

균열특성에 따른 콘크리트 구조물의 염분침투에 관한 실험적 연구

Rapid Corrosion Test on Reinforcing Steels in Chloride-Penetrating Concrete Structures with Various Crack Patterns

이 상 국* 정 영 수** 문 홍 식* 안 태 송*** 유 환 구***
Lee, Sang Kuk Chung, Young Soo Moon, Hong Sik An, Tea Song Yu, Hwan Gu

ABSTRACT

Reinforced concrete is, in general, known as a high durability material due to a strong alkalinity of cement. Probable concrete cracks could incur steel corrosion of RC structures and then could easily deteriorate the concrete durability, which can be fully secured by a systematic quality control for the construction of concrete structures. For the corrosion protection of reinforcing steels in concrete, however, current design specifications of concrete cover depth do not in-depth consider the effect of the cracks as well as the chloride content of RC structures. Therefore, appropriate provisions for concrete cover depth should be coded by considering the influence of concrete cracks on the corrosion of reinforcing steels. The objective of this research is to investigate pertinent cover depth, which can prohibit rebar corrosion, on the basis of experimental corrosion measurements of reinforcing steels on crack characteristics such as the width, depth and frequency of concrete cracks.

1. 서 론

철근콘크리트 구조물에서 콘크리트의 균열발생과 철근의 부식발생은 구조물의 내구성을 저하시키는 가장 큰 요인으로서 경제적이고 안전성이 확보되는 구조물을 제작하기 위해서는 이에 대한 체계적인 대비책이 필요하다. 특히, 국내의 여건은 동절기 염화물계 제설제의 사용이 불가피함은 물론 자원의 고갈로 인한 해사의 사용을 피할 수 없는 실정이다. 균열과 철근부식이 중요시되는 철근 콘크리트 구조물은 교량의 바닥판, 해수 인접교각 구조물 및 연속 콘크리트포장 등으로서, 이들 구조물에는 적절한 내구성 향상 방안이 절실히 요구된다. 최근 철근의 부식을 방지하기 위한 방법으로 에폭시 코팅 철근, 투수성이 낮은 콘크리트, 교면방수재, 방청제, 전기방식등 여러 가지 수단이 사용되고 있다. 이러한 방법들은 콘크리트의 피복덮개가 제 역할을 하지 못하여 실시하는 부가적인 방법이라 할 수 있다. 따라서 철근의 부식방지에 가장 기본적이면서 중요한 것은 적절한 피복덮개를 확보하여 철근부식에 대한 외부 침해요소를 차단하는 것이라 할 수 있다

2. 연구목적

본 연구에서는 철근콘크리트에서 발생한 균열의 폭과 깊이 및 빈도에 따라서 철근의 부식정도를 평가

- * 정희원, 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정
- ** 정희원, 중앙대학교 토목공학과 교수
- *** 정희원, 한국도로공사 도로연구소 연구원

하여 철근의 부식을 방지할 수 있는 콘크리트의 철근덮개가 어느 정도인가를 규명하는 것이 주요 연구목적이다. 또한 만약 균열이 존재하더라도 혹은 균열이 없더라도 콘크리트에 각종 방청제를 사용하였을 경우 이들이 철근의 부식억제에 미치는 효과와 영향을 조사하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서 목적으로 하는 내용을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 염화물 침투 환경하에서 철근콘크리트 구조물의 균열특성, 즉, 균열 폭, 깊이 및 빈도에 따른 철근의 부식정도에 미치는 영향을 실험적으로 규명하여 철근의 부식정도와 상관을 제시하고자 한다. 둘째, 철근콘크리트 구조물에서 균열은 허용범위 내에서 인정하고 있다. 따라서, 제안하는 실험연구를 바탕으로 균열을 고려하였을 경우 철근의 부식을 최소화할 수 있는 합리적인 최소 철근덮개를 제시하고자 한다. 셋째, 균열이 있는 경우와 균열이 없는 경우에 대해 철근의 부식억제 방법으로 사용되는 각종 방청제의 영향을 연구하여 철근콘크리트 구조물의 적절한 방청기법을 제시하고자 한다.

