

대기온도에 따른 적외선 열화상 처리기법을 이용한 철근의 부식률 측정 기법

Non-Destructive Corrosion Measurement Technique of Reinforcing Bars Using Infrared Thermography according to Atmosphere Temperature

윤 주 영^{*} 백 인 관^{**} 조 승 호^{***} 정 란^{****}
Yun, Ju-Young Paik, In-Kwan Cho, Seung-Ho Chung, Lan

ABSTRACT

This study presents a technique to quantitatively measure the corrosion level of a reinforcing bar using the infrared thermography system. The temperature-distribution of the concrete surface is monitored and the temperature change of the reinforcing bar is analysed in terms of corrosion level and concrete cover depth. The experimental results indicate that temperature increase of the reinforcing bar is significant when the corrosion level is high, which implies that the quantity of heat is strongly dependent on corrosion level. Also, as the concrete cover depth of the specimen and the atmosphere temperature increase, the temperature variation becomes small.

1. 서 론

우리나라에서 1960년대 후반부터 1970년대에 걸쳐 대형 건설공사의 증가로 인한 콘크리트용 골재의 수요가 늘어나면서 양질의 하천 골재가 부족하게 되었다. 그 결과 상당량의 해사 및 바다골재를 콘크리트용 골재로 사용하게 되었다. 그러나 염분을 충분히 제거하지 않은 바다골재를 그대로 사용함으로써 콘크리트 내부에 염화물의 침투가 용이해지게 되고, 이에 따른 부동태 피막의 파괴와 함께 철근부식이 진행되어 철근콘크리트 구조물의 내구성을 저하시키는 등의 문제가 대두되고 있다.¹⁾ 이에 대한 탐지 대책으로 구조물의 철근 부식에 대하여 정량적으로 계측하고, 부식된 철근콘크리트 구조물의 내력저하 정도를 정확히 평가하여 이에 따른 적절한 보수·보강을 통해 건축물이 가지는 수명을 연장시킬 수 있는 방법이 절실히 필요한 시점이다.

따라서 본 연구에서는 적외선 열화상 데이터를 이용하여 철근의 부식률을 정량적으로 측정할 수 있는 비파괴 측정기법을 개발하고자 연구를 수행하였다. 실제 현장적용 및 실용화에 앞서 여러 대기온도대의 DB가 구축이 되어야 하므로 본 실험연구를 통해 대기온도에 따른 시험체의 온도분포를 파악하고 부식률 및 피복두께별 철근의 온도변화를 비교 분석하였다.

* 정회원, 단국대학교 대학원 건축공학과 석사과정
** 정회원, 단국대학교 리모델링연구소 연구원, 공학박사
*** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 연구전임강사, 공학박사
**** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험

본 연구는 표 1과 같이 철근의 부식으로 인한 단면적의 감소로 인해 철근의 저항값이 달라져 철근에 전류를 가했을 때 발열량이 달라진다는 것에 착안하여 실험을 기획하였다.

이 초기 조건을 증명하기 위해 철근의 저항값 계산과 실험을 실시하여 비교한 결과 그림 1과 같이 실험오차로 인해 예상 저항값과 측정 저항값 간에는 차이가 있었지만 철근의 부식이 클수록 발열량이 많아진다는 것을 증명할 수 있었다.

표 1 실험 착안 이론

옴의 법칙	$R = \rho \frac{l}{A} (\Omega)$	식 (1)
줄의 법칙	$H = 0.24I^2R (cal/s)$	식 (2)

ρ : 길이 1m, 단면적 1m² 인 도체의 고유저항
(강철의 고유저항 : $40 \times 10^{-8} \Omega m$)

l : 도체의 길이 A : 도체의 단면적

H : 전류에 의해 발생되는 열량 I : 전류량

R : 도체의 전기저항

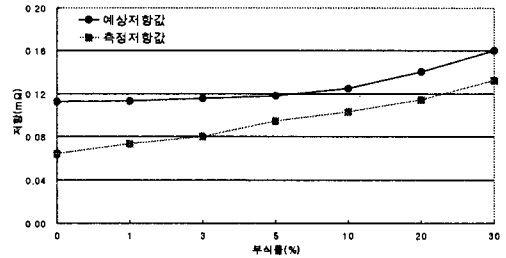


그림 1 부식률에 따른 저항의 변화

실험 변수로는 예상 부식률(0, 1, 3, 5, 7, 10%), 피복두께(10, 20, 30mm), 대기온도 (16, 21, 25, 28℃)로 선정하였다. 시험체의 형상은 그림 2와 같이 제작하였으며, 실험에 사용된 콘크리트의 배합비는 표 3에서 보는 바와 같다. 사용된 D13 철근은 SD40으로 평균항복강도 f_y 는 498MPa, 평균 인장강도 f_t 는 682MPa이었다.

