

철근콘크리트구조물의 철근부식에 대한 비파괴 측정과 부식에 따른 균열거동

A Study of Non-destructive Measurement on the Reinforced Concrete Structure Damaged by Reinforcing Steel Corrosion

김성운* 정한중** 김창환** 임선택**
Kim, S, O Jung, H, J Kim, C, H Lim, S, T

ABSTRACT

This experimental study was performed to derive the relationship between the measured values (corrosion potential) and the actual amount of corrosion products (reinforcing steel weight loss rate). Also the growth of crack due to the steel corrosion was observed. First, the reinforcing steel of R/C specimen was corroded with chloride penetration and accelerated galvanostatic corrosion method. And then, the corrosion potential of reinforcing steel was measured with nondestructive tester.

1. 서론

콘크리트구조물은 비교적 내구성이 우수한 것으로 평가되고 있으나 최근에는 해사의 사용, 중성화, 염분침입, 알칼리골재 반응, 그리고 화학공장 유해물질등의 원인으로 철근이 부식하여 그 피해가 속출되고 있다. 콘크리트내 철근이 부식하면 철근단면의 감소, 부착력의 저하, 균열발생, 부식팽창압이 발생하여 전반적으로 구조물 대한 내하력을 감소시킨다. 그러므로 철근의 부식은 구조물의 내구성 설계에 가장 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다.

그러나 철근의 부식은 그 정도가 커야만 철근 팽창에 따른 균열이 발생하므로 적은 정도에서는 일반적으로 육안관찰이 힘든 경우가 많다. 물론 녹물이 콘크리트 미세균열 사이로 흘러나오는 경우도 있으나, 내구성 설계 개념에 있어서 또는 구조물의 보수, 보강의 최적성을 고려할 때는 적절한 시기에 부식을 발견하는 것이 중요하다.

일반적으로 콘크리트는 높은 알칼리성 (PH > 12.5) 을 지니므로 철근은 부동태 (Passivity) 상태에 있게되며 이때 산소, 물, 염분침입이 부식을 야기하게 한다.

따라서 산소, 물, 염분등이 철근과 함께 부식의 화학적 과정이 진행되고 있을때 비파괴적인 부식 측정은 부식을 적절히 제어할 수 있고 구조물의 안전성을 확보하는데도 이용 할 수 있을 것이다.

이러한 맥락에서 본 연구에서는 염분침입으로 철근부식이 일어날때 철근부식 측정기를 이용하여 비파괴적 측정을 위한 연구를 수행하였다. 또 부식에 따른 구조물의 균열 패턴 및 부식과 철근 중량 감소량과의 관계를 실험적 연구를 통하여 분석하였다.

2. 실험방법

일반적으로 부식 실험은 장기적인 관찰이 요구되고 광범위한 인자에 의해 영향을 받게 된다. 따라서 부식 실험은 오랜 기간의 자연조건하에서 폭로 실험이 요구된다.

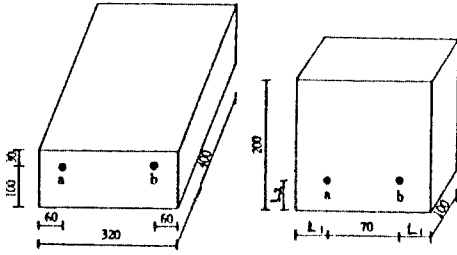
본 실험에서는 전기분해를 이용하여 단기적인 부식을 유도하였는데 이것은 부식에 기인한 균열패턴 규명 등에 효과적으로 이용될 수 있고 적절히 처리한 부식공시체에 대한 비파괴 측정을 피하도록 하여 단기부식 효과를 극복하고자 하였다.

2.1 공시체 모델

실험에 이용할 공시체는 두분류로서 구분하여 제작하였는데 (그림 1, (a), (b) 참조) 비파괴적 부식 측정을 위한 공시체 (A 모델) 와 부식에 따른 균열 관찰을 하기 위한 공시

- * (주)대우 건설기술연구소 과장
- ** (주)대우 건설기술연구소 대리
- ** (주)대우 건설기술연구소 대리
- ** (주)대우 건설기술연구소 대리

체(B 모델)로 구분하였다. B 모델은 보 단면용 공시체로서 양면을 방수처리하여 양면을 통한 염분, 수분 등의 침투를 방지하였다.



