

부식된 철근의 표면 거칠기에 관한 연구

A Study on the Surface Roughness of Corroded Reinforcing Rebar

노 영 숙^{1)*}

이 선 규²⁾

Roh, Young Sook

Lee, Sun Gyu

Abstract

This paper discusses the surface roughness of corroded reinforcement rebar in reinforced concrete structures focusing on the quantitative measurement technique for rebar corrosion. Reinforcement rebar was corroded using accelerated corrosion induced method and corrosion rates were 0%, 1%, 2%, 3%, 5%, and 10% of mass losses. Using 3-dimensional scanner each surface profile of reinforcement rebar was established, and surface roughness was measured. Through tests and analyses of corroded reinforcement rebar, the following topics were particularly discussed: measurement of surface roughness, relationship between area and surface roughness, relationship between surface roughness and bond performance. As a result, surface roughness of corroded rebar was found to be very effective to bond strength until 2% of corrosion rate. It was also discussed how to relate surface roughness of corroded rebar to bond strength of reinforced concrete structures.

Keywords : Reinforcing rebar, Corrosion rate, Surface roughness

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건축물의 고층화 및 대형화로 인하여 건설 관계자들은 품질관리의 향상에 초점을 맞추고 있다. 품질관리 방안에 관해 살펴보면, 건축 재료의 경우 공인된 품질성 적서가 재료 선정의 기준이 되며 건축 시공의 경우는 현장시방서에 의하여 품질이 관리되고 있다. 하지만, 녹슨 철근의 반입에 관해서는 각기 상이한 관련 기준 때문에 이해 관계자들간의 마찰이 발생되고 있는 실정이다.

건축공사 표준시방서에 따르면 “철근은 지표면에 직접 놓지 말아야 한다. 또한 비, 이슬, 바닷바람 등에 노출되지 않고 먼지, 흙, 기름 등이 부착되지 않도록 저장한다.”라고 기술하고 있다. 그러나 철근의 부식률이 약 0~2% 경우에는 오히려 콘크리트와 철근의 부착강도가 크다는 연구가 발표되고 있다.

철근 부식은 철근 주위의 콘크리트에 팽창압력을 발생시켜 콘크리트의 균열 유발, 피복 콘크리트의 박리나 탈락, 철근의 단면감소 등을 일으킨다. 또한 철근부식은 철근과 콘크리트 간에 부착력의 저하를 유발하여 일체거동

을 저하시킴으로써 구조물이 외력에 견딜 수 있는 구조성능의 감소를 초래한다. 그러나 현재 철근의 부식에 따른 현장 적용기준이 체계적으로 정립되어 있지 않고 시공자 및 현장의 품질 관계자의 육안에 의한 검사나 자의적 판단 기준에 의해 구분되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 철근의 표면적 증가가 콘크리트와 철근의 부착강도 향상에 주요 영향인자로 작용할 것이라는 가정 하에 실험을 진행하였으며, 이를 통해 정성적 개념인 철근 표면의 거칠기를 정량적으로 산출할 수 있는 방안을 제안하고 활용하도록 하는 기초적 자료를 제공하는데 본 연구의 목적이 있다.

1.2 관련 규정 및 연구보고서

국내의 KS 규정 (KS D 3504)을 보면 이형봉강에서 녹, 겹침, 표면부정 및 압연딱지는 철술질한 시험편의 무게, 단면적, 치수 및 기계적 성질이 규격의 요구에 만족하면 반품의 사유가 아니라고 언급하고 있다. 또한 건설기술연구원 연구보고서(이원재, 2005)에는 이형철근이 리브에 의해 철근 콘크리트와 결합하여 사실상 녹에 의한 부착력의 저하는 거의 없다고 나타내고 있다. 다만, 철근

1) 정회원, 서울산업대학교 건축공학과 조교수

2) 학생회원, 서울산업대학교 건축공학과 석사과정

* Corresponding author : rohys@snut.ac.kr 02-970-6554

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2010년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

에 발생하는 녹으로 인한 중량의 손실은 원중량(단면)의 6%를 초과하지 않아야 한다.

