

콘크리트 강도에 따른 철근의 전식계수 산정에 관한 연구

A Study on the Estimation of the Coefficient of Electrolytic Corrosion according to Concrete Compressive Strength

강택선* 지남용** 윤상천*** 김재훈**** 김동현*****
Kang, TaekSun Jee, NamYong Yoon, SangChun Kim, JaeHun Kim, DongHyun

ABSTRACT

In this study, the electric accelerated reinforcing bar corrosion test was carried out to estimate the coefficient of electrolytic corrosion based on the concept of Faraday's law according to rebar corrosion rate and concrete compressive strength which had an effect on the actual corrosion mass loss.

The results of this paper allow the prediction of corrosion amount in the electric accelerated reinforcing bar corrosion test method.

1. 서론

철근콘크리트 구조물의 내구성 설계를 하기 위해서는 철근콘크리트 구조물에 쓰이는 사용재료의 장기적인 내구성을 파악할 필요가 있다. 그러나 콘크리트에 매입된 철근부식으로 인한 성능저하를 파악하는 경우 실제 환경에서의 노출실험은 결과를 얻기까지 상당히 오랜 시간이 필요하고, 현재 제안되어지고 있는 철근부식 촉진실험에 의한 방법들에 의해서도 대부분 수개월에서 1년 이상의 장기간이 소요되어 부식의 발생량에 대한 추정 및 확인이 힘든 상황이다. 반면, 패러데이법칙을 이용한 전위차 부식촉진법인 경우 단시간에 실험결과를 얻을 수 있지만, 김현욱⁽¹⁾ 등의 연구결과를 보면 철근과 콘크리트의 특성 등으로 인하여 패러데이법칙에 의한 이론적 부식량과 촉진실험에 의한 실제 부식량은 일치하지 않아서 정확한 부식량과 시간 등의 부식속도 예측이 어려운 실정이다.

본 연구에서는 콘크리트 강도를 달리하여 이론적 부식량에 해당하는 전류를 흘려보낸 후 이에 대한 실제 부식량을 측정하여 철근의 전식계수를 파악함으로써, 전식에 의한 철근부식 촉진실험에서 부식량 예측을 위한 기초적 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 실험인자 및 수준

본 실험에서는 이론적 부식량과 실제 부식량의 관계를 나타낼 수 있는 전식계수를 파악하기 위해서 실험인자 및 실험수준을 표 1과 같이 정하였다.

표 1 실험인자 및 수준

실험인자	수준	수준수
콘크리트 강도(MPa)	18, 27, 40	3
철근의 부식률(%)	2, 4, 6, 8, 10	5

* 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

*** 경주대학교 건설환경시스템공학부 교수, 공학박사

**** 경민대학교 건설학부 교수, 공학박사

***** 주식회사 대우건설 이사

2.2 사용재료 및 시험체

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201에 규정된 C사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 철근은 KS D 3504에 규정된 D16인 SD400철근을 사용하였다. 잔골재는 인천산 세척사이며 굵은 골재는 퇴촌산 부순돌로서 최대크기를 19mm이하로 조정하였으며, 시험체 제작에 사용한 콘크리트 배합표 및 시험결과는 표 2와 같다.

표 2 콘크리트 배합표 및 시험결과

시험체	S/a (%)	W/C (%)	혼화제		단위중량(kg/m ³)				슬럼프 (cm)	공기량 (%)	재령 28일 압축강도(MPa)
			SP(%)	AE(%)	W	C	S	G			
I	44	60	-	0.09	175	292	792	1028	18.0	5.0	19.24
II	44	50	-	0.04	175	350	767	996	17.5	5.1	28.38
III	44	35	0.25	0.03	175	500	716	929	17.0	4.9	41.37

시험체는 실온 15℃에서 24시간 경과 후 탈형하여 재령28일까지 20±3℃수중에서 양생한 후 철근 부식실험을 진행하였다. 시험체의 형상은 그림 1과 같다. 본 실험에서는 매입된 철근의 중앙 100mm부분만 부식시키기 위해서 부식구간을 제외한 부분은 에폭시 및 절연테이프 등으로 절연처리 하였다.

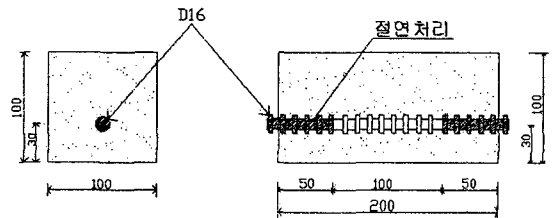


그림 1 시험체 형상

2.3 실험내용 및 방법

2.3.1 철근부식방법

철근부식방법은 패러데이의 전기분해법칙에 의해 인위적으로 철근을 부식시키는 촉진부식법으로, DC 12V 3A용량의 정전압 발생장치를 이용하여 3% NaCl수용액에 시험체를 침지시키고 직류전원의 (+)극은 철근에, (-)극은 동판에 연결하여 그림 2와 같이 직류회로를 구성하였다.