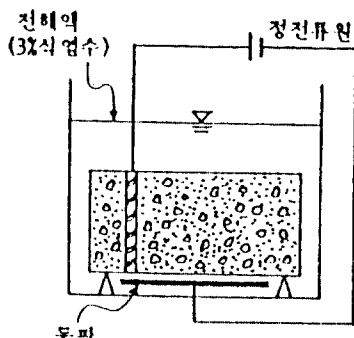
(a) A 모델 (b) B 모델
[그림 1] 부식공시체 모델

A모델의 경우 피복이 3cm, 6cm, 10cm를 갖도록 D16과 D22 철근을 사용한 공시체를 각각 10개씩 제작하였다. B모델의 경우도 피복을 변화시켜 2개씩 제작하고 D16과 D22의 철근을 사용하였다. 콘크리트 배합비는 [표1]과 같다

[표1] 콘크리트 배합비 및 압축강도

W/C (%)	S/A (%)	시멘트 (kg)	모래 (kg)	자갈 (kg)	압축강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)
51	45	318	753	1,016	244	23.5

실험은 28일 양생된 공시체를 3%의 NaCl 수용액에 넣고 3시간 경과후 0.6mA/cm 정전류를 통전하여 실행하였다.(그림 2 참조)



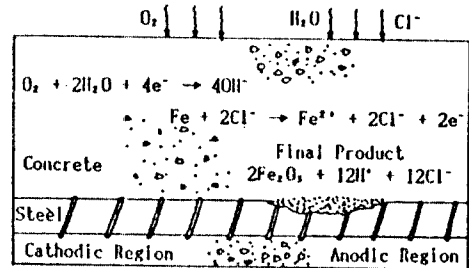
[그림 2] 실험개요

2.2 부식과정

보통 콘크리트는 PH가 12.5이상이고 이때의 부식은 물과 염분이 거의 필수적이다.

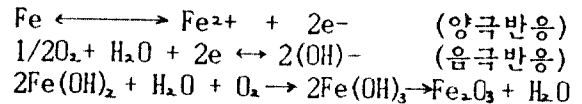
Erlin, B와 Verbeck, G.J에 의하면 물농도로서 [Cl⁻]/[OH⁻]비가 0.6 이상일때 부식이 발

생한다. 이러한 부식환경하에 콘크리트내의 철근은 양극과 음극이 수시로 발생 전자의 이동을 포함한 화학적 작용이 수반되어 부식이 진행된다.(그림 3 참조) 실험에서는 전기분해를 이용한 부식이므로 철근은 전 길이에 걸쳐 부식이 일어난다. 염분은 철근의 이온화를 촉진시키는 역할을 하는데 그것의 정확한 화학적 작용은 아직 규명되지 않고 있다.



[그림 3] 콘크리트내 철근의 부식과정

부식을 동반하는 화학적 과정은 다음과 같다

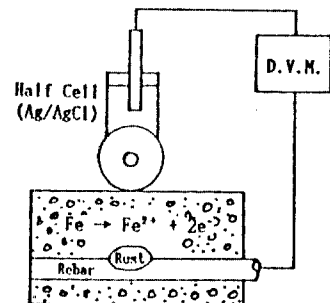


2.3 비파괴적 부식측정

(1) 부식측정의 원리

철근의 부식진단법으로서는 물리적인 방법과 전기화학적 방법으로 크게 분류되는데 초음파법, X선단층진단법 등 물리적 방법은 부식 열화가 상당히 진행된 경우에만 효과가 있으며 부식에 따른 열화초래 단계를 검출할 수 있는 좋은 방법이 전기화학적 방법이다.

따라서, 본 실험에서는 철근의 부식정도를 전위로서 나타내도록 한 영국 C.N.S제작사의 부식측정기(Potential Wheel & Data Bucket)를 사용했으며 조합전극으로 Ag/AgCl Half cell을 사용하였다.(그림 4 참조)



[그림 4] Ag/AgCl Half Cell Circuitry

전기화학반응에서 전압은 Nernst에 의해 제안된 방법으로 구할 수 있다.

(2) 비파괴적 부식측정 방법

본 실험에서는 A모델 공시체에 대하여 정전류를 1일, 3일, 5일, 6일, 7일간 통전하여 부식단계를 5단계로 구분하여 3cm, 6cm, 10cm의 피복에 따라 측정하였다. 측정방법은 철근이 위치된 표면을 따라 철근길이 방향으로 측정하였다. 또 공시체를 수조에서 꺼내어 옥외노출후 측정하였는데 이것은 크리트속에 수분이 완전포화될 경우 저항값이 낮아져 측정값이 상당히 높게 되기 때문이다.

