

염화물 혼입에 따른 철근의 부식 거동

The Corrosion Behavior of Rebar Embedded in Concrete With Chloride.

김 명 유* 김 일 순* 진 상 호* 양 은 익* 이 성 태**
Kim, Myung Yu Kim IL Sun Jin Sang Ho Yang, Eun Ik Lee Sung Tae

ABSTRACT

As embedded reinforcing suffer from corrosion process, the bond strength and stiffness are reduced, and the structure proceed, eventually, to the deterioration of the concrete, shortening the service life of concrete structures rapidly. In order to deal with these problems, a multitude of researches have been carried out up to this date to evaluate the bond characteristics of RC members, i.e. by artificially inducing rapid corrosion of the reinforcing bar. These artificial corrosion methods, however, could not represent the real condition, resulting in the possibility of overestimation for the RC members in real situation.

Accordingly, the purpose of this paper is to investigate the difference in the bond characteristics for RC members corroded by different corrosion methods (artificial rapid method, natural method). For the case of natural corrosion, the brittle failure was observed even for the case of the area of corrosion of 50%. And, the bond strength decreased by about 10% or more for the case of specimens with the area of corrosion of 80% or above. Especially, the deterioration of concrete starts at the state of low corrosion level for the case of natural corrosion. Thus, the safety of RC members must be assessed and evaluated more carefully for the naturally corroded members than for the RC concrete members corroded rapidly by artificial method.

요 약

매립된 철근의 부식이 진행될 경우, 부착강도 및 강성이 감소되며, 구조물의 열화가 발생하여 사용 수명이 단축된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 RC 부재의 부착특성에 대한 평가가 인위적으로 철근을 빠르게 부식시키는 방법을 통하여 지금까지 연구되어왔다. 그러나, 이러한 인위적인 부식방법은 실제 부식 상황과 일치하지 않으며, 결과적으로 실제 상황에서의 RC 부재에 대한 부식 가능성을 과대 평가할 수 있다.

따라서, 본 연구는 인위적인 방법과 자연적인 방법에 의해 RC 부재를 부식시킴으로써 부착 강성의 차이를 평가하고자 하였다. 자연적인 부식의 경우, 부식면적 50%에서 취성파괴가 발생했으며, 부식면적 80% 이상에서는 부착강도가 약 10% 이상 감소하였다. 특히, 자연적 부식의 경우 낮은 부식수준에서 콘크리트의 열화가 발생하였다. 따라서 향후 부식에 따른 부재의 성능저하를 평가하고자 할 경우에는 인위적으로 부식시킨 시험체로부터 평가하는 것은 곤란하며 반드시 자연적으로 부식시킨 시험체를 사용하여 성능을 평가해야 한다고 판단된다.

*정회원, 강릉대학교 토목공학과

**정회원, 충청대학 토목공학과

1. 서론

RC구조물에서 철근의 부식은 내구성에 심각한 피해를 주며, 특히 최근 토목구조물의 대형화, 장대화의 추세에 따라 이러한 열화에 대한 안전성이 더욱 중요한 요인이 되고있다.

현재 각 부식방법에 따른 거동평가와 실제 자연환경 조건에 의한 부식을 비교 검토한 경우는 거의 미비하며, 특히 자연적 부식을 포함하는 각 부식방법에 따른 철근부식에 의한 부착특성변화를 함께 검토한 경우는 전무하다. 따라서, 본 연구에서는 각 부식방법에 의해 철근콘크리트 부재의 부착거동을 검토하여 구조물의 내구성 및 수명예측에 대한 근거를 제시하고자 한다.

2. 실험 개요

2.1 실험변수 및 시험체 제작

본 연구에서는 표 1과 같은 실험 변수를 가지고 시험체에 매립된 철근과 콘크리트의 부착특성 평가 실험을 수행하였다. 한편, 자연적인 부식을 유발하기 위해서 2년여에 걸친 실험 자료를 평가한 것이다. 시험체는 15×15×15cm의 입방체며, 부착 길이는 4배(=10.2cm)를 적용하고, 비부착면은 PVC파이프로 철근을 피복하였으며, 노출된 철근은 방청 처리하였다. 거푸집 제거 후에는 4주간 수중 양생하였다.

