통합과정

** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정

*** 정회원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 조교수

2. 실험 개요

이 연구에서는 콘크리트 시험 공시체의 내부에 인공적인 공극을 도입하고, 서모그래피법을 사용하여 내부 결함을 측정하는 실험을 하였다.

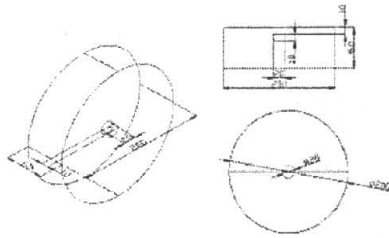
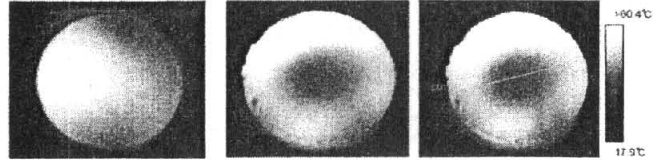


그림 1 시험체 모형

표 1 열화상 카메라 사양

순간 시야 각(IFOV)	온도 민감도	스펙트럼 범위	이미지 주파수
1.3mrad	0.08℃ at 30℃	7.5 to 13μm	50/60Hz



(a)

(b)

그림 2 (a) 지름 20cm에 높이 6cm인 결함이 없는 기준 공시체 (b) 지름 20cm에 높이 6cm인 공극이 있는 공시체에 대한 열화상 결과

2.1 시험 공시체의 제작

서모그래피법을 적용하기 위하여 그림 1과 같은 원형 판을 제작하여 내부에 작은 공극을 생성시켰다. 내부 결함은 지름 2cm에 높이 1cm인 원형 판 형태로 정하였으며 시험 공시체의 크기는 지름 20cm에 높이 6cm이며 공극의 위치는 시험 공시체 표면으로부터 1cm으로 떨어진 곳이다. 이 때, 공극은 시험 공시체의 정중앙에 있는데, 이는 거푸집 중앙에 설치한 지름 1cm의 파이프 상단에 공극과 같은 크기의 스티로폼을 부착한 후, 콘크리트를 타설하고, 28일 양생 후, 파이프를 제거한 부분을 통해 MEK(methyl ethyl ketone)를 주입하여 스티로폼 부분을 제거함으로써 공극을 생성하였다. 여기서 시험 공시체는 골재 치수 20mm, 물시멘트비 55%, 슬럼프 11cm로 보통 콘크리트를 사용하였다. 그리고 내부 공극 측정을 위해 사용된 열화상 카메라의 사양은 표 1과 같다.

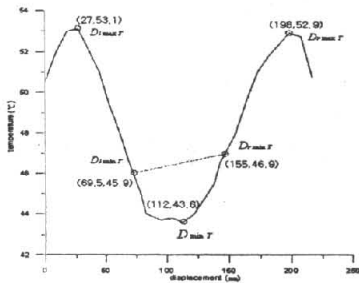
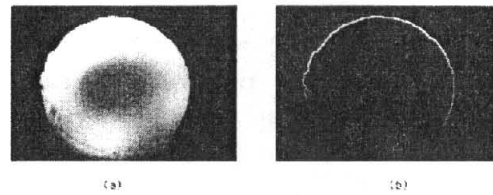


그림 3 열화상 데이터 그래프



(a)

(b)

그림 4 (a)GRAY 영상 처리 (b)GRAY 영상 처리 후 Prewitt 마스크 영상 처리

2.2 내부 공극의 측정 방법

그림 1에 나타난 형상을 429×430×229mm(가로×깊이×높이)의 내부 공간을 갖는 마이크로웨이브 오븐에 넣어 주파수 2450MHz에 800W로 5분 동안 가열하였다. 5초 후 시험 공시체 표면과 30cm 떨어진 위치에서 열화상 카메라를 이용하여 온도 변화를 측정하였다. 그림 2는 내부 공극이 없는 시험 공시체와 공시체 표면으로부터 1cm에 공극이 있는 시험 공시체의 온도 변화이다. 온도 변화는 그림 3에서와 같이 공극이 위치한 시험 공시체 중앙부의 온도가 주변 온도에 비해 낮게 나타났다. 그림 2(b)의 총거리 216mm인 L01구간의 온도데이터를 그림 3의 구간 0mm부터 216mm까지에 나타내었다. 이 구간에서 최대 온도 분포 점과 최소 온도 분포 점 사이의 중간 값(69.5mm, 155mm)을 찾을 수 있었고, 이 두 중간 값의 차이인 85.5mm에 실제 200mm에서 216mm를 나눈 0.93을 곱하여 실제 길이 79.17mm을 얻을 수 있다. 실제 공극의 크기는 20mm이므로, 실제 공극 크기인 20mm에 79.17mm을 나누어 나온 0.253을 열화상 데이터에 곱하면 실제 공극 지름을 예측할 수 있는 정량적인 식을 구할 수 있다. 다음은 정략적인 식을 나타낸다.

