

콘크리트 중의 철근 부식특성에 관한 연구

Study on the Properties of Steel Corrosion in Concrete

양승규* 엄태선** 이종열*** 山田一夫**** 河野克哉*****
Yang, Seung-Kyu Um, Tai-Sun Lee, Jong-Ryul Kazuo Yamada Katsuya Kono

ABSTRACT

Steel corrosion in concrete is aggravated with the increase of chloride content in concrete. So, there are regulations in the total amount of chloride ions in concrete in Korea and Japan.

The purpose of this paper is to propose a reasonable method to regulate the amount of chlorides in concrete.

In this study, the experimental results showed that it is rather reasonable to regulate the amount of chloride ions in cement than the total amount of the chloride ions in concrete.

1. 서론

건설재료 중에서 철강재와 함께 큰 비중을 차지하고 있는 콘크리트는 내구성이 우수하여 반영구적인 구조물의 건설에 사용되어 왔다. 그러나 콘크리트 구조물은 여러 가지 열화인자에 의해 콘크리트 중의 철근이 부식하여 내구성이 저하된다. 철근을 부식시키는 여러 가지 인자 중에서 콘크리트 중에 존재하는 염화물이온의 확산, 외부로부터의 침투 및 중성화에 의한 염화물이온 농축에 의해 염화물이온의 농도가 높아지면 철근은 부식을 일으킨다. 특히, 콘크리트 중에 존재하는 염화물이온의 확산에 의한 철근부식은 콘크리트 구조물의 조기열화를 발생시킬 수 있기 때문에, 각국에서는 콘크리트 중의 염화물량을 규제하고 있다. 우리나라와 일본의 경우, 0.3kg/m^3 (콘크리트 총량기준) 이하로 규제하고 있으며, 미국과 유럽의 경우는 단위시멘트량의 0.1%이하(시멘트 총량기준, $C \times 0.1\%$)로 규제하고 있다.

그러나, 콘크리트 중의 염화물량에 대한 콘크리트 총량규제는 시멘트에 의한 염화물이온의 고정화, 철근부식의 메카니즘 등이 고려되지 않은 것으로, 시멘트량이 많은 PC그라우트 및 고강도 콘크리트 등에는 불합리한 규제라고 판단된다.

따라서, 본 연구는 콘크리트 중의 염화물이온량의 합리적인 규제방법을 제안하기 위하여 단위시멘트량을 변화시킨 시험체를 제작하여 전기화학적 방법에 의한 콘크리트 중의 철근부식 모니터링, EPMA에 의한 콘크리트 중의 염화물량의 면분석 등의 실험적인 검토를 수행하였다. 또, 철근부식이 확인된 부분의 염화물량을 임계염화물량으로 하여 콘크리트 총량표기와 시멘트 총량표기의 비교·검토를 통한 합리적인 규제방법을 제안하였다.

* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 주임연구원

** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사

*** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

**** 일본 태평양시멘트 중앙연구소 시멘트화학팀 리더, 공학박사

***** 일본 태평양시멘트 중앙연구소 시멘트화학팀 부주임연구원, 기술사(건설부문)

2. 실험개요 및 실험방법

2.1 사용재료

실험에 사용된 재료의 종류 및 물성을 표 2.1에 나타내었다. 철근은 이형철근D13을 사용하였으며, 10%구연산암모늄 용액에 침적해, 철근표면의 흑피를 제거하였다.

표 2.1 실험에 사용된 재료의 종류 및 물성

재 료	종 류	물 성
시멘트(C)	보통포틀랜드시멘트	비중: 3.16
잔골재(S)	小笠産육사	비중: 2.60, 조립률: 2.52
굵은골재(G)	岩瀬産쇄석	비중: 2.63, 최대치수: 10mm
혼화제(T)	소포제	마이크로에어404(NMB사 제품)

2.2 배합

콘크리트 및 모르타르의 배합은 물시멘트비를 60%로 일정하게 하였으며, 단위시멘트량을 300 ~ 700kg/m³으로 변동시켰다. 표 2.2는 본 실험의 배합을 나타낸다. 여기서, 배합명의 C는 콘크리트를, M은 모르타르를 나타내고, 각각의 수치는 단위시멘트량을 나타낸다.

표 2.2 콘크리트 및 모르타르의 배합조건

배합명	W/C(%)	s/a(%)	단위재료량				
			W(kg/m ³)	C(kg/m ³)	S(kg/m ³)	G(kg/m ³)	T(C×%)
C-300	60	58.6	180	300	1105	300	0.02
C-400			240	400	867		
M-400			240	400	1647		
M-500		100	300	50	1409	0	
M-600			360	600	1170		
M-700			420	700	932		

2.3 공시체의 형상 및 양생

공시체는 그림 1과 같이 덮개 콘크리트가 연속적으로 변화되도록 배근한 모르타르 및 콘크리트 공시체를 제작하였다. 또한, 재령 1일에 탈형해, 재령 28일까지 표준양생을 행하였으며, 1일간 건조시킨 후 시험을 개시하였다.

