

콘크리트의 내부 공극 결함 진단을 위한 최적 서모그래피 기법 적용

Optimum NDT using infrared thermography for concretes with void defects

심준기* · 지광습**

Sim, Jun-Gi · Zi, Goangseup

1. 서론

최근 콘크리트 구조물에 대한 비파괴 검사법으로 열화상 서모그래피 기법을 활용하는 노력이 이루어지고 있다. 가장 많이 활용되는 분야는 타일의 비부착 평가이며, 국내 한국시설안전기술공단에서도 이 장비를 도입하여 적극 활용하고 있다. 하지만 토목구조물의 유지관리를 목적으로 하는 자동화 비파괴 검사 시스템에는 아직 적용이 미진한 상황이며, 타일이나 보강 시트의 박리 등의 검출 외에는 적용되지 않아 다양한 종류의 손상에 대한 적용성 검토가 필요한 상황이다. 본 논문에서는 콘크리트의 내부공극 진단법으로 서모그래피 기법을 제시하였고 서모그래피 기법 적용을 위한 최적 조건을 실험에 근거하여 제시하였다.

2. 실험 장비 구성

본 실험은 비접촉, 비파괴적인 실험으로 공극 크기와 위치가 서로 다른 시편들을 열화상 서모그래피 기법으로 검사한다. 인공 열원으로 할로겐램프(Halogen lamp), 적외선램프(Infrared lamp)를 준비하였으며 열화상카메라 사양은 표 1에서와 같이 온도 민감도 성능이 높은 제품을 사용하였다. 그리고 본 실험에서 쓰인 콘크리트는 골재 치수 20mm, 물시멘트비 47%, 슬럼프 8cm로 호칭 강도 27MPa의 보통 콘크리트를 사용하였다. 그밖에 제어 장치로 팬티엄4급의 윈도우XP인 노트북을 사용하였다. 그리고 삼각대를 이용하여 열화상카메라와 시험체 사이의 거리를 일정하게 유지하였다.

3. 실험 방법

표 1. 열화상카메라(A40M) 사양

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

3.1 콘크리트 내부 공극 검출

전체적인 실험 방법은 그림 1에서와 같은 시스템을 적용하였고 내부 공극 콘크리트 시험체 모형은 그림 2와 같다. 공극 생성 순서는 다음과 같다. 첫째, 시험체 표면 아래로 통하는 지름 1cm의 노즐(Nozzle) 상단부에 내부 공극 부위와 크기가 같은 스티로폼을 부착한 후, 콘크리트를 타설하여 28일 양생

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

** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 조교수 · 공학박사 · E-mail: g-zi@korea.ac.kr

한다. 둘째, 양생이 끝난 후, 노즐 부분을 통하여 MEK(Methyl Ethyl Ketone)을 주입한다. 주입된 MEK는 스티로폼과 화학 반응하여 제거된다. 셋째, 그 결과, 제거된 스티로폼 크기만큼 공극이 생성된다.

열원(Heating source)은 자연광(Natural light), 할로겐램프(Halogen lamp), 적외선램프(Infrared lamp)이며 열화상 카메라와 시험체 사이의 거리는 30cm이상 높이로 맞추고 열원(할로겐 램프, 적외선 램프)과 시험체와의 거리는 약 5cm로 맞춘다. 내부 공극 콘크리트 시험체를 각각 할로겐램프와 적외선램프에 약 5cm 거리에서 3분간 가열한 후 바로 열화상 카메라가 위치한 곳으로 이동시킨다. 할로겐램프와 적외선램프로 가열 후, 쿨링(Cooling) 시간은 가열 시간과 동일한 3분간이며 쿨링과 동시에 열화상 촬영을 실시한다. 자연광을 열원으로 사용할 경우, 동트기 전 새벽(오전 5시경)부터 일몰하는 저녁(오후 6시)까지 연속 촬영한다.

3.2 열화상 데이터 분석

실험이 끝난 각각의 실험체에 대해서 시간 종속적인 그래프로 상대적인 온도와 변화 양상을 볼 수 있는 식을 제안한다.

$$D_t = \frac{T_d - T_s}{T_s} \tag{1}$$

식(1)에서 T_d 는 공극 위치의 온도를 나타내며 T_s 는 공극 주변의 온도를 나타낸다. D_t 는 온도의 변화를 보여준다.