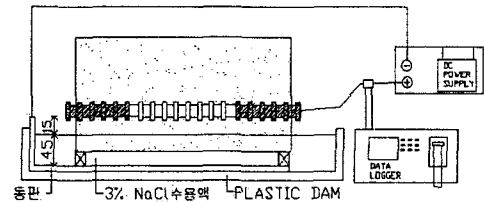


그림 2 시험체 철근부식 회로도

2.3.2 적산전류량 산정

이론적 부식량에 해당하는 적산전류량(전류(A)×시간(sec))은 전기분해에 있어서 전해되는 양은 석출이나 용해되는 물질의 성질에 관계없이 동일한 전해질 존재 하에서 전극에 흐르는 전기량, 즉 전류와 시간의 곱에 비례한다는 패러데이법칙⁽²⁾을 이용하여 식 1에 의해 이론적 부식량에 해당하는 적산전류량을 산출하였다.

$$\text{적산전류량}(A \times \text{sec}) = \frac{2 \times 96500 \times \text{이론적 부식량}(g)}{55.847} \quad (\text{식 1})$$

여기서, 철근의 이론적 부식량은 부식구간 100mm에서 부식률 2, 4, 6, 8, 10%일 때의 부식량으로서 식 2에 의해서 구하였다.

$$\text{이론적 부식량}(g) = \text{부식구간의 철근중량}(g) \times \frac{\text{부식률}(\%)}{100} \quad (\text{식 2})$$

본 실험조건에서 부식률에 따른 이론적 부식량 및 적산전류량은 표 3과 같다.

표 3 부식률에 따른 이론적 부식량과 적산전류량

철근 부식률 (%)	이론적 부식량 (g)	적산전류량 (A×sec)
2	3.02	10436.73
4	6.04	20876.91
6	9.06	31313.64
8	12.08	41750.37
10	15.10	52183.64

2.3.3 실제 부식량 평가방법

철근부식실험에서의 실제 부식량은 철근의 부식생성물을 ASTM G1규준⁽³⁾에 의거한 방법으로 제거한 후, 부식구간에서 부식되기 전 철근에 대한 중량감소량으로서 부식량을 파악하였다.

2.3.4 전식계수 산정

전식계수는 금속이 전기분해에 의하여 부식하는 경우 패러데이법칙에 따라서 통과전기량에서 이론적으로 산출하는 (+)극에서의 부식량과 실제로 발생하는 부식감량 간의 차이비율(식 3)로서, 본 논문에서는 식 1에 의해 부식률이 2, 4, 6, 8, 10%일 때의 부식량에 해당하는 적산전류량을 계산하여 이를 각각의 시험체에 흘려보낸 후 실제 부식량을 측정함으로써 전식계수를 산출하였다.

$$\text{전식계수}(\eta) = \frac{\text{실제 부식량}}{\text{이론적 부식량}} \times 100(\%) \quad (\text{식 3})$$

한편, 정전압을 가한 후의 전류량의 적분값은 각 시험체마다 저항을 연결하여 데이터로거를 이용하여 20분마다 전류량을 측정 한 후, 시간-전류 그래프에서 구분구적법을 응용하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험결과

콘크리트 강도 및 철근의 부식률에 따른 철근의 실제 부식량 및 부식률과 전식계수에 대한 실험결과는 표 4와 같다.

표 4 콘크리트 강도 및 철근의 부식률에 따른 실제 부식량 및 부식률과 전식계수

시험체	이론적 부식률 (%)	실제 부식량 (g)	실제 부식률 (%)	전식 계수 (η)	시험체	이론적 부식률 (%)	실제 부식량 (g)	실제 부식률 (%)	전식 계수 (η)	시험체	이론적 부식률 (%)	실제 부식량 (g)	실제 부식률 (%)	전식 계수 (η)
I	2	2.94	1.95	97.29	II	2	1.48	0.98	49.15	III	2	0.46	0.30	15.17
	4*	5.95	3.94	98.55		4*	4.09	2.71	67.79		4	2.15	1.42	35.60
	6*	8.84	5.85	97.54		6*	6.02	3.99	66.48		6*	4.60	3.05	50.78
	8*	11.22	7.43	92.89		8*	9.17	6.07	75.88		8*	7.18	4.75	59.40
	10*	14.24	9.43	94.31		10*	11.83	7.83	78.33		10*	9.36	6.20	61.96

* 실제 부식량 및 부식률, 전식계수 : 시험체 3개의 평균값

* ' * ' : 3개의 시험체 중 2개 이상이 부식에 의한 균열이 발생한 시험체

3.2 콘크리트 압축강도 및 철근 부식률과 전식계수와의 관계

콘크리트 압축강도와 철근의 부식률이 철근 전식계수에 미치는 영향을 분석하기 위해서 콘크리트 강도에 따른 이론적 부식률과 실제 부식률과의 관계 및 부식률에 따른 콘크리트 강도와 전식계수와의 관계를 살펴보면 그림 3, 4와 같다.

