

부식촉진시험에 의한 콘크리트 내의 철근의 부식 모니터링에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Corrosion Monitoring of Reinforcing Steel in Concrete by the Accelerated Corrosion Test

배 수 호* 정 영 수** 김 진 영***
Bae, Su Ho Chung, Young Soo Kim, Jin Young

ABSTRACT

The corrosion monitoring methods of reinforcing steel in concrete are the various methods such as half cell potential method, galvanic current method, resistivity method, polarization resistance method, AC impedance method and etc. In this study, the corrosion monitoring methods of reinforcing steel in concrete were investigated for the test specimens using corrosion inhibitors, zinc-mortar, zinc-plate, respectively.

For this purpose, the accelerated corrosion tests for reinforcing steel were conducted according to the periodic cycles(140 days) of wetting(65°C, 90% R.H.) and drying period(15°C, 65% R.H.) for the test specimens. As a result, it can be concluded from the test that half cell potential and galvanic current method as monitoring techniques for corrosion were found to be relatively reliable and easily usable method in the field.

1. 서 론

철근 콘크리트 구조물의 철근부식을 파악하기 위한 방법은 피복 콘크리트를 제거하여 철근을 노출시켜 육안으로 관찰하는 방법과 초음파 탐상 시험, 적외선 시험, 방사선 투과 시험 등과 같은 물리적인 방법이 있으며, 철근의 부식이 전기화학적 반응인 점에 착안하여 개발한 전기화학적 기법 등이 있다. 전기화학적 기법에 의한 콘크리트 내의 철근의 부식 모니터링 기법으로서 전위 측정법, 갈바닉 전류 측정법, 비저항법, 분극저항법 및 교류 임피던스법 등이 있는데, 이들 중 비교적 신뢰성이 있고 사용법이 간단한 것으로, 전위 측정법, 갈바닉 전류 측정법 및 비저항법 등을 들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 단기간에 콘크리트 내의 철근부식 모니터링 기법의 신뢰성을 검증하기 위하여 여러 방식 기법에 대해서 콘크리트 내의 염분함량을 잔골재 중량비로 0.1% 및 2.0%로 변화시켜 철근 콘크리트 시험체를 제작하였고, 일본콘크리트공학협회의 부식촉진시험법(JCI-SC3)에 따라 항온항습기에 의한 부식촉진시험(고온저습: 65°C, 90% R.H., 저온저습: 15°C, 65% R.H.)을 수행하면서 전위 측정법 및

* 정회원, 안동대학교 토목환경공학과 조교수

** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 안동대학교 토목환경공학과 석사과정

갈바닉 전류 측정법에 의한 부식 모니터링을 실시하였다. 결과적으로, 부식촉진시험에 의한 모니터링 기법은 단기간에 콘크리트 내의 철근의 부식 특성을 규명키 위한 방법으로 효과적이었으며, 또한 모니터링 기법으로 전위 측정법 및 갈바닉 전류 측정법은 비교적 높은 신뢰성이 있고, 현장에서 쉽게 이용할 수 있는 방법인 것으로 나타났다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 1.과 같다.

(2) 골재

본 연구에 사용된 잔골재는 낙동강산(경북 안동시) 하천사, 굵은골재는 안동산(경북 안동시) 부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 표 2. 및 표 3.과 같다.

(3) 철근

철근 콘크리트 시험체 내의 철근부식 촉진시험을 위한 철근은 D19인 이형철근을 사용하였다.

(4) 고성능 감수제

본 연구에 사용된 화학혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 감수제(표준형, K사)를 사용하였다.