한편, B모델에 대하여는 완전 균열이 나도록 7 ~ 9일간 통전하고 역시 옥외노출을 하여 측정하였다. 측정결과를 소형컴퓨터에 기억되며 측정전압분포도와 철근길이에 따른 측정전압으로 출력할 수 있다.

2.4 부식에 따른 철근 중량 감소량 측정

부식철근은 10% 구연산이암모늄 수용액에 넣고 24시간 방치한후 아세톤으로 녹을 닦아내고 중량을 측정하였다. 따라서 부식에 의해

감소된 중량은 부식전 측정된 철근 중량에서 부식 녹이 제거된 철근 중량을 감하여 측정하였다. 그리고 철근 감소량을 부식전 철근 중량으로 나눈값을 중량감소율로 하였다.

3. 결과분석

3.1 피복에 따른 결과분석

측정값은 관습적으로 음부호이나 여기서는 부식 Potential을 Half cell에 관한 Potential로 나타내므로 양의 수치로 표시되었다.

일반적으로 피복이 크면 철근과의 저항이 커지므로 이론적으로는 측정값이 작게 될 것이나 본 실험에서는 3 ~ 10cm 피복에서 측정값은 그렇게 큰 변화는 없는 결과로 나타났다. (표2참조) 그러나 대체로 피복이 작은 곳에서 크게 나타나는 경향을 보인다는 것을 알 수 있다. 측정값은 표면의 거칠기, 습윤상태, 온도등에 영향받기 때문에 꼭 피복에 의한 영향으로 수치를 판단할 수는 없으나, 부식단계가 증가할수록 피복이 작을수록 큰 수치를 나타냈다.

[표2] 피복 및 철근직경에 따른 평균 측정값

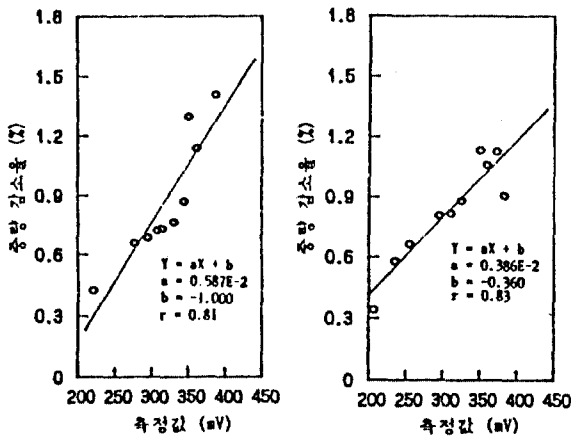
부식 단계	공시체	철근경	철근위치	피복별 평균 측정값(mV)			피복별 측정의 평균값(mV)	중량감소율 (%)
				3cm	6cm	10cm		
1	A-1	D 16	a	283	273	275	277	0.660
			b	183	190	173	282	0.143
	A-2	D 22	a	258	258	250	255	0.666
			b	237	235	233	235	0.580
2	A-3	D 16	a	315	305	300	307	0.721
			b	310	285	290	295	0.685
	A-4	D 22	a	205	200	217	207	0.342
			b	340	320	315	325	0.881
3	A-5	D 16	a	333	323	335	330	0.764
			b	320	310	313	314	0.730
	A-6	D 22	a	290	290	297	295	0.809
			b	370	358	350	359	1.062
4	A-7	D 16	a	350	343	340	344	0.869
			b	367	360	357	361	1.138
	A-8	D 22	a	317	308	310	311	0.819
			b	380	368	370	372	1.129
5	A-9	D 16	a	400	380	380	387	1.406
			b	358	345	343	350	1.298
	1-10	D 22	a	348	349	353	350	1.134
			b	385	388	376	383	0.907