3. 시험체 제작

균열의 특성과 철근의 부식정도를 검토하기 위한 시험체는 휨부재를 고려하여 그림 1과 같은 보 시험체를 제작하였다. 시험체의 크기는 700×150×200mm로 철근의 피복두께를 확보할 수 있고 균열의 깊이를 확보할 수 있도록 충분한 크기로 제작하였다. 상단에는 양극(Anode)으로 사용되는 철근을 변수에서 설정된 직경별로 각각 삽입하고 하단에는 부식정도의 정확도를 위하여 전위의 변화가 거의 없는 Stainless Steel 304를 삽입하여 음극(Cathode)으로 사용하였다. 본 실험에서는 균열특성 및 철근의 피복두께에 의한 영향에 의해서만 철근의 부식을 평가하여야 하므로, 즉 균열에 따른 철근부식과 철근 피복두께에 따른 철근부식을 검토하여야 하므로 매입된 철근 자체에서 Micro-Cell 작용에 의한 철근 부식의 영향을 배제하여야 한다.

3.1 배합 및 압축강도

콘크리트 배합은 설계압축강도 240, 280 및 350kgf/cm²의 세 가지 종류를 실시하였다. 시험체의 총 수량은 약 108개로 기준 설계압축강도 280kgf/cm²의 시험체는 I, II로 구분하며 280kgf/cm²(I)은 동일한 배합조건하에 시험체를 제작하기 위하여 레미콘을 사용하였다. 그리고 압축강도 240, 280(II) 및 350kgf/cm²의 시험체들은 레미콘 타설을 동시에 실시할 수 없고 물량이 소량이었기에 실내에서 배합하였다. 특히 280(II)kgf/cm²은 실내에서 배합한 콘크리트의 기준 콘크리트로 활용하기 위하여 배합하였다. 표 1에서 본 실험에서 실시한 콘크리트의 배합표와 압축강도를 정리한 것이다.

표 1 배합표 및 압축강도

설계강도 (kg/cm ²)	W/C (%)	S/a (%)	물	시멘트	잔골재	굵은 골재	AE 감수제	유동화제	방청제	압축강도	비 고
240	52.0	44	170	326.0	785.37	1011.09	C×0.2%	-	-	265.1	
280(I)	47.1	46	178	397.0	810.00	927.00	C×0.3%	-	-	271.4	
350	36.0	43	160	444.4	725.50	965.40	C×0.2%	C×0.28%	-	549.4	
280(II)	47.1	46	178	397.0	775.69	906.88	C×0.3%		-	345.2	
									12 l/m ³	352.3	A사
									5 l/m ³	334.4	B사
									0.7 l/m ³	304.1	C사
									3.9 l/m ³	334.3	D사

3.2 균열 유도 장치 및 고정장치

철근콘크리트 보 시험체의 균열의 유도방법은 Schießl과 Raupach가 실험한 모델을 수정하여 제작한 균열유지용 Set-Up을 사용하여 균열을 유도하였다. 일반적으로 균열을 유도하는 방법은 일정한 시험편에 하중을 가하여 계획된 균열을 유도하는 방법과 Notch를 주기 위해 콘크리트 타설전에 미리 시험편에 Plastic Strip을 삽입하여 균열을 유도하는 방법 및 보통의 보 시험체를 이용하여 무작위로 균열을 유도하는 방법 등이 있다. 본 실험에서는 사전에 Plastic Strip을 콘크리트에 매립하여 최초 균열을 인위적으로 만들고 재하판에서 시험체에 하중을 가하여 소정의 균열을 유도하는 방법을 채택하였다.

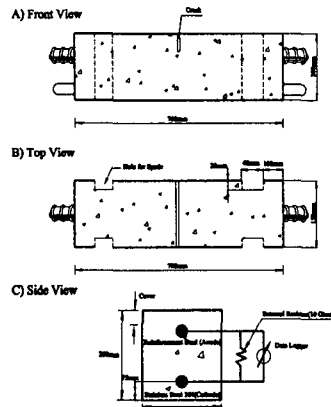


그림 1 시험체 형상

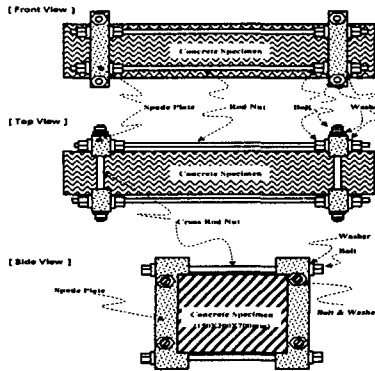


그림 2 균열고정장치



사진 1 균열폭 제어를 위한 클립게이지

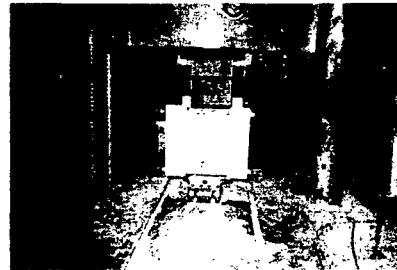


사진 2 균열발생 유도 (100Ton UTM)