(5) 방청제

콘크리트 내의 철근의 부식억제 효과를 규명키 위하여 본 연구에 사용된 방청제는 A사, B사 및 C사 제품이며, 이들의 품질 특성은 표 4.와 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	비중	응결시간		분말도 (cm ² /g)	압축강도 (kgf/cm ²)		
		초결(min)	종결(hr)		f ₃	f ₇	f ₂₈
보통 포틀랜드	3.15	250	6.2	3,400	235	330	400

표 2 잔골재의 물리적 성질

항목 시료	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량 (tf/m ³)	200번체 통과량 (%)	조립률
하천사 (낙동강산)	2.60	1.47	1.597	2.2	2.43

표 3 굵은골재의 물리적 성질

항목 시료	굵은골재 최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량 (tf/m ³)	조립률	마모율 (%)
부순돌 (안동산)	25	2.68	0.58	1.648	7.27	28.5

표 4 방청제의 품질 특성

제품 회사	비중	pH	첨가량 (l/m ³)	고형분 (%)	빙점 (°C)
A사	1.3	9±1	10~30	32~36	-15
B사	1.3	7±1	5.0	38	-
C사	1.05	10±1	C×3 wt.%	-	-

(6) 분말아연 및 아연판

전기방식법의 일종인 아연의 희생양극 효과를 이용한 아연 모르타르 처리법 및 아연판 부착법의 방

식기법을 개발하기 위하여 분말아연(순도: 100%)과 아연판(순도: 100%, 두께: 4mm)을 사용하였다.

(7) 염화나트륨

콘크리트 내의 염분농도를 조절하기 위하여 고체상태의 공업용 염화나트륨(순도 96% 이상)을 미분쇄하여 콘크리트 혼합수 중에 첨가하였다.

2.2 실험방법

(1) 시험체 제작

본 연구에서는 부식촉진시험에 의해 단기간에 철근부식 모니터링 기법의 신뢰성을 검증하기 위하여 콘크리트의 염분농도를 잔골재 중량비로 0.1% 및 2.0%로 변화시키면서 방식기법별로 시험체(10×10×20cm)를 제작하였다. 시험체는 성형 후 2일 경과하여 거푸집을 제거하였으며, 시험체의 수분증발을 방지하기 위하여 촉진시험 시작 전인 재령 7일까지 비닐로 덮어 양생하였다.

방청제 사용법에 의한 시험체 제작시 방청제 첨가량은 각 제품회사의 표준 사용량(A사: 10 l/m³, B사: 5 l/m³, C사: 8~10 l/m³)으로 하였으며, 희생양극법으로서 아연 모르타르는 분말아연과 시멘트의 비를 중량비로 1:1로 하였으며, 아연판은 한쪽 단면부가 철근이 위치한 단면부에 대해 양극부가 되도록 설치한 후 이를 음극부와 전기적으로 연결하였다. 한편, 각 방식기법을 적용한 시험체의 콘크리트 배합비에 따른 압축강도를 간접적으로 파악하기 위하여 기준 콘크리트에 대해 압축강도 시험용 공시체를 추가 제작하였다.

(2) 실험방법

① 철근부식 촉진시험

철근의 방식기법에 따른 철근부식 모니터링 기법의 신뢰성을 검증하기 위해서는 실제 부식환경에서의 실험이 효과적이거나, 이는 장기간 소요되기 때문에, 방식기법에 따른 부식특성을 파악하는 데는 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 「일본콘크리트공학협회」의 건습반복법에 의한 콘크리트 내의 철근의 부식촉진시험법에 따라 촉진시험을 수행하였다.

시험체의 부식촉진실험 조건은 표 5와 같다.

표 5 철근 콘크리트 시험체의 부식촉진시험 조건

시험방법 시험조건	습윤기간(3일)	건조기간(4일)	1사이클	비고
건습반복	65℃, 90% R.H.	15℃, 65% R.H.	7일	20 사이클 실시

② 부식 모니터링 방법

부식촉진시험을 수행하면서 일정한 주기로 half cell potential 및 galvanic current method에 의해 자연전위 및 전위차를 측정하였으며, 또한 본 연구에서 적용한 모니터링 방법의 신뢰도를 제고시키기 위하여 모니터링에 의해 부식이 감지되었을 때, 실제로 시험체를 파괴시켜 모니터링 결과와 실제 상태를 비교분석하였다.

