



## 2. 열적외선 영상촬영

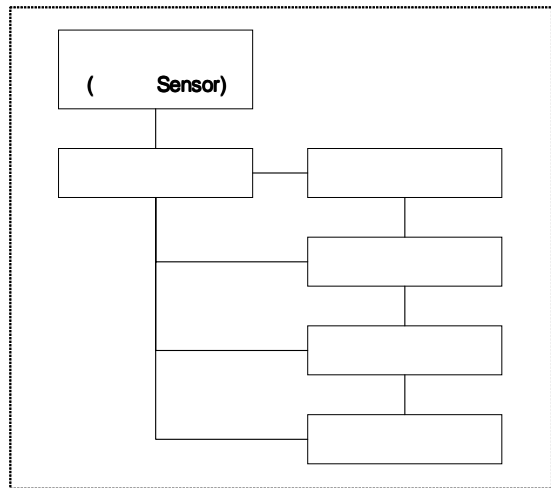
열적외선영상이란 대상물을 열적외선 영상장치로 촬영해 표면의 미소한 온도차이로부터 물체의 성질이나 물체내부의 상황에 대해서 비접촉·비파괴로 조사하는 기법을 말한다. 열적외선영상장치는 물체의 가시상을 영상화하는 보통의 촬영과는 다르고 물체의 온도를 영상화 할 수 있다. 본 연구에서 기술하는 열적외선영상법은 시멘트 모르타르를 이용한 슛크리트 보강사면에 대해 배후면의 공동 등의 결함상태를 판정하는 것을 말한다.

열적외선장치를 이용해 슛크리트면을 촬영하면 배후 지반의 상태에 따라 표면의 온도가 다르게 나타난다. 일반적으로 공기의 부피열용량은 흙에 비해 대단히 작기 때문에 모르타르 배후에 공동부가 있는 경우에는 외부온도에 민감히 반응하여, 가열과 감열이 빨리 나타난다. 반대로 물의 부피열용량은 대단히 크기 때문에 습기가 많은 부위는 가열·감열속도가 늦은 특성을 가지고 있다. 따라서 상온부근의 물체표면에서는 적외선(파장 3~14 $\mu$ m)에 의한 열방사가 이루어지므로 열적외선 영상장치를 이용해 이 열방사량을 면적으로 감지해 영상화하여 슛크리트면의 온도분포를 단시간에 효율적으로 획득할 수 있다. 그림 1과 표 1은 일반적인 열적외선시스템과 주요활용범위를 나타내고 있으며, 주요 특징은 다음과 같다.

- ① 측정대상물의 온도를 비접촉으로 계측할 수 있다.
- ② 온도분포로서 영상화된 상태로 표시되기 때문에 평면적인 관찰이 용이하다.
- ③ 야간에도 관찰이 가능하다.
- ④ 온도정보의 기록, 관리가 용이하다.

<표 1> 열적외선 영상장치의 주요 활용범위

활용분야	주요 활용방법
의 료	체온측정
전 자 · 전 기	전기기구의 신뢰성 시험 및 이상조사
전 력	발전소 등의 설비보존, 점검
기 상	위성을 이용한 기상관측
건 축	건축물의 점검
기 타	화산관측, 지질조사, 해수온도조사



