

부식 모니터링을 위한 Ladder system에 관한 연구

The Research on the Ladder System for Corrosion Monitoring

송 호 진**
Song, Ho Jin

문 홍 식**
Mun, Hong Sik

이 상 국**
Lee, Sang Kuk

정 영 수*
Chung, Young Soo

ABSTRACT

Reinforcement corrosion is major problem for those who own and maintain reinforced concrete structures exposed to chlorides. It is well understood that the form of corrosion is more problematic than corrosion found elsewhere, Because concrete has no apparent signs that there is anything amiss until the process of deterioration is relatively far advanced. The objective of this research is to develop the ladder system which monitors the corrosion of reinforcing steels in concrete. This system can be used to assess the corrosion condition and corrosion rate of steel in concrete, which can give timely repair and strengthening of steel in concrete structure.

1. 서론

최근에 염해에 의한 철근의 부식 및 콘크리트의 부식이 구조물의 노후화 촉진에 문제점으로 거론되고 있다. 이에 경제적이고 안전성이 확보되는 구조물을 유지하기 위해서는 이에 대한 체계적인 대비책이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 기존의 부식 모니터링 시스템이 측정 전극의 전위만을 측정하여 구조물의 국부적인 부식 유무만을 감지할 수 밖에 없었으나, 본 모니터링 시스템에서는 철근의 부식유무만이 아니라, 부식 속도를 추정함으로써 부식의 발생시기를 정확하게 예측하여 구조물의 보수, 보강 실시로 경제적인 유지관리 및 신뢰성 제고 내용년수 연장할 수 있는 연구를 수행하고자 한다.

2. 실험 개요

시험체는 실내실험과 현장의 콘크리트 매입철근의 부식을 monitoring 하기 위하여 총 2개의 시험체를 $25 \times 40 \times 50 \text{cm}$ 의 크기로 제작되었으며 Ladder는 Galvanic Current를 측정하기 위하여 Stainless304와 철근을 각각 4개조로 하여 약 13° 로 콘크리트 내부에 기울여 설치하였다. Ladder를 콘크리트 내부에 기울여 놓은 이유는 철근덮개를 변화시켜 순차적인 부식상황을 monitoring하기 위함이다. 또 Ladder의 두 번째 철근에 Cu/CuSO_4 Reference Electrode을 설치함으로써 철근의 부식전위를 계측하고자 하였다. 철근의 부식 전위가 부식범위에 들어왔을 경우에 Potentiostat/Galvanostat를 이용하여 Stainless와 철근의 부식전류를 측정하여 철근의 부식상황을 monitoring 할 계획이며 그 기간은 약 2개월에서 3개월 이후로 판단되어진다. 또한 실내 시험체보다 건습을 반복하는 항만에 거치해 놓은 현장시험체가 조금더 빠른 monitoring 결과를 보일 것으로 예상되어진다.

* 정회원 중앙대학교 토목환경공학과 석사 과정

** 정회원 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수



사진 1. 항만 시험체

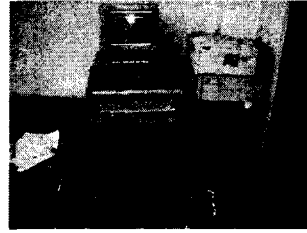


사진 2. 실내 시험체

3. 실험 방법

철근 콘크리트 부식을 감지하기 위한 시스템으로서 갈바닉 ladder를 만들었으며 Fig. 1-1에 도식적으로 나타내었다. 각 ladder는 콘크리트 표면으로부터 일정한 간격을 유지하면서 Anode 와 Cathode를 한쌍씩 배열하였다. Anode로서는 콘크리트 내에 철근과 동일한 이형철근(SD 30A, ϕ 19mm)을 사용하였으며, Cathode로서는 스테인리스 강(S69760, ϕ 19mm)을 사용하였다. 사용된 시편의 조성을 표 1에 나타내었다.

표 1. 철근의 화학 조성 (wt.%).

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
SD30A	0.27	0.22	0.63	0.029	0.021	0.1	0.13	-	0.05	-
S69760	0.031	0.5	1.51	0.031	0.025	8.5	18.31	0.33	0.44	0.041

갈바닉 셀에서 면적의 영향을 제거하기 위해서 두시편의 면적은 모두 동일하게 26.72Cm^2 으로 노출 면적이 1:1이 되도록 하였다. 또한, 모든 시편은 SiC 연마지로 #600까지 연마하도록 하였다. 용액은 철근콘크리트 부식에 가장 심각한 영향을 미치는 해수분위기를 조성하기 위해서 ASTM D1141을 참고로 하여 구성하였다. 사용된 용액의 조성은 표 2 에 나타내었다. 온도는 상온으로 유지하였으며 대기중에서 모든 실험을 수행하였다.

