

SD460 철근의 세라믹 코팅에 의한 내식성 향상연구

박 기 용^{1,*} · 이 종 권¹ · 홍 석 우²

¹순천향대학교 신소재공학과, ²현대제철

(2009년 6월 24일 접수, 2009년 7월 22일 수정, 2009년 7월 23일 채택)

Corrosion Resistance of SD460 Reinforcing Rod by Ceramic Coating

Ki Y. Park^{1,*}, Jong K. Lee¹, and Seok W. Hong²

¹646 Eupnae-ri, Shinchang-myeon, Asan, Chungnam, Soonchungyang university

²167 Kodae-ri, Songak-myeon, Dangjin gun, Chungnam, Hyundai steel

(Received June 24, 2009; Revised July 22, 2009; Accepted July 23, 2009)

The corrosion resistance of reinforcing bar was studied to endure the marine environment during shipment. The red rust on the surface did not damage the adherence in the concrete structures, especially in highly alkaline environment, but made the consumer doubt of the quality. The passivation process by alkalization of the quenching water in the tempcore process failed to endure the long shipping period. The ceramic coating by sol-gel process improved the corrosion resistance without damaging the mechanical properties and adherence between concrete and reinforcing bar. Optimal concentration of the coating solution and coating temperature were tested. No additional energy was necessary for the coating process by spraying during cooling process, resulting simplified process and low cost. Salt spray test, cyclic corrosion test and atmospheric test were employed to confirm the resistance. The corrosion rates were presented by rating number and polarization resistance. The coating layer was examined by FIB, XRD and SEM etc.

Keywords : corrosion resistance, ceramic coating, tempcore process, rebar

1. 서 론

철근은 높은 내식성이 요구되는 제품은 아니므로 통상 철근 자체의 내식성에 대하여는 큰 관심의 대상이 되지 못하고 주로 콘크리트 내에 매설되어 있을 경우의 부식에 대하여 관심이 집중되어 왔다.¹⁾ 면적의 6% 이하의 부식이 발생하면 사용에 문제가 없는 것으로 알려져 있다.²⁾ 하지만 철근은 국내에서 뿐 만 아니라 해외로 수출하기도 하므로, 해외로 수출할 경우 고온다습의 해양환경에 장기간에 걸쳐 노출되고 하루 동안의 일교차에 의하여 철근 표면에 결로가 발생하여 부식이 촉진되게 된다. 이와 같이 수송도중에 발생하는 부식은 제품의 품질뿐 만 아니라 외관상 제품가치를 크게 떨어뜨리게 되므로 철근의 방식은 때로는 심각한 문제가 되기도 한다. 또한, 생성된 철근이 타설되기까지 기간이 길어짐에 따라 부식된 철근에 대하여 생산업체들과 시공업체, 감리, 감독관 등 관계자들 상호간 마찰이 빈번히 발생하고 있다.³⁾

철근제조 시에는 필요한 강도를 맞추기 위하여 합금 원소를 첨가하거나 급냉에 의한 조직강화 방법(Tempcore)을

사용하고 있다. 합금 원소의 첨가는 합금을 선택적으로 첨가하여 인성 및 강도뿐만 아니라 내식성도 향상시킬 수 있으나 합금원소의 첨가에 따라 철근의 제조 단가가 상승하는 단점이 있다. 급냉에 의한 조직강화 방법으로 많이 사용되고 있는 Tempcore의 방법은 철근을 고온에서 급냉함으로써 외부에는 tempered martensite조직과 내부에는 ferrite-pearlite조직으로 되어 높은 강도와 인성을 동시에 경제적으로 얻을 수 있어 합금원소의 첨가보다 적은 비용으로 철근을 강화시킬 수 있다. 그러나 내식성을 향상시킬 수 있는 합금원소의 부재와 표면에 생성된 tempered martensite는 내식성에 나쁜 영향을 끼치게 되어 전체적으로 내식성이 낮아지는 문제가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 sol-gel법에 의하여 표면에 비정질 세라믹 코팅처리를 하여 내식성을 향상시키는 방법에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법

그림 1에 실험 과정을 나타내었다.