표 2 시험체 변수 및 계획

시험체 계획	
시험체 수	6(부식률)×3(피복두께)×3(3개조) = 54개
적외선촬영횟수	54(시험체수)×4(대기온도) = 216회
데이터 수	216(적외선촬영횟수)×16(30초 간격, 480초간 촬영) = 3,456개

표 3 콘크리트의 배합

배합 강도 (MPa)	W/C (%)	슬럼프 (cm)	단위중량(kg/m ³)					평균 압축 강도 (MPa)
			물	시멘트	잔골재	굵은 골재	AE 감수제	
21	50	15	185	308	720	994	1.541	22.7

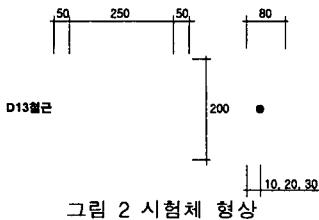


그림 2 시험체 형상

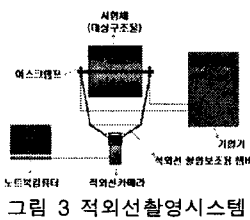


그림 3 적외선촬영시스템

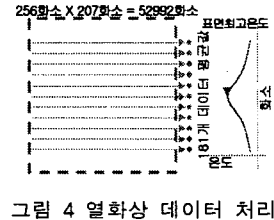


그림 4 열화상 데이터 처리

시험체를 제작한 후 전위차 부식측진법에 의해 강제부식을 시킨 후 그림 3에서 보는 바와 같이, 시험체의 철근 양단에 전기가열기를 이용하여 전류를 가하고 콘크리트 표면과 40cm의 거리를 유지하면서 적외선촬영을 진행하였다. 전기가열은 피복두께 10mm 시험체의 경우는 피복두께 20mm 시험체는 200A, 피복두께 30mm 시험체는 250A의 전류를 통전하여, 각 시험체 별로 30초 동안 철근을 가열하면서 30초 간격으로 열화상 데이터를 취득하였고, 그 후엔 상온에서 180초간 방치시키며 데이터를 취득하였다.

적외선 열화상 데이터는 대기 온도와 습도 등 주위환경에 많은 영향을 받기 때문에 실험에 영향을 미치는 요인을 줄이기 위하여 직접적인 일사(日射)와 바람의 영향이 없는 실내에서 실험을 진행하였으며, 16, 21, 25, 28℃의 대기 온도와, 습도 60%(±10%)의 대기조건에서 열화상 데이터를 취득하였다. 취득한 열화상 데이터는 그림 4에서와 같이 텍스트 형식으로 변환하고 각 시험체 별로 30초마다 측정된 전체 320개(철근방향)×240개(철근직각방향)의 데이터 중 320개×210개의 데이터를 추출하여 철근방향으로 평균값을 구하였다. 여기서 구한 평균값은 철근이 위치한 부분을 중심으로 하는 평균 온도 분포를 나타내며 이를 그래프로 표현하면 그림 5에서와 같이 정규분포곡선과 흡사한 형태로 나타나게 된다.

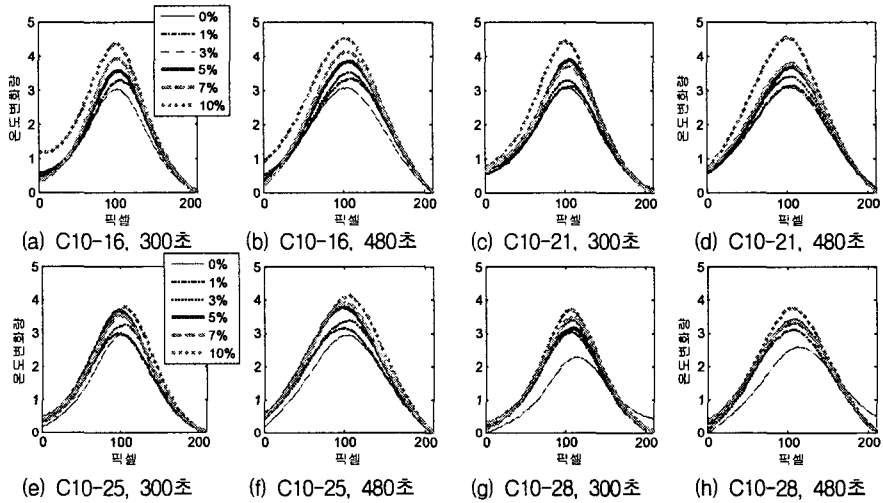


그림 5 부식률에 따른 표면 온도 분포(피복두께 10mm)

3. 실험결과 및 고찰

정규분포곡선의 적외선 열화상 데이터 분석 결과 그림 5와 같이 부식률이 커짐에 따라 콘크리트 표면 온도 상승률이 증가함을 확인할 수 있었다. 그 결과를 부식률, 피복두께, 대기 온도에 따라 분석하면 다음과 같다.

