

인공공동 시험체를 이용한 적외선 열화상법에 의한 콘크리트 공동탐지에 관한 기초연구

On void detection of concrete structures by Infrared thermography method

윤 영 호* 전 명 훈** 박 지 영** 이 정 민*** 정 란****
Yoon, Young-Ho Jun, Myoung-Hoon Park, Jee-Young Lee, Jung-Min Chung, lan

ABSTRACT

The purpose of this study is examine into the application of infrared thermography for voids detect in reinforced concrete structures. In this study, the experiments were carried out for analyze the effect of void size, cover, measurement time and distance on test piece which has artificial voids.

Results of this study are as follows. Noiseless and high resolution thermography was acquired 11:00 ~ 14:00 and the thermography which taken 16:00 was not suitable for void detection. The difference of temperature between voids and solid to identification the existence of voids by eye is 0.3°C.

1. 서론

콘크리트구조물은 구조물의 형태에 제약이 없다는 장점이 있으나 설계나 시공의 사소한 부주의로 콘크리트가 완전히 충전되지 않는 경우가 종종 발생한다. 이러한 공동은 구조물의 내구성이나 내하력을 저하시키므로 보수의 필요성이 크다. 현재 공동의 탐지에는 타진법이 많이 사용되고 있으나, 인력에 의한 접촉식 시험법으로 실시가 쉽지 않을 뿐 아니라 주관적 판단에 의존하므로 신뢰성도 낮아 보다 객관적이고 쉽게 탐사할 수 있는 기법의 개발이 요구되고 있다.

적외선 열화상법은 적외선을 이용하여 물체의 표면온도를 파악하는 기법으로, 군사적 목적으로 개발되었으나, 최근에는 산업전반에 걸쳐 보편화되고 있다. 콘크리트 구조물의 내부에 공동이 있으면 열전도의 차이로 인하여 표면에 온도차이가 발생하게 되며, 적외선 열화상으로 이러한 온도차이를 조사하면 공동의 존재여부를 파악할 수 있다. 이러한 기법은 비접촉식으로 비교적 원거리에서 넓은 범위를 조사할 수 있다는 장점이 있으나, 국내에서는 관련 자료의 부족으로 적용이 쉽지 않은 실정이다.

본 연구는 적외선 열화상법에 의한 콘크리트 구조물의 내부공동 탐지 기법 지침 작성을 위한 연구의 일부분으로 인공공동을 가진 시험체를 제작하고 열화상을 측정하여, 공동의 크기, 표면으로부터의 거리, 촬영거리, 촬영 시간 등에 따른 화상 및 온도데이터의 변화를 비교분석하였다.

* 정회원 대한주택공사 주택도시연구원 수석연구원

** 정회원 대한주택공사 주택도시연구원 선임연구원

*** 정회원 대한주택공사 주택도시연구원 위촉연구원

**** 정회원 단국대학교 건축공학과 교수

2. 적외선 열화상을 이용한 내부공동 탐사 실험

2.1. 실험 계획

2.1.1. 공동의 크기와 형태

적외선 열화상법에 의한 콘크리트 공동탐사의 원리는 공동의 단열효과에 의한 표면온도차를 측정하는 것이다. 따라서 인공공동으로는 단열성이 있는 발포폴리스틸렌 정육면체(크기: 5mm, 10mm, 20mm, 50mm)를 시험체 내부에 매설하는 방법으로 만들었으며, 비교를 위하여 공동이 없는 건전부위도 함께 배치하였다.

2.1.2. 공동의 간격

적외선 열화상은 표면의 온도분포를 촬영하는 것으로 결과가 공동의 실제 크기보다 축소 또는 확대되어 나타나거나 인접한 공동과 겹쳐져 구분이 불가능한 경우도 있다. 따라서 공동간의 거리가 미치는 영향을 파악하기 위하여 그림 1-(a)의 A-zone에서 Y방향으로는 4번 공동 한 변 길이의 1배(50mm), 2배(100mm), 3배(150mm)로 하고, X방향으로는 3번과 4번은 100mm, 2번과 1번은 20mm로 하였다. 또한 C-Zone과 D-Zone에서는 공동의 X방향 간격은 A-Zone과 같이 하였으며, 각 Zone은 서로 영향을 미치지 않도록 간격을 두고 설치하였다.