본 실험에서는 실험한 철근(Table 1)을 15 cm로 절단 후 절삭유의 제거를 위해 Isopropanol용액에서 20분간 초

* Corresponding author: pky0704@naver.com

Table 1. Chemical compositions of reinforced rod

화학 성분 [wt%]	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sn	Ni	Cr	Mo	V	Ca	N2
Spec. G460 / D12	0.25 ↓	-	-	0.050 ↓	0.050 ↓	-	-	-	-	-	-	-	0.012 ↓
포항 공장 (G460/Fishbone)	0.20	0.15	0.71	0.030	0.037	0.37	0.018	0.13	0.15	0.03	0.002	0.0006	0.008

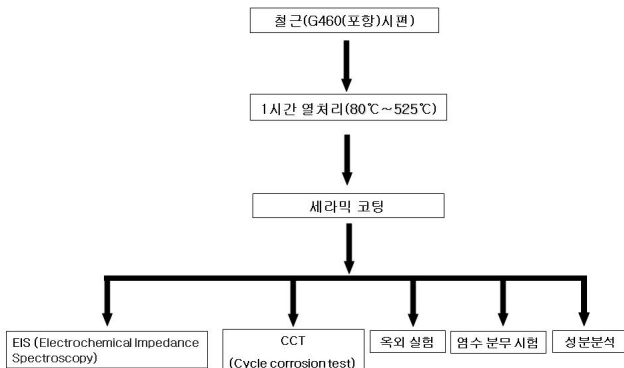


Fig. 1. Process diagram of ceramic coating.

Table 2. Compositions of ceramic coating solution⁴⁾

	Chemical	Contents (wt%)
Nano ceramic		25~30
Silica	SiO ₂	5~15
Alumina	Al ₂ O ₃	1~5
waterborne resin	Ethylene acrylic acid	5~15
3-Glycidoxypropyltrimethoxysilane	-	0.5~2
Corrosion inhibitor	Amine	1~5
Ethy alcohol	C ₂ H ₅ OH	1~5
water	H ₂ O	25~62

*한중 유화

음과 세척을 하였다. 세라믹 코팅처리는 열처리(80℃~525℃) 한 시편을 세라믹코팅 용액(10%, 30%, 50%, 100%, 120%)에 3초간 침지 후 공냉 시켰다. 세라믹 코팅의 성분은 Table 2에 나타냈다.

2.1 염수 분무 시험

염수 분무 시험은 KS D9502에 따라 실험하였다. 염수는 5%NaCl을 사용하였으며 분무량은 시간당 1.4 ml로 하였다. 시험온도는 35℃에서 실시하였으며 시편은 연직선에 20°에 배치하여 시간이 지남에 따라 부식성상을 관찰하기 위하여 1~2시간 30분간 실험하였다.

Table 3. Conditions of CCT 1Mode

	Condition	Temp/℃	Time/min
Salt spray	5% NaCl	-	10
Wet	80% relative humidity	30℃	60
Dry	50% relative humidity	40℃	60
Rinse	-	-	10
Dry	35% relative humidity	40℃	140

2.2 CCT(cyclic corrosion test)

CCT실험은 오키나와 지역의 환경을 모사한 시험으로 1cycle은 4시간 45분의 시간이 소요되며 조건은 Table 3과 같다.

2.3 대기부식 시험

실제로 공장에서 제조된 철근과 코팅처리된 시편을 대기 중에 노출시켜 내식성을 시험하였다. KS D0060-2005에 의거해서 실험하였고 아산지역에서 50일간 대기 폭로시험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 성분 분석 및 두께

Fig. 2에 나타나 있듯이 as-received sampled의 두께는 3.83 μm로 나타났으며 사진에 나타나 있듯이 scale 층은 2층으로 이루어져 있는 것으로 보이며 EDS 분석 결과 이들 층들은 구성성분이 모두 Fe와 O의 성분으로 이루어져 있어 층간의 구성원소의 차이가 나타나지 않았다. SADP의 분석 결과를 나타내었으며 모든 층들에 생성된 scale의 성분은 Fe₃O₄로 나타났다.

내식성을 부여하기 위하여 졸겔법으로 세라믹을 코팅 한 철근의 투과전자현미경 사진을 나타낸 것이다. 모두 3층으로 구성되어 있으며 기저조직 위에 scale 층이 형성되어 있고 제일 표면에 2 μm두께의 코팅된 Si층이 뚜렷이 나타나있다.