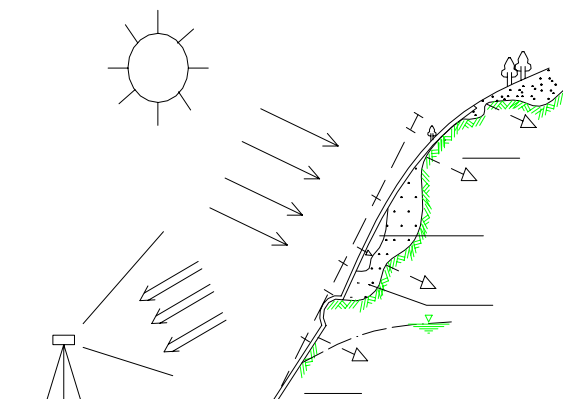
<그림 1> 열적외선 영상 시스템

### 2.1 슛크리트 보강사면 적용 Mechanism

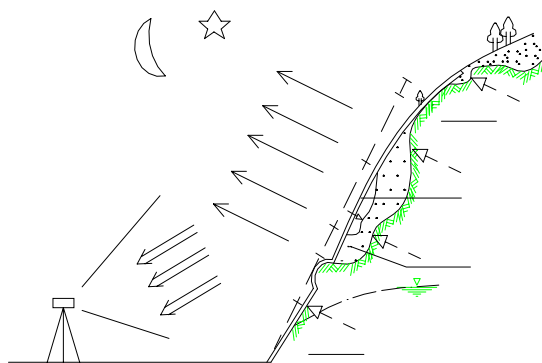
열적외선영상법에 의한 슛크리트면의 노후화 진단은 모르타르 표면 온도를 검출하여, 상대적인 표면온도의 규칙성에 의해서 배면지반의 상태를 추측하는 방법이다.

콘크리트 모르타르는 낮에는 일사에 의해 따뜻해지고 야간에는 외기에 의해서 차갑게 된다. 이와 같이 외적인 영향을 받아 슛크리트면은 손상이나 용수, 모르타르 두께 등 비열의 차이나 열전도

울의 차이에 의해서 열 이동에 차이가 생겨 배후의 몇 개의 규칙성을 갖는 표면온도 분포를 나타낸다. 그림 2와 그림 3은 낮과 야간에 쏫크리트 표면에서의 열 이동을 모델화 한 것이다.



<그림 2> 주간 쏫크리트면의 열 이동



<그림 3> 야간 쏫크리트면의 열 이동

(1) 일조시간의 표면온도

쏫크리트 표면은 그림 2에서 보는 바와 같이 태양에너지의 영향을 받으며, 이 에너지는 쏫크리트 표면에 일부는 흡수되며 일부는 반사된다. 모르타르 층에 흡수된 열은 온도경사에 의해서 지반으로 이동된다. 이 때 쏫크리트 배후에 공동이나 습기가 많은 부위가 존재하면 열의 이동에 변화가 생겨 표면온도에 차이가 발생한다. 때문에 배후에 공동이 존재하는 경우에는 열의 이동량이 공기층에 의해 방해되고, 건전부와 비교하여 표면온도가 높아진다. 한편, 물은 열용량이 큰 특징을 가지고 있어 습기가 많거나 물이 존재하는 경우는 배후지반으로의 열 이동이 촉진되어 건전부와 비교하여 표면온도가 낮게 된다. 반면 토사나 견고한 암반의 경우에는 공기나 함수율에 의해서 위와 유사한 경향을 나타내기도 한다.

(2) 야간의 표면온도 변화

쏫크리트면에 축적된 열 에너지는 그림 3에서 보여주는 바와 같이 기온이 저하함에 따라 모르타르 표면에서 공기중으로 방사되 표면온도는 서서히 감소한다. 이러한 냉각과정에서도 쏫크리트 배후에 공기나 습기가 많은 층이 존재하면 축적된 열량, 열전도율, 비열의 차로부터 표면온도의 차이가 생긴다. 즉, 배후에 공동이 존재하는 경우에는 지반으로의 열 공급이 차단되기 때문에 건전부와 비교하여 급격히 표면온도가 낮아지는 경향을 보이며, 습기가 많은 층은 열용량이 크기 때문에 온도가 쉽게 낮아지지 않는 경향을 보이게 된다.

(3) 1일 온도변화

쏫크리트면의 온도변화는 1일 동안 낮에는 상승하고, 밤에는 에너지를 하강하는 거의 일정한 순환과정을 거친다. 이 과정은 배면의 상태에 따라서 열의 흡수율, 방사율이 달라 온도변화에 차이를 보이는 것이다.

## 2.2 화상판독

열화상의 판독은 계측과정에서도 어느 정도 가능하지만 상세한 검토는 육안조사 결과와 종합적으로 실내에서 실시하는 것이 일반적이다. 현장에서 계측한 열화상은 저장장치에 기록되며, 실내에서 열화상의 판독은 기록매체에 기록된 열화상을 재생하여 보충조사결과와 종합적으로 비교·

분석한다.

