

# TEM법에 의한 모르타르 중의 철근 부식 측정에 관한 연구

이상호\* · 한정섭\*\*

\*한중대학교 건축·토목환경공학부

\*\*동아대학교 토목·해양공학부

## A Study on the Measurement of Steel Corrosion in Mortar by TEM Method

SANG-HO LEE\* AND JEONG-SEB HAN\*\*

\*Division of Architecture, Civil & Environment Engineering, Hanzhong University, Donghae 240-713, Korea

\*\*Division of Civil & Ocean Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

**KEY WORDS:** Spalling 박리, Transient electro magnetic(TEM) method 과도전자탐사법, Steel corrosion 철근 부식, Secondary electro Motive force(2nd EMF) 2차 기전력, Coincident loop configuration 동일루프배열, Nondestructive technique 비파괴 기술

**ABSTRACT:** Steel, as a reinforcing mechanism in concrete, provides the tensile strength that is lacking in concrete, alone, and the high alkaline environment (pH 12.5) in concrete offers satisfactory protection against most corrosion of the steel. However, the corrosion of reinforcing steel in concrete can occur by chloride attack or carbonation, and it can cause a loss of integrity of a section and concrete failure through cracking and spalling. In this study, a transient electro magnetic method (TEM) of a nondestructive technique is adapted to study the measuring method of steel corrosion in mortar. The sensor was made of an enameled wire, with a diameter of 0.25mm and anacril. The sensor configuration used was a coincident loop type. The secondary electro motive force (2nd EMF) was measured with SIROTEMIII, which equipped the accelerator. The accelerator allowsthe transmitter to turn off approximately 10~15 times faster than normal. The high-resolution time series, used for very shallow or a high resistivity investigation was selected. After steels were corroded by the salt spray, during 4, 8, 15 and 25 days, they were embedded in mortar. The content results acquired in this study are as follows. The variation of the secondary electro motive force (2nd EMF) was shown by the change of steel surface with different corrosion time of steel. It was confirmed that measurement of steel corrosion in mortar by a transient electro-magnetic method (TEM) can be possible.

### 1. 서 론

콘크리트의 세공 속의 수분은 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>) 용액과 약간의 수산화나트륨(NaOH)과 수산화칼륨(KOH)을 함유한 용액으로써 존재하며 그 용액의 pH가 12.5정도이다. 이러한 강알칼리성 환경에서 철근은 그 표면에 부동태 피막이라고 하는 20~60Å 두께의 얇은 산화피막( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 형성하여 부동태화 되어 있기 때문에 철근은 부식작용으로부터 보호되고 있다 (Glasser and Sagoe-Crentsil, 1989). 따라서 초기 철근 콘크리트 구조물에서는 철근의 부식은 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 시간이 경과함에 따라 알칼리 성분의 용출과 중성화에 의해서 콘크리트 중의 알칼리성이 저하되거나 콘크리트 중에 각종 유해 성분이 혼입되면 철근은 활성태로 되어 부식하기 쉽게 된다. 철근의 부동태 피막을 파괴하는 유해 성분에는 할로젠 이온(Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>), 황산염이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 황화물(S<sup>2-</sup>) 등의 음이온이다. 이들 중 염소이온은 그 작용이 가장 강하고 콘크리트 중에 혼입되는 기

회가 많기 때문에 콘크리트 중의 철근 부식에 대한 가장 유해한 이온이다. 염소이온은 부동태 피막의 약점에 흡착하여 피막을 국부적으로 파괴하므로 철근 표면에 공식(Pitting)을 일으키는 원인이 된다.

철근표면에 부식 생성물이 생성되면 체적이 팽창하기 때문에 철근과 콘크리트 사이의 결합력이 떨어지고, 콘크리트에 균열이 발생되고, 콘크리트의 피복이 박락됨으로써 심한 경우에는 구조물이 붕괴되는 현상이 일어나기도 한다.

콘크리트 중의 철근 부식을 측정하는 방법으로는 전기화학적인 방법인 자연전위법(ASTM C-876, 1991; Suryavanshi et al, 1991), 전기 비저항법(Lopez and Gonzalez, 1993), 분극저항법(Sehgal et al., 1992; Felio et al., 1988), 교류 임피던서법, 전기화학적 노이즈법 등이 있다. 이 중 half-cell을 이용하여 부식도를 작성하여 부식된 부분을 찾아내는 자연전위법을 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 철근에 도선을 연결시켜야 하므로 철근 콘크리트 구조물에 손상을 입히게 되고, 함수량에 따라 측정값이 좌우되기 때문에 측정 결과의 해석에 주의해야 하는 단점이 있다. 그리고 전기 비저항법은 4전극법으로 콘크리트 표면에 4개의 전극을 배치하여 두 끝의 전극사이