EDS로 분석한 결과 비정질코팅층의 주성분은 Si로 되어 있으며 그 외 Fe, O, Ca, Ti 등이 나타났다. 이들은 코팅재에 함유된 여러 성분들이 나타난 것으로 생각된다. 이들의 상을 분석하기 위하여 SADP을 한 결과 세라믹 코팅층은 전형적

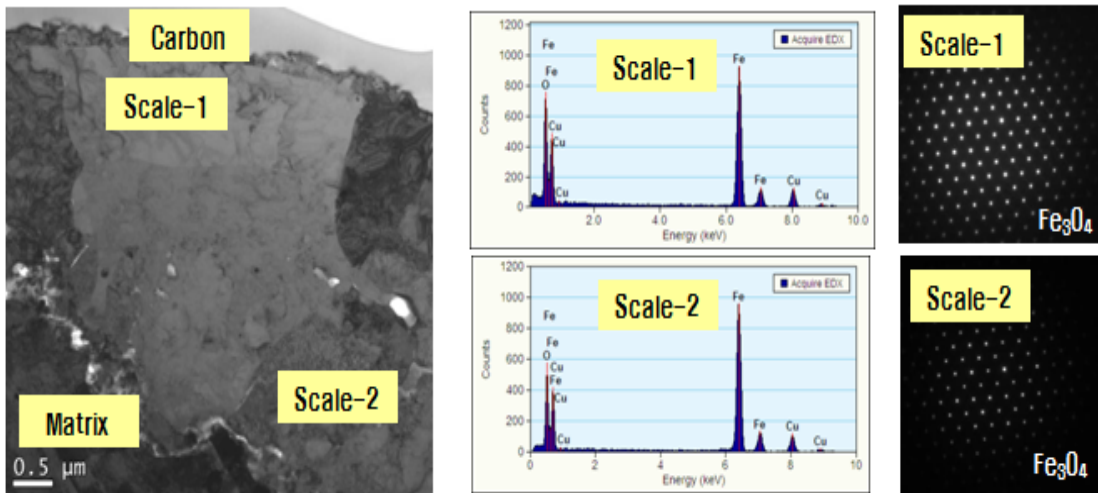


Fig. 2. TEM analysis of as-received sample

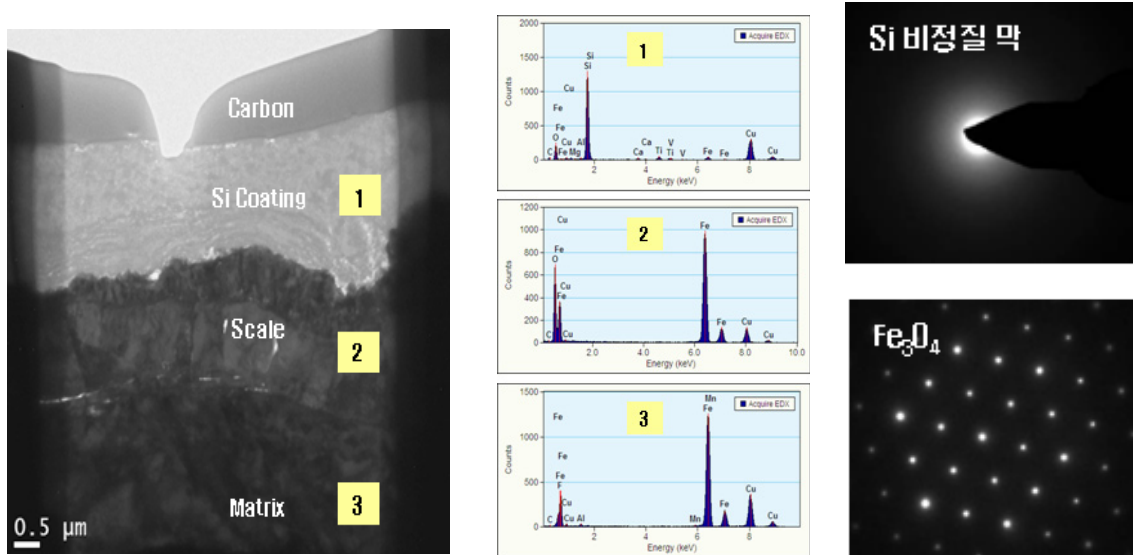


Fig. 3. TEM analysis of ceramic coating sample

인 비정질층임을 알 수 있으며 scale층은 as-received sample에 생성된 scale층과 마찬가지로 Fe₃O₄로 구성되어 있음을 알 수 있다.