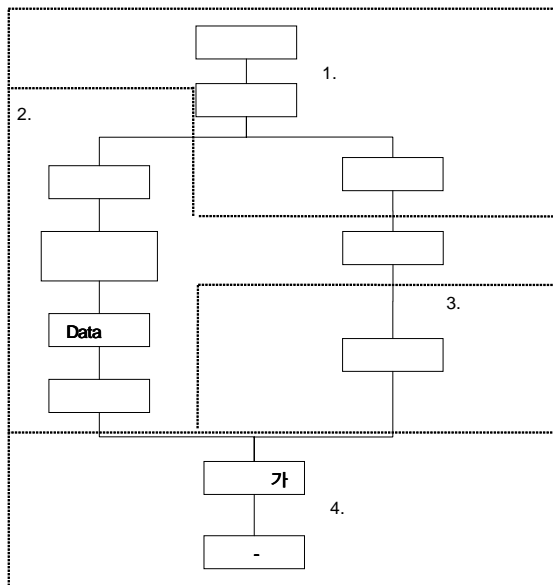
열화상의 판독과 결과정리의 순서는 다음과 같다.

- ① 열화상 Image가 여러 개일 경우에는 판독작업을 용이하게 하기 위해 위치관계 확인한다.
- ② 특이한 온도변화를 보이는 부위 추출을 위해서 2시간의 열화상을 모두 놓아 상호 비교하면서 특이한 온도변화를 나타내는 부분을 추출한다.
- ③ 손상 종류에 대한 대표적인 온도변화로부터 특이한 온도변화를 부위에 대해서 표기한다.
- ④ 판독한 손상부와 육안조사 결과를 바탕으로 열화상 판독도를 작성한다.

### 3. 현장조사

열적외선영상법에 의한 슛크리트면의 노후화 진단을 위한 조사의 흐름은 그림 4와 같으며, 조사는 다음과 같이 크게 조사계획 및 준비, 열적외선 영상조사, 보충조사 및 결과정리의 4단계로 구분된다. 조사계획을 작성함에 있어 기상조건, 공동부의 추출방법과 시간, 모르타르 배면, 식생의 존재, 모르타르의 박리, 사면의 요철, 상시 습윤부 등을 사전에 파악하고 이에 대해 유의하여야 한다.

본 대상사면은 OO노선 도로변 교대 좌측부에 위치하며, 사면상부는 이면도로로 사용되고 있다. 배후 지반은 슛크리트 표면의 형상이 심한 굴곡으로 미루어볼 때 암반으로 추정되며, 시설물 경과 년도를 파악할 수 없는 관계로 표면상태를 육안으로 관찰한 결과 시공 후 상당기간 경과된 것으로 보였다. 따라서 모르타르 배면에 수 개소의 결함 존재가 예상되므로 본 기법의 적용성 사례지역으로 적절할 것으로 판단되어 검토 대상 시설물로 선정하였다. 그림 4와 그림 5는 열적외선 영상촬영의 조사 흐름도와 현장적용 대상사면을 전경을 나타낸 것이다.



<그림 4> 열적외선 영상촬영 조사 흐름도



<그림 5> OO선 도로사면 전경

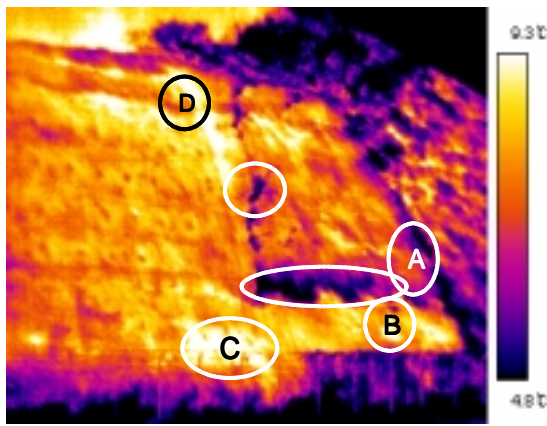
대상사면을 AM 10:00~PM 5:00까지 2~3시간 단위로 열화상을 촬영하였으며, <그림 6>~<그림 9>는 측정시간별 열화상을 나타낸 것이다. 본 적용성 검토에서는 사면을 단일 화상으로 촬영하기 곤란하여 영역을 분리하여 촬영하였으며, 육안조사 결과 및 현장사진을 바탕으로 위치확인 가능하므로 별도의 위치보정 작업은 실시하지 않았다.

