

# 코일철근의 표면 거칠기 물리량 평가 기술

노영숙\*, 조강우<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 건축학부

## An Evaluation Technique of Surface Roughness of Corroded Reinforcing Bar-in-Coils

Young-Sook Roh<sup>1\*</sup>, Kang Woo Cho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology.

**요 약** 철근부식에 의해 발생한 녹은 철근 주변의 콘크리트에 팽창 압력을 유발하여 콘크리트의 균열, 피복콘크리트의 박리나 탈락, 철근의 단면적 감소 등 구조물의 내구성에 부정적인 영향을 끼친다. 본 논문에서는 코일철근을 대상으로 3차원 스캐너를 이용하여 철근이 부식됨에 따른 표면적을 측정하여 철근의 부식률과 표면 거칠기와의 관계를 프랙탈 이론을 이용하여 규명하였다. 코일 철근은 현장 적재일이 길수록 부식률이 증가하였으며, 부식률이 증가할수록 표면 거칠기는 거칠게 평가되었다. 프랙탈 차원의 증가량은 적재일 3일, 7일, 14일, 21일 경우 각각 0.0235, 0.0280, 0.0319, 그리고 0.0455로 나타났다. 이때의 부식률은 각각 0.3367%, 0.6127%, 0.7898%, 그리고 1.1965%로 나타나 프랙탈 차원을 이용한 부식된 코일철근의 표면 물리량 평가는 실제 부식률과 유사한 결과를 나타냈다.

**Abstract** This paper discusses the surface roughness of corroded reinforcement rebar-in-coil focusing on the quantitative measurement technique using 3D scanner. Reinforcement rebar-in-coil was stacked in site for 0 day, 3 days, 7 days, 14 days and 21 days. And rebar-in-coil was corroded 0.04%, 0.3367%, 0.6157%, 0.7898%, and 1.1965% respectively. Using 3-dimensional scanner, each surface profile of reinforcement rebar-in-coil was established, and surface roughness was measured. Through the tests and analyses of corroded rebar-in-coil, the increase of fractal dimension for each rebar-in-coil was measured as 0.0216, 0.0235, 0.028, 0.0319, and 0.0455 for different stacked periods. Therefore, surface assessment technique using fractal dimension showed similar results with the actual corrosion rate.

**Keywords** : Corrosion level, Fractal dimension, Reinforced bar-in-coils, Surface roughness

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

철근은 공장에서 대개 12m~18m의 길이로 운반되며 건설현장에서 배근도에 맞추어 필요한 길이로 절단되어 사용된다. 이 과정에서 자투리철근이 발생하게 되며, 철근을 재단하고 운반하는 과정에서 인력이 많이 소모된

다. 이러한 기존의 철근의 운반문제에서 비롯되는 재료비와 생산성 개선을 위해 최근 코일철근(rebar-in-coil)에 대한 관심이 커지고 있다. 코일철근은 철근을 코일형태로 생산하여 건설현장 또는 가공공장에서 직선으로 펴서 사용하기 때문에 철근 가공 상의 재료손실이 거의 없고 철근운반의 효율성을 극대화 할 수 있는 장점이 있다. 코일철근은 유럽 등 선진 건설국가[1]에서 일반적으

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비에 의해 일부 수행되었으며, 코일철근의 시편을 제공해준 대한제강 관계자분들에게 감사드립니다.

\*Corresponding Author : Young-Sook Roh(Seoul National University of Science and Technology.)

Tel: +82-10-9441-3939 email: rohys@seoultech.ac.kr

Received July 2, 2015

Revised (1st August 11, 2015, 2nd September 18, 2015)

Accepted October 8, 2015

Published October 31, 2015

로 적용되고 있는 형태로 자투리 형태의 철근낭비가 전혀 없이 가공이 가능하다. 국내에서는 아직 자재 생산이 이루어지고 있지 않으며, 가공기계의 효율이 낮아 적용되지 못하고 있으나, 자재낭비 감소와 철근 가공 기술의 선진화를 위해 국내 제강사들이 D회사를 시점으로 2016년부터 생산화에 돌입할 예정이며 이에 대한 연구[2]도 진행 중이다.