3.2 비파괴 부식 측정값과 철근

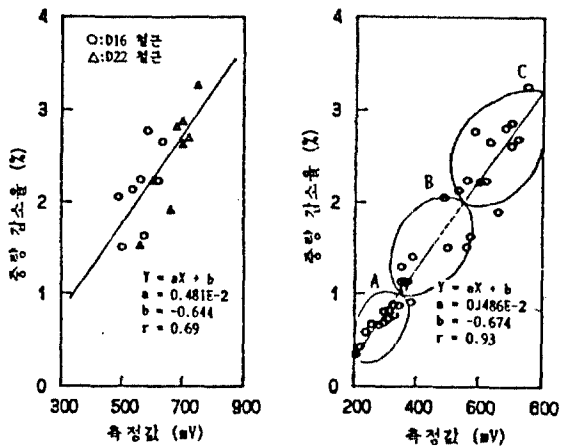
중량변화 분석

철근부식에 의한 중량 감소량 및 감소율은 실제 부식량 계산의 합리적인 방법이라고 볼 수 있다. 표2에 나타난 바와같이 중량 감소율은 D16 철근에서 1.4%까지 D22에서 1.1% 정도에 이르는 분포를 나타내고 있다. 감소율이 증가할수록 비파괴 평균 측정값은 역시 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 6과 그림 7은 D16, D22 철근을 사용한 공시체에 대한 비파괴 부식 측정값과 중량 감소율과의 관계를 나타냈다.



[그림 6] 비파괴 측정값과 중량 감소율 (D16사용 공시체) [그림 7] 비파괴 측정값과 중량 감소율 (D22사용 공시체)



[그림 8] 균열공시체의 측정값과 감소율 [그림 9] 비파괴 측정값과 중량 감소율

한편 구조물의 부식이 어느정도 진행되었을 때, 즉 팽창이 진행되어 중량 감소율이 어느정도 되었을 때 균열이 발생하고 내하력적으로 문제가 발생하는지 판단하기 위하여 실험했던 공시체(B모델)의 실험결과는 표3에 나타나 있다.

표3에서 알 수 있는바와 같이 각 균열에 따른 중량감소율과 그때의 비파괴 측정값은 어느정도 비례적인 연관성이 있음을 나타낸다 대체로 횡방향 균열이 발생할 때 측정값은 600mV ~ 750mV의 범위를 나타냈다. 또 그때의 중량감소는 1.5% ~ 3% 정도의 범위를 보여준다.(그림 8)

[표 3] 부식균열 발생에 따른 부식도 측정값과 중량 감소율

공시체	비파 (m)		철근	평균 측정값 (mV)	중량 감소율 (%)	비고
	L1	L2				
B 1	4	6	D 16	a	620	2.235
				b	561	2.247
B 2	4	6	D 22	a	603	2.225
				b	701	2.867
B 3	5	4	D 16	a	573	1.630
				b	633	2.660
B 4	5	4	D 22	a	720	2.691
				b	700	2.621
B 5	5	5	D 16	a	534	2.137
				b	488	2.060
B 6	5	5	D 22	a	750	3.253
				b	681	2.811
B 7	6	7	D 16	a	584	2.774
				b	500	1.510
B 8	6	7	D 22	a	560	1.515
				b	660	1.905

지금까지 부식 측정값과 중량 감소율의 관계는 특히 부식량이 증가할수록 상관계수가 그렇게 크다고는 볼 수 없는데 이것은 부식에 대한 Potential값의 측정에는 어느 정도의 오차가 존재하고 또 측정값은 그 측정 순간의 부식 화학적 작용의 정도를 평가하는 것이지 장기적인 부식에 기인한 축적된 부식량에 대한 직접정보라고 보기는 어렵기 때문이다. 측정값에 대한 부식량 비교는 최선의 비교 방법이나 간접적 비교일 뿐이고, 따라서 그 평가는 대략적일 수밖에 없을 것이다.

지금까지 얻은 실험 결과를 토대로 단계별 부식에 대한 측정값과 균열 발생된 공시체의 부식 측정값에 대한 중량 감소율과의 관계는

그림9와 같다.

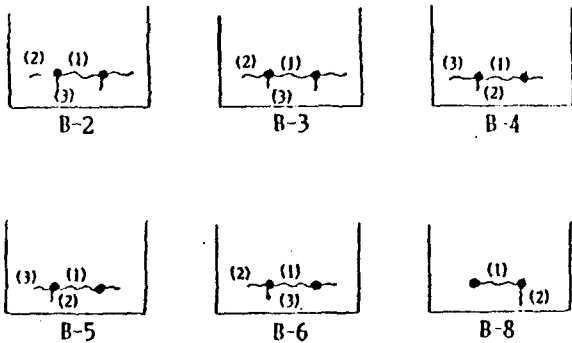
그림 9에서 A그룹은 부식이 진행되고 있으나 균열이 발생하지 않은 단계이고 C 그룹은 균열이 발생된 공시체에 대한 수치를 나타낸다. B 그룹은 대략적으로 균열이 발생하는 시점의 측정값과 중량 감소율이라고 평가할 수 있다. 이것은 부식으로 인한 보수, 보강의 최적시기대 이때의 측정 전압은 400 ~ 600mV 범위를 나타내고 있다. 그림 9에서 부식량의 증가와 부식 측정값은 상당히 높은 상관성을 가지고 분포되어 있음을 보여준다.