그림에서 나타낸 바와 같이 표면온도가 평균온도에 비해 큰 차이를 보이거나 평균증가율과 큰 격차를 보이는 온도변화 부위를 A, B, C, D지점으로 나누어 표면온도 변화를 관찰하였으며, 특이

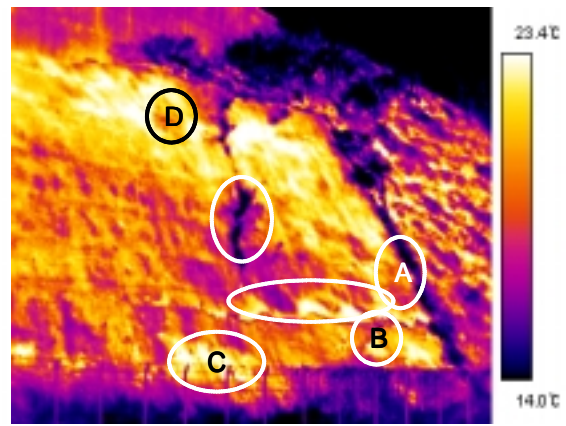
사항으로는 표면의 식생과 모르타르 박리의 표면온도 변화양상을 동시에 분석하였다.

박리부위의 온도변화 양상은 건전부에 비해 큰 온도를 나타냈으며, 증가율 또한 급격한 변화를 보였다. 이는 박리로 인한 표면두께 감소로 타 부위에 비해 온도변화에 민감한 반응을 일으킨 것으로 고소에 위치한 모르타르 박리 추출법으로 적당할 것으로 판단된다. 또한 모르타르 표면의 식생은 식물이 갖을 수 있는 열용량이 크지 않은 관계로 온도변화가 크지 않아 습윤부로 판정된 부위와 비슷한 온도변화 양상을 보였다.

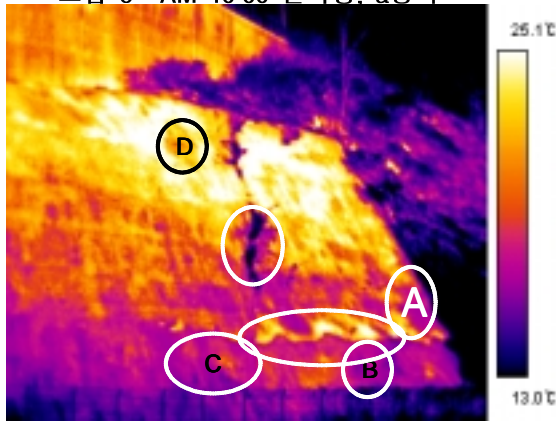
그림 10과 그림 11은 측정시간별 표면온도 변화와 표면온도 증가율을 나타낸 것으로 건전부를 기준으로 상향과 하향 두 가지의 양상을 나타냈으며, 결함부위 선정은 건전부를 기준으로 하여 상대적인 온도변화가 급격한 B, C지점을 공동부로 설정하였고, 상대적인 온도변화가 미약한 A, D지점을 습윤부로 설정하였다.