일반 철근의 경우 철근의 부식이 철근콘크리트 내구성[3-6] 및 부착강도[7-9]에 미치는 영향은 이미 많은 연구가 진행되었다. 또한 부착강도에 영향을 주는 표면 거칠기에 관해서 기존의 프랙탈 이론[10]을 이용한 연구가 진행 중[11]에 있으며 표면 조도에 관한 평가기술이 여러 영역으로 확대가 가능하여 기술의 파급력효과도 크다 하겠다. 본 연구에서는 코일철근의 초기 부식을 평가할 수 있는 표면 물리량 측정기술을 제안하여 코일철근의 부식량 및 부착강도에 미칠 수 있는 영향을 연구하였다.

철근의 부식은 콘크리트 부재의 구조적 성능을 저하시키게 되며 철근이 부식된 RC부재의 구조적 성능은 구조물의 내구성을 평가하는데 중요한 근거[6]가 된다. 최근 철근 부식률이 부착강도에 미치는 영향을 평가한 연구[6-9]가 많이 이루어지고 있으나 이들은 모두 일반철근의 경우로서 코일철근을 다룬 문헌은 전무하다 할 것이다.

Tottori et al.[3]은 균열폭이 부식개시시간에 영향을 미치나 시간이 지남에 따라 부식량과 균열폭과의 상관관계는 명료하지 않다고 보고하고 있다. 표면에 녹이 발생된 철근이 콘크리트 내부에 배치된 경우, 대체로 부착강도가 증가하는 것으로 알려져 있다. 이는 표면에 발생된 녹이 철근표면의 거칠기에 긍정적인 영향을 주어 부착강도가 증가하는 형태로 나타날 수 있다. 이형철근의 부착 성능은 표면 부착보다는 철근 마디에 의한 지압효과와 주위 콘크리트의 강도에 의해 발휘되는 것이 크기 때문에 부착강도의 표면 거칠기로 인한 증가량은 그다지 크지 않을 것으로 판단되나 이는 모두 정성적인 평가뿐 정확한 표면 거칠기에 대한 평가는 이루어지지 않고 있다.

Al-Amoudi와 Maslehuddin[4]은 대기 노출로부터 표면 녹으로 인하여 0.53%의 최대 중량감소율이 발생한 직경 8mm 철근의 경우, 인장강도의 감소는 무시할 정도로 작으며 부착강도 또한 변화가 없다고 보고하였으나, Imperatore와 Rinaldi[5]은 휨실험을 통하여 이형철근의 부착강도는 철근의 부식방법에 차이는 있으나 부식정도

가 1~2%인 경우는 녹의 형성에 따른 철근의 거칠기가 향상되어 부착강도가 50% 정도 증가한다고 보고하고 있다.

국내에서도 김현욱외는[9] 부식 초기단계에서는 부착강도가 약간 증가하였으나, 부식이 진행되어 부식균열이 발생하게 되면 부착강도가 급격히 감소한다는 정성적 평가만을 제시하였으며, 노영숙외[11]는 2%의 부식률까지는 철근의 표면적은 계속 증가하며 부식률 3%에서의 표면적은 1%보다 작은 값을 나타내어 강도 및 표면적이 급격히 감소한다고 보고하고 있다.

