

적외선 열화상 데이터를 이용한 초기온도 상승률에 따른 철근의 부식률 예측 기법

Prediction Method of Rebar Corrosion Level Using Infrared Thermographic Data according to Increasing Rate of Early Temperature

윤 주 영* · 백 인 관** · 조 승 호*** · 노 영 숙**** · 정 란*****

Yun, Ju Young · Paik, In Kwan · Cho, Seung Ho · Roh, Young Sook · Chung, Lan

Abstract

In order to measure corrosion level of reinforcement rebar which is inside reinforced concrete structure, infrared thermographic technique was employed. Experimental test parameters were ambient temperatures, various levels of corrosion states. After analysis of temperature distributions of concrete surface, the amount of heat flux from the concrete surface is directly proportional to the corrosion level which is inside of concrete.

key words : Corrosion level, Infrared thermographic technique, Increasing rate of temperature

1. 서 론

염화물은 콘크리트 내부에서 여러 가지 반응을 일으키지만 그 중 콘크리트 내부 철근의 부식이 가장 큰 문제이다. 참고문헌¹⁾에 따르면 신도시 아파트에 대량의 해사가 사용되어 십수 년 후 철근 부식으로 인한 콘크리트 구조물의 내구성 저하가 심각한 사회적인 문제를 야기 시킬 것으로 보고되고 있다. 또한 최근 대규모 공사의 증가로 인하여 하천갈래가 부족해져 바다갈래의 사용이 늘어나고 있고²⁾, 영종도 신공항 건설, 서해안 고속도로 건설 등 해양환경 하의 건축물이 증가하여 염화물에 의한 피해에 대책 마련이 필요해지고 있다. 콘크리트 내부 철근의 부식은 콘크리트의 균열을 발생시켜 내력을 저하시키므로, 철근의 부식 정도를 조기에 파악하고 적절한 보수·보강을 통하면 구조물의 수명을 연장시킬 수 있다.

본 연구에서는 적외선 열화상 데이터를 이용하여 철근의 부식률을 정량적으로 측정할 수 있는 비파괴 측정기법을 개발하고자 이에 대한 기초 연구를 수행하였다.

2. 이론적 고찰

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 선행 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	$H = 0.24 I^2 R (\text{cal/s})$	식 (2)

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

l : 도체의 길이

A : 도체의 단면적

H : 전류에 의해 발생하는 열량

I : 전류량

R : 도체의 전기저항

* 단국대학교 대학원 건축공학과 석사과정, E-mail : uee4065@naver.com

** 단국대학교 부설 리모델링연구소 연구원, 공학박사

*** 단국대학교 건축대학 건축공학과 연구전임강사, 공학박사

**** 서울산업대학교 공과대학 건축공학전공 전임강사, 공학박사

***** 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수, 공학박사

표 2. 철근의 전기 저항 측정 결과

부식률 (%)	예상전기저항 (mΩ)	측정전기저항 (mΩ)
0 %	1.122	0.64
1 %	1.133	0.73
3 %	1.156	0.8
5 %	1.181	0.945
10 %	1.246	1.03
20 %	1.402	1.145
30 %	1.602	1.325

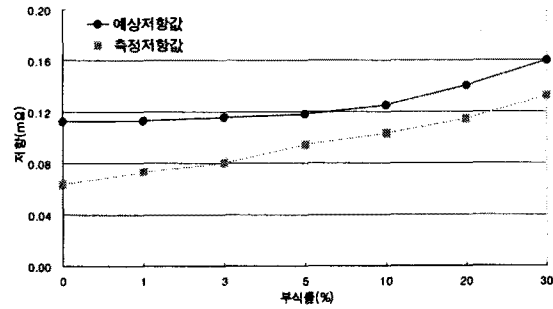


그림 1. 부식률에 따른 저항의 변화

3. 실험 방법³⁾

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_u 는 682MPa이었다.