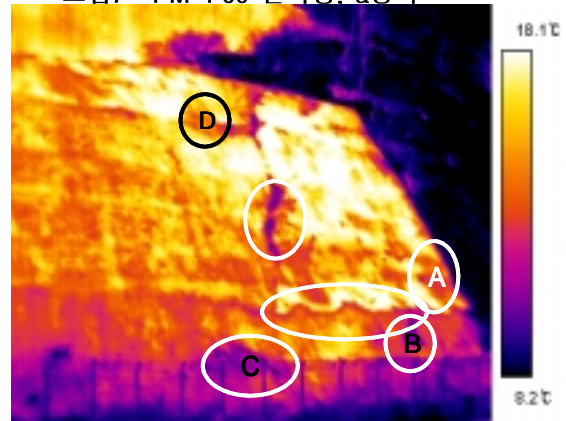
<그림 6> AM 10:00 열화상, a영역



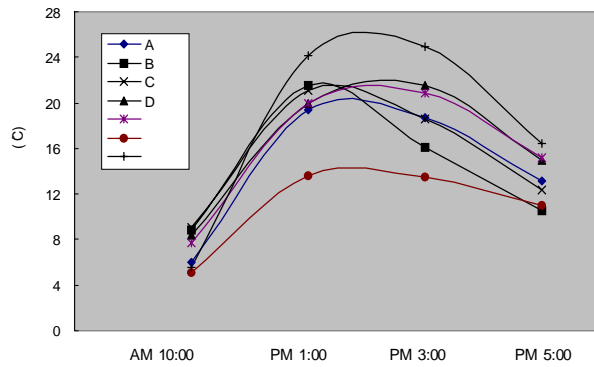
<그림7> PM 1:00 열화상, a영역



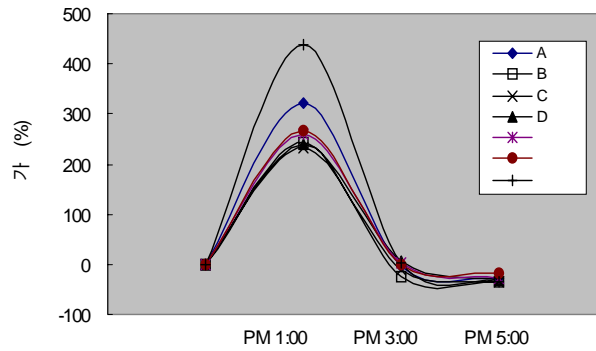
<그림 8> PM 3:00 열화상, a영역



<그림 9> PM 5:00 열화상, a영역



<그림 10> 측정시간-표면온도 변화



<그림 11> 측정시간-표면온도 증가율

#### 4. 검증조사

검증조사는 슛크리트 표면을 드릴링 한 후 내시경을 이용해 배후면의 상태를 조사하였다. 그림 12와 그림 13은 내시경조사에 의한 내부결합 상황을 나타낸 것으로 앞서 실내결과에서 결함부위로 예상된 습윤부는 검출 가능한 두께라 알려져 있는 15cm~20cm보다 큰 30cm이상으로 확인되어 조사를 실시하지 못하였다. 열화상 분석에서 습윤부로 판정된 것은 지나치게 두꺼운 피복이 습윤부로 판정하는데 있어서 오인요소로 작용한 것으로 판단된다. 한편 공동부로 예상된 결함부위는 그림과 같이 대부분 배면과 콘크리트가 밀착되어 있지 않은 것으로 보여 열화상 분석결과와 대부분 일치하는 것으로 나타났다.



<그림 12> A지점 공동현황



<그림 13> B지점 공동현황

#### 5. 결 언

본 연구에서는 물체의 미소한 온도변화를 적외선 검출로 측정이 가능한 열적외선 영상장치를 이용해 슛크리트 보강사면에 적용해 활용성에 대해 검토하였다. 대상사면을 측정시간별 표면온도를 분석해 결함부위를 선정하였으며, 열화상 분석에 의한 결함부위 추출의 적정성을 판단하기 위해 검증조사를 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 실내분석에 의한 시간별 온도변화 양상을 분석하고, 현장 확인으로 적용성을 검토한 결과 열

양상 변화로 예상한 결함부위 중 공동부가 일치되어 접근성이 불리해 조사가 어려웠던 상부 사면의 공동부 추출법으로서 적절한 것으로 판단된다.

2. 시공 특성상 모르타르의 두께는 일정치 않으며, 열양상은 모르타르 두께에 따라 변화양상이 다르게 분포되는 경향을 보여 이에 대한 보정방법의 개발이 필요하다. 한편 모르타르 두께가 지나치게 두꺼울 경우 습윤부와 비슷한 온도변화 양상을 나타냈다.
3. 열화상 기법을 효율적으로 이용하기 위해서는 결함부에서의 온도변화 경향과 분포, 오인요인 판별에 대한 자료가 충분히 축적되어야 측정결과의 신뢰성을 높일 수 있을 것이라 판단된다.

\* 참고문헌

1. M.R. Clark, D.M. M.C.Forde(2003) “Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges”, NDT&E International, Vol. 36, pp. 265~275
2. Glenn A. Washer(1998) “Developments for non destructive evaluation of highway bridges in USA”, NDT&E International, Vol. 31, No. 4, pp. 245~249
3. 町田泰法, 竹内俊昭, 曹根好徳,(1991) “熱赤外線リモートセンシングによる吹付け法面の地下水調査”, 日本應用地質學會, 平成 3年度 研究發表會 講演論文集, pp. 9~12
4. 村山秀幸, 門田俊一, 川村國夫(1991) “赤外線放射溫度計を用いた岩盤斜面調査術に關する基礎研究”, 第 34回 岩盤力學に關するシソポジウム講演論文集, pp 26~30