

## 비파괴기법을 이용한 철근 콘크리트 벽체 철근의 부식률 예측기법

### Corrosion Level Measurement Technique for RC Wall Reinforcement Using Non-Destructive Test Methods

노영숙

Young-Sook Roh

초 록 콘크리트 벽체 구조물에 매입된 철근의 정량적인 부식률을 측정하기 위하여 자연전위 측정법과 적외선 열화상법을 이용하였다. 벽체 실험체는 부식률(0, 1, 3, 5, 7%)과 피복 두께(30 mm, 40 mm), 그리고 철근 배근 간격에 변수를 주어 콘크리트 표면에서 저항 및 전류를 측정하고 온도를 측정하였으며, 콘크리트 표면 상태에서 얻은 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 전류밀도 분포는 부식률이 증가할수록 그 값이 증가하였으며 피복 두께가 클수록 분포도가 넓게 나타났다. 적외선 촬영으로 얻어진 열화상 정보는 서로 다른 부식률과 피복 두께에서는 현저한 차이를 보였으며 주변 온도 및 철근 배근 간격에 대해서는 그 영향이 미비하게 나타났다. 제시된 부식 모델을 통해서 콘크리트 표면의 전류나 온도를 측정하여 내부에 매입되어 있는 철근의 부식률을 정량적으로 측정할 수 있는 것으로 나타났다.

주요용어: 전류밀도, 열화상, 철근 콘크리트 벽체, 철근 부식, 부식률

**Abstract** In order to measure corrosion level of reinforcement rebar in RC structures, non-destructive test methods which are concrete surface current density method and infrared thermographic technique were employed to measure corrosion levels. Experimental test parameters were various levels of corrosion states(0, 1, 3, 5, 7% of weight loss) and concrete cover depth(30 mm, 40 mm) and two different reinforcing rebar arrangements. The larger amount of concrete surface current density, the higher corrosion level in reinforcement rebar. The laboratory conditions which are ambient temperature and humidity have negligible effect on the infrared thermographical data. After analysis of current density and temperature distribution from concrete surface, corrosion level of reinforcement rebar embedded in concrete can be measured qualitatively based on the amount of electric current and heat flux.

**Keywords:** Current Density, Thermographical Image, Reinforced Concrete Wall, Rebar Corrosion, Corrosion Level

## 1. 서 론

### 1.1. 연구의 배경

건전한 철근 콘크리트 구조물인 경우에는 강알칼리성 콘크리트의 영향으로 철근 표면에 부동태 피막이 형성되어 부식으로부터 안전하게 보호

된다. 그러나 균열이 발생하여 물, 염소이온, 산소 등이 침투하게 되면 부동태 피막이 손상되면서 부식이 진전되어 점차 부피가 증가하고 콘크리트 박리가 발생하게 된다. 여기에 자원의 고갈로 하천 골재가 부족함에 따라 염분을 충분히 제거하지 않은 해사의 사용은 부식 발생 시기를 앞당기는 역할을 하게 된다. 해사는 염분을 제거하

고 사용하면 양질의 품질을 가질 수 있으나 그렇지 못할 경우에는 철근 부식의 큰 원인이 될 수 있다. 조사연구보고서에 따르면 신도시 아파트에 대량의 해사가 사용되어 일정 시간 후에는 철근 부식으로 인한 콘크리트 구조물의 내구성 저하가 심각한 사회적인 문제를 야기시킬 것으로 보고되고 있다[1]. 철근 부식이 이미 진행된 이후에는 보수나 보강이 쉽지 않고 비용도 많이 들기 때문에 되도록 초기에 철근 부식의 징후를 감지하여 적절한 대책을 수립하는 것이 효과적이라고 하겠다. 여기에 비파괴진단법의 적용이 필요하며 이는 현재 전기화학법, 부식전위 측정법, 분극저항 측정법, 임피던스 측정법, 적외선 열화상 측정법 등 다양한 방법이 대두되고 있으며 활발한 연구가 진행 중이다[2,3,5]. 최근 들어 적외선을 활용한 측정법은 그 사용의 간편함과 인력의 절약, 검사 비용의 경제성 및 비접촉식의 장점 등으로 인해 최근 다양한 분야에서 연구되고 있다 [8,6,12]. 미국, 일본, 유럽 등 해외에서는 적외선 열화상을 이용한 기술을 건축물 열관리, 발전설비 안전진단, 콘크리트 교량상판 결함탐지, 지하가스 배관의 누설, 콘크리트 부재의 균열 평가, 보강부재의 전진성 평가 등 산업 전반에 걸쳐 활용되고 있으며 국내에서도 일부 기관들이 장비를 도입하여 사용하고 있으며 이에 대한 유익한 연구결과도 지속적으로 제시되고 있다[8,9]. 적외선 영상장비를 이용한 검사 방법이 다른 방법들에 비하여 비 접촉식으로 인하여 안전하고 원거리 측정이 가능한 점 등의 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 부식 측정법과 적외선 열화상을 이용한 부식을 측정법을 비교 분석함으로써 철근 부식에 대한 보다 합리적이고 정량적인 측정 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 철근이 부식됨에 따른 단면적의 감소로 인해 철근에 전류를 가했을 때 철근의 저항값이 달라지며 또한 콘크리트 표면의 발열량이 달라진다는 점에 착안하여 실험을 기획하였다. 예비 실험을 통하여 단배근 철근의 부식을 측정과 주변의 온도 및 습도의 영향을 제거할 수 있는 보조용 챔버를 설계하고 제작하여 기온 변화가 심한 옥외 환경에서도 일정한 데이터를 얻는