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

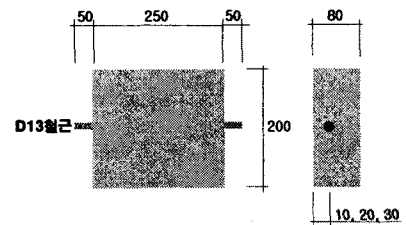


그림 2. 시험체 형상

시험체를 제작한 후 전위차 부식촉진법에 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 100A의 전류를 통전하여, 각 시험체 별로 300초 동안 철근을 가열하면서 30초 간격으로 콘크리트 표면의 열화상 데이터를 취득하였고, 그 후엔 상온에서 180초간 방치시키며 데이터를 취득하였다.

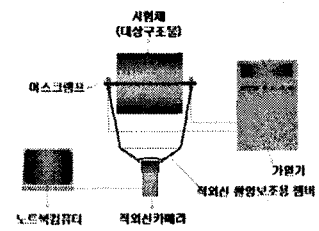


그림 3. 적외선촬영시스템

4. 열화상 데이터 분석

취득된 열화상 데이터를 텍스트 형식으로 변환하고 MATLAB 프로그램을 이용하여 각 시험체 별로 30초마다 측정된 결과를 전체 320(철근방향)×240(철근직각방향)개의 데이터 중 320×210개의 데이터를 추출하여 그 데이터 중 시험체의 최외각 단부에 해당하는 부분과, 철근이 위치한 부분의 최대값을 추출하여 평균값을 구하였다. 데이터를 추출하는 과정을 도식화하여 나타낸 것이 그림 4이다. 추출된 데이터의 그래프인 그림 5에서 나타난 바와 같이 시간이 지남에 따라 시험체 최외각 부분의 콘크리트 표면 온도는 변화가 거의 없거나 미약하며 철근이 위치한 시험체 중앙부의 콘크리트 표면 온도가 두드러지게 상승하는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 철근이 위치한 콘크리트 표면의 초기 온도상승률 비교를 통한 부식률을 예측하기 위하여 측정 시간대별 온도변화를 1차식으로 곡선 맞춤하여 그 기울기를 비교하였다. 그림 5와 같이 300초 이후의 데이터는 콘크리트 표면이 냉각되거나 온도변화가 적어 분석에서 제외하였고, 그림 6과 같이 예상 부식률별 시험체마다 하나의 온도변화 기울기를 표현하여 비교·분석하였다.

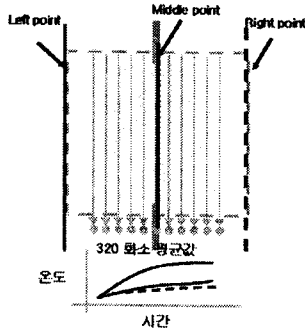


그림 4. 적외선 열화상 데이터처리

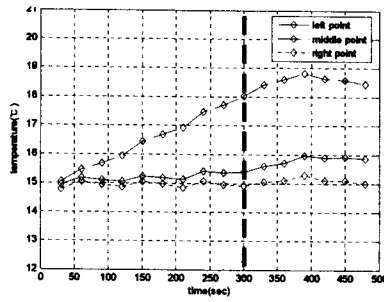


그림 5. 시간에 따른 온도변화

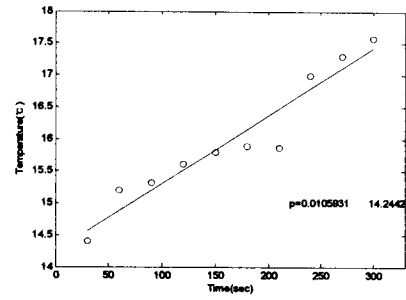


그림 6. 시험체 표면의 온도상승률 (부식률 0% 시험체)