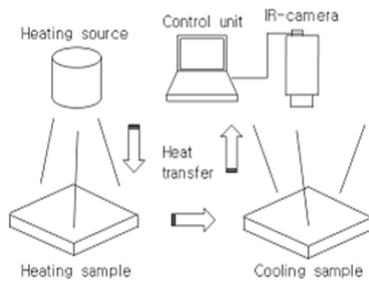


그림 1. 실험 방법

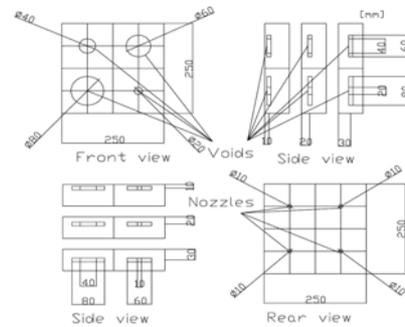


그림 2. 내부 결함 콘크리트 시험체

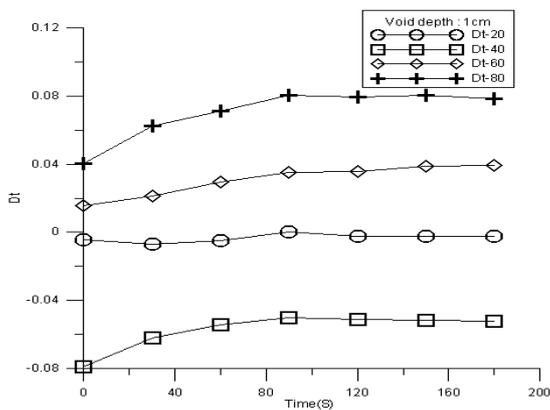


그림 5. 공극깊이 1cm 할로겐 3분 가열

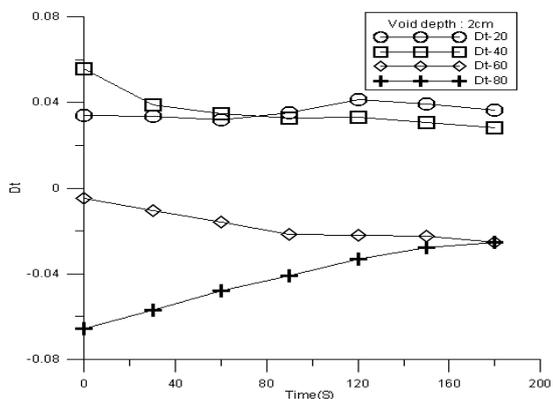


그림 6. 공극깊이 2cm 할로겐 3분 가열

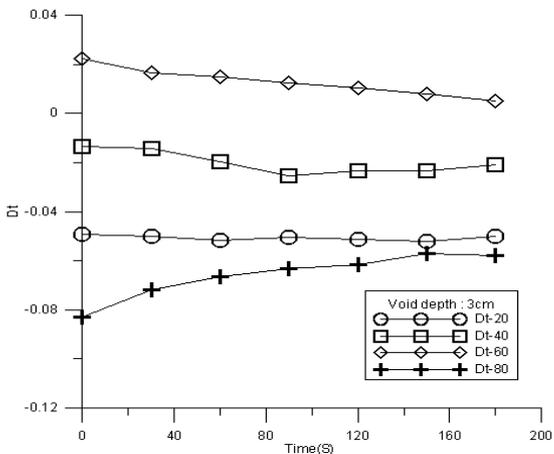


그림 7. 공극깊이 3cm 할로겐 3분 가열

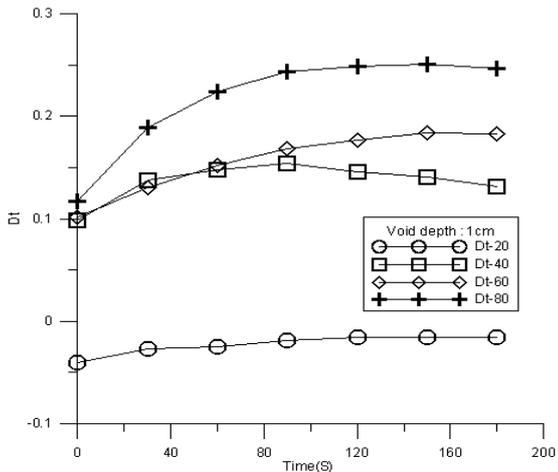


그림 8. 공극깊이 1cm 적외선 3분 가열

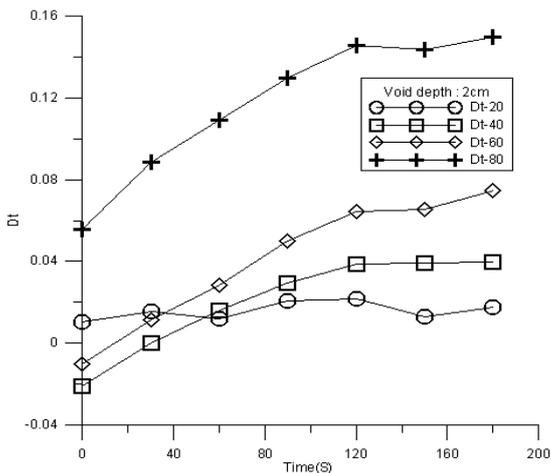


그림 9. 공극깊이 2cm 적외선 3분 가열

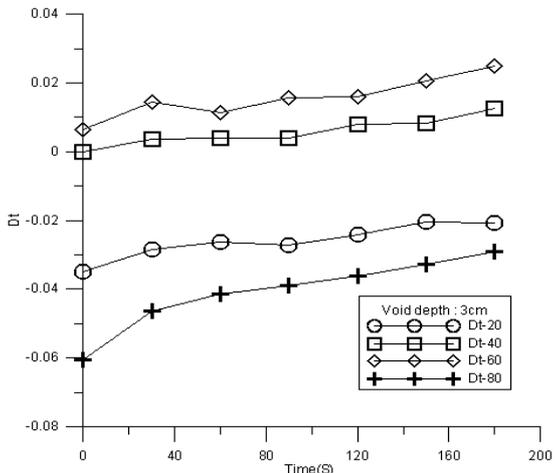


그림 10. 공극깊이 3cm 적외선 3분 가열

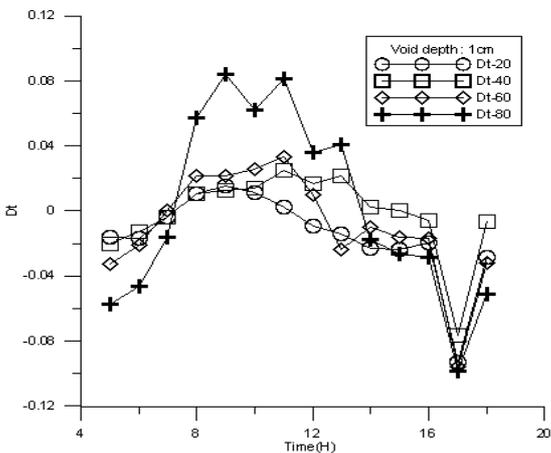


그림 11. 자연광 공극 깊이 1cm

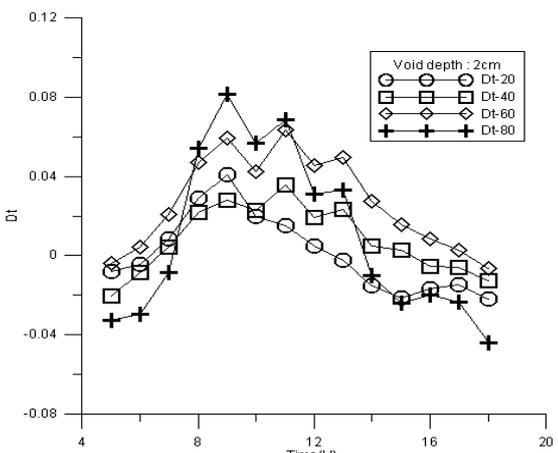


그림 12. 자연광 공극 깊이 2cm

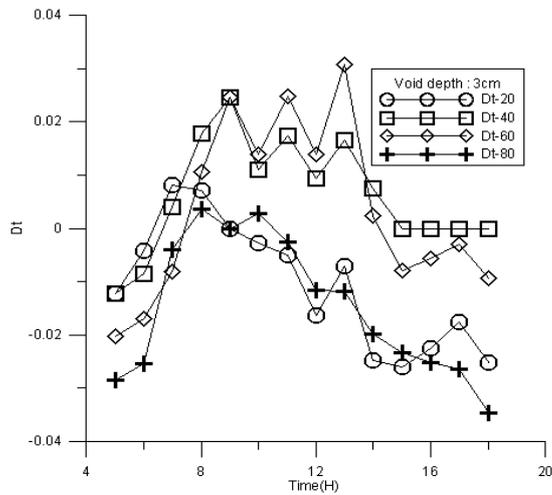


그림 14. 자연광 공극 깊이 3cm

표 2. 가열 기법에 따른 결함 검출 여부

공극 깊이 (cm)	공극 지름 (cm)	가열 기법		
		자연광	할로겐램프	적외선램프
1	2	×	×	×
	4	○	○	○
	6	○	○	○
	8	○	○	○
2	2	×	×	×
	4	×	×	○