표 2. 인공해수의 화학적 조성 (g/l).

NaCl	MgCl ₂ ·6H ₂ O	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	KCl
24.53	11.1	4.09	1.16	0.695

◆ Wet Dry 반복 : 12시간마다

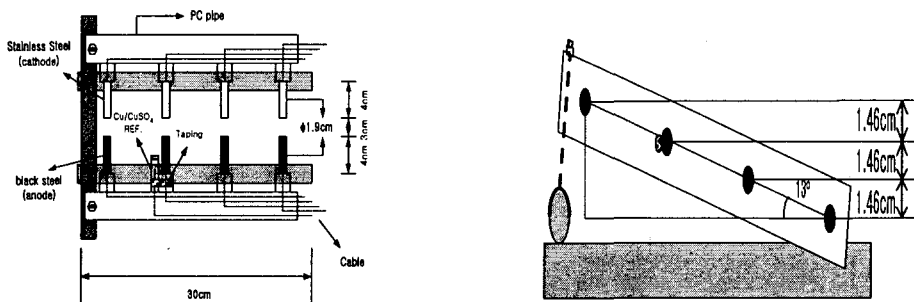


그림 1. 갈바닉 레더 시스템

4. 측정방법

4.1 자연전위(E_{corr})의 측정

시편의 안정화를 위해서 침지일로부터 5일이 지난 후 각 rebar의 자연전위를 측정하였다. 자연전위의 측정은 Multimeter를 이용하여 48h마다 자연전위의 변화를 측정하였으며 이를 통하여 4개의 rebar에 대한 부식의 정도를 파악하였다.

4.2 직선분극저항 측정

시작점 부근에 수 mV의 전압을 인가하여 얻은 분극곡선은 명백한 직선을 나타낸다. 이 직선의 기울기를 분극저항(R_p)이라 하는데 분극저항은 부식속도에 반비례한다. 각 rebar에 주사속도는 0.125mV/s을 인가하였으며 시작점 부근에서 직선영역을 찾아 외삽하여 분극저항 값을 측정하였다.

4.3 갈바닉 전류 측정

갈바닉쌍에서 I_{couple} 을 지속적으로 측정하기 위해서는 정전위 ZRA(영저항 전류계)를 사용하는 것이 좋다. 정전압 장치는 REF단자와 AUX단자사이의 차이를 감지한 다음 WE단자와 AUX단자사이의 전류를 자동적으로 변화시킴으로써 양극과 음극의 전위차이를 0으로 유지시킨다. 그림 2에 예시된 바와 같이 AUX단자와 REF단자가 단락되면 정전위 장치는 양극과 음극사이의 전위차이를 어떤 측정된 값으로 조절하게 된다. 만일 그 값이 0으로 정해졌다고 하면 단락회로에서의 I_{couple} 값이 mA단위로 지속적으로 그리고 자동적으로 읽혀지게 될 것이다.

갈바닉 전류를 측정하기 위해서 WE단자는 Rebar에 연결하여 Anode로써 작용하게 하고 CE단자와 REF단자는 스텐인리스 강에 연결하여 Cathode로서 작용하게 하였다. 또한, 황산동전극은 AUX단자에 연결하였으며 각 ladder당 600초에 걸쳐 갈바닉 전류를 측정하였다.

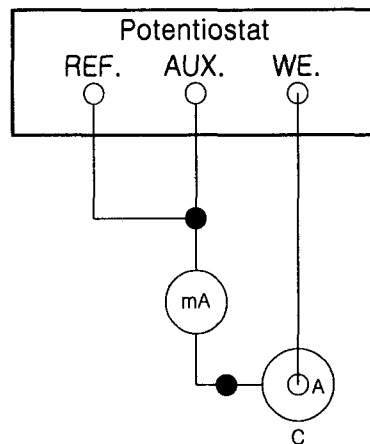


그림 2. 갈바닉 전류 측정기의 단면도.

제 5장 실험결과 및 분석

5.1 시간대 자연전위(E_{corr})의 변화

그림 3,4는 7개월 동안 측정한 4개 rebar의 자연전위의 변화를 나타낸 그림이다. 아직까지 4개 rebar 모두 -350~-200mV사이의 안정한 전위값을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한, 전위와 부식정도의 상호관련성을 나타낸 ASTM C-876에 근거한 기준으로 볼 때, 4개의 rebar 모두 아직까지는 부식이 진행되지 않았음을 알 수 있다. 하지만 항만의 모니터링은 환경의 여러 부식인자의 영향을 받아 실내 모니터링 보다는 전위의 차가 큼을 알 수 있다.