③ 압축강도 시험

각 방식기법을 적용한 시험체의 콘크리트 배합비에 따른 압축강도를 간접적으로 파악키 위하여 기준 콘크리트에 대해서 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 재령별(3일, 7일, 28일)로 압축강도 시험을 하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 압축강도

각종 방식기법을 적용한 시험체에 대해 콘크리트의 배합비에 따른 압축강도를 간접적으로 파악하기 위하여 기준 콘크리트의 강도시험을 하였는데, 콘크리트의 설계기준강도로 채택되는 재령 28일 강도를 기준으로 할 경우 물-시멘트비가 각각 49% 및 65%인 경우의 압축강도는 335kgf/cm², 208kgf/cm²로 나타났다. 이들을 변동계수를 고려하여 설계기준강도로 환산하면 전자는 280kgf/cm², 후자는 170kgf/cm² 정도의 콘크리트로 생각할 수 있다. .

3.2 촉진시험에 의한 부식 모니터링 결과

(1) Half Cell Potential Method에 의한 부식 모니터링

그림 1.~4.는 물-시멘트비가 65%, 49%인 경우에 대해서 염분함량이 각각 잔골재 중량비로 0.1%, 2.0%인 경우의 half cell potential 측정치를 나타낸 것이다. 염분함량이 잔골재 중량비로 0.1%일 때, 물-시멘트비가 65%, 45%인 경우 모두 아연 모르타르 처리 시험체를 제외한 모든 시험체는 자연전위가 -300mV 이상으로, 부식발생이 없는 것으로 나타났으며, 아연 모르타르 처리 시험체는 촉진시험 90일째가 부식발생 시점인 것으로 나타났다. 한편, 아연 모르타르 처리 시험체가 기준 콘크리트 시험체보다 방식효과가 불리하게 나타난 것은 시험체의 피복 콘크리트에 아연 모르타르 처리시 접착이 불완전하여, 아연 모르타르에 의한 피복 콘크리트의 품질이 기준 콘크리트 시험체의 그것보다 떨어지기 때문인 것으로 추정되며, 금후 이에 관한 실험연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 염분함량이 잔골재 중량비로 2.0%일 때, 물-시멘트비가 65% 및 49%인 경우는 half cell potential의 초기치가 매우 낮게 나타났으며, 모든 시험체는 자연전위가 약 -400mV 이하로, 부식발생이 있는 것으로 나타났다. 또한 부식발생 시점은 촉진시험 60일 제로 염분함량 0.1%인 경우보다 조기에 부식이 발생하는 것으로 나타났다. 한편, 이 경우 방식기법 적용 유무에 따른 방식효과가 거의 없는 것으로 나타난 것은 염분함량이 잔골재 중량비로 2.0%(콘크리트 중의 염소이온으로 환산하면 약 9.8kgf/m³)로 과다하기 때문인 것으로 판단된다.

(2) Galvanic Current Method에 의한 부식 모니터링

그림 5.~8.은 물-시멘트비가 65%, 49%인 경우에 대해서 염분함량이 각각 0.1%, 2.0%인 경우의 galvanic current 측정치를 나타낸 것이다. 염분함량이 0.1%일 때, 물-시멘트비가 65%, 49%인 경우 모두 아연 모르타르 시험체 만이 전위차가 급격히 커져 부식이 진행되고 있는 것으로 나타났으며, 부식발생 시점은 촉진시험 90일 제로, half cell potential 측정치와 일치하는 것으로 나타났다. 염분함량이 2.0%일 때, 물-시멘트비가 65%, 49%인 경우는 대체적으로 부식발생 시점인 것으로 추정되는 촉진시험 60일 제까지는 전위차가 상승하는 경향을 보이다가 그 이후로는 하강하는 경향으로 나타났는데, 이것은 본 연구에서 콘크리트 피복두께에 따라 철근이 양극과 음극이 되도록 배치하였는데 염분함량이 과다한 경우는 촉진시험 기간이 길어짐에 따라 음극철근도 부식이 발생하여 양극과 음극의 전위차가 작아지기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에서 적용한 모니터링 기법인 half cell potential method와 galvanic current method는 대체적으로 잘 일치하였으므로, 이들은 현장에서 손쉽게 적용할 수 있고, 신뢰성도 비교적 높은 것으로 나타났다.