것이 가능해졌다[7]. 본 연구에서는 복배근 철근 콘크리트 벽체 실험을 대상으로 철근 부식 반응에 대한 연구자료의 분석을 통하여 비파괴법에 의한 부식을 측정 및 분석하여 기존의 부식률을 정량적으로 예측하기 위한 방안을 제시하고자 다음과 같이 연구를 진행하였다[2,3].

- 콘크리트 벽체 표면 전류밀도 분포를 통하여 철근 부식 거동 및 부식률 측정
- 적외선 열화상을 이용하여 철근 부식 거동 및 부식률 측정
- 부식률 정량화 기법 제안

2. 실험 방법

비파괴 측정법을 이용한 부식률 시험체는 실제 구조물에 많이 쓰이는 30 mm, 40 mm 피복두께를 대상으로 부식률 0%, 1%, 3%, 5%, 7% 그리고 두 종류의 철근배근을 적용하여 총 20개의 실험체를 가지고 실험을 진행하였다. 현장 실물벽체와 유사하도록 철근 배근간격에 따라 실험체 Case 1과 Case 2로 구분하였고 일반적인 벽체를 모델로 복배근과 150 mm의 두께로 실험체를 설정하였다. 실험을 위해 철근을 실험체 외부로 노출시키지 않고 실제 현장에서 노후화된 건물을 대상으로 실험을 진행하듯이 실험체를 파쇄 하여 실험하기로 계획하였다. 실험에 사용할 철근은 D13 철근이며 각각의 실험변수는 다음과 Table 1과 같다.

2.1. 실험체 계획

실험체의 상세치수는 Fig. 2에 나타나 있으며 형상은 Fig. 3과 같다. 피복두께의 영향을 확인하

Table 1 Test variables

시험변수	종류 및 세부사항	
부식률	0 %, 1 %, 3 %, 5 %, 7 %	
피복두께	30 mm, 40 mm	
철근	D13(수직, 수평철근)	
시험체크기	A형	500 mm X 500 mm X150 mm
	B형	700 mm X 500 mm X150 mm
배근간격	A형	200 X 200 mm
	B형	300 X 200 mm

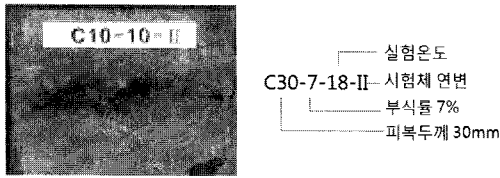
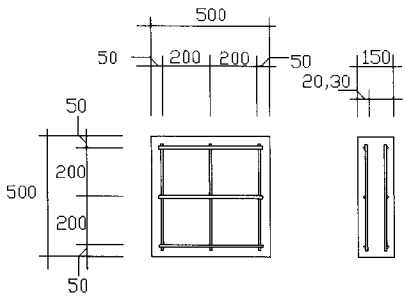
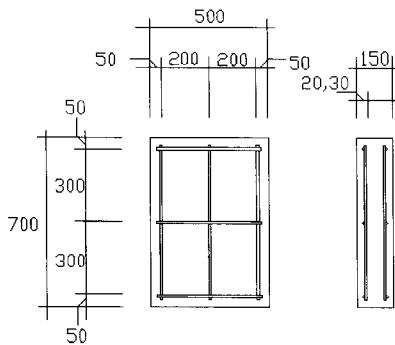