국외의 규정을 살펴보면, 먼저 ASTM 규정 (ASTM A615, 12조 2항)에는 녹, 접합자국, 표면의 거칠음은 반품의 이유가 되지 못한다고 언급되어 있으며, ACI 규정 (ACI 318-95, 7장 4절)에 의하면 철근과 콘크리트 간의 부착력 감소를 일으킬만한 녹은 철근절단, 가공, 운반 등의 과정에서 떨어져 나가기 때문에 통상적인 녹은 부착력을 증진시킨다고 설명되어 있다. 독일 뮌헨 철근콘크리트 연구보고서(이원재, 2005)에는 녹 발생 철근이 녹 없는 철근에 비해 결합력이 큰 것으로 확인 되며, 건축현장에서 철근의 녹 발생에 의해 철근과 콘크리트의 결합력이 저하될 수 있다는 생각은 우려에 불과하다고 나타나 있다.

2. 실험계획 및 철근표면적 산출방법

2.1 실험 계획

본 연구에서는 철근 직경 D13을 대상으로 부식률(0%, 1%, 2%, 3%, 5%, 10%)에 따라 각각 3개씩 실험체를 준비하였으며, 철근의 부식은 전기화학적 반응식을 이용하여 전하량 보존의 법칙을 근거로 한 페러데이 법칙을 적용(유호현, 1999)시켜 원하는 양의 부식률을 유도하였다.

또한, 실험 변수에 해당하는 철근의 부식률을 인위적으로 조성하기 위하여 전위차 부식촉진 방법을 사용하였으나, 이는 실제 자연환경에서의 부식 생성물질과 다르다. 그러나 앞서 언급을 하였듯이, 본 실험의 주요 변수는 부식률에 따른 철근의 표면적 증가이며, 통제된 변수로서는 철근 부식으로 인한 화학 생성물질이기 때문에 표면 거칠기의 정량화에 대하여 신뢰성을 부여하였다.

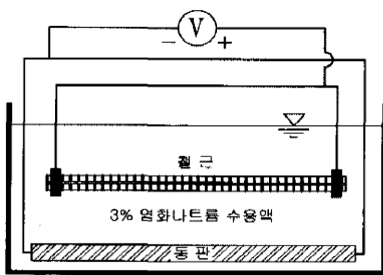


Fig. 1 철근의 전위차 부식촉진 실험



Photo 1 접촉식 스캐너

SI	A	B	C	D
1	1,200	3920	203	
2	1,204	3920	203	
3	1,208	3920	204	
4	1,236	3920	204	
5	1,240	3920	203	
6	1,244	3920	203	
7	1,248	3920	204	
8	1,260	3920	204	
9	1,264	3920	205	
10	1,308	3920	205	
11	1,312	3920	204	
12	1,324	3920	204	

Fig. 2 스캐닝 결과

3차원 접촉식 스캐너를 사용하여 철근이 부식된 정도를 모델링 및 도식화하여 철근의 표면적 거칠기를 정량화 하였다. 접촉식 스캐너는 스캔 받을 형상의 X, Y, Z 각각의 영역을 설정한다. 이 X, Y의 영역은 상대 좌표로서 스캔 받을 형상물의 위치를 설정하고, Z는 높은 곳과 낮은 곳의 영역을 설정한다. 이때, Z방향의 영역은 바닥 면에서 형상물의 밑면 Surface까지의 높이 값을 설정하는 부분이며, 접촉식 센서가 타겟의 위치에서 마지막까지 접촉된 높이가 가장 높은 위치로 인식하게 된다.

2.2 철근 표면적 산출방법

접촉식 스캐너를 이용하여 철근의 표면을 측정 한 후 이들 데이터를 이용하여 철근의 총 표면적을 산출하게 된다.

$$A = \frac{l_a \times l_b}{2} \quad S = A + B \quad (1)$$

여기서, l_b : Y축 단위Pitch 실제길이,

A : 사이각이 90°인 삼각형 면적

B : 인접 삼각형의 면적

S : 단위미소면적

2.3 프랙탈 차원

프랙탈 기하학은 표면의 울퉁불퉁한 정도를 표현하는데 매우 유용하게 쓰이고 있다(Roh, 2000). 아래의 Fig. 5는 한 변의 길이가 1인 정삼각형을 3등분함으로써 계속적으로 삼각형 모양을 만들어 나가는 코흐 곡선을 보여준다. 이 도형은 둘레 길이는 무한히 늘어나면서 일정한 공간은 벗어나지 않는다. 재료의 불규칙한 요철정도를 표현