2.1.3. 공동의 깊이

적외선 열화상법에 의한 공동탐지는 공동의 단열효과에 따른 표면의 온도차를 측정하므로 표면으로부터 공동의 깊이에 따라 영향을 받게 된다. 따라서 본 실험에서의 공동 깊이는 A-Zone은 50mm, C-Zone은 20mm, D-Zone은 5mm로 하였다.

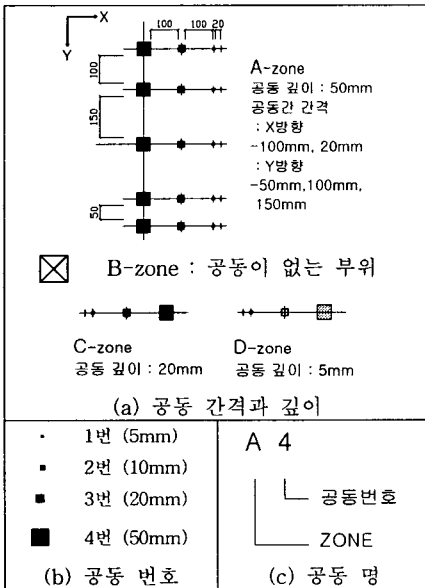


그림 1 실험 변수

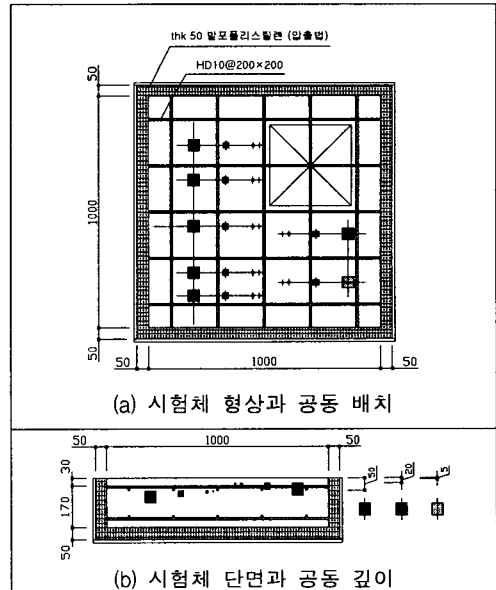


그림 2 시험체 형상과 공동 배치

2.2. 시험체 제작

시험체는 그림 2와 같이 1000×1000×200mm의 크기로 제작하고, 측정대상을 제외한 나머지 면은 열의 이동을 차단하기 위하여 50mm두께의 압출법 발포폴리스틸렌 판을 타설부착방법으로 설치하였다. 시험체의 배근은 HD10철근을 간격 200mm, 피복두께 30mm로 하여 실제 철근콘크리트 구조물과 유사하게 하였다. 시험체 제작에 사용된 콘크리트는 최대골재 지름 25mm, 호칭강도 240kgf/cm², 슬럼프 15cm의 레디믹스트 콘크리트로, 시험체 제작 직전에 측정된 슬럼프와 공기량은 각각 16cm, 3.7%이다.

거푸집을 조립하고 철근을 배근한 후 거푸집의 마구리면에 못을 박아 공동의 위치를 확인할 수 있도록 표시한 후 콘크리트를 타설 하였다. 콘크리트가 소정의 두께에 이른 후에 공동의 중심을 표시한 못에 실을 띄워 공동 간격을 맞추고 자를 이용하여 공동깊이가 유지되도록 인공공동을 설치하였다.

2.3. 실험 방법

2.3.1. 소요장비

본 실험에서 사용한 적외선 열화상 장비는 미국 Inframetrics사의 Model 600으로 사양은 표 1과 같다.

표 1 적외선 열화상 장비의 사양

항 목	내 용
Spectral Band-pass(Nominal)	8~12 μ m
Detector Type	HgCdTe
Typical Minimum Detectable Temperature Difference (@ 30 $^{\circ}$ C)	0.1 $^{\circ}$ C
FOV(field of view)	Ver. FOV : 15deg., Hor. FOV : 20deg.
Horizontal Resolution	197 IFOVs/Line 1.8mrad
Temperature Measurement Range	-20~400 $^{\circ}$ C(normal)
Ambient Operating Temperature	-15~45 $^{\circ}$ C

2.3.2. 시험체 배치 및 측정 방법

적외선 열화상장비에 의한 콘크리트 내부의 공동 탐지는 구조물 표면온도의 변화를 파악하는 방법으로, 본 실험에서는 태양의 일사가 열원이 되며, 시험체의 열적 변화는 일사에 의존하게 된다. 따라서 실험장소는 충분한 일사량의 확보 및 주변구조물의 영향을 방지하기 위하여 북쪽 면을 제외한 다른 방향에는 인접구조물이 없는 초등학교 운동장 예정부지로 하였으며, 측정은 일출부터 일몰 때까지 1시간 간격으로 하였다.