Fig. 1 Specimen's name

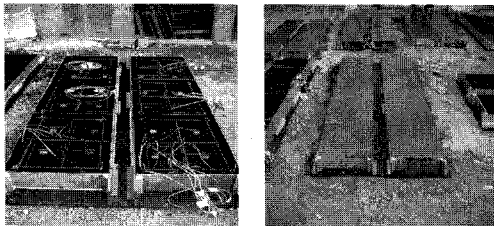


(a) 200X200 double reinforced specimen



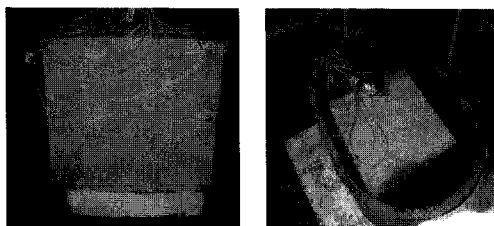
(b) 300X200 double reinforced specimen

Fig. 2 Size of specimens



(a) Rebar arrangement

(b) Concrete pouring



(c) After 28 days concrete pouring

(d) Electro-chemical accelerated test setup

Fig. 3 Specimen fabrication process

기 위하여 피복두께 30 mm, 40 mm와 철근의 부식률 0%, 1%, 3%, 5%, 7%를 실험변수로 하여 각 변수별로 1개씩 총 20개의 실험체를 제작하였다. 콘크리트 내부 철근의 중앙에는 온도센서를 설치하여 내부 철근의 온도 변화를 확인할 수 있도록 하였다.

2.2. 실험체 사양

실험체 제작에 사용된 콘크리트는 Table 2와 같이 슬럼프 15 cm, 설계기준강도 210 kgf/cm<sup>2</sup>의 배합조건으로 레미콘 타설하였고 물 시멘트 비는 60%를 사용하였으며, 평균압축강도는 22.7 MPa로 나타났다. 철근은 일반적으로 사용되는 D13 철근을 구입하여 사용하였다. 사용된 콘크리트의 배합 비 및 콘크리트와 철근의 강도는 Table 3과 같다. 실험체를 제작한 후 Fig. 3(d)에 나타나 있는 바와 같이 전위차 부식촉진법에 의해 강제부식을 시킨 후 부식률 측정 실험을 진행하였다.

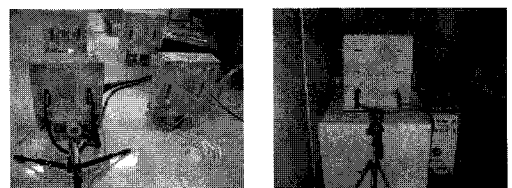
적외선 열화상을 얻기 위해서는 Fig. 4에 나타나 있는 바와 같이 시험체 제작 및 부식 후에 철근의 위치까지 천공을 한 후 철근을 가열한 후

Table 2 Mix proportion of concrete

Design strength (MPa)	w/c (%)	slump (cm)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					Avg. compressive strength (MPa)
			water	cement	fine agg.	coarse agg.	AE water reducing agent	
21	60	15	185	308	720	994	1.541	22.7

Table 3 Material properties

Concrete	Design strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Avg. strength (kgf/cm <sup>2</sup> )
		210
D13 Reinforcement rebar	Yield strength, fy (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensile strength, fu (kgf/cm <sup>2</sup> )
	4,980	6,820



(a) Infrared thermographical data acquisition system A

(b) Infrared thermographical data acquisition system B

Fig. 4 DAQ system with different specimens

콘크리트 표면의 열화상을 측정하였다.

본 연구에서는 FLIR사의 ThermoCAM E-45TM 포터블용 적외선 카메라를 사용하였으며, 스펙트럼의 범위는 7.5-13  $\mu\text{m}$ , 최소검지온도는 0.1  $^{\circ}\text{C}$ 이다. 적외선 측정 방법은 최소 1.25/ $\text{mm}^2$ 의 화소수를 가지는 촬영거리 40 cm를 유지하고 인버터용접기를 이용하여 피복두께에 따라 일정 전류를 통전시켜 실험하였으며 이는 선행 연구결과를 적용하였다[5,7,13].