교신저자 이상호: 강원도 동해시 지흥동 산 119번지

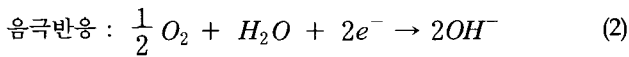
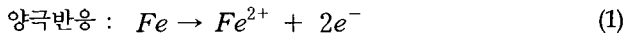
033-520-9274 sangho@donghae.ac.kr

에 전류를 흘려 보내고, 안쪽 2개의 전극사이에 전압을 측정하여 비저항을 구하는 방법이다. 그러나 현재 사용하고 있는 전기 비저항법 장치는 전극 간격을 고정시켜 철근 콘크리트의 특정 깊이의 비저항만을 측정하여 철근의 부식을 평가하는데, 이 경우 콘크리트의 성질에 따라 매우 큰 차이를 나타낼 뿐만 아니라 철근부식 상태를 정확하게 파악하기 어렵다는 단점을 갖고 있다.

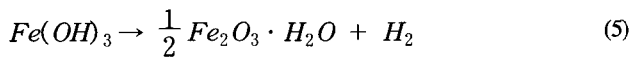
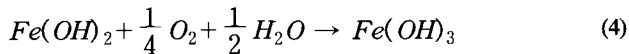
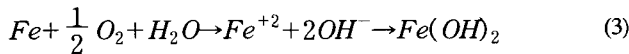
따라서 본 연구에서는 비파괴 검사인 광물 탐사에 주로 사용되는 과도전자탐사법을 이용하여 모르타르 중의 철근 부식 정도를 측정 하고자 한다.

### 2. 콘크리트 중의 철근 부식 메커니즘

활성상태에 있는 철근은 수분과 용존 산소의 작용으로 부식 전지가 형성된다. 즉, 철근의 표면에는 식 (1), (2)과 같이 철이 이온화하여 산화된 양극반응(Anode reaction)과 산소와 환원하는 음극반응(Cathode reaction)이 일어난다.



위의 양극반응과 음극반응의 전체 반응은 두 반응을 더하면 식 (3)과 같이 수산화 제1철(Fe(OH)<sub>2</sub>) 화합물이 생성되고 수산화 제2철 화합물과 산소와 물이 반응하여 식 (4)과 같이 수산화 제2철(Fe(OH)<sub>3</sub>) 화합물이 생성된다. 또 수산화 제2철 화합물은 물을 잃고 식 (5)와 같이 녹을 형성한다(Avila- Mendoza et al, 1994).



### 3. 과도전자탐사의 원리

과도전자탐사법은 지하를 탐사하는 지구물리탐사 방법 중의 하나이다. 송신루프에서 자기장을 발생시키면 지하 전도체에 와전류가 생기고 이는 다시 수신루프에 유도 전류를 야기시킨다.

송신루프에 전류를 보내다가 전류를 단절시키면, 이 전류 변화에 의하여 자장의 변화가 생기고, 이 변화가 수신 루프 및 지하전도체에 1차 기전력을 유도한다. 지하전도체 내의 이 기전력에 의한 전류의 변화는 수신루프에 2차 기전력을 유도

하게 된다(조동행 등, 1983). 이 유도 기전력을 시간대별로 측정하여 지하의 암석의 종류 및 광물의 부존상태를 파악하게 된다.

수신루프에 유도되는 기전력은

$$e^T = e^P(t) + e^S(t) = M_{O2} I_0 \delta(t) - \frac{M_{O1} M_{12} I_0}{L} \delta(t) + \frac{M_{O1} M_{12} I_0}{L \tau} \exp(-t/\tau) \quad (6)$$

여기서,  $e^T, e^P, e^S$  는 총 기전력, 1차, 2차 기전력  
 $M_{O1}$  은 송신루프와 지하전도체의 상호유도계수  
 $M_{O2}$  는 송신루프와 수신 루프의 상호유도계수  
 $M_{12}$  는 수신루프와 지하전도체의 상호유도계수  
 $\delta(t)$ 는 Dirac delta 함수  
 $L$  은 지하전도체의 자기유도계수  
 $\tau$  는 시정수를 말한다.

식 (6)의 첫째, 둘째 항은 송신전류를 단절시킴과 동시에 유도되는 기전력으로서 측정이 어렵고 지하전도체에 관한 정보를 별로 제공하지 못한다. 그러나 셋째 항은 수신루프에 유도되는 기전력을 시간이 지남에 따라 지수함수의 형태로 감쇠함을 뜻하는데, 이 현상은 측정할 수 있고 지하전도체에 관한 정보를 제공하기 때문에 과도전자탐사에서 가장 중요한 물리현상이다.

본 연구에서는 식 (6)의 셋째 항인 감쇠곡선을 이용하여 모르타르 중의 철근 부식 정도를 측정하고자 한다.