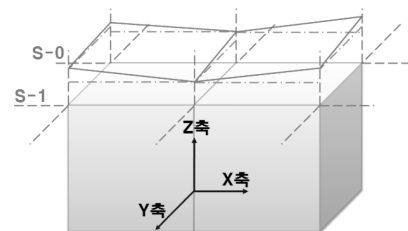


Fig. 3 표면적 산출과정 I

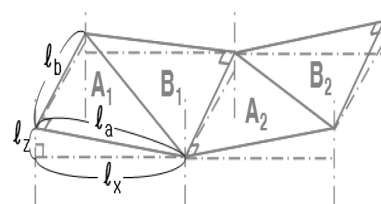


Fig. 4 표면적 산출과정 II

Table 1 코흐곡선의 생성과 그 프랙탈 차원

	0단계	1단계	2단계	3단계	n단계
도형의 변환					...
절단된 요소의 개수(N)	1	4	16	64	4^n
절단된 요소의 크기($1/r_i$)	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{3^n}$
프랙탈공식	-	$\frac{\log 4}{\log 3}$	$\frac{\log 16}{\log 9}$	$\frac{\log 64}{\log 27}$	$\frac{\log N}{\log(1/r_i)}$
프랙탈차원(D)		1.2619	1.2619	1.2619	1.2619

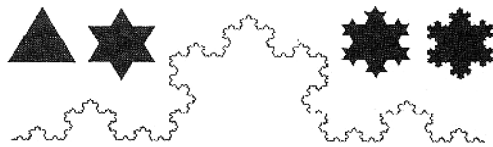


Fig. 5 코흐곡선 (Koch Curve)

할 때에도 프랙탈 차원의 물리량을 쓰면 대단히 효율적이다. 이는 철근 표면의 요철을 설명하는데도 쓰일 수 있으며, 이 물리량을 이용하여 철근의 콘크리트에 대한 부착 강도를 프랙탈 차원으로 표현 할 수 있다.

프랙탈 차원은 $\frac{\log N}{\log r_i}$ 로 정의 되는데, 여기서 N 은 절단된 요소의 개수를 나타내며, r_i 는 축척인자(scaling factor)로 $r_i = \epsilon_i/L_o$ 과 같이 정의되며, ϵ_i 는 측정단위 최소 길이이다. 그러므로 절단된 요소의 크기는 $1/r_i$ 이 된다. 첫 번째 단계에서의 절단된 요소의 개수 $N=4$ 과 그 크기 $1/r_i = 1/3$ 를 대입하면 프랙탈차원은 $\frac{\log 4}{\log 3} = 1.2619$ 로 나타난다. 두 번째 단계에서는 절단된 요소의 개수 N 은 16이 되며, 절단된 요소의 크기는 $1/9$ 가 된다. 프랙탈 차원은 $\frac{\log 16}{\log 9} = 1.2619$, 3단계도 $\frac{\log 64}{\log 27} = 1.2619$ 가 된다. 무한단계를 거친 n단계에서도 프랙탈 차원은 1.2619로 항상 일정하게 된다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 철근 부식률에 따른 표면적 산출결과

전위차 부식 측정에 의하여 부식된 철근(0%, 3%, 10%)의 형상은 Fig. 6과 같다.

육안관찰로는 2%까지 부식된 철근과 3%이후부터 부

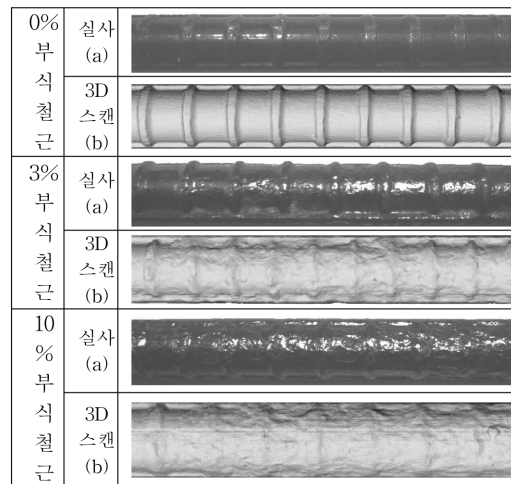


Fig. 6 부식된 철근 및 3D 모델링 형상

식된 철근에서 표면의 광택이 달라지는 부분이 관찰되어 졌다. 또한 5% 부식된 철근부터는 리브의 형체를 알아보기 힘들 정도로 단면손실이 발생됨을 알 수 있었다.