표 1 실험변수

물-시멘트비 (%)	부식방법	
40	인위적 부식	부식철근사용 (부식률 : 0, 2, 5, 7, 10%)
50		부식전류에 의한 강제부식 (예상부식률 : 0, 2, 5, 7, 10%)
60	자연적 부식	내부 염화물이온 투입 (kg/m ³) (0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.4, 3.0, 3.6)

표 2 콘크리트 배합설계

W/C (%)	S/a (%)	unit weigh (kg/m ³)			
		W	C	S	G
40	43	170	425	716	1022
50	45	172.5	345	776	970
60	46	172.5	288	813	978

2.2 사용재료 및 배합

철근은 KS D 3504의 D25 이형철근을 사용하였고, 시멘트는 KS F 5201에 규정된 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 잔골재는 자연사, 굵은 골재는 최대치수 25mm 쇄석골재를 사용하였다. 표 2는 배합표로써 기준배합의 목표슬럼프를 10±2cm로, 공기량은 5±1%를 만족하도록 배합하였다.

2.3 철근의 인위적 부식방법

타설 전 철근부식은 직류전원공급 장치의 양극(+)에 철근을 연결하고, 음극(-)에 철망을 연결하여, 5%의 염화나트륨 수용액에 침지시켜 부식시켰다. 타설 후 촉진 철근부식 실험은 3% NaCl용액에 콘크리트 시편을 침지하여 양극(+)은 철근에, 음극(-)은 NaCl용액에 연결하여, 부식되도록 하였다.

2.4 자연적 부식철근 측정

부식 면적률은 분극저항 측정 시 보조 전극의 단면을 수직으로 투영시킨 철근 표면적을 총 면적을 부식된 면적을 측정하여 부식면적률을 계산하였다. 부식에 따른 자연전위의 측정은 측정 전 30분 동안 콘크리트 표면을 수분 상태로 유지하였으며 기준전극에는 (+)단자를 측정하는 내부 철근에는 (-)단자를 연결한 후 전지를 구성하고 (+)와 (-)의 전위차를 측정하였다. 분극저항 측정은 CC Technologies사의 PR-4500장비를 사용하였다.

2.5 철근 부식에 따른 부착 성능

철근 부식에 따른 부착 성능 실험은 철근부식정도를 변수로 하여 인발실험(Pull out Test)하였다. 만

능재료시험기(UTM)를 사용하였으며, 슬립량은 선형변위측정기(LVDT)를 설치하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 인위적으로 부식된 부재의 부착특성

타설 전 부식된 철근을 매립하여 실험한 결과는 그림 1 ~ 그림 3에 부착하중-슬립곡선과 부식에 따른 최대부착하중을 나타내었다. 부식도 7%까지는 부식도 증가에 따라 최대슬립량이 0.4~0.7mm정도 발생하였으며, 부식도 10%에서 슬립량이 크게 나타났다. 타설 후 철근을 축진 부식시킨 부재의 결과는 그림 4 ~ 그림 6으로, 부착강성은 부식도 1%정도까지 증가하고, 최대부착하중은 부식도 2%까지 증가하였으나, 그 이상에서는 부착하중과 강성이 모두 낮아지는 것으로 판단된다.

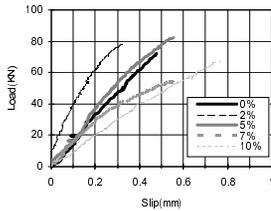


그림 1 W/C=40% (타설전)

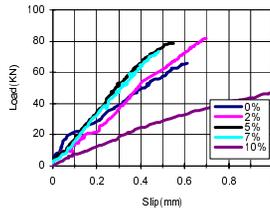


그림 2 W/C=50% (타설전)

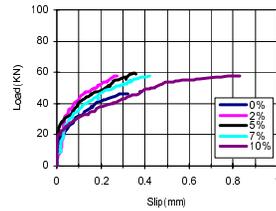


그림 3 W/C=60% (타설전)

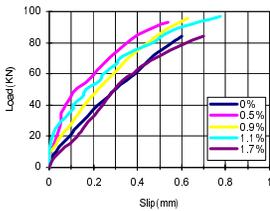


그림 4 W/C=40% (타설후)

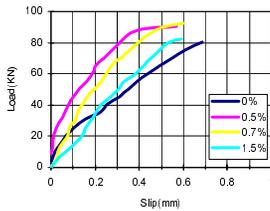


그림 5 W/C=50% (타설후)

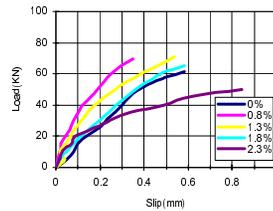


그림 6 W/C=60% (타설후)

3.2 내부염화물 혼합에 의해 자연적으로 부식된 부재의 부착특성

시험체를 2년여 동안 외부환경에 노출시켜 자연적인 단계별 부식을 유도하였다. 이때, 2년의 결과를 토대로 부식면적과 부착력의 관계를 비교하였다. 철근의 부식면적에 따른 슬립특성을 그림 7~9에 나타내었다. 물-시멘트비에 관계없이 부식된 면적이 증가할수록 슬립량이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 즉, 부식면적이 50%이상인 경우 취성파괴(brittle failure)의 형태를 보였다. 부식면적을 50%까지는 부착강도가 크게 변화하지 않는 것으로 나타났으나, 부식면적이 80%일 때 물-시멘트비 50%와 60%에서는 부착력이 약10%이상 크게 감소하는 경향을 나타냈다.