### 4. 실험 방법

본 실험에 사용된 철근은 H철강에서 생산된 철근콘크리트용 SD40 이형철근이며, 직경 13mm, 길이 54cm, 무게 520g 으로 동일하게 제작하여 사용하였다. Table 1에 화학 성분, Table 2에 기계적 성질을 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of steel (wt. %)

C	Si	Mn	P	S
0.29	0.16	1.21	0.029	0.029

Table 2 Mechanical properties of steel

Yield strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Ultimate tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
44	64	23

철근의 부식량을 조절하기 위하여 철근의 중앙부 40cm를 제외한 부분을 테프론 테이프(Tapron tape)로 감아 부식이 일어나지 않도록 하였고, 이 철근을 5% NaCl 용액과 35°C의 온도, 1.3kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 조절된 염수분무기에 넣어 4, 8, 15, 25 일 동안 부식시켰다. 부식된 철근을 염수분무기에서 꺼낸 뒤 철근 표면의 염수를 완전히 제거하기 위하여 흐르는 물로 철근들을 충분히 세척하고, 수분을 건조시킨 뒤 테프론 테이프를 제거하였고, 테프론 테이프로 감은 부분은 테프론 테이프를 감기전의 상태와 동일한 것을 확인하였다.

4일 부식된 철근의 표면은 붉은 녹이 부분적으로 형성되었고, 8일 부식된 것은 붉은 녹과 검은 녹이 형성되어 있으며, 15, 25일 부식된 것은 검은 녹이 점점 많이 형성되었다. Fig. 1 (a)와 (b)는 붉은 녹과 검은 녹의 X-ray diffraction(XRD) 분석 결과이다. 붉은 녹은  $\gamma$ -FeOOH이고 검은 녹은 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>로 나타났다. Fig. 1 (b)은 검은 녹의 시료 채취 과정에서 붉은 녹이 포함되어  $\gamma$ -FeOOH 성분이 다소 나타난 것으로 사료된다.

부식면적율에 의한 계산법은 붉은 녹과 검은 녹이 발생한 부분을 부식된 부분으로 정의하고, 트레이싱지로 스케치한 후 방안지를 이용하여 부식된 부분에 포함된 교점수  $n$ 을 구하고, 철근의 전개도에 포함된 전체 교점수를  $N$ 으로 하여 식 (7)에 의해 부식면적율을 계산하였다.

$$\text{부식면 적률 (\%)} = \frac{n}{N} \times 100 \quad (7)$$

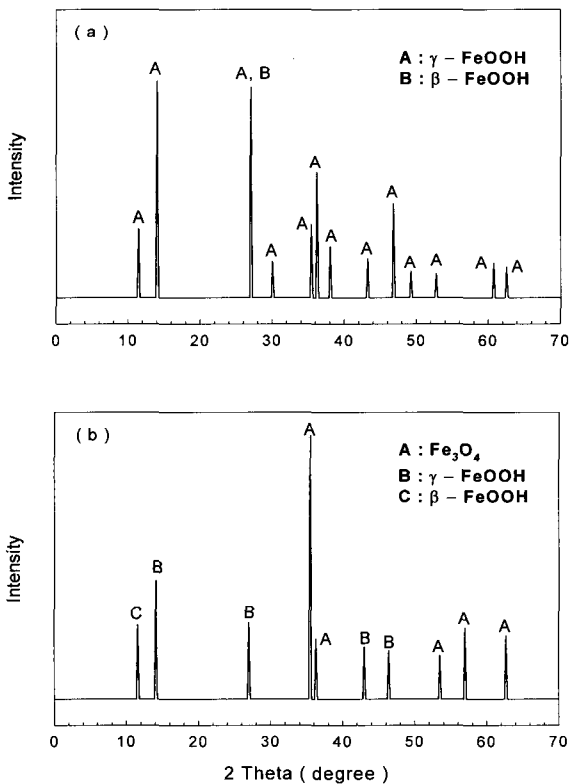


Fig. 1 X-ray diffraction patterns of red rust(a) and black rust(b)

중량 감소율에 의한 계산법은 ASTM의 규정에 따라 38%의 염산(Hydrochloric acid, HCl) 1 l와 삼산화안티몬(Antimony trioxide, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 20g과 염화 제1주석(Stannous chloride, SnCl<sub>2</sub>) 50g을 혼합하여 부식된 철근을 25분 동안 침지시킨 후 철근을 꺼내어 깨끗한 물로 씻어서 마른 헝겊으로 물기를 제거한 후 미국의 OHAUS사에서 제작한 0.01g의 감도를 가진 전자저울로 무게를 측정하였고, 이 작업을 여러 번 반복하여 부식생성 물을 완전히 제거시킨 후 철근 무게를 측정하였다(ASTM G1-90, 1994). Table 3에 붉은 녹과 검은 녹의 부식면적율과 철근의 중량감소율을 나타내었고, Table 4에 부식생성물의 전기전도도를 나타내었다(한국전기연구소, 1990).