### 3. 실험 결과 및 분석

콘크리트에 매입된 철근의 부식 상태를 정량적으로 평가하기 위하여, 예상 부식률 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, 피복두께 30, 40 mm에 변수를 주어 제작된 총 20개의 실험체를 부식률에 따라 전위차 부식 촉진 실험을 한 후 자연전위 측정기와 적외선 촬영기를 이용하여 부식 상태를 측정하였다. 전위차 부식 촉진법에 의한 예상 부식률을 유도하는 과정에서의 일반적으로 나타나는 전류의 흐름을 살펴보면, 초기에는 평균 1.0 A의 전류가 흐르다가 어느 정도의 부식 부산물의 팽창에 의한 저항으로 전류가 조금 낮아지다가, 부식 부산물에 따른 부피 팽창으로 인한 균열 발생 후 철근은 3%의 염화나트륨 수용액과 직접적인 접촉으로 인하여 전류가 급상승하여 부식이 진행하였다. 이후 어느 정도의 시간이 지남에 따라 전류는 서서히 감소하여 오히려 초기의 전류보다 더 낮은 전류로 부식이 진행되었다.

실험 데이터 측정 시의 환경(온도 및 습도 등)의 영향과 측정결과와의 오차를 최대한 줄이기 위해서 선행 연구에서는 옥외 환경하의 단배근 실험체를 대상으로 보조용 챔버를 개발하여 적용하였다[7]. 기온차가 심한 옥외환경이 아닌 일반 실험실 환경인 경우에는 실험실 내의 주변 온도와 습도를 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 본 실험에서는 복배근 벽체 실험체를 대상으로 온도와 습도가 일정한 실험실에서 실험을 진행하였으며, 주변 온도가 17~19  $^{\circ}\text{C}$  내외에서는 적외선 데이터에 영향이 없는 것으로 나타났다.

#### 3.1. 적외선 열화상 측정

적외선 열화상 측정을 위하여 철근 배근 위치

에 천공을 하여 철근 양단에 전기가열기를 이용하여 전류를 가하고 콘크리트 표면과 40 cm의 거리를 유지하면서 적외선 촬영을 진행하였다. 전기 가열은 피복두께 30 mm 시험체의 경우는 250 A의 전류를 통전하여, 각 시험체 별로 25분 동안 철근을 가열하면서 30초 간격으로 콘크리트 표면의 열화상 데이터를 취득하였다.

각 시험체 별로 30초마다 측정된 결과를 전체 320(철근방향)  $\times$  240(철근직각방향)개의 데이터 중 320  $\times$  210 개의 데이터를 추출하여 그 데이터 중 시험체의 최외각 단부에 해당하는 부분과, 철근이 위치한 부분의 최대값을 추출하여 평균값을 구하였다.

Fig. 5와 6은 시간에 따른 적외선 열화상의 분포를 부식률과 피복두께에 따라 표현한 것이다. 콘크리트 표면으로 열이 전달되기까지는 피복두께 별로 부식률 별로 일정하게 변화하는데 여기서는 지연시간을 제외한 콘크리트 열원이 표면에 도달한 시점을 기준으로 온도분포를 나타낸 것이다.

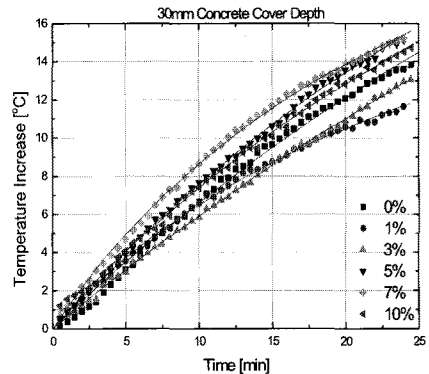


Fig. 5 Temperature distributions for 30 mm CCD

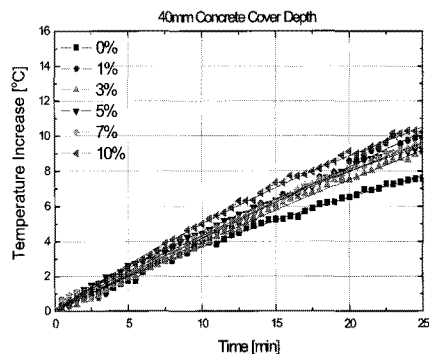


Fig. 6 Temperature distributions for 40 mm CCD

3.2. 자연전위 측정법

피복두께를 변수로 하여 부식률별로 측정된 전류밀도 분포는 Fig. 7과 8에 나타나 있다. 실제로 부식이 없는 건전한 실험체의 경우 모든 시험측정값이  $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  이하로 측정되어 CEB 기준과 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 각 데이터 위치는 5회 연속 실험에서 얻은 값의 평균값을 나타낸다. 부식률이 1% 이하의 부식률에서는  $0.05 \sim 0.53 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 분포가 나타났으며, 2% 이상의 부식률에서는 일정한 기울기를 가지며, 부식전류밀도가 조금씩 큰 값으로 상승하는 분포가 나타났다.