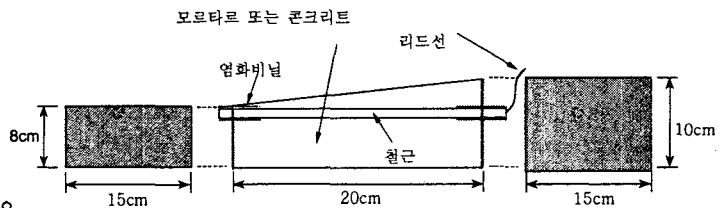


그림 1. 공시체의 형상

2.4 시험방법

2.4.1 염화물이온 침투방법

그림 2와 같이 공시체의 상면을 염화물이온의 침투면으로 해, 공시체의 측면으로부터 부식이 진행되도록 하였다.

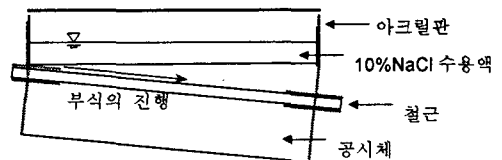


그림 2. 염화물이온의 침투방법

2.4.2 철근의 부식 모니터링

소정의 침투기간이 경과한 공시체 중 철근의 분극저항을 측정하였다. 분극저항의 측정은 교류임피

던스법에 의해 행하였다.

2.4.3 공시체 중의 염화물량 분석

철근의 부식임계염화물량을 파악하기 위하여 부식이 진행되고 있다고 판단된 공시체 내부의 염화물 이온량을 EPMA를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 염화물이온의 침투에 의한 철근의 분극저항 분포

염화물이온의 침투기간의 경과에 의한 덮개 콘크리트 11mm부분의 분극저항의 변화를 그림 3에 나타낸다. 그림과 같이 철근의 분극저항은 모든 수준에서 침투기간의 경과와 함께 감소하는 경향을 보였다. 분극저항의 감소는 염화물이온의 침투에 의한 것으로 철근의 부식전류밀도 및 부식속도의 증가를 의미한다.

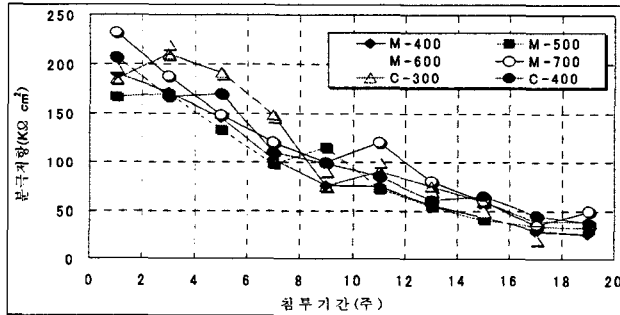


그림 3. 분극저항의 분포

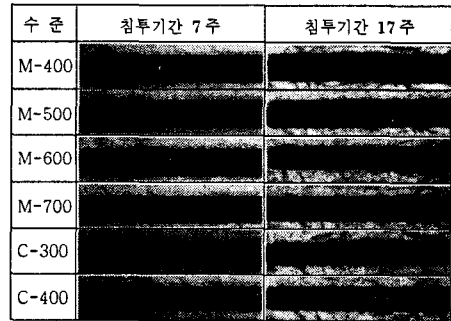


그림 4. 공시체 중의 철근부식 상황

3.2 분극저항과 실제 부식상황과의 관계

분극저항의 측정으로부터 철근의 부식상황을 판단하는 기준은 아직까지 확립된 것은 없고 연구자 및 연구기관에 의해 제안되고 있는 상황이다. 본 연구에서는 CEB(유럽 콘크리트 위원회)에서 제안한 기준을 적용하여 분극저항과 철근의 실제 부식상황을 비교하였다.

CEB의 기준으로 저~중정도의 부식속도를 나타낸 침투기간 7주와 중~고정도의 부식 속도를 나타낸 침투기간 17주의 공시체를 해체하여 공시체 중의 철근의 실제 부식상황을 관찰하였다.

그림 4는 철근의 부식상황을 관찰한 결과를 나타낸 것이다. 그림과 같이 침투기간 7주의 철근은 부식이 발생하지 않은 상황이었으며, 침투기간 17주의 철근에는 부식이 확인되었다. 이와 같은 결과로부터 교류인피던스법에 의한 분극저항의 측정으로 실제 콘크리트 중의 부식을 파악할 수 있었다.