부식된 철근들을 거푸집에 넣고 모래, 시멘트 및 물의 비율이 2 : 1 : 0.5로 배합하여 거푸집에 타설한 뒤 진동테이블로 공기를 제거하여 모르타르 피복두께(철근이 묻힌 깊이)가 2, 3, 4cm인 모르타르 시험편을 제작하였다. 24시간 후 거푸집을 해체하여 공기 중 양생 하였고, 모르타르 피복두께를 스위스의 PROCEQ사에서 제작한 자기감응식 철근 탐지기(Profometer 4)로 검증하였다. Fig. 2에 시험편의 개략적인 형상을 나타내었다.

Table 3 Corrosion area rate of steel

Corroded time	Red rust (%)	Black rust (%)	Weight loss rate (%)
4 days	54	2	1.2
8 days	34.1	32.9	1.6
15 days	38.3	52.1	2.5
25 days	34	61	4

Table 4 Conductivity of corrosion products

Corrosion product	Conductivity (1/Ω·cm)
Fe (Iron)	10 <sup>5</sup>
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (Magnetite)	≥10 <sup>2</sup>
α-FeOOH (Goethite) (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O)	≤10 <sup>-8</sup>
γ-FeOOH (Lepidocrocite) (γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O)	≤10 <sup>-8</sup>

본 연구에서 이용하고자 하는 과도전자탐사법은 깊이가 주로 수십 미터 내지 수백 미터인 지하자원 및 지하문제를 취급 하는데 이용되었고, 깊이가 얇은 지역의 탐사에는 적용되지 못했다. 이것은 짧은 시간대의 정밀한 동적 TEM 반응의 측정 기술 부족과 초기 시간대의 간섭현상으로 정확한 2차 기전력(Secondary electro motive force)을 측정할 수 없었기 때문이다.

본 연구에서 과도전자탐사법에 의한 모르타르 중의 철근 부식 정도를 측정하기 위하여 사용한 측정기기는 호주의 GEOEX 사의 SIROTEMIII이다. 이 기기에 Accelerator를 부착하여 송신 전류를 완전히 끊는데 소요되는 시간(Turn-off-time)을 10~15배 단축시켜 초기시간대의 간섭현상으로 인한 노이즈를 감소

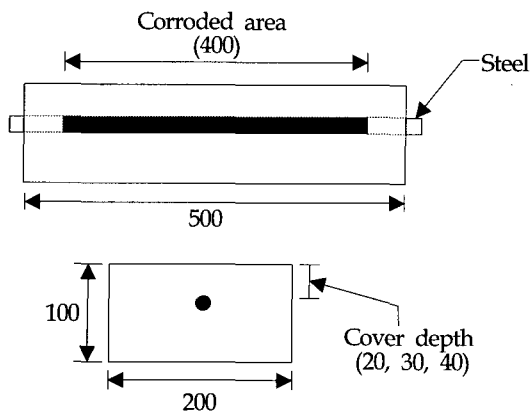


Fig. 2 Shape and dimensions of specimen (unit : mm)

Table 5 Window delay time and sampling time at high resolution time series(window 1-17)

Window number	Sampling time (ms)	Window delay time(ms)
1	0.008	0.008
2	0.014	0.014
3	0.020	0.020
4	0.026	0.026
5	0.032~0.038	0.035
6	0.044~0.050	0.047
7	0.056~0.062	0.059
8	0.068~0.074	0.071
9	0.080~0.098	0.089
10	0.104~0.122	0.113
11	0.128~0.170	0.149
12	0.176~0.218	0.197
13	0.224~0.266	0.245
14	0.272~0.314	0.293
15	0.320~0.362	0.341
16	0.368~0.458	0.413
17	0.484~0.554	0.509

시켰고, Delay time이 가장 짧은 High resolution time series를 선택하여 짧은 시간대에서 2차 기전력을 측정할 수 있게 하였다. Table 5에 High resolution time series의 Window delay time과 샘플링 시간(Sample time)을 나타내었다. 송, 수신 코일의 배열은 송신코일과 수신코일의 면적이 같은 동일 송, 수신(Coincident loop)형태를 사용하였고, 센서는 직경이 0.25mm의 절연코일과 아크릴을 사용하였고, 6cm×6cm의 장방형으로 송, 수신 센서가 각각 6Ω이 되도록 제작하였다.

송신전류를 일정하게 공급하고, 센서에 열 발생을 억제하기 위하여 가변저항기를 장착하였으며, 송신코일에 보내는 송신전류는 1.4A로 일정하게 공급하였다. 그리고 측정정도를 높이기 위하여 한 측정지점에서 1,024회 자동 반복 측정하여 평균처리를 하였다. Delay time 0.008~7.181ms(Window 1~35)까지 측정하였다.