$$F_{de}(D_{lmaxT}, D_{rmaxT}) = \alpha\beta\gamma(D_{rmaxT} - D_{lmaxT}) \quad (1)$$

$$D_{rminT} = \gamma(D_{rmaxT} - D_{minT})$$

$$D_{lminT} = \gamma(D_{minT} - D_{lminT})$$

$$D_{real} = \beta(D_{rminT} - D_{lminT})$$

$$F_{de} = \alpha D_{real}$$

$\alpha = 0.253$: 실제 공극 지름을 구하기 위한 계수

$\beta = 0.93$: 실제 길이를 구하기 위한 보정 계수

$\gamma = 0.5$: 중간길이를 구하기 위한 계수

식(1)에서 F_{de} 는 D_{lmaxT} 와 D_{rmaxT} 를 변수로 입력받아 공극 높이 1cm와 공극 깊이 1cm인 그림 1과 같은 크기의 시험 공시체에 대한 실제 내부 공극의 지름이다. 그림 3의 D_{minT} 는 그래프 중앙의 최소 온도에 해당하는 그림 2에 있는 L01의 거리 값이고 D_{lminT} 와 D_{rminT} 는 각각 최대 온도 분포 점과 최소 온도 분포 점 사이의 중간 값이다. D_{lmaxT} 는 그림 3에 있는 그래프 왼쪽의 최대 온도에 해당하는 L01의 거리 값이며 D_{rmaxT} 는 그림 3에 있는 그래프 오른쪽의 최대 온도에 해당하는 L01의 거리 값이다. D_{real} 는 그래프상의 길이를 실제 거리로 계산한 값이다. 그리고 불균등한 가열을 했을 때의 열화상 이미지에서 온도 편차가 큰 부분의 경계면을 강화하여 나타내는 Prewitt 마스크 법을 이용하여 그림 4에서와 같이 나타난 내부 공극 형상이 식별가능하면 식(1)을 적용한다. 예를 들면 그림 1의 시험 공시체에 대하여 그림 4에서와 같이 내부 공극 형상이 식별 가능한 경우 그림 3의 D_{lmaxT} 의 값 27과 D_{rmaxT} 의 값 198을 식(1)에 대입하여 내부 공극의 지름 20mm를 구한다.

3. 실험 결과 및 토의

그림 2에 나타난 바와 같이 열화상 정보만 이용해서는 내부 결함 식별 여부를 육안으로는 명확하게 식별하기 어려우며 그림 4와 같은 이미지 분석을 통하여 내부 결함 측정 여부 결정할 수 있었고, 그림 3에서와 같은 표면 온도 분포에 대한 그래프를 통하여 정량적인 공극 측정이 가능하였다. 그러나 마이크로웨이를 이용한 내부 공극 측정 방법을 검증하기 위해서 공극깊이별 실험과 공극 크기별 실험이 필요하며 램프를 이용한 내부 공극 측정과의 비교가 필요하다. 그리고 Prewitt 마스크 법 적용 시 나타나는 경계면에 대한 실험적 데이터베이스 구축이 요구된다.

4. 결론 및 향후 계획

마이크로웨이를 이용한 서모그래피법으로 시험 공시체의 콘크리트 내부 공극을 열화상 그래프와 Prewitt 마스크 법을 통하여 정량적인 수치 값과 이미지 형태로 나타낼 수 있었다. 차후 연구 방향은 신뢰성을 높이기 위하여 보다 많은 시험 공시체를 마이크로웨이브와 열화상 카메라를 이용하여 공극 깊이별 실험과 공극 넓이별 실험에 대한 열화상 정보를 데이터베이스화하여 나타내고 이미지처리 결과와 수치적인 데이터와의 관계를 정량화할 필요가 있다. 그리고 열전도 구조해석이 가능한 ANSYS 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과와 실제 실험결과 데이터와의 비교·분석을 통하여 서모그래피법을 적용한 실험결과에 대한 수치적인 검증도 필요하다. 마지막으로 램프를 이용한 실험[2]과 시간적인 측면에서 비교·분석이 수행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단융합건설기술개발사업 “레이더와 열화상 카메라를 이용한 콘크리트 비파괴시스템 개발”(과제번호: 05 첨단융합 B01) 및 05 기반구축 D04-01의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. Carosena, M. and Giovanni, M. C. (2004). "Recent advances in the use of infrared thermography", *Measurement science & technology*, R27-R58.
2. 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.
3. Meola, C. Carlomagno, G. M. (2006). "Application of infrared thermography to adhesion science", *Journal of adhesion science and technology*, pp.589-632.
4. Monica, A. Starnes. Nicholas, J. Carino. (2004). "Active Infrared Thermography for NDT of Concrete Structures Strengthened with Fiber Reinforced Polymer", *Society for Nondestructive Testing*, pp.56-63.