표 2 촬영거리과 측정시야와의 관계

촬영거리[m]	IFOV(mm)	Hor. FOV(m)	Ver. FOV ¹⁾ (m)
0.5(초점거리)	0.9	0.18	0.13
1.0	1.8	0.35	0.26
2.0	3.6	0.71	0.53
4.0	7.2	1.41	1.05

1) 본 실험에서는 측정시야가 작은 Ver. FOV를 기준으로 측정 거리를 결정하였다.

적외선 열화상장비는 기종에 따라 민감도와 화소의 배치 방법 등이 다르므로 측정거리 및 분할 횟수는 사용되는 장비와 측정하고자 하는 대상물의 크기에 따라 결정되어야 한다. 본 실험에서의 측정거리와 분할 횟수는 표 1에 나타난 Ver. FOV와 수평해상도로부터 표 2에 나타난 결과를 구하고 이를 바탕으로 하여 결정하였다. 시험체 전면의 열화상을 측정할 때는 1회에 촬영이 가능하도록 4.0m로 하였으며, 세부 열화상을 측정할 때는 공동의 배치상태와 작업의 효율성을 고려하여 2.0m거리에서 4회로 나누어 촬영하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 열화상 측정 결과 및 고찰

그림3과 그림 4는 2002년 11월에 촬영한 남측 열화상을 시간대별로 나열한 것으로 그림 3은 4m거리에서 촬영한 전체의 열화상이고 그림 4는 2m거리에서 촬영한 부분화상 중에 C-Zone과 D-Zone이 속해있는 부분의 화상이다.

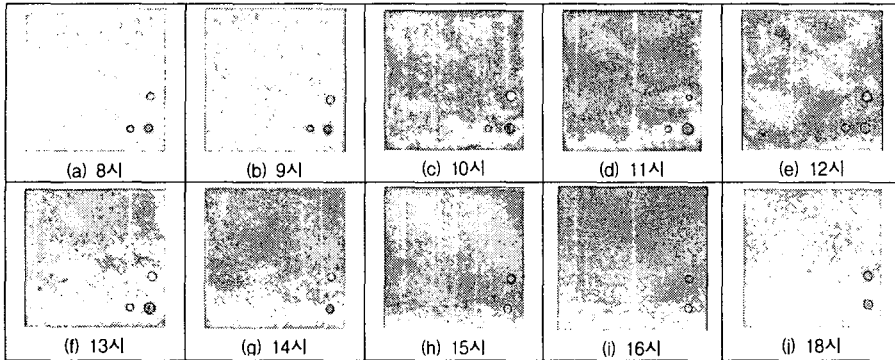


그림 3 8~18시까지의 전체열화상

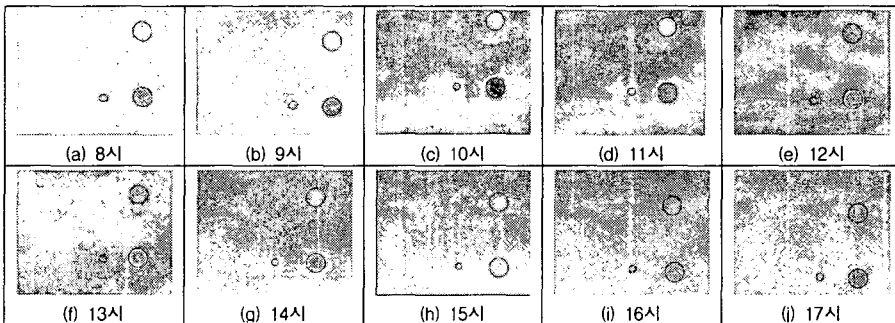


그림 4 8~17시까지의 부분 화상

그림 3과 그림 4의 적외선열화상에서 색상차이는 측정당시 온도설정의 차이로 인한 것으로 주변 온도와 측정대상물체의 온도범위를 벗어나지 않으면 실험결과에 영향을 미치지 않으며, 온도범위를 크게 벗어난 전체화상의 17시 열화상과 부분화상의 18시 열화상은 분석에서 제외하였다. 그림 3의 열화상의 윗부분과 아랫부분의 온도차가 발생하는 것으로 보아 지면으로부터의 배경방사가 시험체 표면온도에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