3.2 염수 분무 시험 결과

Fig. 4은 C708용액으로 세라믹 코팅을 한 철근을 1시간 동안 염수 분무 시험을 한 사진을 나타낸 것이다. as-received sample은 철근은 염수 분무 시험 1시간 후 녹이 발생하였기 때문에 세라믹 코팅을 한 철근에 대하여도 1시간 동안 염수 분무 시험을 하였다. 온도는 80 °C 에서 525 °C 의 범위, 농도는 10~120%에서 실험하였다 80 °C, 10% C708용액에서 처리한 경우 rating number 5의 내식성을 나타내었으나 30%에서 처리하였을 경우 rating number

Table 4. Rating number of ceramic coating sample

온도(°C) 농도(코팅액)	80	150	225	300	375	450	525
10%	5	10	10	10			
30%	9	10	10	10	10	10	10
50%		9	9	10	9		
100%		8	9	9	9		
농축 120%		8	9	9	9	8	9

9의 좋은 내식성을 나타내었다. 150~375 °C, 10%~30%의 C708용액에서 처리한 철근은 1시간이 지난 후 녹 발생이 전혀 나타나지 않아 우수한 내식성을 갖고 있음이 판명되

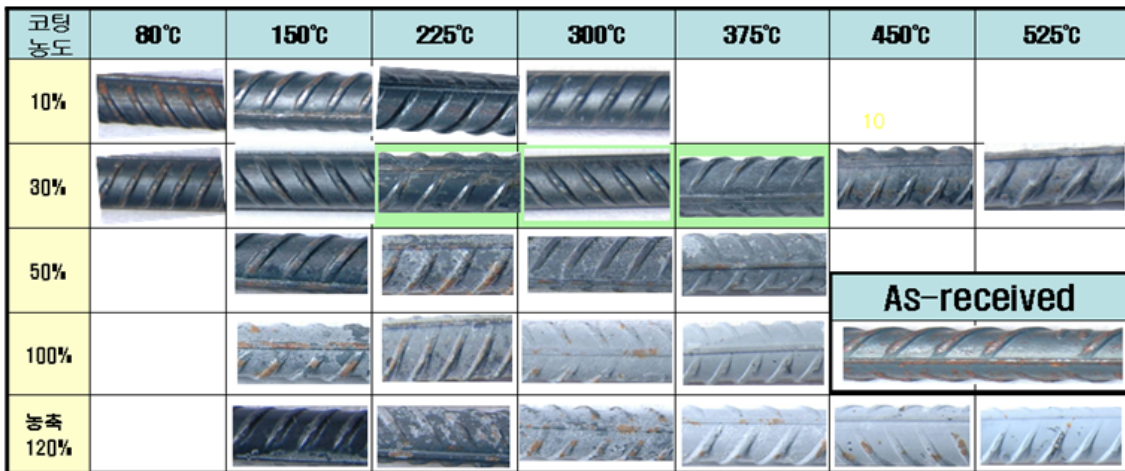


Fig. 4. Result of salt spray test for 1 hour

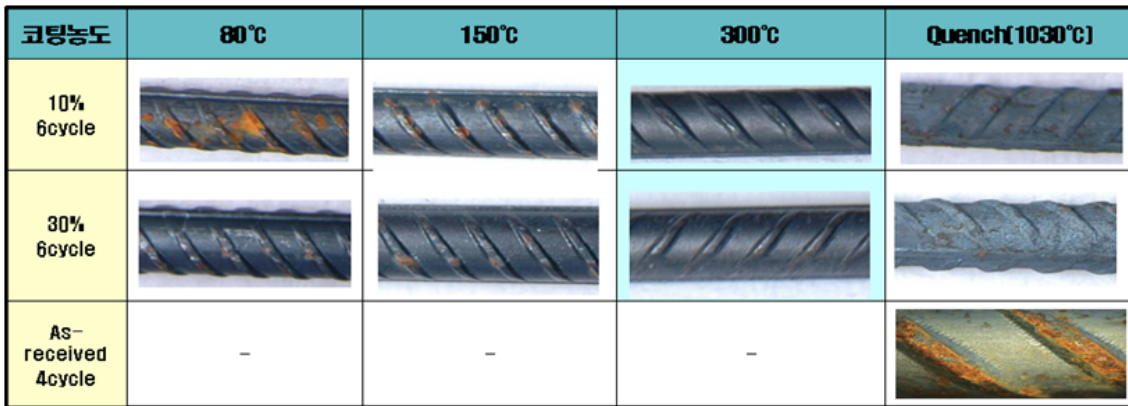


Fig. 5. Result of cycle corrosion test after 6cycle

었다. 30%보다 높은 농도에서 코팅한 시편은 코팅층이 우유 빛으로 변색이 되고 내식성 또한 떨어지는 경향이 나타났다. 온도가 375℃ 이상에서는 코팅층의 색은 변하였으나 내식성은 크게 감소하지 않았다.

