

철근 부식 및 피로하중을 고려한 철근 콘크리트 구조물의 피로-부착거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study for a Fatigue-Bond Behavior of RC Structures Considering a Reinforcement Corrosion and a Fatigue Loading

정하태* 최승원** 김세훈*** 김지상****
Jung, Ha-Tae Choi, Seung-Won Kim, Sae-Hoon Kim, Ji-Sang

ABSTRACT

There are many structures attacked by chloride ions near a marine environment. And they are attacked by a salt of de-icing chemicals. So, the embedded reinforcement is corroded. In the same time, these are under a fatigue loading by a traffic loading in bridges. In previous studies, there are many researches that deal with a bond behavior under a monotonic loading according to the rate of a steel corrosion. But there are most cases that the steel corrosion and the repeated loading are acted on structures simultaneously. So, in this study, it is investigated a fatigue-bond behavior of RC structures under a steel corrosion and a fatigue loading. Main variables of the test are a corrosion of steel reinforcement and a level of stress.

1. 서론

일반적인 교량구조물은 겨울철 살포되는 제설제에 의한 염해에 의해 철근이 부식되고 또한 차량하중에 의한 피로하중이 동시에 작용하고 있다. 철근 콘크리트 구조물에 피로하중이 작용할 경우 콘크리트 내부에서 미세균열이 전파하여 콘크리트 전면 lug의 점진적인 파쇄로 인해 설계하중 이하의 하중에서도 파괴될 수 있다. 또한 콘크리트 내부에 매입된 철근에 부식이 발생하면서 부착(bond)성능에 영향을 주게 되는데, 부식으로 인해 철근의 단면적 감소, 철근과 콘크리트 경계면의 약화, 부피팽창으로 인한 피복 균열등으로 인해 부착강도가 저하된다. 기존의 연구에서는 대부분 철근의 부식을 고려한 단조하중(monotonic loading)하에서의 부착수명에 대한 연구에 대해 이루어져 왔다. 그러나 대부분의 토목구조물은 부식과 피로하중이 동시에 작용하고 있으며, 따라서 이 연구에서는 축진을 통한 철근 부식을 통해 반복하중하에서의 피로부착거동에 대하여 분석하였다.

2. 피로부착거동 실험

2.1 실험체 변수 및 설계

이 연구에서는 철근의 피로부착강도와 파괴시의 하중반복횟수 및 부착슬립에 대한 철근 부식의 영향을 파악하고자 하였다. 표 1은 실험에 사용한 변수를 나타낸다. 목표 철근부식율은 0, 1, 2, 4, 8%로 하였고, 응력수준(level of stress)은 콘크리트의 무한피로수명을 고려하여 단조하중에 의한 최대하중의 65, 75, 85%를 채택하였다. 콘크리트 압축강도는 40MPa를 사용하였고, 그림 1과 같이 150×150×200mm의 직

* 정희원, 서울대학교 토목공학과 석사

** 정희원, 서울대학교 토목공학과 박사과정

*** 정희원, (주)대우건설

**** 정희원, 서경대학교 토목공학과 교수

육면체 형상의 실험체를 제작하였다. 또한, 그림 1과 같이 일정한 부착응력분포를 갖는 구간(2db)을 확보하기 위하여 실험체의 양 끝에 PVC 관을 설치하였다.

표 1 실험변수

실험변수	수준
철근 부식률 [%]	0, 1, 2, 4, 8
응력수준 [%]	65, 75, 85
반복횟수 [회]	10, 100, 1000, 10000

표 2 실제 부식량

철근 부식률 [%]	0, 0.43, 0.78, 0.93, 1.29, 1.58
------------	---------------------------------