### 5. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 피복두께(Cover depth:  $d$ )가 2, 3, 4cm인 부식이 없는 철근을 포함한 모르타르 시편들과 무철근 모르타르 시편에서의 2차 기전력(EMF : Electromotive force) 값들의 변화를 나타낸 것이다. Delay time 0.008~7.181ms(Window 1~35)까지 2차 기전력 값들을 측정하였다. Y축의 단위  $\mu V/A$  (Microvolt/Ampere)는 송신( $T_x$ ) 코일에 흘렸던 단위 전류 당 수신( $R_x$ ) 코일에 유도된 2차 기전력 값들을 나타낸다. 철근을 포함한 모르타르 시편들에서는 과도전자탐사(TEM) 반응인 감쇠곡선(Decay curve)이 나타났고, 무철근 모르타르 시편에서는 전도체가 없기 때문에 이상반응이 나타났다. 이러한 과도전자탐사 반응인 감쇠곡선을 이용하여 모르타르 중의 철근 부식 정도를 측정하기 위한 연구를 하고자 한다.

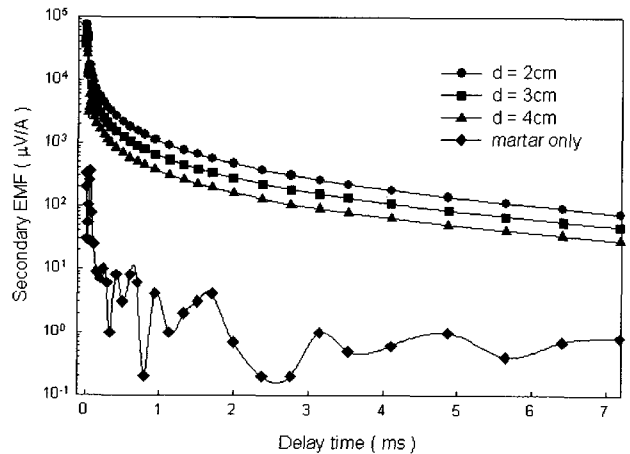


Fig. 3 Decay curve to cover depth (window 1~35)

Fig. 4는 초기 Delay time에서의 2차 기전력 값을 분석하기 위하여 Fig. 3의 Delay time 0.008~0.51ms(Window 1~17)까지 나타낸 것이다. 피복두께 2, 3, 4cm의 모르타르 시편 모두 초기 Delay time 0.008~0.047ms(Window 1~6)에서는 간섭현

상으로 인한 노이즈 때문에 이상반응이 나타났고, Delay time 0.059ms(Window 7)부터 TEM 반응인 감쇠곡선이 나타나는 것을 알 수 있었다. 모르타르 중의 철근 부식 정도를 측정하기 위하여 Delay time에 따른 오차범위 실험결과 오차범위가  $10\mu V/A$  이하로 되는 Delay time 0.113ms(Window 10)부터 2차 기전력 값들을 분석하고자 한다(이상호와 한정섭, 2001).

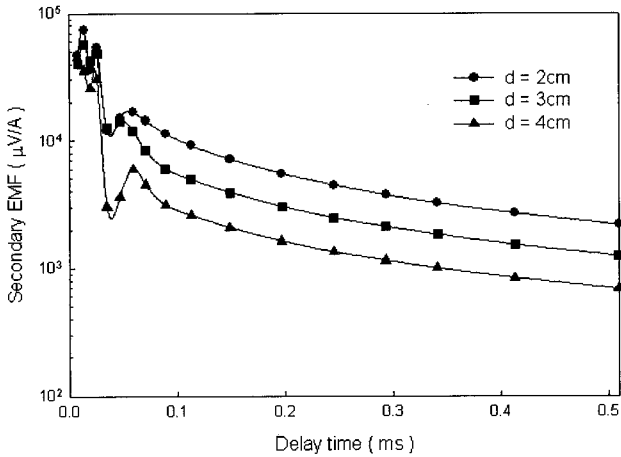


Fig. 4 Decay curve to cover depth (Window 1~17)