Fig. 6은 접촉식 표면 스캐닝에 의해 실험 대상체의 좌표 값을 측정 한 후, 그 수치를 모델링하여 입체적으로 구현한 그림이다.

부식이 1% 진행 되었을 때 리브와 리브 사이에 녹이 발생되기 시작되었으며, 부식률 2%에서는 철근 표면 거칠기가 커지면서 리브의 형상이 점차 희미해지기 시작했다.

철근 부식 3%부터는 녹 발생이 많아지고 리브의 단면 손실이 발생됨을 확인할 수 있었으며, 부식률 10%에서는 리브의 형체를 알아보기 힘들 정도로 단면손실이 발생되었다.

철근(D13)의 부식률에 따른 표면적 변화량은 Table. 2와 같다. 부식률 0%, 1%, 2% 일 때 평균 표면적은 각각 $1,376 \text{ mm}^2$, $2,633 \text{ mm}^2$, $3,230 \text{ mm}^2$ 로서 증가하는 추세였으나 부식률 3%, 5%, 10%는 $2,058 \text{ mm}^2$, $1,715 \text{ mm}^2$,

Table 2 부식률에 따른 표면적 변화량

부식률	표면적(mm ²)			평균
	No. 1	No. 2	No. 3	
0%	1,440.7	777.5	1,910.8	1,376.3
1%	2,050.7	3,588.7	2,259.5	2,633.1
2%	2,194.4	3,794.9	3,700.9	3,230.1
3%	1,429.2	2,981.4	1,764.5	2,058.4
5%	967.2	2,480.7	1,698.3	1,715.4
10%	798.9	1,620.0	1,400.0	1,273.0

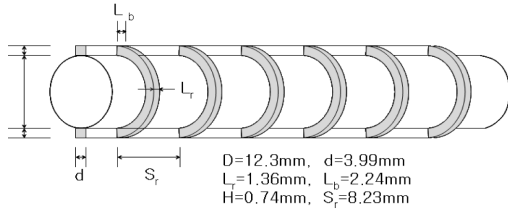


Fig. 7 D13 이형철근의 상세

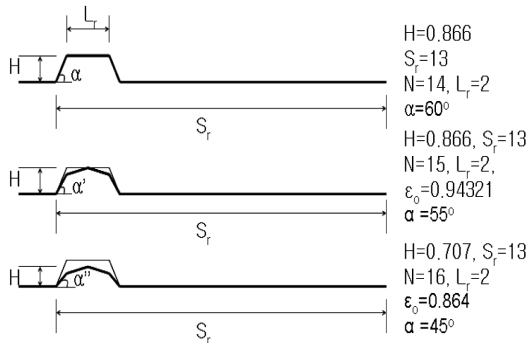


Fig. 8 D13 이형철근의 상세

1,273mm²로 전체적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

이것은, 부식이 진행됨에 따라 리브높이의 부분에 단면 손실이 생기면서 점차 리브가 사라져 철근의 표면적이 작아지는 것으로 판단된다.

철근의 표면을 앞서 설명한 프랙탈 차원과 연관시키기 위해 이형철근의 반복되는 마디를 중심으로 3차원 철근의 형상을 x축과 y축에서 바라본 입면으로 가정한다. D13 철근의 크기는 다음 Fig. 7과 같다.

철근의 표면을 정량화하기 위하여 여러 가지 가정들이 도입된다. 먼저 3차원의 철근이 1차원과 2차원 사이의 값으로 정량화된다고 가정하고 철근의 길이방향의 입면만을 고려한 값으로 한다. 추후 연구에서는 철근의 단면방향의 프랙탈차원값을 고려하여 3차원으로 표현해야 할 것이다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 부식이 되지 않은 경우 D13철근의 프랙탈 차원은 대략 1.0289이다. 이는 직선의 D=1.0보다는 크고 면인 D=2.0보다는 작은 값이다. 이 값을 Fig. 7에 나타난 이형철근의 상세값을 이용하여

$$D = \frac{\log 14}{\log 13} = 1.0289 \text{ 구한 값이다. 부식이 진행되면서 이}$$

형철근 마디의 단면적이 감소되어 약 2% 내외의 부식률에서는 그림과 같이 철근마디의 각도가 감소하게 된다. 여기서 프랙탈 차원을 구해보면 $D = \frac{\log 15}{\log 13.7827} = 1.0322$ 으로 부식전 초기의 프랙탈차원 값보다 증가함을 알 수 있다. 다만, 절단된 요소의 개수를 나타내는 N이 단위길이 ϵ_i 가 0.94321로 감소함에 따라 14.6으로 증가하였다. 그러나 N은 이론상 소수점으로 표현될 수 없으므로 15로 가정하였다. 10% 부식률의 경우에는 이형마디가 좀 더 부식이 되어 그 높이가 감소하고 단위길이 ϵ_i 도 0.864로 감소하였다.