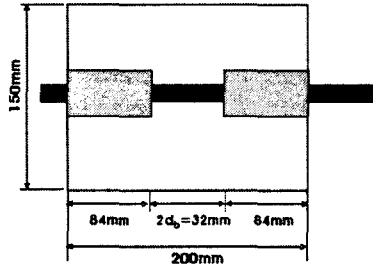


그림 1 실험체 형상

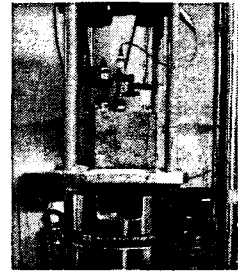


그림 2 부착실험 전경

2.2 철근의 부식

철근의 부식을 위하여 5% NaCl 용액에서의 촉진부식을 실시하였다. 부식율은 페러데이 법칙을 이용하여 산정하였다. 그러나 촉진을 통한 철근 부식량은 페러데이 법칙에 의한 부식량과 상당한 차이를 나타냈다. 이는 콘크리트에 매입된 철근의 경우 콘크리트 강도에 따른 투수성, 콘크리트 속의 미네랄의 전기적 특성 등에 차이가 발생하기 때문이다. 따라서 실제 부식량은 촉진 부식 전후의 철근의 중량차이로서 산정하였다. 표 2는 실제 실험에 사용된 철근 부식량을 나타냈다.

2.3 부착강도 실험

부착강도는 ASTM C234에 따라 MTS를 사용하여 실시하였다. 콘크리트와 철근사이의 슬립량을 측정하기 위하여 그림 2와 같이 LVDT를 설치하였다. 단조하중(monotonic loading)에 의한 최대 부착강도를 산정한 후, 최대 부착강도의 65, 75, 85%에 해당하는 하중을 반복적으로 가하여 반복하중에 의한 슬립량의 차이를 분석하였다. 이 때 응력수준은 각 부식율에 따른 최대 단조하중을 기준으로 산정하였다. 따라서 각 부식수준 별로 적용된 피로하중은 모두 다른 값을 사용하였다.

3. 실험결과

3.1 단조하중에 대한 철근 부식의 영향

3.1.1 철근부식율에 따른 부착강도-슬립

그림 3은 단조하중이 작용하는 경우 철근 부식율에 따른 부착강도-슬립의 관계를 보여준다. 균열이 발생하기 이전의 실험체는 상승곡선이 최대강도의 60~75%까지 직선의 형태를 보이지만, splitting에 의한 균열이 발생한 경우에는 최대강도의 90%이상까지 직선의 상승부를 갖는다. 이는 균열이 발생하지 않은 경우 부착강도는 정착(adhesion), 마찰(friction), 철근과 콘크리트 사이의 기계적 결합, 지압응력(bearing) 및 구속력에 의해 발휘되는 반면, 균열 발생 이후에는 기계적인 결합 및 지압응력에 의해서만 부착강도가 발휘되기 때문이다. 최대강도 이후 곡선의 하강부에서는 상당한 강도의 감소가 발생하고 이후 부착저항의 증가 없이 슬립량이 증가되는 수평구간이 발생한다.

3.1.2 철근부식율에 따른 최대부착응력시의 슬립량(S_1)의 변화

그림 4는 단조하중 작용시 철근 부식에 따른 최대부착응력시의 슬립량(S_1)을 나타낸다. 최대부착응력시의 슬립량은 철근의 부식이 증가함에 따라 감소하게 되는데 균열이 발생하기 전까지 부식율의 증가와 함께 급격한 슬립량의 감소가 발생하지만, 균열 발생 이후는 부식율이 증가에 따른 슬립량의 감소가 완만하게 나타났다. 이때 부착강도는 부식율의 증가와 함께 증가하나 국부적인 부식으로 인한 슬립량의 감소로 인해 급작스런 부착파괴가 발생할 수 있다.