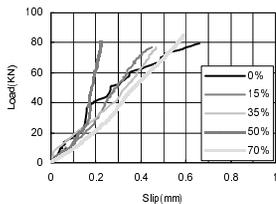


그림 7 W/C=40% (자연부식)

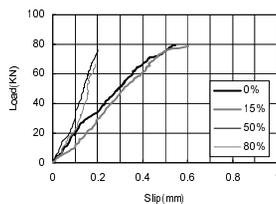


그림 8 W/C=50% (자연부식)

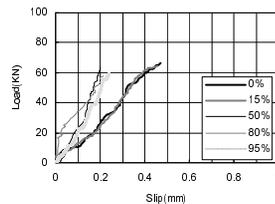


그림 9 W/C=60% (자연부식)

3.3 부식 방법별 최대부착하중의 비교

타설 전 철근을 전기적으로 부식을 유도했을 경우 일반적으로 부식율 4~8%까지는 부착력에 긍정적인 영향이 있는 것으로 보고 되고 있고, 타설 후에 철근을 부식시켰을 경우 부식율 2%까지는 부착강도가 증가하였다. 그러나 이 실험에서는 부식율을 산정할 수 없을 정도의 미미한 부식정도 즉, 부식율 0%에 가까운 부식에서도 철근표면의 부식면적이 증가할수록 부착력은 저하됨을 확인 할 수 있었다.

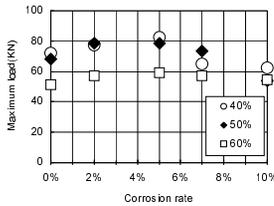


그림 10 최대하중(타설전)

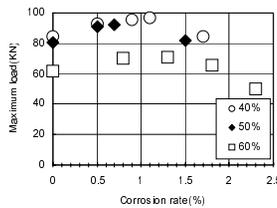


그림 11 최대하중(타설후)

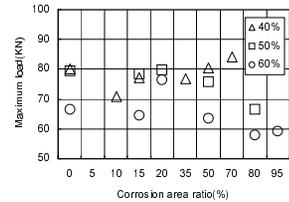


그림 12 최대하중(타설후)

3.4 염화물 혼입에 따른 비파괴 평가

그림 13은 내부 염화물량에 따른 자연전위 분포를 나타내었다. 결과를 살펴보면, 물-시멘트비가 높아지고 혼입된 염화물량이 증가할수록 낮은 전위분포를 나타냈다. 그림 14는 물-시멘트비별 부식면적률에 따른 분극저항 분포를 나타낸다. 부식면적률 10%~60%에서 물-시멘트비가 낮을수록 분극저항 값이 다소 높은 것을 확인할 수 있다. 그러나 부식면적이 80% 이상으로 전체적으로 부식이 일어난 경우에는 물-시멘트비에 대한 영향이 크게 나타나지 않았다.

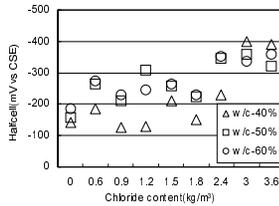


그림 13 자연전위분포

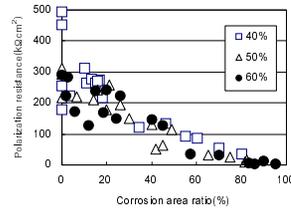


그림 14 분극저항분포

4. 결론

염화물을 혼입하여 자연적인 부식을 유도한 경우, 부식면적이 50% 이상인 경우 취성과파괴의 형태를 보였으며, 부식면적 80% 이상인 경우에는 부착력이 약 10% 이상 감소하였다. 인위적으로 부식시킨 방법과 비교할 때, 염화물을 혼입할 경우 실제 부식율이 거의 0% 수준이더라도 표면에서의 부식면적율이 부착력에 큰 영향을 보였다. 따라서 향후 부식에 따른 부재의 성능저하를 평가하고자 할 경우에는 인위적으로 부식시킨 시험체로부터 평가하는 것은 곤란하며 반드시 자연적으로 부식시킨 시험체를 사용하여 성능을 평가해야 한다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 차세대 성장동력 사업 “지능형 항만물류시스템 기술개발”의 하이브리드 안벽 구조물의 내구성 확보를 위한 최적구조재료 개발 과제의 지원에 의해 연구되었음.