5. 실험결과 및 분석

5.1 철근의 부식률에 따른 콘크리트 표면의 초기 온도상승률

표 4와 그림 7은 피복두께 10mm 시험체를 부식률별 온도상승률로 표현하여 비교하였으며, 그림 8은 부식률에 따른 온도상승률을 비교하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 부식률 5%의 실험결과를 제외하면 철근의 부식률이 커질수록 온도상승률이 증가함을 알 수 있다. 또한 표 4에서 보는 바와 같이 부식률 0%에서 10%까지의 온도상승률의 차이는 부식률이 높을수록 약 22.6% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 부식률이 높아짐에 따른 온도상승률이 커지는 이유는 철근의 부식이 진행될수록 단면적이 감소로 인한 철근의 저항이 증가하게 되어 보다 많은 열을 발생시킴으로 판단된다. 따라서 철근의 단면적에 의한 열발생량이 콘크리트 표면 온도에 부식률별로 비례하여 많은 열을 발생시킴으로써 부식률별 콘크리트 표면온도의 차이를 알 수 있다.

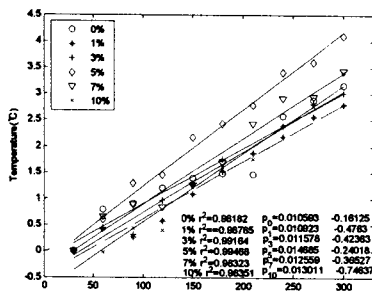


그림 7. 피복두께 10mm의 온도상승률

표 4. 부식률에 따른 온도상승률

예상부식률 (%)	온도상승률 (%)	상관계수 (R ²)
0	1.06	96.1%
1	1.09	98.7%
3	1.16	99.1%
5	1.47	99.4%
7	1.26	98.3%
10	1.30	98.3%

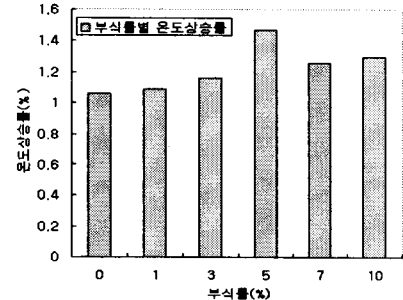
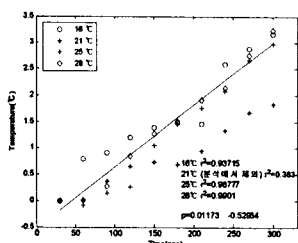


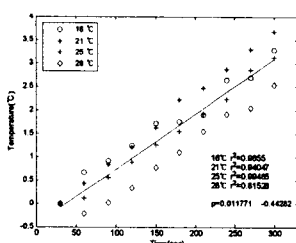
그림 8. 부식률에 따른 온도상승률 비교

5.2 대기온도에 따른 철근의 부식률별 콘크리트 표면의 초기 온도상승률

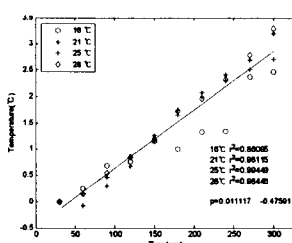
열화상 데이터 취득시 대기온도가 실험결과에 미치는 영향을 파악하기 위하여 대기온도(16, 21, 25, 28°C) 별 피복두께 10mm 시험체의 열화상 데이터를 취득하여 비교·분석한 결과, 그림 9에서 보는 바와 같이 곡선 맞춤하여 온도상승률을 산출하여 표 5에 나타내었다. 그림 10은 대기온도에 따른 부식률별 평균 온도상승률을 나타내고 있는데 대기온도의 영향은 거의 없는 것으로 판단되며, 철근의 부식률이 증가할수록 콘크리트 표면 초기 온도상승률이 증가함을 알 수 있다.