3.3 CCT(cycle corrosion test) 실험 결과

그림 5는 6cycle의 CCT의 실험결과를 나타내었다. 이결과 As-received sample의 경우 4cycle후 녹이 발생하였으며, Tempcore 처리온도가 1030℃이기 때문에 현장을 모사하기 위해 1030℃ 1시간 열처리 후 세라믹 코팅처리를 한 결과 코팅막이 균일하지 않아 as-received시편과 비슷한 녹이 발생하였다. 300℃로 가열한 철근의 경우 코팅재 농도 10%, 30%경우 6 cycle 후에도 녹 발생하지 않았으며, 80℃ 경우 30%에서 처리한 경우 좋은 내식성을 나타내었다.

3.4 옥외폭로 실험 결과

대기 폭로시험은 KS D0060-2005에 의거해서 아산지

역에서 50일 동안 실험 하였다. Fig. 6는 150℃와 300℃에서 가열한 철근을 C708의 농도변화에 따른 대기 폭로시험 사진이다. 300℃에서 열처리 후 10%, 30%의 세라믹 코팅용액에서 처리한 경우 좋은 내식성을 나타내었고, Figs. 7, 8은 대기폭로 시험 기간 중 온도와 습도의 변화를 그래프로 나타낸 그림이다. 온도와 습도는 1시간 간격으로 체크를 하였다.

4. 결 론

코팅층은 두께 2~3 μm의 비정질 Si층으로 나타났으며, 내식성 실험을 한 결과 300℃와 375℃, 농도10~30%에서 처리하는 경우 가장 뛰어난 내식성을 보였으며 염수분무 2시간까지 적청이 발생하지 않았다. 50% 이상의 코팅액농도에서는 우유빛의 피막의 변색이 나타나고 내식성 또한 감소하였다. 열처리 온도 375℃ 이상의 온도에서는 피막의 변색이 나타났다. 저온150℃ 이하에서는 피막의 변색은 없으나