3.3 염화물이온의 농도프로파일과 부식임계염화물량

부식이 개시되었다고 판단된 침투기간 7주와 17주의 공시체 중의 염화물이온량을 분석한 결과, 침투기간의 경과와 함께 공시체 내부의 염화물이온량이 증가하고 있음을 알 수 있었다(그림 5참조).

부식이 확인된 침투기간 17주의 염화물이온량을 콘크리트 총량으로 표기한 것이 그림 6이다. 부식이 발생한 위치의 염화물이온량을 임계염화물량으로 하면, 그림과 같이 임계염화물량은 단위시멘트량 별로 5.37 ~ 11.00kg/m³의 범위로서 임계염화물량은 단위시멘트량의 증가와 함께 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 단위시멘트량 등의 콘크리트 배합조건을 고려하지 않은 콘크리트 총량규제의 문제점을 증명하고 있다고 생각된다.

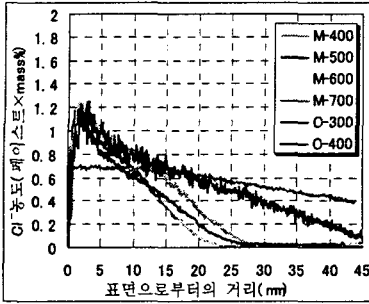


그림 5. 공시체 중의 염화물이온량의 변화

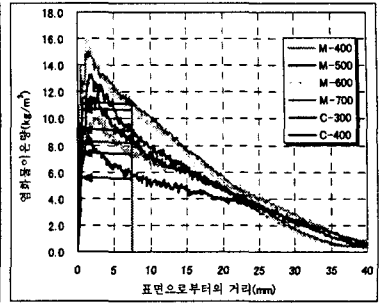
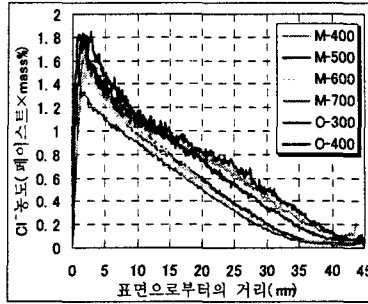


그림 6. 임계염화물량의 변화(총량)

3.4 콘크리트 염화물 규제에 관한 콘크리트 총량표기와 시멘트 종량표기의 비교

콘크리트 총량규제와 시멘트 종량규제의 차이점을 비교하기 위하여 그림 6을 단위시멘트량과 임계염화물량과의 관계로 정리하여 나타낸 것이 그림 7이다. 그림과 같이 콘크리트 총량표기의 경우에는 단위시멘트량에 의해 임계염화물량이 변화하지만, 이것을 시멘트 종량표기로 나타내면 거의 일정한 값(단위시멘트량의 1.8% 정도)을 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 콘크리트 중의 염화물이온량에 관한 규제는 콘크리트 총량규제가 아닌 시멘트 종량규제가 합리적임을 알 수 있었다.

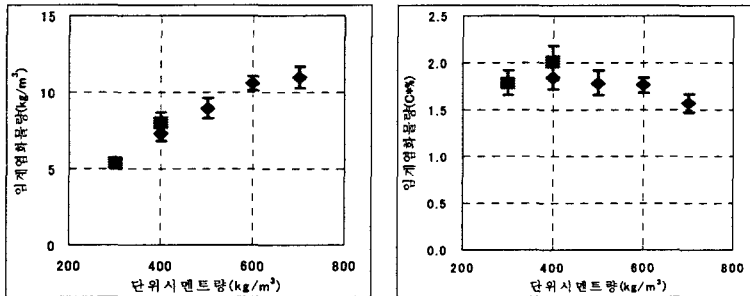


그림 7. 콘크리트 총량표기(좌)와 시멘트 종량표기(우)의 비교

4. 결론

콘크리트 중의 염화물이온량의 합리적인 규제방법의 제안을 목적으로 실험적인 검토를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 교류임피던스법에 의한 분극저항의 측정으로 실제 콘크리트 중의 부식을 검지할 수 있었다.
- 2) 콘크리트 총량표기에 의한 임계염화물량은 단위시멘트량의 변화에 따라 크게 다른 값을 나타냈지만, 시멘트 종량표기에 의하면 일정한 값이 됨을 실험적으로 증명할 수 있었다.
- 3) 콘크리트 중의 염화물이온량에 관한 규제는 콘크리트 총량규제가 아닌, 시멘트 종량규제가 합리적이라고 판단된다.

참고문헌

1. 山田一夫, 河野克哉, 相田悟, 梁承奎, “콘크리트 중의 鋼材腐食檢出法에 關する 文獻調査および 鋼材 診斷裝置의 性能評價”, 太平洋セメント中央研究所月報.
2. C. Alonso, C. Andrade, M. Castellote and P. Castro, “Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in a standardized OPC mortar”, Cement and Concrete Research, 2000.