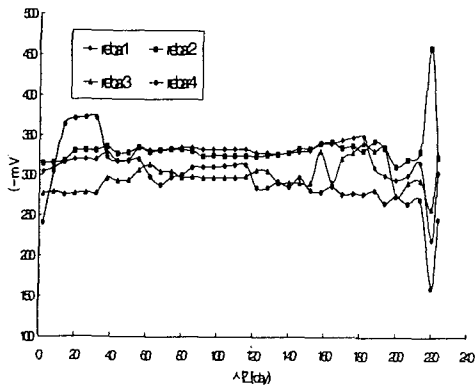


그림 3. 실내 부식전위 그래프

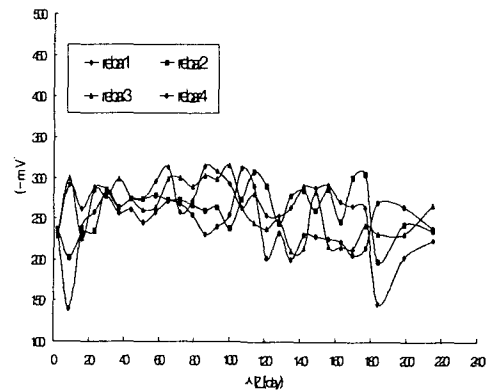


그림 4. 항만 부식 전위 그래프

5.2 직선 분극저항법을 이용한 부식 속도(mpy)

그림 5는 시편을 침지한지 2달후에 직선 분극저항법을 이용하여 측정된 4개의 rebar에 대한 결과를 나타낸 그림이다. 각 rebar에 자연전위로부터 $\pm 20\text{mV}$ 의 전위를 인가하여 분극저항(R_p)을 측정하였다. 분극저항은 부식속도에 반비례하므로 이를 통하여 부식속도를 측정할 수 있다.

표 3. 부식 속도에 대한 부식 상황

부식속도(mpy)	발생 상황
0.1 이하	부식 피해의 염려가 없다.
0.1 ~ 0.5	10~15년 사이에 부식이 염려된다.
0.5 ~ 5.0	2~10년 사이에 부식이 염려된다.
5.0 이상	2년내 발생할 확률이 높다

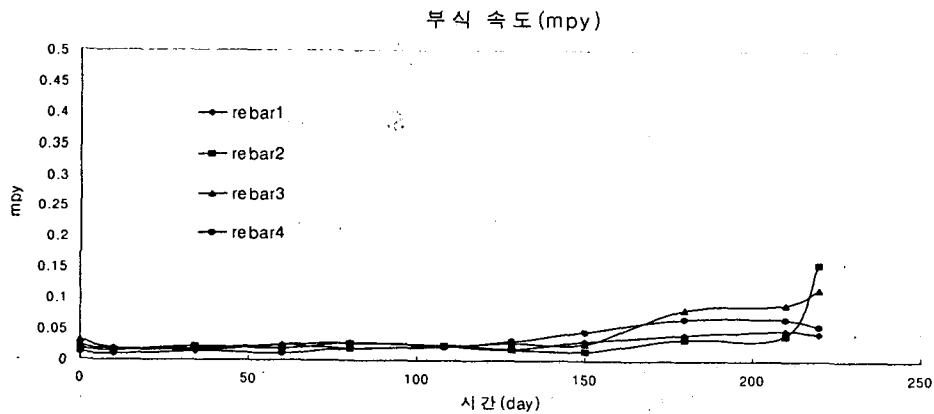
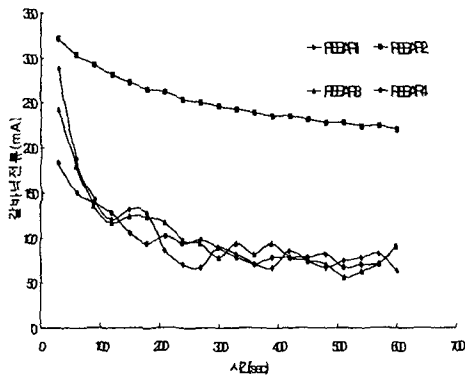


그림 5. 부식 속도 그래프

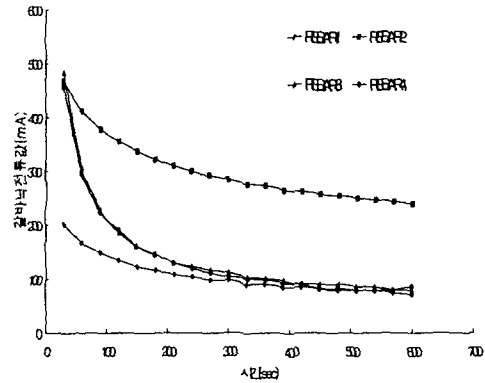
측정된 결과, 4개의 rebar에서 측정된 부식속도는 모두 0.2mpy이하로서 4개의 rebar 모두 거의 부식이 진행되지 않았음을 알 수 있으며 이는 그림 3에 나타난 시간대 전위값의 변화곡선과 잘 일치함을 알 수 있다.