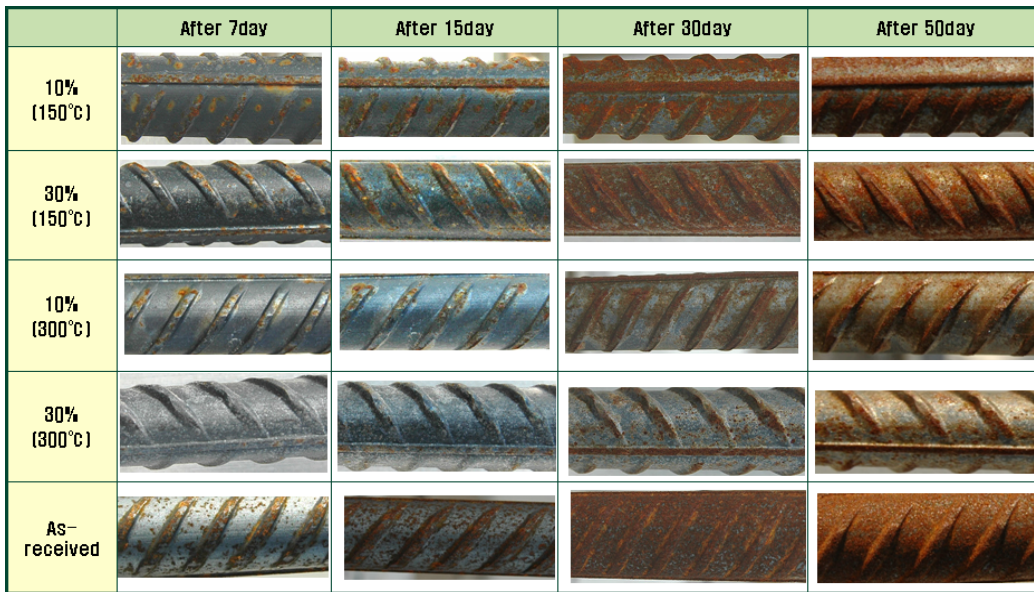


Fig. 6. Results of outdoor test for 50 days

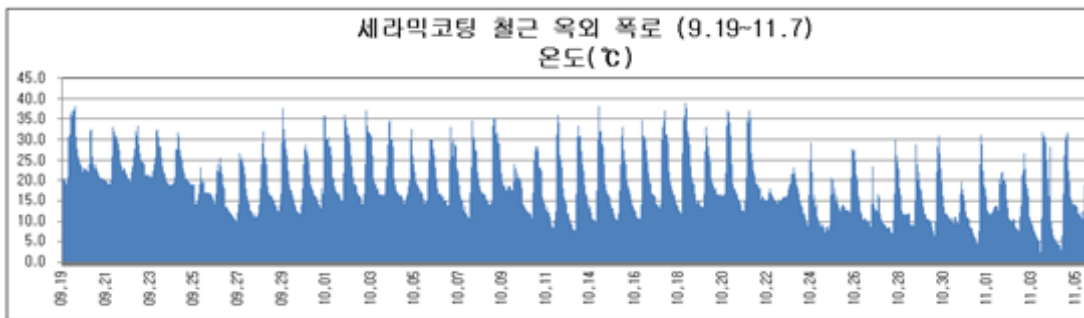


Fig. 7. Change of temperature for 50 days

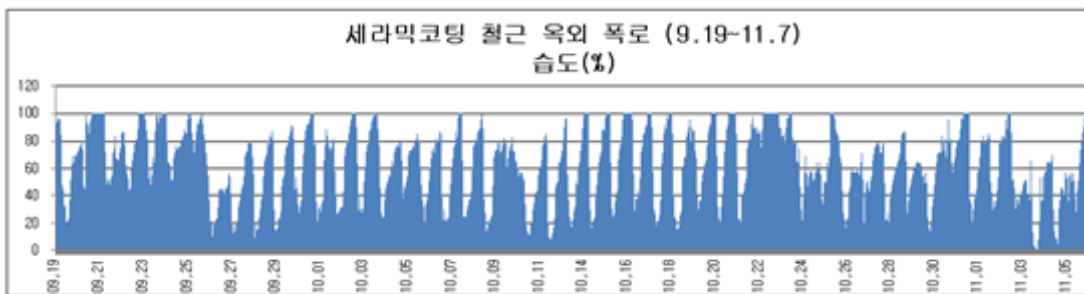


Fig. 8. Change of humidity for 50 days

내식성 향상효과 크게 감소하였으며 225 °C~375 °C, 10 ~30% 에서 처리 할 경우 내식성이 크게 향상되는 효과가 나타났으며, 별도의열처리 없이 Tempcore후 냉각동안 처리 가능하여 경제적이고 효율적이다.

참 고 문 헌

1. B. Husock, R.M. Wilson, W.H. Hooker, Harco Corp., 'Overview of the Rebar Corrosion Problem', paper No. 1, Solving Rebar Corrosion Problems in Concrete, NACE (1982).
2. ASTM A615, 12. 2
3. 김대일, 조승호 "타설전과 타설후에 부식된 철근의 부착강도 특성", 대한건축학회논문집, **10(11)**, 55 (2002).
4. www.hjlube.co.kr