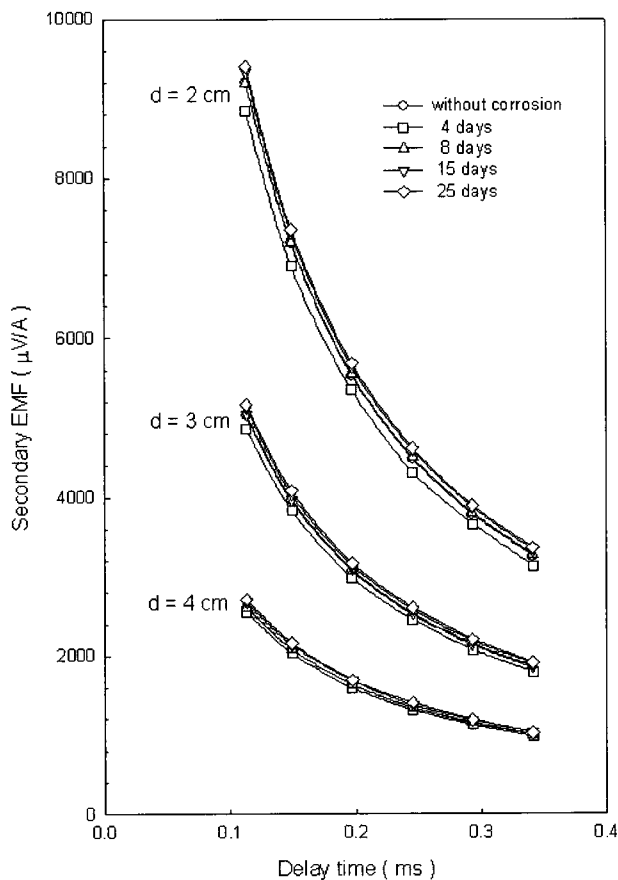


Fig. 5 Variation of decay curve with corroded steels in mortar

Fig. 5는 부식이 없는 철근, 4, 8, 15, 25일간 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편들의 감쇠곡선(Decay curve)의 변화를 나타낸 것이다. 모르타르 시험편들의 중앙 위치인 25cm 지점에서 5번씩 측정하여 평균값을 취하였다. 모르타르의 피복두께 2, 3, 4cm에 따른 2차 기전력 값들을 Delay time 0.113~0.341ms (Window 10-15)까지 나타내었다.

부식이 없는 철근, 4, 8, 15, 25일간 부식시킨 철근을 포함한 모든 모르타르 시험편들에서 TEM 반응인 감쇠곡선(Decay curve)이 나타났고, 2차 기전력 값의 크기는 25일간 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편이 가장 크게 나타났으며, 그 다음은 15일간, 8일간, 부식이 없는 철근, 4일간 부식된 철근을 포함한 모르타르 시험편 순으로 나타났다. 그리고 피복두께 2, 3, 4cm의 모르타르 시험편들 모두 Delay time 0.113ms(Window 10)에서 모르타르 중의 철근 부식 차이에 의한 2차 기전력 값의 차이가 제일 크게 나타났고, Delay time이 후기로 갈수록 2차 기전력 값의 차이는 감소하였다. 그러므로 모르타르 중의 철근 부식 정도 차이를 측정하기 위해서는 초기 Delay time의 2차 기전력 값을 분석해야 함을 알 수 있다.

피복두께가 증가할수록 2차 기전력 값들이 감소하고, 2차 기전력 값의 감소 비율도 감소하였다. 이것은 자기장의 세기는 거리의 3승에 반비례하기 때문이다. 또한 모르타르 중의 철근 부식 정도에 의한 2차 기전력 값들 차이도 감소함을 알 수 있었다.

Fig. 6~8은 앞의 Fig. 5에서의 Delay time(Window)별 2차 기전력 값들을 분리하여 철근을 부식시킨 시간에 따른 2차 기전력 값의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 6은 피복두께 2cm인 0, 4, 8, 15, 25일 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편들의 2차 기전력 값의 변화를 Delay time 0.113~0.341ms(Window 10-15)로 나타내었고, Fig. 7은 피복두께 3cm인 0, 4, 8, 15, 25일 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편들의 2차 기전력 값의 변화를 Delay time 0.113~0.341ms(Window 10-15)로 나타내었고, Fig. 8은 피복두께 4cm인 0, 4, 8, 15, 25일 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편들의 2차 기전력 값의 변화를 Delay time 0.113~0.341ms(Window 10~15)로 나타내었다.

4일 동안 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편에서 2차 기전력 값이 감소하다가 8, 15, 25일 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편들에서 2차 기전력 값이 계속 증가하는 거동을 보이고 있다. 4일 동안 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편에서 부식이 없는 철근을 포함한 모르타르 시험편보다 2차 기전력 값이 감소하는 이유는 부식이 시작됨에 따라 철근의 표면에 부식생성물인 전기전도도(Conductivity)가 낮은 붉은 녹( $\gamma\text{-FeOOH}$ )이 형성되어 와전류(Eddy current)의 생성을 약하게 함으로서 2차 기전력 값이 감소하는 것으로 판단되고, 8, 15, 25일 동안 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편에서 2차 기전력 값이 계속 증가하는 것은 부식이 계속됨에 따라 철근의 표면에 전기전도도가 낮은 붉은 녹( $\gamma\text{-FeOOH}$ )에서 부식생성물 중에서 가장 전기전도도가 높은 검은 녹( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )으로 점점 많이 변해가고 있기 때문으로 판단된다.