## 1.2 연구의 방법 및 절차

일반적인 노출환경에서 코일철근은 일반철근보다 표면 녹의 발생 개시일이 빨라질 수 있는데, 이는 코일 가공과 정척화 과정에서 철근의 부동태 피막이 손상될 가능성이 있기 때문이다. 본 연구에서는 코일철근의 초기 녹 발생현황과 부식초기 철근의 표면적을 프랙탈 차원을 이용하여 정량화하는 기술을 제안하는 것을 목적으로 하였다. 3D 표면 스캐너를 사용하여 철근의 표면을 스캔한 후 이를 이용하여 철근의 표면적을 산정하였다. 철근의 표면적은 측정 단위(ruler)에 따라 달라지므로 이를 프랙탈 이론을 이용하여 표면 거칠기를 정량화(프랙탈차원)하였으며, 이를 단계별로 나타내면 첫째, 코일철근의 표면적을 스캔한다. 둘째, 프랙탈 이론을 이용하여 해당 철근의 표면 프랙탈 차원을 산정한다. 셋째, 적체기간이 서로 다른 철근의 프랙탈 차원을 비교한다. 넷째, 프랙탈 차원과 부식률의 관계를 살펴보고, 일반철근과 비교한다.

## 2. 철근 표면적 산출기술

### 2.1 실험계획

본 연구는 지름이 13mm인 코일철근을 대상으로 하였다. 일반철근에 비해 초기 4주 이내의 녹 발생이 문제가 될 수 있는 점을 고려하여 현장에 적재된 날을 기준으로 자연 부식된 철근을 이용하였다. 적재된 날은 각각 0일, 3일, 7일, 21일로 하였다.

3차원 기계식 스캐너를 사용하여 철근이 부식된 정도를 모델링 및 도식화하여 철근의 표면적 거칠기 정량화를 측정하였다. 기계식 스캐너는 측정위치마다 x, y, z의 상대좌표를 출력하여 철근의 길이방향을 x축으로 설정

하였으며, 철근의 지름방향을 y로 설정하였다. 그리고 각 표면의 높이를 z축으로 설정하여 데이터를 수집하였다.

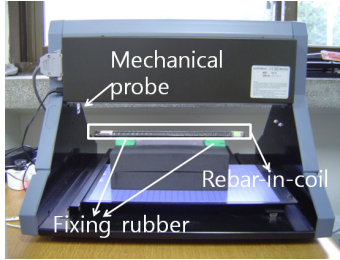


Fig. 1. Mechanical 3D Scanner

### 2.2 철근의 표면적 산출

기계식 3차원 스캐너를 이용하여 철근의 표면을 측정 한 후 이들 데이터를 이용하여 삼각 프리즘 면적 방식 (triangular prism area method)으로 철근의 총 표면적을 산출하였다. 다음 그림2는 삼각 프리즘 면적방식을 공식 과 도식으로 표시한 것이다.

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{(a_2b_3 - b_2a_3)^2 + (a_3b_1 - b_3a_1)^2 + (a_1b_2 - b_1a_2)^2} \quad (1)$$

여기서  $(a_1, a_2, a_3) = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$ ,  $(b_1, b_2, b_3) = (x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1)$ 이다.

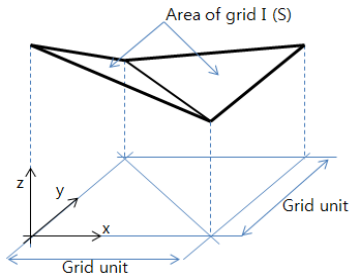


Fig. 2. Triangular prism area method

### 2.3 프랙탈 이론

프랙탈 기하학은 1977년 프랑스 과학자 B. Mandelbort[12]가 영국의 해안선길이에 대한 의문을 품고 측정 축척에 따라 그 길이가 무한히 변화하는 것을 보고 ‘쫄개지다’라는 라틴어 gragere에서 유래한 fractal을 제창하였다. 그림 3은 삼각형의 변의 중심을 무한 반복하여 삼각형을 만드는 시어스핀스키 삼각형(Sierpinski Triangle)의 원리를 보여준다. 그림 3의 오른쪽은Visual

basic을 이용하여 Excel 화면에 프랙탈 원리를 재현한 것이다.