4. 실험변수

시험체 변수는 표 2에서 보는 바와 같이 균열폭, 균열수, 철근직경, Epoxy Coating, 철근덮개, 방청제 등을 변수로 하여 변수별 부식에 대한 관찰을 시도하였다.

5. 실험방법

5.1 부식촉진을 위한 해수 순환장치

제작된 보 시험체는 염화물 침투환경 하에 노출시켰다. 108개의 균열용 보 시험체를 실험틀 위에 올려 놓고, 실험틀에 부착된 Shower System 의해 해수가 시험체에 분사되도록 하였다. 해수의 순환주기는 12시간 노출, 12시간 건조로 하였다. 해수의 순환은 실험틀에 Timer가 설치되어 해수가 Pumping되는 시간을 조절할 수 있도록 특수 제작하였다. 또한, 각 시험체의 Cathode 및 Anode 부분

은 각각 전선으로 Data logger를 통하여 연결되어 있으며 일정한 간격으로 전위차를 측정하여 시험체에 매입된 철근의 내부식 성능을 측정하였다. 해수순환장치의 개념도는 그림 3과 같으며 사진 3은 해수순환 실험틀과 사진 4는 보 시험체의 해수사워 모습을 보여주고 있다.

표 2 시험체 변수

시험변수	범 위 (변수갯수)	고 정 변 수							변수당 시편수	계
		균열폭	균열깊이	철근직경	액폭시 코팅	철근 덮개	강도	방청재		
균열폭	0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3,mm (7)	-	Not Controlled	D25	Not Coated	4 cm	280kg/cm ²	Not Confined	3	21
균열깊이	0, 2, 3, 4, 6, 8,cm (6)	0.15mm	-						3	18
균열빈도	1, 3, 5, 7, 9 (5) (Length ; 61cm)	0.15mm	Not Controlled						3	15
철근직경	D19, 25, 32 (3)	0.15mm	-	-	-	-	-	3	9	
액폭시 코팅	Coated, Not Coated, Coated-Scratched (3)	0.15mm	4 cm	-				3	9	
피복두께	2, 4, 6, 8, 10cm (5)	0.30mm	Not Controlled	D25	-	-	-	3	15	
압축강도	240, 280, 350kg/cm ² (3)	0.15mm	4 cm	-	4 cm	-	-	3	9	
방청재	Confined(4종)	0.15mm	4 cm	-	4 cm	280kg/cm ²	-	3	12	
계									108	