3.3 철근의 부식면적률

본 연구에서 적용한 모니터링 기법의 신뢰성을 검증하기 위하여 촉진시험을 수행한 후 시험체를 파괴하여 철근의 부식면적률을 측정하였다. 철근표면의 부식면적률을 구하기 위하여 콘크리트 속에서 철

근을 꺼내어 트레이싱지에 철근부식 부분을 묘사한 후 부식상태를 묘사한 종이의 중량(원래의 종이 중량)과 부식된 면적을 오려낸 후 면적이 감소한 종이의 중량을 측정하였다. 철근의 부식 면적률은 다음과 같이 구하였다.

$$\text{철근의 부식면적률(\%)} = (1 - B/A) \times 100$$

여기서, A : 원래의 종이 중량(gf)
B : 오려낸 후의 종이 중량(gf)

물-시멘트비에 관계없이 염분함량 2.0%인 경우는 철근표면 전체에 부식이 발생하였으므로, 철근표면의 부식면적률이 100%인 것으로 나타났으며, 염분함량 0.1%인 경우의 부식면적률은 그림 9와 같다. 본 연구에서 적용한 부식 모니터링 결과와 실제 철근의 부식면적률은 잘 일치하였으나, 철근의 부식면적률이 1.2% 이하인 경우(철근표면에 소량의 반점 형상의 부식)는 half cell potential 및 galvanic current에 의한 부식 모니터링에 감지되지 않아 금후 촉진시험에 의한 철근부식 모니터링시 철근부식 모니터링이 이루어지는 임계 염화물량 및 철근의 부식면적률에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

- (1) half cell potential에 의한 모니터링 결과 염분함량이 잔골재 중량비로 0.1%일 때, 물-시멘트비가 65%, 45%인 경우 모두 아연 모르타르 처리 시험체를 제외한 모든 시험체는 자연전위가 -300mV 이상으로, 부식발생이 없는 것으로 나타났으며, 아연 모르타르 처리 시험체는 촉진시험 90일째가 부식발생 시점인 것으로 나타났다.
- (2) 염분함량이 잔골재 중량비로 2.0%일 때, 물-시멘트비가 65% 및 49%인 경우는 half cell potential의 초기치가 매우 낮게 나타났으며, 모든 시험체는 자연전위가 약 -400mV 이하로, 부식발생이 있는 것으로 나타났다. 또한 부식발생 시점은 촉진시험 60일 제로 염분함량 0.1%인 경우보다 조기에 부식이 발생하는 것으로 나타났다.
- (3) galvanic current에 의한 모니터링 결과 half cell potential에 의한 모니터링에서 부식발생 시점인 것으로 추정되는 점에서 전위차가 급격히 상승하여 이들의 모니터링 결과가 잘 일치하는 것으로 나타났다.
- (4) 본 연구에서 적용한 부식 모니터링 결과와 실제 철근의 부식면적률은 잘 일치하였으나, 철근의 부식면적률이 1.2% 이하인 경우는 half cell potential 및 galvanic current에 의한 부식 모니터링에 감지되지 않아 금후 촉진시험에 의한 철근부식 모니터링시 철근부식 모니터링이 이루어지는 임계 염화물량 및 철근의 부식면적률에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Bae, S.H., Chung, Y.S., "Experimental Study on the Performance of Corrosion Inhibitors for Reinforcing Steels in Concrete", CONSEC'01(Third International Conference on Concrete Under Severe Conditions), 2001, 6, pp. 1740~1747.
2. 배수호 외 4인, "부식촉진시험에 의한 콘크리트 내의 철근의 부식특성에 관한 실험적 연구", 한국 콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 제 12권 2호, 2000. 11, pp. 503~507.
3. 日本 コンクリート工學協會, "コンクリート構造物の腐蝕・防蝕に関する試験方法ならびに規準", 1991. 4