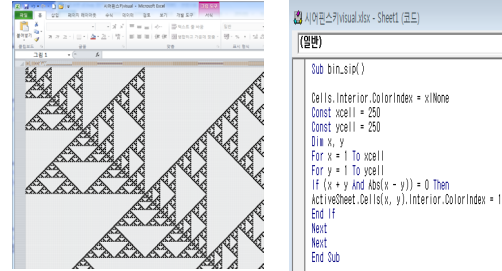


Fig. 3. Sierpinski Triangle

프랙탈 차원은  $\frac{\log N_i}{\log(1/r_i)}$ 로 정의되는데 여기서 N은 반복되는 요소의 개수를 의미하며,  $r_i$ 는 축척인자 (scaling fractor)로  $r_i = \epsilon_i/L_0$ 와 같이 정의된다.  $\epsilon_i$ 는 측정단위 최소 길이를 나타내며  $L_0$ 는 분할되기 전의 전체 요소의 길이를 의미한다. 첫 번째 단계에서의 요소개수는 3이고, 각 절단된 요소의 크기는 1/2이다. 그러므로,  $N=3$ ,  $r_i=1/2$ 이고 이를 앞에서 언급한 프랙탈 차원공식에 대입하면 프랙탈 차원은 다음 식 2와 같다.

$$\frac{\log N_i}{\log(1/r_i)} = \frac{\log 3}{\log(1/2)} = 1.58496 \quad (2)$$

무한으로 반복된 후의 n단계에서도 프랙탈 차원은 1.58496으로 일정하다.

Table 1. Fractal theory using Sierpinski Triangle

Fractal	1 stage	2 stage	3 stage	n stage
Transformation				
No. of element (N)	3	9	27	$3^n$
Size of element (ri)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2^n}$
Fractal Formula	$\frac{\log 3}{\log 2}$	$\frac{\log 9}{\log 4}$	$\frac{\log 27}{\log 8}$	$\frac{\log N_i}{\log(1/r_i)}$
Fractal Dimension	1.58496	1.58496	1.58496	1.58496

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 코일철근 적재(摺載)기간과 철근표면적과의 관계

대기 중에 노출된 코일철근은 일반 철근에 비하여 발청 개시일이 빠른 경우가 많지만, 실험 결과 시간이 경과함에 따라 발청에 의한 중량 감소율의 차이는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그림 4에서 보는 바와 같이 건전한 철근과 부식된 철근은 육안으로도 확인이 가능하며 부식을 10%가 넘으면 철근 표면이 현저히 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

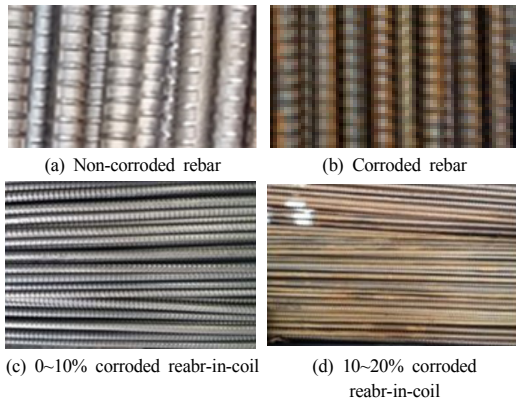


Fig. 4. Surface condition of rebar-in-coil

코일철근의 경우 적재기간이 3일이 경과된 코일철근의 경우 중량 감소율이 0.3367%로 나타났으며, 7일 경과 후에는 0.6157%, 14일 경과된 후에는 0.7898%, 21일 경과된 후에는 1.1965%로 나타났으며 그림 5에서 보는 바와 같이 초기에는 중량 감소율의 기울기가 다소 큰 값으로 나타났다. 7일에서 14일은 변화가 다소 줄어드는 경향을 보였으나 14일 이후 21일까지는 그 기울기가 다시 커지는 것으로 나타나 일반 현장 적재상태의 환경에 따라 영향을 받을 수 있음을 나타내고 있다.