그러나 일반적으로 실제 측정값을 가지고 그림9의 상관식에 대입하여 절대적인 부식에 의한 중량 감소량으로 볼 수는 없다.

전기분해를 이용 부식을 유도하였으므로 실제보다 어느정도 과대평가되었을 것이고 또 자연적으로 부식을 유도하였다 하더라도 앞에서 언급한 바와같이 측정값은 측정시의 부식의 화학적 환경에 주 영향을 받기 때문이다.

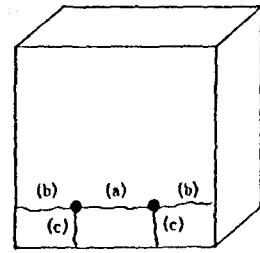
3.3 부식에 의한 균열

팽창압에 의한 균열패턴은 본 실험에서 관찰된 바로는 횡방향 균열이 먼저 발생되고 다음에 종방향 균열로 진전되는 양상을 보였다. (그림10참조)



[그림 10] 부식공시체의 균열에

대체로 균열은 (a), (b), (c)순 또는 (a) (c), (b)순으로 발생되었다. (그림 11 참조) 이것은 (b) 또는 (c) 부분의 피복과 관련하여 변화하였다. 이러한 균열은 부착력은 물론 내부적으로 사용성 (Serviceability) 문제를 야기 할 것이다. 더우기 휨에 의한 균열과 조합될 때는 박리, 박락이 발생할 것이므로 안전



[그림 11] 부식공시체 균열

4. 결론 및 고찰

지금까지 부식에 의한 비파괴 측정값과 부식량과의 관계, 부식에 의한 균열 패턴 등에 대하여 서술하였다.

결론적으로 정리하면 다음과 같다.

- (1) 3 ~ 10cm 피복 변화에 따른 비파괴 철근 부식 측정값은 큰 차이가 없으나, 대체로 피복이 작은 곳에서 큰 수치를 나타냈다.
- (2) 부식 단계별 비파괴 측정값과 철근 중량 감소율과의 관계는 상관계수가 0.7 ~ 0.9를 나타냈으며, 부식량이 증가할수록 상관계수가 낮게 나타났다. 이것은 측정값이 측정시의 부식 정도를 나타내고 부식량은 (감소율) 장기적으로 축적된 결과이기 때문이다.
- (3) 부식에 의한 완전 횡방향 균열이 발생될 때의 측정값과 중량 감소율은 각각 600 ~ 750mV, 1.5 ~ 3%의 분포를 나타냈고, 균열이 발생하는 시점은 대략 400 ~ 600mV, 0.8 ~ 2% 정도가 되었다.
- (4) 부식에 따른 균열은 내부 철근간의 횡방향균열이 먼저 발생하고 다음에 콘크리트 표면으로 단면의 횡방향 또는 종방향 균열이 발생되었는데 대체로 종방향 균열은 최종적으로 발생되었다.

이상과 같이 실험 결과로부터 분석 내용이 정리되었다. 부식에 대한 문제는 광범위한 인자가 관련되어 있으므로 지속적인 보완 실험과 경험에 의한 자료 축적이 꾸준히 진행되어야 할 것이다. 또한 부식도 측정기에 대하여는 오차를 극복할수 있는 지속적인 방법이 강구되어야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 森川雅行, 關 博·奥村 隆, “鐵筋の

- 腐食膨脹によるひびわれの發生機構に関する基礎的研究”，土木學會論文集，第378號/V-6，1987.
- 2) 橋 吉宏，梶川康男，川村滿紀，“鐵筋腐食によって損傷を受けたRCばりの舉動に関する考察”，日本土木學會 論文集 第402號/V-10 1989.2
 - 3) 한국건설기술연구원，“국내 콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 조사 연구”，1989.
 - 4) H.ARUP，“The mechanism of the protection of steel by concrete”，proceedings, 'Corrosion of Steel Reinforcements in Concrete Construction', Society of Chemical Industry, 1979.
 - 5) J.L.DAWSON，“Corrosion monitoring of steel in concrete” proceedings, 'Corrosion of steel Reinforcements in Concrete Construction', Society of Chemical Industry, 1979.
 - 6) C.N.S ELECTRONICS LTD. “Potential Wheel and Data Bucket MANUAL”，1990.