	6	○	○	○
	8	○	○	○
3	2	×	×	×
	4	×	×	×
	6	×	×	×
	8	○	×	×

○: 검출 ×: 무검출

4. 결론

콘크리트 내부 공극 검출시, 공극 깊이가 얇고 지름이 클수록 D_t 의 변화가 크게 나타났다. 그래프 분석 결과, 열원으로 자연광을 사용한 경우, 오전 9시부터 오후 2시까지가 가장 효과적으로 결함을 검출하였다. 그리고 공극깊이 1cm에서는 공극 지름 4~8cm까지, 공극깊이 2cm에서는 공극 지름 6~8cm까지, 공극 깊이 3cm에서는 공극 지름 8cm가 검출되었다(그림 10, 그림 11, 그림 12 참조). 열원으로 할로겐램프를 사용한 경우, 공극깊이 1cm에서는 공극 지름 4~8cm까지 검출 되었고 공극깊이 2cm에서는 공극 지름 6~8cm까지 검출되었다. 반면, 공극 깊이 3cm에서는 결함이 검출되지 않았다(그림 4, 그림 5, 그림 6 참조). 열원으로 적외선램프를 사용한 경우, 공극깊이 1cm와 2cm에서 공극 지름 4~8cm까지 검출 되었지만 공극깊이 3cm에서는 결함이 검출되지 않았다(그림 7, 그림 8, 그림 9 참조). 결과적으로, 자연광, 할로겐램프, 적외선램프를 열원으로 사용시, 각각의 결함의 깊이와 크기에 따라 표 2와같이 정리되었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단융합건설기술개발사업 “레이더와 열화상 카메라를 이용한 콘크리트 비파괴시스템 개발”(과제번호: 05 첨단융합 B01) 및 05 건설핵심 D11의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 깊은 감사의 말씀 올립니다.

참고 문헌

1. 윤영호, 전명훈, 박지영, 이정민, 정란, 인공공동 시험체를 이용한 적외선 열화상법에 의한 콘크리트 공동탐지에 관한 기초연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제15권 1호, 2003, pp.169-174.
2. Kamoi, A. Okamoto, Y. and Vavilov V. (2004) Study on Detection Limit of Buried Defects in Concrete, *Advances in Nondestructive Evaluation*, Part 1-3 Key Engineering Materials 270-273, pp.1549-1555.
3. Meola, C. and Carlomagno, G.M. (2006) Application of infrared thermography to adhesion science, *Journal of Adhesion science and Technology*, Vol. 20, No.7, pp.589-632.
4. Starnes, M.A. and Carino, N.J. (2005) Active infrared thermography for NDT of concrete structures strengthened with fiber reinforced polymer, *Materials Evaluation*, Vol. 63, No.1, pp.56-63.
5. Giorleo, G and Meola, C. (2002) Comparison between pulsed and modulated thermography in glass-epoxy laminates, *NDT & E International*, Vol. 35, No.5, pp.287-292.