그림 6은 건전한 코일철근과 부식된 코일철근을 나타낸 사진이며 실험에 사용된 코일철근을 3D스캐너를 이용하여 스캔한 결과를 함께 나타내었다. 표면상태는 일반철근[11]의 결과와 유사함을 알 수 있다. 다만, 코일철근 표면은 일반철근의 표면보다 마디부분이 평평한 것이 특징인데 이는 코일철근을 정척화시키는 과정에서 마디부분이 늘리는 압축력 때문인 것으로 파악된다. 14일,

21일이 지난 코일철근의 경우 표면의 녹발생이 육안으로도 관찰됨을 알 수 있다. 이를 보다 정량적으로 분석하기 위해서 3차원 스캐너를 이용하여 면적측정 기본단위를 다르게 하여 면적을 산정하였다. 기본단위의 해상도는 25 $\mu$ m~200mm로 하였다.

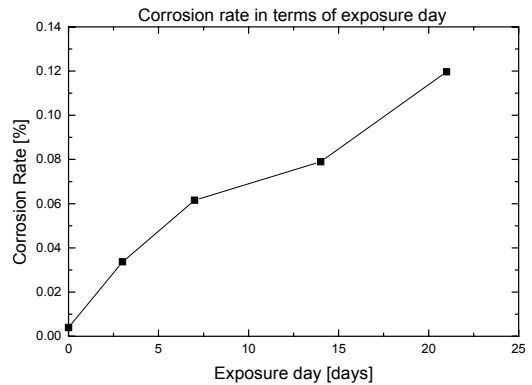


Fig. 5. Relationship between corrosion rate and exposure day

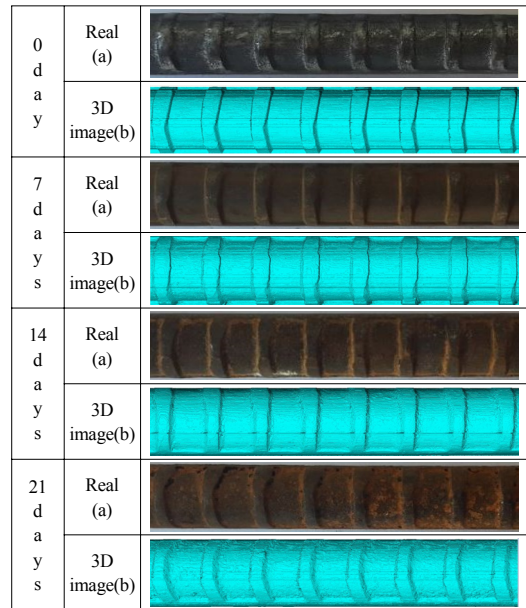


Fig. 6. Surface conditions of Rebar-in Coil (physical appearance and 3D scanning results)

그림 7은 측정 기본 단위와 철근의 표면적과의 관계를 나타낸다. 측정 기본 단위가 작을수록 표면적이 증가하는 것으로 나타났다. 적재된 기간이 길수록 철근의 표

면적이 증가하는 것은 적재기간과 철근의 부식률과의 비례관계에서 비롯됨을 예측할 수 있다.

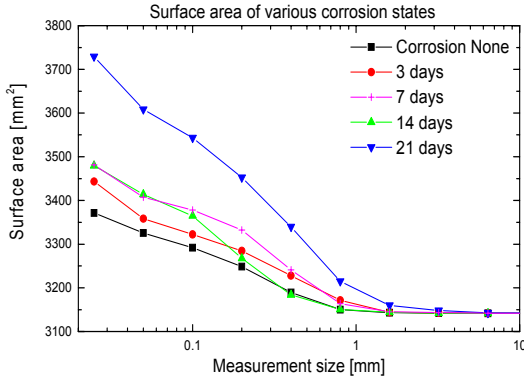


Fig. 7. Relationship between measurement size and surface area of coil reinforcing rebar