피복두께 30 mm인 경우는 부식률에 따른 전류밀도의 분포는 부식률이 증가할수록 전류밀도가 증가하는 형태의 기울기를 나타내고 있으나 부식률 7%에서는 분산도가 매우 넓게 분포하는 것을 볼 수 있다. 피복두께 40 mm의 경우 전류밀도 분포가 30 mm 경우보다 넓은 영역에 분포하고 있으며 피복두께가 클수록 동일한 부식률일 때 전류밀도가 조금씩 높게 측정되었다.

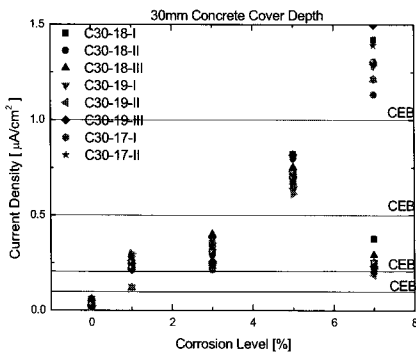


Fig. 7 Current density distributions for 30 mm

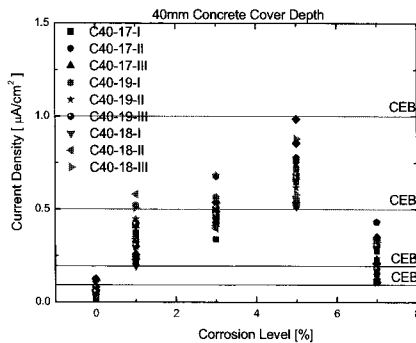


Fig. 8 Current density distributions for 40 mm

3.3. 부식률 측정법

3.3.1. 온도 전달 지연시간

피복두께별로 콘크리트 표면에 나타나는 최대 열화상의 온도가 다르게 되며 이를 그림으로 나타낸 것이 Fig. 9이다. 본 실험에서는 30 mm와 40 mm 피복두께 벽체 실험체를 대상으로 데이터를 얻었으며, 온습도가 일정하고 실험조건이 동일한 10 mm, 20 mm, 30 mm의 실험 결과와 비교하였다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 피복두께가 커질수록 최대온도는 지수함수의 형태로 감소하는 것을 볼 수 있으며 피복두께 50 mm인 경우에 예상되는 최대 온도는  $8.87 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 나타났다.

적외선 에너지가 철근에서 콘크리트로 전달되는 표면 도달시간은 피복두께에 따라 각각 다르며 이를 온도 도달 지연시간(delay time)이라고 한다. 이러한 지연시간은 부식되지 않은 시험체와 부식된 시험체가 각각 다르게 나타남을 선행 연구를 통하여 알 수 있었다.

온도 도달 지연시간은 실험을 수행하는 주변의 여건과 콘크리트 재료의 성질에 따라서도 변화하는 것으로 나타났다. 피복두께에 따른 온도 도달 지연시간을 부식이 없는 시험체와 부식이 개시된 시험체별로 나누어 분석해 보면 Fig. 10과 같다. 피복두께가 클수록 부식이 발생한 시험체와 건전한 시험체 사이의 온도 도달 지연시간이 커지는 것으로 나타났다.

적외선 열화상의 지연시간은 다음과 같다.

$$T_{d_o} = 15.005 \times \exp^{0.0693 \cdot CCD} \quad (R = 0.9960) \tag{1}$$

$$T_{d_c} = 22.508 \times \exp^{0.0693 \cdot CCD} \quad (R = 0.9986)$$

여기서  $T_{d_o}$ ,  $T_{d_c}$ 는 각각 건전한 시험체와 부식이 발생한 시험체의 지연시간을 나타내며, CCD는 콘크리트 피복두께를 나타낸다.

위의 식에서 추정하여보면 실험에서와 다른 피복두께를 가진 구조물의 지연시간을 예측할 수 있다. 예를 들면 피복두께 50 mm의 경우에 부식이 발생하지 않은 상태에서 지연시간은 약 479초로 추정되며, 이를 역으로 이용하여 구조물의 적외선 실험결과 지연시간이 대략 480초로 나타난 경우에는 부식이 개시되지 않은 것으로 판단할