5.3 갈바닉 전류의 측정

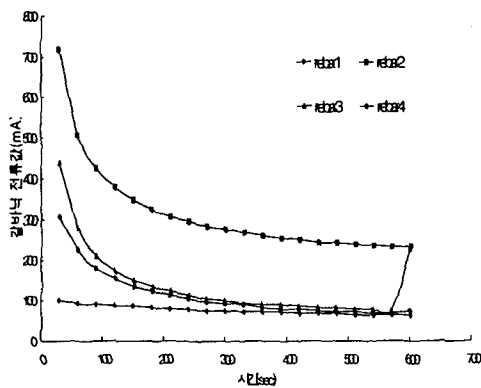
시편을 침지한지 2달 후에 스테인리스강과 커플된 rebar의 갈바닉 전류를 측정하였으며 이를 그림 6에 나타내었다. 여기서 rebar는 양극, 스테인리스강은 각각 음극의 역할을 하게 된다. 시간이 지남에 따라 철근콘크리트는 표면으로부터 깊이에 따라 부식이 진행되며 각 ladder는 갈바닉 쌍을 형성하여 순차적으로 rebar(양극)에서는 큰 갈바닉 전류가 흐르게 된다.



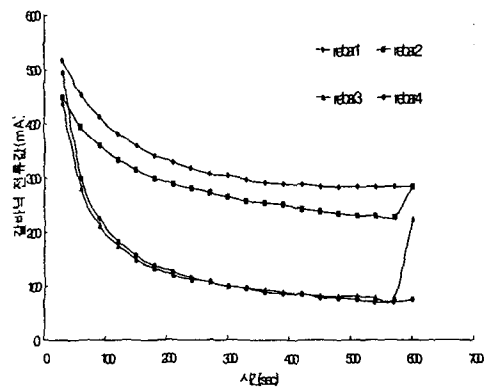
(a) 갈바닉 전류의 초기 측정값



(b) 갈바닉 전류의 측정값(50일)



(c) 갈바닉 전류의 측정값(150일)



(d) 갈바닉 전류의 측정값(200일)

그림 6. 갈바닉 전류의 측정값

4개의 rebar로부터 나오는 갈바닉 전류는 $0 \sim 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 으로 아주 작은 전류가 측정되었으며 이는 스테인리스강과 커플된 rebar가 아직까지 갈바닉 부식이 진행되지 않았음을 나타낸다고 할 수 있다. 또한, 이러한 결과는 앞에 두가지 결과에 잘 부합된다고 할 수 있다

6. 결론

실내 시험체나 항만 시험체 모두 부식환경에 따라 측정하고 있으나 연구기간이 너무 단기간이라 아직 철근의 부식은 감지되지 않고 있다. 시간대 전위곡선과 직선 분극저항법에 의한 부식 속도, 갈바닉 전류의 측정결과가 모두 동일한 결과를 보여주고 있어 장시간의 측정이 더욱더 필요함을 알 수 있다. 철근 부식의 모니터링에 대한 연구결과는 기존의 부식유무만이 아니라 부식 속도를 측정하여 적절한 보수보강의 시기를 결정할 수 있어 경제적인 유지 면에 많은 기여를 할 것으로 생각된다. 이에 장기적인 측정에 의한 분석이 병행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 마이클 로팍, “새로운 계측시스템을 이용한 기존구조물의 부식감시” 제8회 건축재료 내구성 회의 제출 논문(1999년 5월 캐나다 밴쿠버)
- 2) 이종득, “철근 부식진단”, 일광, 1996
- 3) (주)은진건설엔지니어링, “부식감지 시스템”, 1999.2
- 4) 정영수, “철근 콘크리트 시험편의 철근방식에 관한 측정법”, 한국콘크리트 학회지, 1997년 12월호
- 5) 정영수, “염해환경하 콘크리트의 철근방식공법연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 제 11권 2호 1999, '2, pp281
- 6) 정영수, “비말대 거치 철근콘크리트 시험체의 철근부식에 관한연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 제 11권 2호 1999, 12, pp755