측정점의 기본단위가 감소할수록 부식되지 않은 코일 철근이 가장 적은 표면적 증가량을 보였으며 적재기간 21일이 가장 큰 증가량을 나타냈다. 적재기간 7일과 14 일의 경우 측정점의 기본단위 25 $\mu$ m~100 $\mu$ m의 범위에서는 표면적이 거의 유사하게 나타났으며 이후 측정점간의 거리가 커질수록 적재기간 14일의 코일철근이 7일 코일 철근보다 빠른 표면적 감소율을 보이고 있음을 알 수 있다. 이후 1000 $\mu$ m 이상에서는 그 값이 거의 동일하게 나타났다. 측정점간의 거리가 3mm 이상인 경우에는 그 변화가 매우 작아져 적재기간과 상관없이 코일철근의 표면적은 일정함을 알 수 있다.

### 3.2 프랙탈 차원

Box-counting method를 이용한 코일철근의 표면 프랙탈 차원값은 식(3)과 같다. log-log 그래프의 기울기 값이 음수이므로 프랙탈 차원값은 2.0차원(평면)보다는 큰 차원이 되며 3.0차원(공간)을 넘을 수는 없다[10].

$$\Delta_{box} = \lim_{r_i \rightarrow 0} \left( \frac{\log N(r_i)}{\log (1/r_i)} \right) \tag{3}$$

$$= 2 - \lim_{\epsilon_i \rightarrow 0} \left( \frac{\log |A(r_i)|}{\log (r_i)} \right)$$

다음 그림 8은 철근의 표면적과 증가된 프랙탈 차원 값과의 비교를 나타내며 정도의 차이는 있으나 표면적의

증가량에 어느 정도 비례하여 프랙탈 차원이 유사하게 증가함을 알 수 있다. 7일과 14일의 데이터를 살펴보면, 철근의 표면적은 거의 유사하나, 프랙탈 차원이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 물질의 표면 정량화를 위해서는 프랙탈 이론의 도입이 반드시 필요하며 표면적만으로는 부족한 정보임을 알 수 있다.

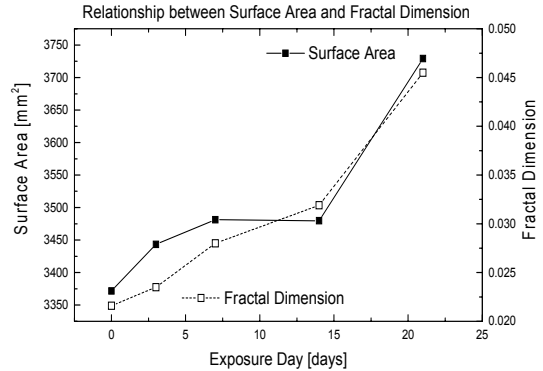


Fig. 8. Relationship between surface area and fractal dimension

다음 표 2는 면적의 증가량과 프랙탈 차원값, 그리고 신뢰계수 R제곱 값을 나타낸다. 적재기간이 길수록 프랙탈 차원( $\Delta D$ ) 증가량은 0.0216에서 0.0455로 커지는 것을 알 수 있다. 이는 코일철근의 적재기간이 길어질수록 표면의 녹발생이 증가하여 부식률이 증가함을 나타내며, 그 증가량은 적재기간의 거의 비례함을 알 수 있다. 신뢰계수( $R^2$ ) 값은 0.9748~0.9942로 비교적 좁은 범위를 나타냈다. 그림 9는 프랙탈 차원값과 신뢰계수를 동일 그래프에 표현한 것이다.