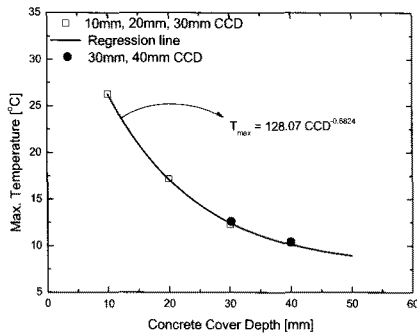


Fig. 9 CCD vs. maximum temperature

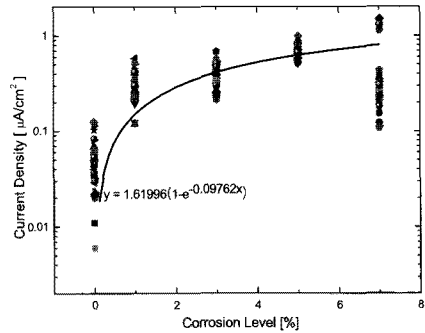


Fig. 11 Current density vs. corrosion level

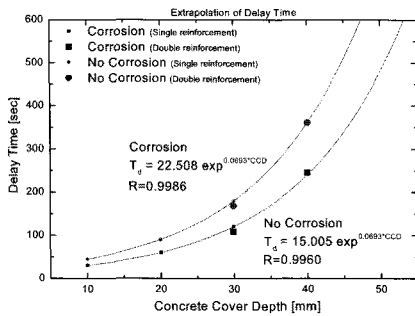


Fig. 10 Delay time vs. concrete cover depth

수 있다. 부식 개시 후의 지연시간은 대략 720초 정도로 예측할 수 있다. 이는 온도 도달 지연시간만을 이용해서 부식의 여부를 정성적으로 판단할 수 있음을 의미한다.

### 3.3.2. 전류밀도를 이용한 부식상태 비교

CEB Bulletin No243 에 의하면 부식전류밀도가  $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  이하일 경우에는 부동태 상태이며,  $0.1 \sim 0.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 이면 부식속도가 다소 느린 정도이고,  $0.5 \sim 1.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 이면 부식속도가 다소 빠른 정도이며,  $1.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  이상일 경우에는 부식속도가 빠르다고 판단하고 있다. Table 4에서는 CEB Bulletin No243 의 전류밀도에 의한 부식 평가기준을 나타내고 있다[11].

Table 4 Evaluation of corrosion velocity<sup>CEB Bulletin 243</sup>

Current density ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Above 1.0	0.5~1.0	0.2~0.5	Below 0.1~0.2
Corrosion velocity	Fast	Moderate fast	Moderate slow	Passive condition

피복 두께에 따라서는 피복 두께가 클수록 전류밀도의 분포가 넓은 범위에 걸쳐 측정되는 것으로 나타났다. 피복 두께가 증가함으로 인하여 전류밀도의 정확성이 다소 저하되는 것으로 판단된다. 부식률이 7%의 시험체는 전류밀도가 낮게 측정되었으며 이는 콘크리트의 부식 부산물이 많은 량 발생하여 철근에서 센서까지로의 전류가 원활하게 흐르지 못해 오류가 발생된 것으로 판단되나 추가적인 연구가 필요하다.

회귀분석에 따른 전류밀도와 부식률에 대한 관계식은 다음 식과 같으며, 상관계수  $R=0.74$  로 나타났다.

$$C_{\text{current}} D_{\text{density}} = 1.61996(1 - e^{-0.09762 C}) \quad (2)$$

### 3.3.3. 부식률 예측

시간에 따른 열화상 분포 양상을 분석하기 위해서는 시험체에서 방출되는 적외선이 열적 평형 상태( $T_{\text{max}}$ )에 도달해야 하며 Michaelis-Menten 방정식에서 정의된 바와 같이 수렴온도의 절반에 해당하는 시간( $1/2 T_{\text{max}}$ )까지의 열화상 정보를 이용하여 식(3) Michaelis-Menten 방정식을 정의할 수 있다.

$$T(t) = \frac{P_1(t - t_d)}{P_2 + (t - t_d)} \quad (3)$$

여기서,  $T(t)$ 는 시간에 따른 열화상 온도분포  $t_d$ 는 지연시간 또는 온도도달시간

$P_1$ 은 열적 평형상태의 최대 수렴 온도

$P_2$ 는 Michaelis-Menten 상수를 나타낸다.