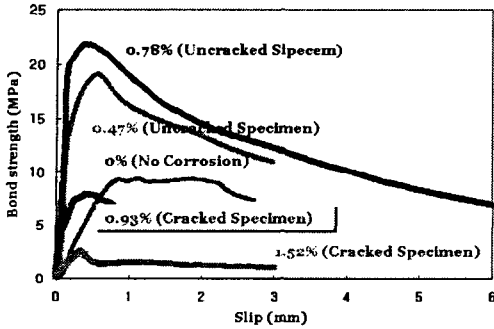


그림 3 철근부식량에 따른 부착강도-슬립

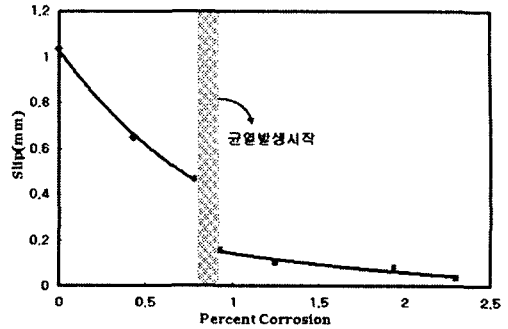


그림 4 철근부식량에 따른 최대부착응력시의 슬립량

3.2 균열발생 이전의 피로하중에 대한 철근 부식의 영향

3.2.1 철근부식율에 따른 S-N 곡선

그림 5는 균열 발생 전의 응력수준에 따른 S-N 곡선을 나타낸다. 균열 발생 이전(부식율 0.78% 이내)에서 각 부식율에 따른 최대단조하중에 대한 응력수준을 기준으로 할 경우에는 피로수명에 거의 차이가 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 6과 같이 철근 부식율 0%의 최대단조하중에 대한 응력수준을 기준으로 할 경우에는 철근 부식율이 증가함에 따라 피로 수명이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 균열 발생 이전의 부식율까지는 단조하중의 증가로 인해 피로하중이 증가하기 때문으로 사료된다.