Table 2. Increase of surface area, increase of fractal dimension, and R square values

measurement unit	0days	3days	7days	14day	21day
25 $\mu$ m	0.0786	1.0960	1.1081	1.1076	1.1870
50 $\mu$ m	1.0586	1.0690	1.0846	1.0867	1.1486
100 $\mu$ m	1.0478	1.0575	1.0753	1.0711	1.1279
200 $\mu$ m	1.0341	1.0455	1.0607	1.0401	1.0989
400 $\mu$ m	1.0152	1.0275	1.0316	1.0134	1.0630
800 $\mu$ m	1.0028	1.0095	1.0071	1.0029	1.0233
$\Delta D$	0.0216	0.0235	0.0280	0.0319	0.0455
$R^2$	0.9942	0.9849	0.9748	0.9863	0.9917

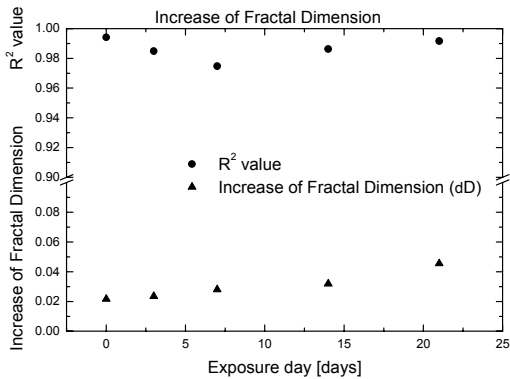


Fig. 9. Relationship between measurement size and surface area of coil reinforcing rebar

다음 그림 10은 프랙탈 차원의 증가량과 부식률을 나타낸다. 프랙탈 차원의 증가량은 14일 이후에 급격히 증가함을 보이는 반면에 부식률은 초기 일주일동안 빠른 증가량을 보이고 있다. 이는 실제 코일철근이 초기에는 빠른 방청현상을 보임으로써 부식률이 빠르게 진행하나, 초기 방청이 철근 표면적으로는 그리 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 현재 부식률 1%정도가 철근콘크리트 부착강도에 긍정적인 영향을 미친다고 보고[11]되고 있는 바, 초기 방청 실험결과를 바탕으로 코일철근의 일반 부식현상을 보다 장기간에 걸쳐 조사할 필요가 있다고 판단된다.

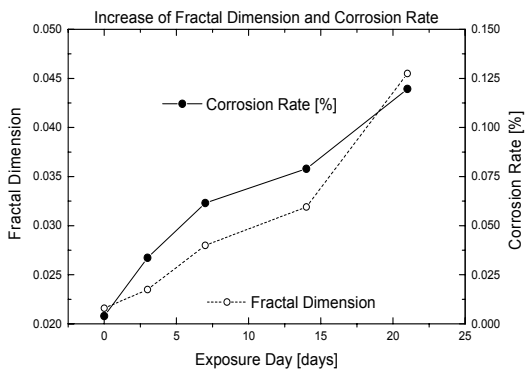


Fig. 10. Relationship between fractal dimension increase and corrosion rate in terms of exposure day

#### 4. 결론

본 연구에서는 최근 관심을 끌고 있는 코일철근의 초

기 방청 현상에 대해 알아보았다. 일반 철근과 비교하여 시공 효율성을 대폭 증가시킬 수 있는 코일철근의 표면 녹발생 현상을 프랙탈 차원의 개념을 이용하여 표면적을 정량화하여 평가하였으며, 실험에서 비롯된 결론은 다음과 같다.

코일철근의 표면 거칠기는 프랙탈 차원의 값으로 정량화할 수 있으며, 프랙탈 차원의 증가량은 0.022~0.046의 값으로 나타났다. 조건이 동일한 일반철근의 값과 (0.023~0.032) 유사한 범위 값을 가지며 최대값의 경우는 다소 큰 특징이 있는 것으로 나타났다.