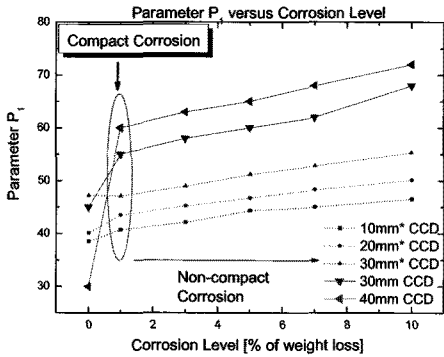


Fig. 12 Corrosion level vs. parameter P1

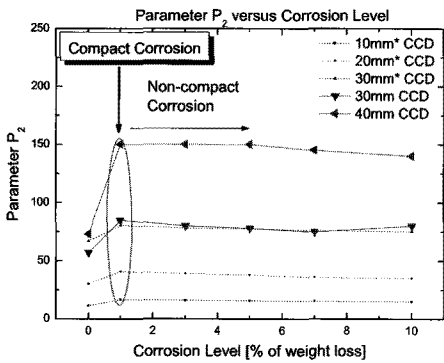


Fig. 13 Corrosion level vs. parameter P2

시간에 따른 온도 분포 곡선을 Michaelis-Menten 방정식으로 나타낸 결과 Fig. 12, 13에서 보는 바와 같이 나타났다. 부식이 발생하지 않은 시험체를 제외하고 부식 개시 후 1%, 3%, 5%, 7% 순으로 초기 기울기가 증가하여 P1값은 부식률에 따라 점차 증가함을 알 수 있었다. 기존 단배근 시험체의 실험 결과인 10 mm, 20 mm, 30 mm 피복 두께 시험체와 비교하면 부식이 증가할수록 P1값이 그 크기는 다르지만, 비슷한 기울기로 증가하는 것을 볼 수 있다. 부식 발생 시점을 나타내는 밀착부식(compact corrosion)을 중심으로 부식 발생 전과 부식 발생 후는 그 거동이 다른 양상을 보이고 있다.

곡률에 해당하는 Michaelis-Menten 상수 P2값은 부식이 증가되면 될수록 약간씩 감소하는 경향을 나타냈다. Fig. 13에서 보는바와 같이 P2의 값은 밀착부식구간(compact corrosion region)을 중심으로 점차 부식이 진행됨에 따라 그 값이 감소하는데 피복 두께 30 mm의 경우에는 기존연구와 그 거동이 매우 유사한 것으로 나타났다. 철근

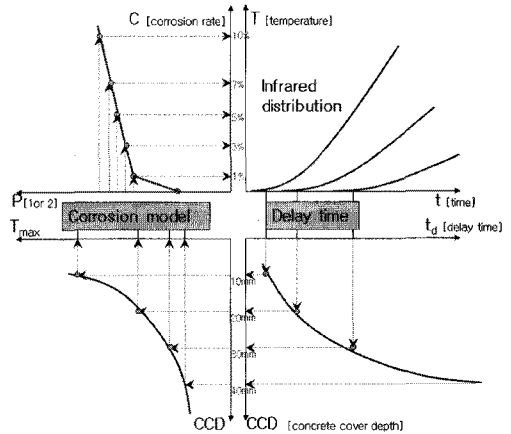


Fig. 14 Corrosion evaluation system

부식 모델링 그래프에서 P1과 함께 곡률을 나타내는 변수 P2는 밀착부식구간에서 가장 크게 나타났으며 점차 주변 공극과 균열을 통해서 열이 빠져나옴에 따라 수렴온도를 나타내는 P1의 값은 증가하는 반면에 곡률을 나타내는 P2는 다소 감소함을 알 수 있다. P1과 P2의 부식률 및 피복두께에 따른 각각의 관계식은 다음 식(4)와 같다.

$$P_1 = 1.35C + 0.65CCD + 32 \tag{4}$$

$$P_2 = -0.887C + 4.33CCD - 38$$

열화상 데이터를 이용하여 부식률을 정량적으로 평가하는 과정은 다음 Fig. 14에 자세히 나타나 있다. 그림에서 1사분면에 나타난 열화상 데이터를 이용하여 피복두께별 온도 도달 지연시간(2사분면)을 구할 수 있다. 온도 도달 지연시간을 이용하여 부식의 정성적인 1차 평가가 가능하며, 피복 두께를 고려한 부식 모델을 이용하여 2차적인 부식의 정량적 평가가 가능한 것으로 판단되며 추후 다양한 데이터 베이스를 구축하여 이를 검증하는 것이 필요하다.

#### 4. 결론

철근의 부식으로 인한 철근 단면적 감소는 전기 저항 및 열의 저항과 밀접한 관련이 있으며 이를 이용한 부식률 비파괴 측정법으로서 자연전위 측정법 및 적외선 촬영법이 사용되었다. 이에 콘크리트 벽체 구조물에 매입된 철근의 부식을

측정하기위해 부식률, 피복 두께, 철근 배근에 변수를 주어 시험체를 제작하고 위의 두 가지 방법을 이용하여 부식률 측정 실험을 하였으며 얻어진 결과들은 다음과 같다.