부식이 많이 진행된 철근의 표면 프랙탈 차원을 계산해보면 $D = \frac{\log 16}{\log 15.046} = 1.0226$ 이 된다. 여기서도 2%부식률의 경우와 마찬가지로 N의 값이 단위길이 ϵ_i 가 0.864로 감소함에 따라 15.57로 증가하였으나 이를 16으로 가정하여 프랙탈차원을 계산하였다.

부식되지 않은 D13 철근표면의 거칠기를 프랙탈 차원으로 표시하면 D=1.0289이며, 2%부식되었을 경우 D=1.0322로 오히려 증가하다가 10%부식이 진행되면서 D=1.0226으로 나타났다.

3.2 철근 표면적 변화와 부착강도의 관계

철근의 표면 거칠기를 정량화시키기 위하여 접촉식 스케닝 기기를 사용하여 부식에 의한 표면적 산출값을 그래

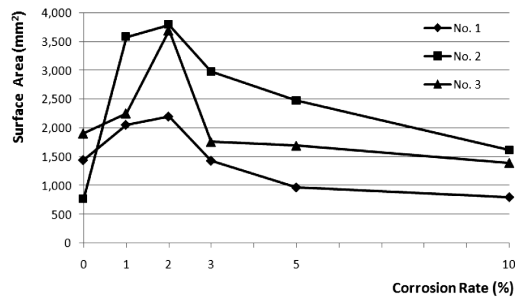


Fig. 9 부식률에 따른 표면적 변화 그래프

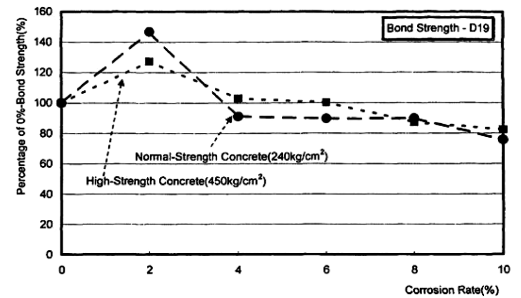


Fig. 10 부식률과 부착강도 곡선
(출처 : 한국도로공사연구원 연구보고서)⁽³⁾

프로 나타내면 다음 Fig. 9와 같다.

각 3개씩 동일한 직경(D13)의 철근을 실험 대상으로 하였으나 실험오차를 줄일 수 있을 정도의 실험횟수 부족으로 데이터 값의 편차가 크게 나타났다. 하지만 3개의 실험체 모두 일정한 경향을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

철근 부식률 2%까지는 표면적이 점차 증가하여 최대값을 나타내었으며, 부식률 3%에서의 표면적은 1%보다 작은값을 나타내고 점차 감소하는 있는 추세를 확인하였다. 이러한 결과를 3D모델링과 비교하면, 철근 부식률 3%에서부터의 리브 단면손실이 표면적의 급격한 감소와 밀접한 연관이 있는 것으로 판단된다.

철근 부식에 의한 표면적 변화와 부착강도와의 관계를 비교하기 위하여, 한국도로공사연구원에서 철근 부식에 따른 부착강도 연구논문 자료를 인용하였다.

Fig. 10은 철근 부식률 증가에 따라 부식되지 않은 철근과의 부착강도 비율을 나타내고 있다.

본 연구에서는 부식된 철근의 표면적을 직접 산출하여 부식률에 따른 표면적 변화량을 도식화하였으며, 도로공사 연구보고서에서는 부식률에 따른 부착강도 비율을 도식화하였기 때문에 직접적인 비교를 할 수는 없으나 증감의 경향이 유사한 것을 확인하였다.

비교 결과, 철근의 부식률에 따라서 표면적과 부착강도의 증감에 영향을 주는 것을 알 수 있었으나, 데이터 값의 편차를 줄일 수 있도록 추가실험이 필요하며 철근 직경의 변화에 따른 표면적 증감에 대해서도 연구의 필요성이 있다.