측정시각에 따른 변화를 살펴보면 다소 차이는 있으나 16시를 기준으로 하여 08~15시에는 공동부위가 건전부위보다 고온(붉은색)으로, 17~18시에는 공동부위가 건전부위보다 저온(푸른색)으로 나타나 육안으로 공동감지가 가능하였다.

3.2. 온도 분석 결과 및 고찰

그림 5는 열화상 처리 프로그램을 이용하여 구한 표면 온도를 나타낸 것으로 (a)~(b)는 전체화상의 측정시각에 따른 온도변화와 공동과 주변의 온도차, (c)는 전체열화상과 부분열화상의 온도차, 공동 유형 간의 온도차를 각각 나타낸 것이고, (d)~(f)는 C-Zone과 D-Zone이 속해있는 부분 열화상의 온도변화와 온도차를 나타낸 것이다.

그림 5의 (a)와 (d)에서 시간의 경과에 따른 표면온도의 변화를 살펴보면 시험체가 받은 일조량 변화와 유사한 변화를 나타내고 있음을 알 수 있다.

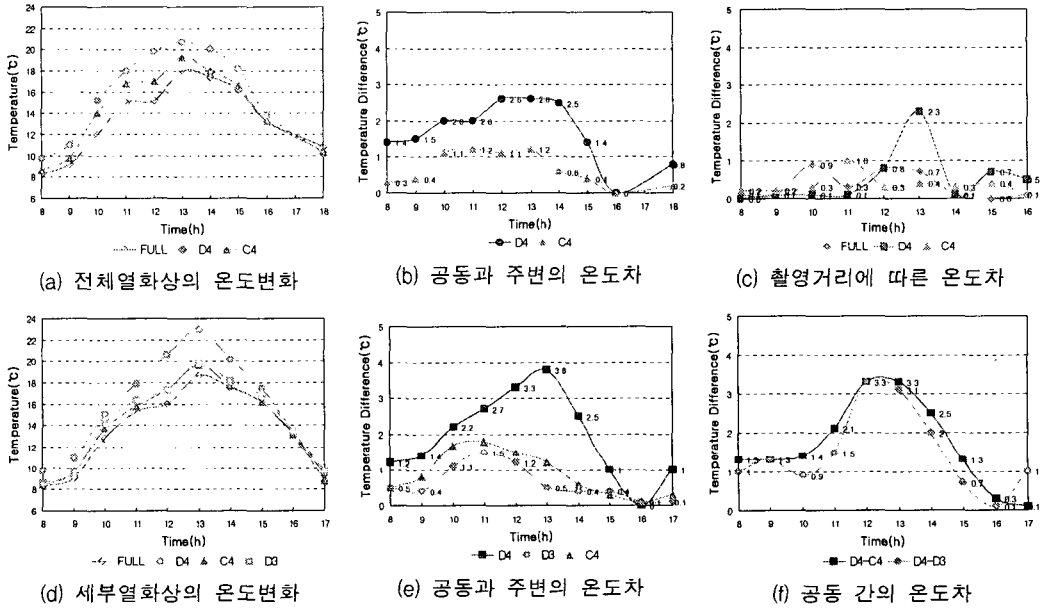


그림 5 적외선열화상의 온도변화 및 온도차

건전부위와 공동부위의 표면온도 차이를 나타낸 그림 5의 (b)와 (e)에서 열화상의 육안 판별에 의해 공동의 존재여부를 판단할 수 있는 08~15시의 온도차이는 0.4~3.8℃, 17~18시의 온도차이는 0.6~1℃로 나타나 열화상의 육안판별에 의해 식별 가능한 표면온도차는 0.3℃이상인 것을 알 수 있으며, 열화상으로 판별이 어려운 16시에서의 공동과 그 주변과의 온도차가 0~0.1℃로 나타났다. 이는 본 실험에 사용된 장비의 최소검지온도차가 0.1℃ 이하로 장비의 분해능에 의한 것일 수도 있으나 배경복사 등을 고려하면 적외선 열화상법에 의한 공동의 판별은 표면 온도차가 0.3℃이상인 경우에 가능하다고 판단된다.