- 1) 전류 밀도의 분포도와 적외선 열화상의 분포도에서 공통으로 불연속구간이 발생되었으며 이는 부식이 시작되는 초기 1~2%의 부식률 구간(밀착부식구간 compact corrosion)으로서 이 구간에서는 철근과 이를 둘러싼 콘크리트 접합 부분에서 큰 물리적인 변화가 발생되며 이를 중심으로 한 양쪽 구간에서는 서로 다른 부식 거동을 보였다. 건전한 상태와 밀착부식 상태를 지나면, 급격한 주위 환경의 변화가 일어나지 않는다고 가정할 때, 부식거동은 일정한 양상을 띠는 것으로 나타났다. 이로 인해 초기 부식 상태 및 이에 대한 진단이 매우 중요한 것으로 나타났다.
- 2) 자연전위 측정법을 이용한 부식률 측정법은 부식률 1% 이상인 시험체에서의 전류밀도 분포가 일정한 기울기를 유지하는 것으로 나타났으며 이를 이용하여 부식의 정량적인 판단이 가능할 것으로 판단된다.
- 3) 적외선 열화상 촬영법을 이용한 부식률 측정은 콘크리트 표면에 열이 전달되는 지연시간과 콘크리트 피복 두께를 고려하여 Michaelis-Menten 방정식을 이용하여 정량적인 측정이 가능한 것으로 나타났다. 본 연구에서 제안한 바와 같이 사 사분면 관계 도표를 이용하여 온도-지연시간-피복두께-부식률의 관계들을 측정된 적외선 열화상 온도를 바탕으로 정의할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구의 실험은 서울과학기술대학교와 단국대학교 공동으로 수행되었으며, 이에 단국대학교 리모델링 연구소 정 란 교수님을 비롯하여 여러 연구원들께 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- [1] 대한건축학회, "신도시 아파트 내구성 조사 연구 보고서", *대한건축학회* (1995)
- [2] P. J. M. Monteiro, F. Morrison and W. Frangos, "Non-destructive measurement of corrosion state of reinforcing steel in concrete," *ACI Materials Journal*, Vol. 95, No. 6, pp. 704-709 (1998)
- [3] 임홍철, 이형우, "철근부식 표면측정 모델링을 이용한 철근의 직경변화 탐지", *대한건축학회 논문집*, 제21권 제5호, pp. 3-10 (2005)
- [4] 이주영, 이현호, "적외선 카메라를 이용한 섬유 슈트 보강공사의 결함검지기술", *대한건축학회 논문집*, 제16권 제10호, pp. 73-80 (2000)
- [5] 정 란, 한남희, 조승호, "콘크리트 내부 철근 부식의 비파괴측정 방법에 관한 연구", *대한건축학회 논문집*, 제18권 제8호, pp. 19-26 (2002)
- [6] 정 란, 조승호, 노영숙, 김중구, "콘크리트 매입 철근의 부식도와 비파괴 측정 부식전위 및 부식전류밀도의 관계", *부식과 방식 논문집*, 제3권 제2호, pp. 87-94 (2004)
- [7] 노영숙, 정란, 박현수, "디지털 화상정보를 이용한 매입 철근의 부식률 예측모델", *대한건축학회 논문집*, 제24권 제7호, pp. 77-84 (2008)
- [8] G. G. Clemena and W. T. McKeel, "Detection of delamination in bridge decks with infrared thermography," *Transportation Research Record*, No. 664, pp. 180-182 (1978)
- [9] 권영진, "적외선 탐사에 의한 타일 박리 부위 모니터링에 관한 사례분석", *한국구조물진단학회 봄 학술발표회 논문집*, 2권 1호, pp. 55-60 (1998)
- [10] S. G. Mickenizie, "Techniques for monitoring corrosion of steel in concrete, corrosion prevention & control," Vol. 34, No. 1, pp. 11-17 (1987)
- [11] CEB Bulletin No. 243, "Strategies for Testing and Assessment of Concrete," (1998)
- [12] C. Meola and G. M. Carlomagno, "Recent advanced in the use of infrared thermography," *Measurement Science and Technology*, Vol. 15, No. 9, pp. R27-R58(2004)
- [13] 윤주영, 정 란, 노영숙, "열화상 정보를 이용한 부식률 예측기법", *비파괴검사학회지*, 제27권 제2호, pp. 142-147 (2007)