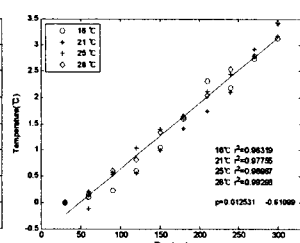
(a) 부식률 0%



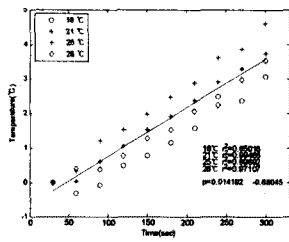
(b) 부식률 1%



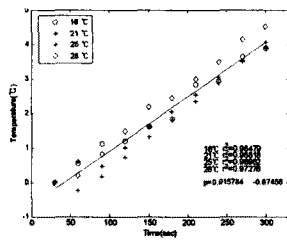
(c) 부식률 3%



(d) 부식률 5%



(e) 부식률 7%



(f) 부식률 10%

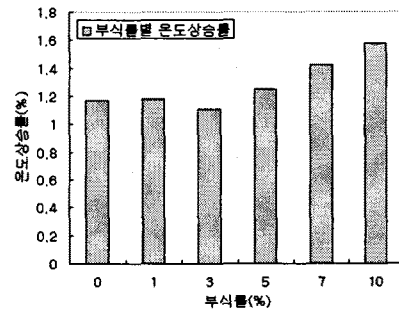


그림 10. 대기온도에 따른 부식률별 평균 온도상승률

그림 9. 대기온도에 따른 부식률별 온도상승률

표 5. 대기온도와 부식률에 따른 온도상승률

예상부식률(%)	온도상승률(%)	상관계수(R ²)			
		16℃	21℃	25℃	28℃
0	1.17	89.8%	38.8%	97.1%	97.1%
1	1.18	96.5%	94.0%	99.4%	81.5%
3	1.11	86.0%	98.1%	99.4%	98.4%
5	1.25	98.3%	97.7%	98.9%	99.2%
7	1.42	85.0%	99.4%	89.8%	97.1%
10	1.58	98.4%	98.8%	96.9%	97.2%

* 실험 분석에서 제외

4. 결 론

콘크리트에 매입된 부식된 철근의 정량적인 부식률을 측정하기 위한 적외선 촬영 실험에서는 부식률과 대기온도에 변수를 주어 콘크리트 표면온도의 초기 온도상승률에 대해서 측정결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 철근의 부식률에 따른 철근의 저항을 계산해본 결과, 부식률 증가로 인한 철근단면적의 감소로 저항이 증가하였으며, 실제 부식된 철근의 저항 측정에서도 부식률이 증가함에 따라 철근의 저항도 증가 하는 것을 확인 할 수 있었다.
- (2) 철근의 단면적에 의한 열발생량이 콘크리트 표면온도에 부식률별로 비례하여 많은 열을 발생시킴으로써 부식률별 콘크리트 표면온도의 차이를 알 수 있다.
- (3) 부식률별 평균 온도상승률은 대기온도의 영향은 거의 없는 것으로 판단되며, 철근의 부식률이 증가할수록 콘크리트 표면 초기 온도상승률이 증가함을 알 수 있다.

적외선 열화상을 이용한 그래프의 온도상승률에 의한 정량적인 부식률 판단을 위해서는 초기가열시점과 콘크리트 표면에 열이 발산되기 시작하는 온도 도달시간(delay time)에 대한 연구가 추후 진행되어 콘크리트 표면에 온도상승률에 대한 보완이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 대한건축학회, "신도시 아파트 내구성 조사연구 보고서", 대한건축학회, 1995.
2. 오병환, 차수원, 조윤구, "구조물의 염해 대책 특별 연구 보고서", 서울대 공학 연구소, 1995.
3. 백인관, "적외선 열화상을 이용한 철근의 부식률 부식률 측정 기법 개발", 단국대학교 박사학위논문, 2006.
4. Clemena G.G and McKeel W.T, "Detection of Delamination in Bridge Decks with Infrared Thermography", Transportati on Research Record No.664, 1978.
5. S.G. Mickenzie, "Techniques for Monitoring Corrosion of Steel in Concrete, Corrosion Prevention & Control", Vol 34, No 1, 1987.