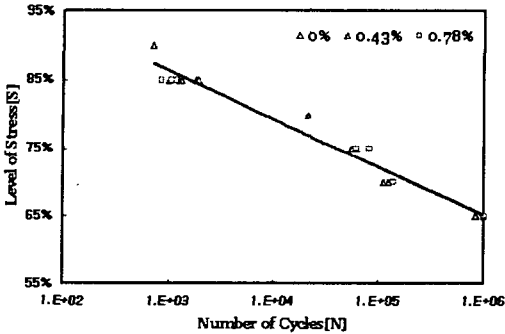


그림 5 철근부식량에 따른 최대단조하중을 기준으로 한 S-N곡선

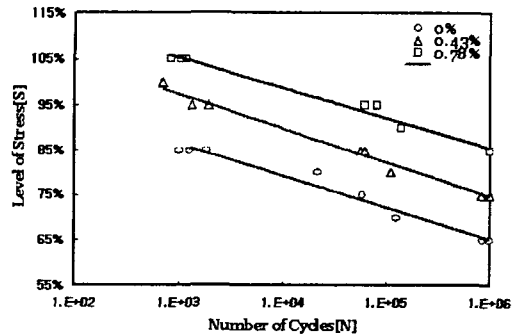


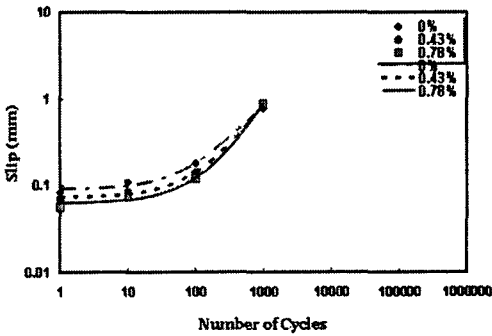
그림 6 철근부식율 0%의 최대단조하중을 기준으로 한 S-N곡선

3.2.2 철근 부식률에 따른 반복하중횟수와 슬립량의 관계

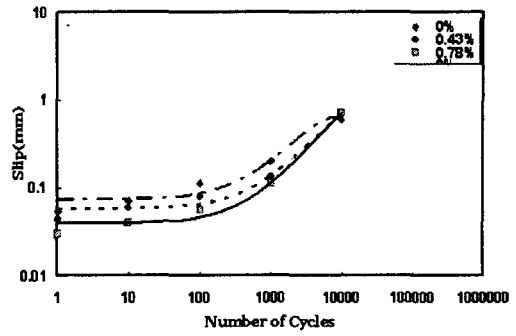
그림 7은 철근 부식률에 따른 반복하중횟수와 슬립량의 관계를 나타낸 것이다. 부식률이 증가함에 따라 피로부착 파괴 이전까지는 철근 부식 생성물로 인한 거칠기 증가 및 팽창압으로 인한 연성감소로 슬립량이 감소하였다. 그러나 모든 응력수준에서 철근 부식률에 관계없이 최대부착강도시의 슬립량(S_1)은 약 1mm로서 유사한 값을 보였다. 이는 단순 피로하중하에서의 파괴시 발생하는 슬립량(S_1) 값이 약 1mm 값을 갖는 것과 유사한 값을 나타냈다.

3.3 균열발생 이후의 피로거동

그림 8은 균열이 발생한 경우에 있어서의 피로거동을 나타낸다. 응력수준 65%에서 철근의 부식율이 1~1.3%에서는 파괴시의 반복횟수가 1000으로 거의 유사한 값을 보였다. 그러나 응력수준 75% 이상에서는 10회 이하의 반복횟수에서 파괴에 이르는 경향을 보였다. 따라서 균열이후 피로저항성은 균열 발생 이전의 1/10000이하인 것으로 나타났다.



(a) 응력수준 85%



(b) 응력수준 75%

그림 7 철근 부식률에 따른 반복하중횟수와 슬립량의 관계

4. 결론

이 연구에서는 철근의 부식과 반복하중이 동시에 작용하는 경우의 부착거동에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 이로 부터 도출된 결과는 다음과 같다.

- ① 매입된 철근의 부식상태는 공식(pitting corrosion)으로 나타났으며, 약 0.9%의 부식률에서 splitting 파괴가 발생하였다.
- ② 단조하중을 받는 경우 부착응력-슬립 관계는 철근 부식에 의한 균열이 발생하기 전까지는 부식률이 증가함에 따라 최대부착강도는 증가하고, 파괴시의 슬립량(S_1)은 감소하였으나, 균열 발생 후에는 부식률의 증가에 따라 최대부착강도가 급격히 감소하였다.
- ③ 균열 발생 이전에 각 부식수준에 따른 부착강도를 기준으로 할 경우 피로수명은 부식률에 관계없이 유사한 값을 나타냈지만, 철근 부식률 0%를 기준으로 한 경우에 있어서는 부식률이 증가함에 따라 피로수명이 증가하였다.
- ④ 균열 발생 이후에는 부식률이 증가함에 따라 피로저항성은 급격히 감소하였다.
- ⑤ 부식률이 증가함에 따라 슬립량은 감소하였으나, 부식률에 관계없이 파괴시의 최대슬립량(S_1)은 단조하중에 의한 파괴시의 슬립량(S_1)과 거의 일치하는 결과를 보였다.

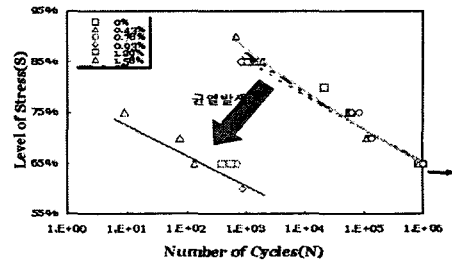


그림 8 균열이후 피로거동

감사의 글

본 연구의 일부는 사회 기반시설물 평가 중점 연구단의 지원에 의해 이루어졌음을 밝히며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김세훈, “반복하중을 받는 철근콘크리트 휨부재의 균열폭 예측 및 잔존수명 평가”, 서울대학교 박사 학위 논문, 2004
2. 김현욱, “철근의 부식률이 콘크리트의 부착강도에 미치는 영향-콘크리트 강도와 철근매입 조건을 인자로 하여”, 한양대학교 석사학위논문, 2002
3. CEB, “Bond action and bond behavior of reinforcement”, CEB Bulletin d’Information, 1982