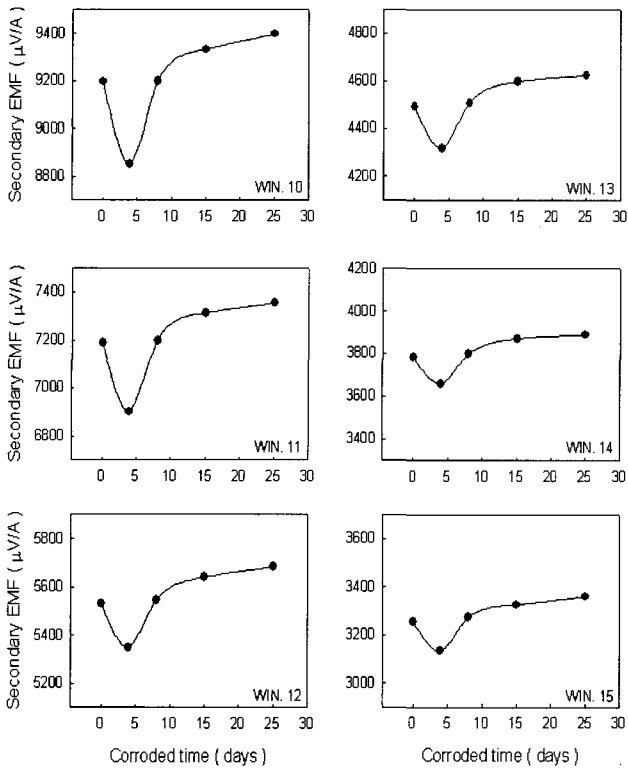


Fig. 6 Variation of secondary EMF with corroding time at  $d=2\text{cm}$

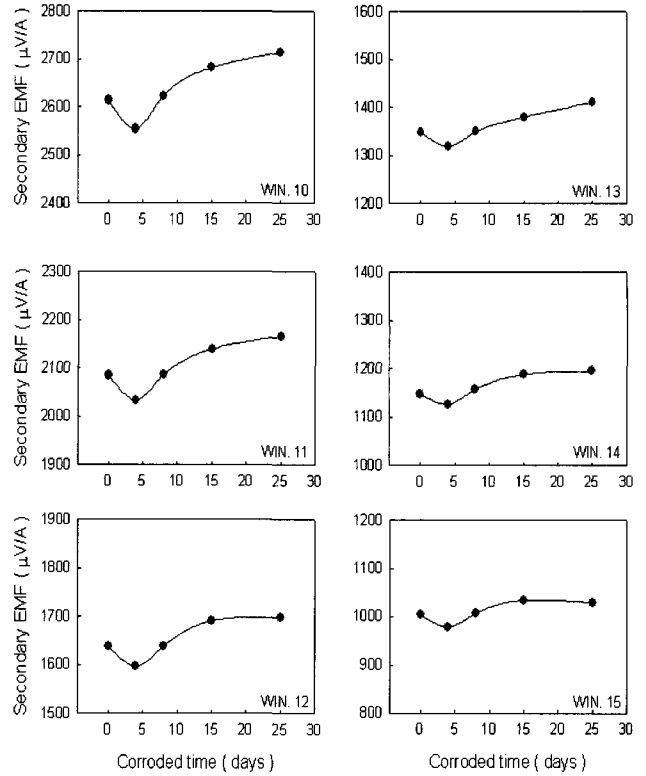


Fig. 8 Variation of secondary EMF with corroding time at  $d=4\text{cm}$

### 5. 결 론

과도전자탐사법에 의한 모르타르 중의 철근 부식 측정에 대한 연구결과는 다음과 같다.

(1) 부식이 없는 철근, 4, 8, 15, 25일간 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편들 모두 TEM 반응인 감쇠곡선(Decay curve)이 나타났고, Delay time 0.008~0.047ms(Window 1~6)에서는 간섭현상으로 이상반응이 나타남을 알 수 있었다.

(2) 피복두께가 증가할수록 2차 기전력 값들이 감소하고, 2차 기전력 값의 감소 비율도 감소함을 알 수 있었다. 이것은 자기장의 세기는 거리의 3승에 반비례하기 때문으로 판단된다.

(3) 4일 동안 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편에서 2차 기전력 값이 감소하다가 8, 15, 25일 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편들에서 2차 기전력 값이 계속 증가하는 것을 알 수 있었다. 2차 기전력 값의 크기는 25일간 부식시킨 철근을 포함한 모르타르 시험편이 가장 크게 나타났으며, 그 다음은 15일간, 8일간, 부식이 없는 철근, 4일간 부식된 철근을 포함한 모르타르 시험편 순으로 나타났다. 이것은 붉은 녹( $\gamma\text{-FeOOH}$ )과 검은 녹( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )의 전기전도도(Conductivity) 차이 때문인 것으로 판단된다.