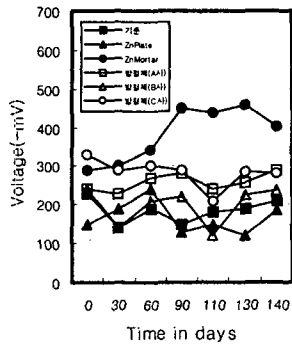


그림 1 half cell에 의한 모니터링
(W/C=65%, NaCl=0.1%)

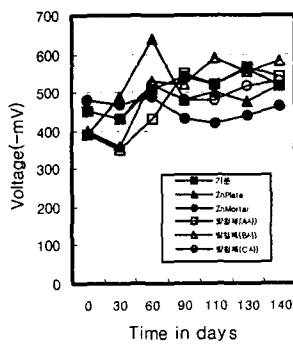


그림 2 half cell에 의한 모니터링
(W/C=65%, NaCl=2.0%)

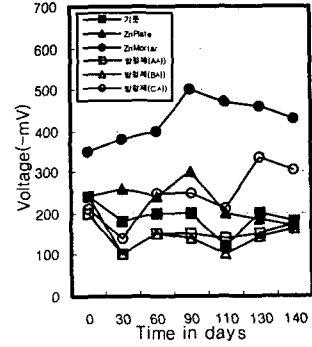


그림 3 half cell에 의한 모니터링
(W/C=49%, NaCl=0.1%)

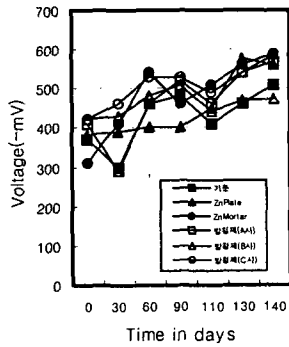


그림 4 half cell에 의한 모니터링
(W/C=49%, NaCl=2.0%)

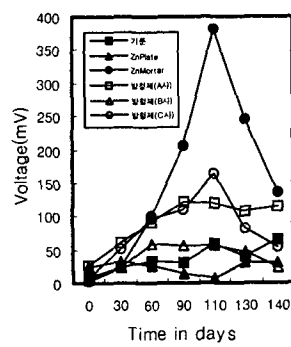


그림 5 galvanic current에 의한 모니터링
(W/C=65%, NaCl=0.1%)

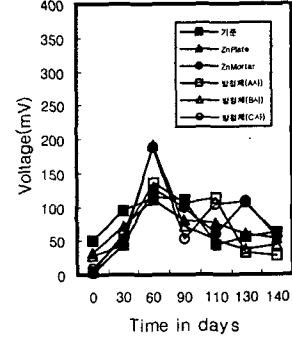


그림 6 galvanic current에 의한 모니터링
(W/C=65%, NaCl=2.0%)

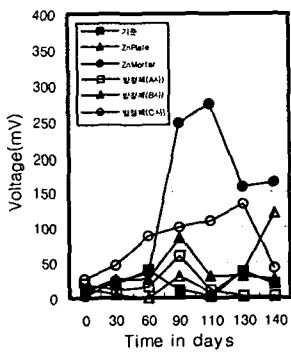


그림 7 galvanic current에 의한 모니터링
(W/C=49%, NaCl=0.1%)

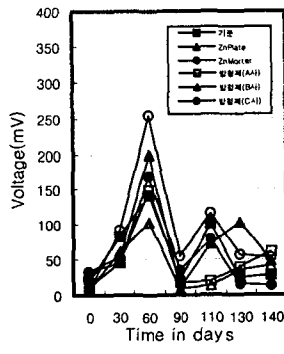


그림 8 galvanic current에 의한 모니터링
(W/C=49%, NaCl=2.0%)

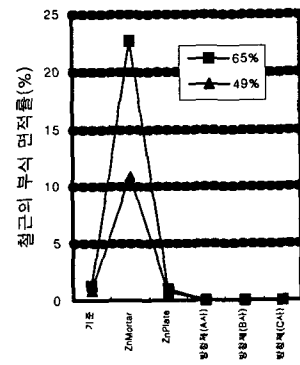


그림 9 방식기법별 W/C의 부식면적률
(NaCl=0.1%)