코일철근은 정척화 과정에서 비롯되는 표면 가공으로 인하여 초기 녹발생이 일반철근에 비해 빠르게 발생되었으나, 일반 녹과 비교하여 철근의 표면 단면적은 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 콘크리트 적재 및 보관 시 수분에 노출될 경우에는 초기에 빠른 방청을 보여 줄 수 있기 때문에 가능한 한 수분에 노출되지 않도록 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

철근의 표면적은 측정 기본단위에 따라 변화하며 이들의 관계를 이용하여 프랙탈 차원을 산정하였다. 전반적으로 코일철근의 표면적이 증가할수록 프랙탈 차원이 증가하였으나 적재기간 7일 이내에는 표면적의 증가 없이 프랙탈 차원이 증가하여 초기 부식정도가 일반 철근과는 다른 코일철근의 거동 특징을 잘 나타낸다고 할 수 있다.

코일철근의 현장 적재일에 따라 철근 부식량이 일반 철근과 같이 일정하게 증가함을 알 수 있었으며, 적재기간이 2주 이상인 경우에는 철근 부식량이 급격히 증가하는 것으로 나타나 현장 적재일 2주 이상인 경우에는 수분의 유입을 차단하는 등의 철저한 대비가 필요한 것으로 나타났다.

#### References

- [1] Rebar in Coil Technical Specification, [www.emiratessteel.com](http://www.emiratessteel.com)
- [2] S-C. Chun, O-C. Choi, and J-M. Jin, "Experimental evaluation on Bond Strengths of Reinforcing Bar in Coils with Improved Machinability during Straightening Process", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.25, No.1, pp. 53-61, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2013.25.1.053>
- [3] Totorri, S., Tsuchidaa, S., Miyagawa, T., Deterioration of Concrete Structures Based on the Test Results Concerning Crackgin and Rebar Corrosion, Concrete

Research and technology, Vol.10, No.3, pp1-15, 1999.

- [4] Al-Amoudi O. S., and Maslehuddin M., "The effect of Chloride and SUflate ions on Reinforcement Corrosion", Cement and Concrete Research, Vol. 23, pp. 139-146, 1993.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(93\)90144-X](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(93)90144-X)
- [5] Imperatore S. and Rinaldi Z., "Mechanical behavior of corroded rebars and influence on the structural response of R/C elements", Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II, Alexander et al. (eds.), Taylor & Francis Group, London, pp. 489-495, 2009.
- [6] ACI 318-95, Effect of Rust and Scale on the Bond Characteristics of Deformed Reinforcing Bars, ACI.
- [7] Congqi Fang et al., "Corrosion influence on bond in reinforced concrete", Cement and Concrete Research, 2004, pp. 2159-2167, 2004.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.006>
- [8] H-S. Lee et al., "Evaluation of the bond properties between concrete and reinforcement as a function of the degree of reinforcement corrosion", Cement and Concrete Research, pp. 1313-1318, 2002.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00783-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00783-4)
- [9] H-U. Kim, N-Y. Jee, "Effect of the Rebar Corrosion Rate on Bond Strength in Reinforced Concrete - factors caused by compressive strength and embedded rebar condition - ", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction, Vol.21, No11, pp.159-166, 2005.
- [10] Brown, S.R., "A note on the description of surface roughness using fractal dimension", Geophysical Research Letters, Vol.14, No.11, pp. 1095-1098, 1987.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/GL014i011p01095>
- [11] Y-S. Roh, S-G. Lee, "A study on the surface roughness of corroded reinforcing rebar", Journal of the Korea institute for structural maintenance Inspection, Vol.12, No.3, 2008.
- [12] Mandelbrot, B. B., Fractal; Form, Chance and Dimension, Freeman, San Francisco, 1977.

조 강 우(Kang-Woo Cho)

[준회원]



•2010년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 건축학부 재학생

<관심분야>  
건축구조, 철근부식

노 영 숙(Young-Sook Roh)

[정회원]



•2005년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 공과대학 건축학부 건축공학전공 부교수

<관심분야>  
건축구조, 비파괴 진단, 철근부식