이상의 연구로 과도전자탐사법으로 모르타르 중의 철근 부식 차이를 측정할 수 있음을 확인하였다. 추후의 연구에서는 철근을 콘크리트 중에서 부식시켜 콘크리트 중의 철근 부식 측정에 관한 연구를 수행할 예정이다.

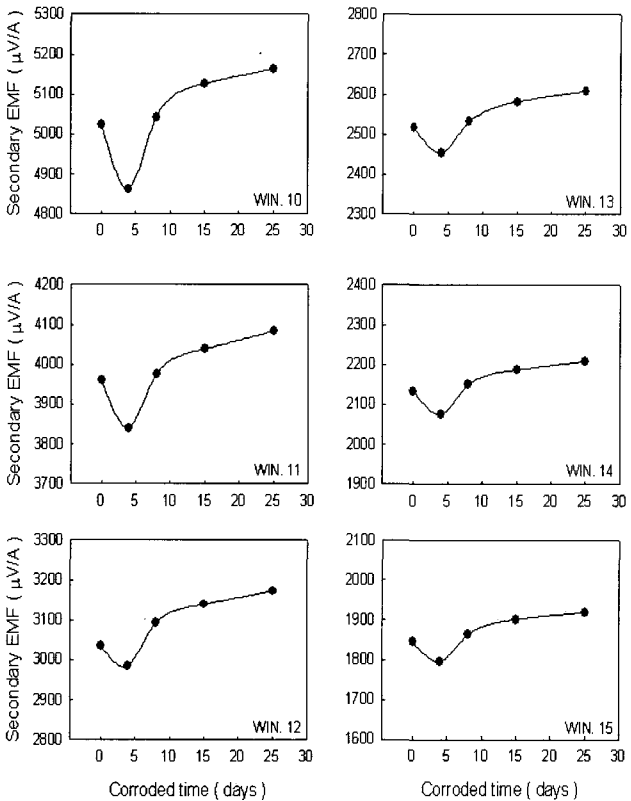


Fig. 7 Variation of secondary EMF with corroding time at  $d=3\text{cm}$

## 참고 문헌

- 이상호, 한정섭 (2001). "TEM 법에 의한 철근 부식 측정 센서 개발에 대한 기초 연구", 한국해양공학회지, 제15권, 제1호, pp 57-66.
- 조동행, 구자학, 임무택 (1983). "TEM 탐사법 국내 적용성 연구", 한국동력자원연구소 연구보고, 82-광물자원-2-12, pp 409-431.
- 한국전기연구소 (1990). "전기 재료 편람", 데이컴인터내셔널, pp 332.
- ASTM (1994). "Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens", American Society for Testing and Materials, G1-90, pp 25-31.
- ASTM (1991). "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete", American Society for Testing and Materials, C-876, pp 434-439.
- Avila-Mendoza, J., Flores, J.M. and Castillo, V.C. (1994). "Effect of Superficial Oxides on Corrosion of Steel Reinforcement Embedded in Concrete", Corrosion, Vol. 50, No. 11, pp 879-884.
- Feliu, S., Gonzalez, J.A., Andrade, C. and Feliu, V.(1988). "On-Site Determination of the Polarization Resistance in a Reinforced Concrete Beam", Corrosion, Vol. 44, No. 10, pp 761-765.
- Glasser, F.P. and Sagoe-Crentsil, K.K. (1989). "Steel in Concrete: Part I. A Review of the Electrochemical and Thermodynamic Aspects", Mag. Concr. Res., Vol 41, No 149, pp 205-212.
- Glasser, F.P. and Sagoe-Crentsil, K.K. (1989). "Steel in Concrete: Part II. Electron Microscopy analysis" Mag. Concr. Res., Vol 41, No 149, pp 213-220.
- Lopez, W. and Gonzalez, J.A. (1993). "Influence of the Degree of Pore Saturation on the Resistivity of Concrete and the Corrosion Rate of Steel Reinforcement", Cem. Concr. Res. Vol 23, No 2, pp 368-376.
- Sehgal, A., Li,D., Kho, Y.T., Osseo-Asare, K. and Pickering, H.W. (1992). "Reproducibility of Polarization Resistance Measurements in Steel-in-Concrete Systems", Corrosion, Vol 48, No 9, pp 706-714.
- Suryavanshi, K.S., Syam, S. and Nayak, B.U. (1991). "A Comparison of Surface Potentials of R. C. Structures Using Reference Electrodes-Part 1", Corros. Prev. Contr. August, pp 105-107.
- Suryavanshi, K. S., Syam, S. and Nayak, B.U. (1991). "A Comparison of Surface Potentials of R. C. Structures Using Reference Electrodes-Part 2", Corros. Prev. Contr. October, pp 128-131.

---

2006년 1월 3일 원고 접수

2006년 3월 2일 최종 수정본 채택