4. 결론

부식된 철근의 표면 거칠기를 정량화하여 표면적을 산출하는 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 철근 부식에 따른 표면적은 부식률이 2%일 때 최대가 되었으며, 이것은 다른 문헌의 실험 결과와 유사한 값을 확인하였다. 따라서 초기 철근의 부식이 부착강도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 2% 이상의 부식에서는 철근 표면적이 감소하는 현상을 볼 수 있다. 이것은 이형철근의 리브에 녹이 과다하게 발생하여 리브의 단면손실이 발생한 것으로 보이며, 이는 콘크리트와 철근의 부착력 감소에 영향을 주는 것으로 파악된다.

2) 부식되지 않은 D13 철근표면의 거칠기를 프렉탈 차원으로 평가하면 $D=1.0289$ 이며, 2% 부식되었을 경우 $D=1.0322$ 로 오히려 증가하다가 10%부식이 진행되면서 $D=1.0226$ 으로 나타나 철근의 부착력 거동과 비슷한 양상을 보여주었다.

3) 본 연구에서, 표면적 증감과 부착강도가 유사한 경향을 띠고 있는 것을 확인할 수 있었지만, 데이터의 편차가 크기 때문에 부착강도와의 직접적인 비교는 한계를 지니고 있다.

따라서 철근의 표면 거칠기에 따른 부착응력의 변화를 예측하여 보다 합리적인 관계식을 도출하기 위해서는, 향후 실험적 오차를 줄일 수 있는 추가실험이 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김대일, 조승호, 한남희, 백인관, 정란 “타설 전과 타설 후에 부식된 철근의 부착강도 특성”, 대한건축학회, 제18권 11호, 2002, pp.55-62.
2. 김면섭 “금속재료의 부식과 수명예측”, 한국부식학회지, 1986, 제17권 3호.
3. 김현욱, 지남용 “철근의 부식률이 콘크리트의 부착강도에 미치는 영향”, 대한건축학회, 제21권 11호, 2005, pp.159-166.
4. 안태승, 김국환, 이병덕, 유환구 “철근의 부식정도와 부착강도에 대한 연구”, 한국 도로공사 도로연구소, 1997.
5. 유호현 “부식녹을 제거한 철근의 부착응력에 관한 실험적 연구”, 건국대학교 석사학위논문, 1999.
6. 이원재, 알기 쉬운 건축시공, 기문당, 2007, pp.132-136
7. 최승원, 정하태, 김지상, 장승필 “철근 부식을 고려한 철근콘크리트 구조물의 피로-부착거동에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회 논문집, 제27권 4호, 2007, pp.579-584.
8. Congqi Fang, Corrosion influence on bond in reinforced concrete, Cement and concrete Research, 2004, pp. 2159-2167
9. Young-Sook Roh “Roughness characterization in the fracture of cementitious materials”, Doctoral dissertation, 2000.
10. YuBun, Auyeung, P.Balaguru, Lan, Chung, bond behavior of corroded reinforcement bars, ACI Materials Journal, 2003.

(접수일자 : 2009년 5월 26일)
(1차수정일자 : 2009년 11월 4일)
(심사완료일자 : 2009년 11월 19일)

요 지

철근부식에 의해 발생된 녹은 철근 주위의 콘크리트에 팽창압력을 발생시켜 콘크리트의 균열유발, 피복콘크리트의 박리나 탈락, 철근의 단면적 감소등을 야기 시킨다. 또한 철근콘크리트 구조물 내에 매입된 철근의 부식은 철근과 콘크리트의 일체 거동을 저하시킴으로써 구조물이 외력에 견딜 수 있는 구조성능의 감소를 초래한다. 본 논문에서는 3차원 스캐너를 이용하여 철근이 부식됨에 따른 철근의 표면적을 측정하여 부식률과 표면 거칠기와의 관계를 파악하였다. 철근부식률 1~2%의 경우에는 철근 표면적이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 동일 범위내에서 철근의 부착강도가 증가한 기존의 실험결과와 매우 유사한 결과를 나타낸다. 철근부식률 2% 이상에서는 오히려 표면적이 감소하였으며, 이는 단면적 손실로 인한 기존 부착강도 실험과 부합되는 결과를 나타냈다.

핵심 용어 : 철근, 부식률, 표면거칠기