동일한 부식률에서 콘크리트 강도에 따른 전식계수를 비교해 보면 시험체 모두가 부식균열 발생 전인 부식률 2%일 때의 이론적 부식량 3.02g에 해당하는 적산전류량 10436.73(A×sec)을 각 시험체에 동일하게 흘려보낸 후, 실제 부식량을 측정한 결과 I 시험체 2.94g, II 시험체 1.48g, III 시험체 0.46g이었고 이때의 전식계수는 각각 97.29%, 49.15%, 15.17%로 나타나 콘크리트 압축강도가 커질수록 실제 부식량 및 전식계수가 감소하였다. 따라서 목표로 하는 부식률 2%에서의 이론적 부식량과 실제 부식량이 일치하는 전식계수 100%가 되기 위해서는 이론적 부식량 3.02g에서 실제 부식량을 감한 후의 부식

량 I 시험체 0.08g, II 시험체 1.54g, III 시험체 2.56g에 해당하는 적산전류량만큼을 더 가해주어야 할 것으로 판단된다.

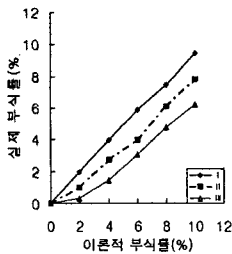


그림 3 압축강도에 따른 실제 부식률

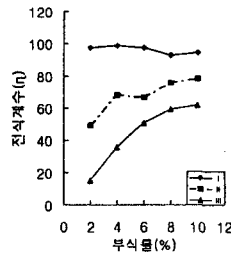


그림 4 부식률에 따른 콘크리트 강도와 전식계수

이론적 부식률이 ASTM A 615에 규정된 철근의 중량감소 허용값인 6%일 때의 실제 부식률은 I 시험체가 5.85%로 이론적 부식률 6%에 가장 근접함을 보였고, II 시험체와 III 시험체는 각각 3.99%, 3.05%로 나타났다. 또한, 이때의 모든 시험체에는 이론적 부식률 4%에서도 균열발생이 없던 III 시험체에서도 부식균열이 관찰됨으로써 실제 부식률이 3%이상인 경우에는 콘크리트 압축강도가 40MPa 이상인 고강도 콘크리트에서도 철근의 팽창압으로 인한 부식균열이 발생함을 알 수 있었다.

한편, 동일한 콘크리트 강도를 갖는 시험체에서 부식률에 따른 전식계수 변화는 뚜렷한 경향을 보이지 않는 I 시험체를 제외한 II 시험체와 III 시험체에서 부식률이 2%에서 10%로 증가함에 따라 부식균열 발생으로 인해 전식계수가 각각 49.15%에서 78.33%로, 15.17%에서 61.96%로 점차적으로 증가하는 경향을 보였다.

콘크리트 강도 및 철근 부식률에 따른 철근의 전식계수를 산정하기 위해서 전식계수를 종속변수로 콘크리트 압축강도와 철근 부식률을 독립변수로 하여 다중회귀분석한 결과 다음과 같은 식 4를 도출할 수 있었다.

$$\eta = -2.302 f_{ck} + 2.87 CR + 117.397 \quad (R^2=0.86) \quad (\text{식 4})$$

여기서, η : 철근의 전식계수, f_{ck} : 콘크리트 압축강도(MPa), CR : 철근 부식률(%)

4. 결론

전식에 의한 철근부식 촉진실험에서 콘크리트 강도와 철근의 부식률이 철근의 전식계수에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 철근의 전식계수는 I 시험체 92.89% ~ 98.55%, II 시험체 49.15% ~ 78.33%, III 시험체 15.17% ~ 61.96%로 나타나 콘크리트 강도에 따른 명확한 차이가 있음을 알 수 있었다. 이는 콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 콘크리트 조직이 밀실해져 물질이동과 투수성 등이 달라지기 때문이라고 판단된다.
- (2) 콘크리트 강도 및 철근 부식률과 전식계수는 상관관계가 높게 나타나 전식계수를 종속변수로 콘크리트 압축강도와 철근 부식률을 독립변수로 다중회귀분석한 결과 추정식을 도출할 수 있었다.

■ 본 연구는 주식회사 대우건설의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김현욱, "철근의 부식률이 콘크리트의 부착강도에 미치는 영향", 한양대학교대학원 석사학위논문, 2002.12
2. 장향동, "전기화학이론과 그 응용", 동명사, 1995
3. ASTM G1-99, "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens", ASTM, 1999