1) 부식률에 따른 피복두께별 온도변화

부식률에 따른 피복두께별 온도변화는 그림 6에서 보는 바와 같이, 대기 온도가 높아질수록 피복두께에 따른 온도변화의 차이를 보였는데 대기 온도가 높을수록 피복두께가 두꺼운 시험체의 온도변화가 작게 나타났다.

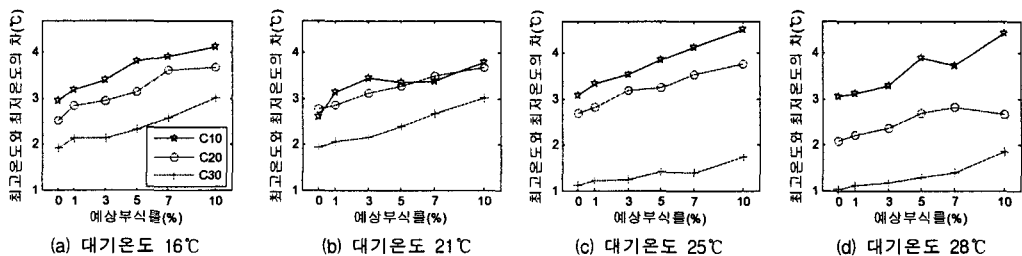


그림 6 부식률에 따른 피복두께별 온도변화

2) 부식률에 따른 대기온도별 온도변화

부식률에 따른 대기온도별 온도변화는 그림 7에서 보는 바와 같이 피복두께 10mm일 때는 모든 대기

온도에서 비슷한 양상을 보이거나 피복두께가 20mm의 경우는 대기온도가 28℃일 때의 온도차이가 적게 나타났다. 피복두께가 30mm의 경우는 대기온도가 25, 28℃일 때의 온도차이가 다른 대기온도일 때 보다 적게 나타났다. 피복두께가 커질수록 높은 대기온도에서의 온도차가 작게 나타남을 알 수 있다.

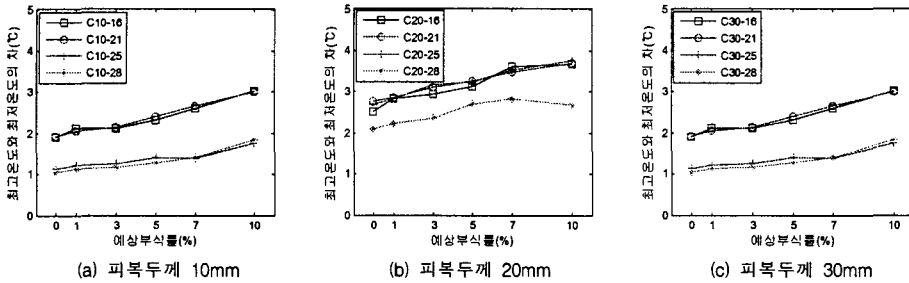


그림 7 부식률에 따른 대기온도별 온도변화

4. 결 론

대기조건에 따른 정량적인 부식률 측정을 위한 적외선 촬영 실험에서는 예상 부식률, 피복두께 및 대기 온도 조건에 대한 측정결과를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 철근의 부식률에 따른 철근의 저항을 계산해본 결과, 부식증가로 인한 철근단면적 감소로 저항이 증가하였고 실제 부식된 철근의 저항 측정에서도 부식률이 증가함에 따라 철근의 저항도 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.
- (2) 각 시험체별 내부철근의 온도상승을 비교한 결과, 부식률이 높을수록 온도상승의 폭이 크게 나타났다. 따라서 철근의 부식정도에 따른 저항변화로 인하여 발열량이 달라지는 것을 확인할 수 있었다.
- (3) 대기 온도가 높을수록 피복두께가 큰 시험체가 작은 온도분포 차이를 보였다.
- (4) 피복두께가 커질수록 높은 대기온도에서의 시험체와 대기온도사이의 온도차이가 적게 나타났다.

적외선 열화상을 이용한 부식률 예측기법을 위해서는 좀 더 많은 대기조건에서 실험하여 명확한 DB를 구성하고 단순히 대기온도만이 아닌 다양한 조건의 습도 및 일사, 대류 현상 등의 변수에 관한 연구가 필요하다. 또한 이 기법의 현장적용에 앞서 현장 적용성 검토를 위해 실물과 같은 조건의 실험체를 실험하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 오병환, 차수원, 조운구, "구조물의 염해 대책 특별 연구 보고서", 서울대 공학 연구소, 1995.
2. 박문호, 이익환, "적외선을 이용한 비파괴검사 기술", 비파괴검사학회지, 1994.
3. Clemena G.G and McKeel W.T, "Detection of Delamination in Bridge Decks with Infrared Thermography", Transportation Research Record No. 664, 1978.
4. S.G. Mickenzie, "Techniques for Monitoring Corrosion of Steel in Concrete, Corrosion Prevention & Control", Vol 34, No 1, 1987.