사진 3. 부식시험체 거치틀

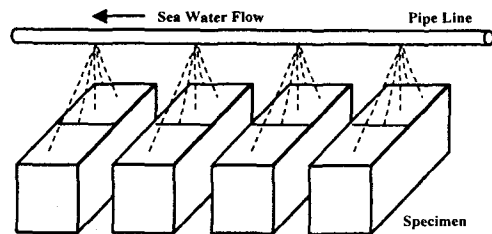


그림 3 해수순환장치 모식도

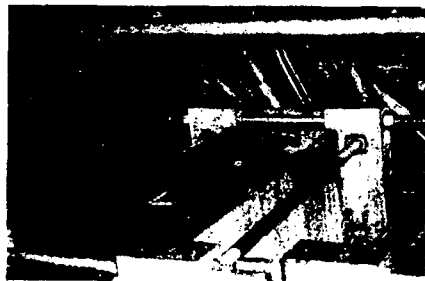


사진 4 해수순환 장치

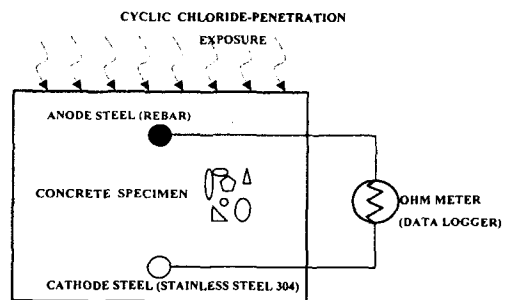


그림 4 부식전류값 측정 모식도

6. 결과 분석

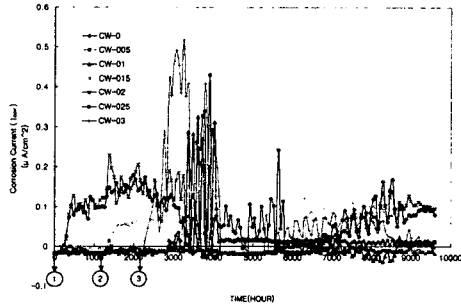


그림 5 균열폭에 따른 부식전류값

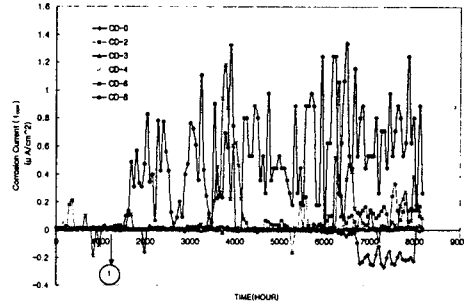


그림 6 균열길이에 따른 부식전류값

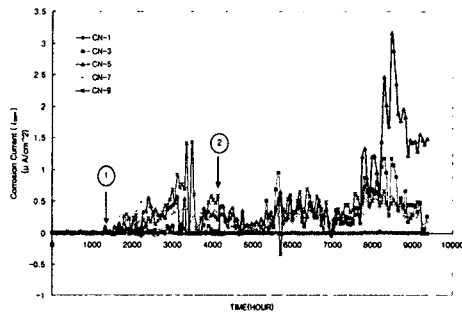


그림 7 균열빈도에 따른 부식전류값

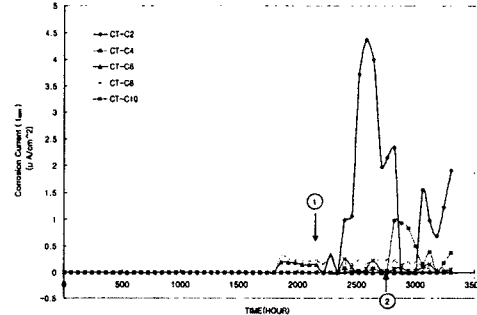


그림 8 철근뒀개에 따른 부식전류값

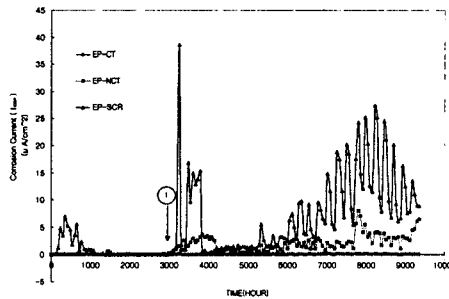


그림 9 에폭시 코팅에 따른 부식전류값

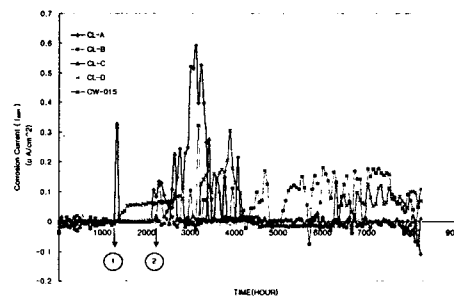


그림 10 방청제 사용에 따른 부식전류값

Crack Width

극심한 부식환경하에서 제시된 허용 균열폭인 0.003C를 기준 균열폭으로 허용균열폭이내에서 0.0, 0.15, 0.1, 0.15, 0.25, 0.3mm로 다양한 균열폭을 변수로 하여 실험을 실시하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 부식전류밀도는 균열폭이 증가하면 할수록 상승하는 것을 알 수 있다. 표시된 ①에서 0.2mm와 0.25mm인 시험체가 부식전류값이 큰폭으로 상승하는 것을 볼 수 있으며 ②에서 0.15mm ③에서 0.3mm가 순차적으로 상승하였음을 알 수 있다. 하지만 0.0mm, 0.05mm인 시험체들의 부식전류값이 아직까지는 매우 작은값이며 아직까지는 부식이 진행되지 않았음을 의미 한다.