그림 5의 (b)와 (e)에서 D4의 경우 12~14시에 온도차가 가장 크며 16시를 제외한 다른 시간대에서는 1.2℃이상의 온도차가 발생되어 16시를 제외하고 8~18시 전 시간대에서 탐지가 가능한 것으로 나타났다. 그러나 크기는 50mm로 같으나 매설깊이가 깊은 C4와 매설깊이는 같으나 크기가 작은 D3의 경우에는 10~13시 사이에 큰 온도차를 보이고 16시 이후에는 미미한 온도차로 탐지가 어려운 것으로 나타났다. 특히 D3의 경우, 근접 촬영한 4번째 세부열화상에서는 0~1.5℃의 온도차로 육안을 통한 탐지가 가능하였지만 거리 4m에서 측정한 전체열화상에서는 탐지되지 않는 것으로 나타났다. 또한 D4와 C4, D4와 D3의 표면온도차를 나타낸 그림 5의 (f)에서 탐지 대상의 크기와 매설깊이에 따른 차이를 알 수 있다.

그리고 인공공동의 매설깊이가 50mm인 A-zone의 측정결과, 전체열화상과 세부열화상 모두 육안으로 판별 가능한 표면온도차이가 나타나지 않았으며, 온도분포 또한 인공공동이 설치되어 있지 않은 B-zone

과 유사하게 나타나 적외선열화상법으로 공동의 탐지가 어려운 것으로 판단된다.

4. 결 론

적외선 열화상법을 이용한 콘크리트 구조물의 내부공동 탐지 기법에 대한 지침작성을 위한 연구의 일 부분으로 인공공동의 크기와 매설깊이, 측정시각을 중심으로 진행된 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 철근 콘크리트 시험체에서 인공공동의 매설깊이가 50mm 이상인 경우에는 열원을 일조로 하여 측정된 적외선열화상에서는 인공공동의 크기에 관계없이 탐지가 불가능하다.
- (2) 매설깊이가 20mm일 경우에는 인공공동의 크기가 50mm 이상일 때, 매설깊이가 5mm인 경우에는 20mm 이상일 때 적외선 열화상법에 의한 탐지가 가능하다.
- (3) 적외선 열화상법에 의한 공동 탐지에 있어 육안으로 공동유무를 판단할 수 있는 최소 표면온도차는 0.3℃ 이상이다.
- (4) 적외선 열화상법에 의한 공동탐사에서 가장 유리한 시각은 11~14시이며, 16시는 육안 판별과 온도 해석에 의한 판별 모두 불가능하므로 촬영을 피하는 것이 좋다.
- (5) 적외선 열화상법에 의한 콘크리트 구조물의 내부 공동 탐사는 측정시각, 측정거리, 주변의 온도 분포 등에 영향을 받으며, 분석에 있어서도 주변온도 산출을 위한 범위 설정 등에 의해 결과가 다르게 나타나므로 장비의 설정, 기상조건 등에 대한 기록의 유지가 필수적이며, 적정 범위에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2001년 건설교통기술 혁신사업 중 산학연 공동연구 개발사업“콘크리트구조물의 부식 및 공극감지를 위한 비파괴 시험기술 개발연구”(과제번호 : 자유A-04)의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

1. 阪上 隆英, 込山 貴仁, “赤外線サーモグラフィによるコンクリートの非破壊試験”, 日本非破壊検査協會 非破壊検査學會紙, Vol.47, No.10, 1998.
2. 岡本 芳三, “赤外線サーモグラフィによる熱計測評價技術”, 日本非破壊検査協會 非破壊検査學會紙, Vol.45, No.11, 1996.
3. 권오현, “적외선법을 이용한 콘크리트 공동의 검지한계에 관한 기초적 연구”, 콘크리트학술발표논문집, 제11권 제1호, 1999, pp.799~806.
4. 권영진, 김철호, 이병훈, 박득곤, 김무한, “적외선 탐사기를 사용한 구조물 노후화 평가시스템 구축”, 한국구조물진단학회, 1997, pp.83~90.
5. 이주영, 이현호, “적외선카메라를 이용한 섬유쉬트 보강공사의 결함검지기술” 대한건축학회 춘계학술발표논문집, 제20권, 제1호, 2000. 4. 29., pp.501~504.