Crack Depth- 그림 6에서 볼 수 있듯이 가장 먼저 균열깊이 8cm인 시험체가 다른 시험체에 비해 큰폭으로 부식전류값이 상승한 것을 알 수 있다. 또한 6000시간 정도에서 균열깊이 6cm인 시험체의 부식전류값이 상승하기 시작했는데 이는 기준 시험체가 cover depth가 4cm인 것을 감안 할 때 균열이 철근을 통과한 시험체들은 부식영역에 들어 왔으나 그렇지 못한 시험체들은 아직까지는 아주 작은 값의 부식전류값을 보이고 있다.

Crack Number - 그림 7에서 볼수 있듯이 높이 2.75cm, 두께 0.01mm로 된 Plastic Strip을 삽입하여 균열수를 변화시켜 그에 따른 부식전류값의 변화를 관찰한 결과이다. 관찰결과 그림 7에서 볼 수 있듯이 ①에서 먼저 균열수 5개, 7개, 9개인 시험체가 먼저 부식을 시작했으며 ②에서는 균열수 3개인 시험체가 부식을 시작하고 있음을 볼 수 있다.

Cover Depth - 철근덮개에 따른 부식전류값의 변화를 관찰한 결과는 우선 철근덮개는 각각 2, 4, 6, 8, 10cm로 변화를 주었으며 그림 8에서 볼 수 있듯이 2cm를 제외한 나머지 변수들은 아직까지 큰 변화를 보이고 있지 않음을 알 수 있다.

Epoxy Coated - 에폭시 코팅에 따른 부식전류값의 변화는 그림 9에서 볼수 있듯이 에폭시 코팅한 시험체가 가장 적은 값의 부식전류값을 보였으며 에폭시 코팅후 철근의 흠집을 주었던 시험체가 가장 높은 부식전류값을 보였는데 이 결과는 에폭시가 어떤 충격에 결점이 생겼을때는 오히려 철근부식에 큰 영향을 미칠수 있음을 나타낸다.

Corrosion Inhibitor - 그림 10에서 볼수 있듯이 일부 방청제에서 높은 부식전류값을 나타내었는데 이 결과는 특정 방청제가 철근부식에 악영향을 미친다기보다는 방청제 자체의 특수성이라 보며 지속적인 관찰을 해야 할 것으로 본다.

7. 결론

위 결과분석에서 살펴본 바와같이 콘크리트속에 매입되어있는 철근의 부식과 콘크리트의 균열깊이와 균열폭은 큰 상관 관계를 지니고 있으며 콘크리트의 균열이 철근부식에 가장 큰 원인이 되고 있음을 알 수 있다. 또한 균열의 수가 철근부식의 영향을 미치는 정도는 균열수가 5개 이상이 되었을 경우 철근의 부식에 큰 영향을 미침을 알 수 있었는데 이 결과는 철근 부식은 큰 균열폭을 지닌 구조물보다는 다수의 미세균열을 지닌 구조물이 더 위험할 수 있음을 알 수 있다. 또한 에폭시 코팅과 철근 부식과의 관계는 에폭시 코팅이 초기에는 철근방식에 큰 영향을 미치긴 하지만 에폭시가 외부의 부식인자로 하여금 파괴 되었을때는 부식이 집중될수 있음을 알 수 있었다. 그리고 방청제 사용에 있어 아직 결론을 내릴 수 없으며 차후 지속적인 관찰이 요구된다.

8. 참고문헌

1. Arya, C and Ofori-Darko, F.K. 1996. Influence of Crack Frequency on Reinforcement Corrosion in Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol.26, No.3, pp.345-353.
2. Broewne, R. D. 1978. "The Corrosion of Concrete Marine Structures: The Present Situation", papers presented to Prof, Inge Lyse on his 80th Birthday, Tapir, pp. 177-209, Oct 20-21.
3. Chung, Young.S. 1998. Experimental Research on Corrosion Protection Systems for Reinforcement Steel Embedded in Concrete, *Norwegian Concrete Association, CONSEC98*.
4. 정영수, " 방식제를 사용한 철근 콘크리트의 철근부식에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트 학회지, 1997년 12월호
5. 정영수, " 철근 콘크리트 시험편의 철근방식에 관한 측정법", 한국콘크리트학회 논문집, 제 9권 제2호 1997, 11, pp 281- 286