

차량용 부품재료의 환경부식 특성 연구

박경동*, 신영진#

Study on Environment Corrosion Characteristics of Automobile Component Materials

Keyoung-Dong Park*, Yeong-Jin Shin#

ABSTRACT

The compressive residual stress, which is inducing by shot peening process, has the effect of increasing the intrinsic fatigue strength of surface and therefore would be beneficial in reducing the probability of fatigue damage. However, it was not known that the effect of shot peening in corrosion environment. In this study, the influence of shot peening and corrosion condition for corrosion property were investigated on immersed in 3.5% NaCl, 10% HNO₃ + 3% HF, 6% FeCl₃. The immersion test was performed with two kind of specimen. The immersion periods was performed 150days. Corrosion potential, weight loss were investigated from experimental results. From test results, the effect of shot peening on the corrosion characteristics was evaluated.

Key Words : Shot Peening(쇼트피닝), Corrosion Potential(부식전위), Intergranular Corrosion(입계부식), Weight Loss(무게감소량), Pitting Corrosion(공식)

1. 서 론

재료의 고응력화는 설계형상이나 반복되어 가해지는 외부하중 또는 진동조건에 따라 차이는 있지만 금속표면 또는 금속내부의 결함에 의해 항복응력 이하의 응력에서도 균열이 진전되고 서서히 안정성장하여 최종적으로 파괴되는 현상이 발생된다^[1]. 더욱이 부식 환경에서는 재료의 표면에 응력상태가 현저히 다른 상태가 재료에 발생할 경우 응력이 많이 걸린 부분이 부식진행에 있어서 양극으로 작용하여 국부

적으로 부식의 진행이 활성화될 수 있는 요인으로 작용하고 있다^[2-4]. 따라서 부식 환경에서의 기계부품이나 구조물은 화학적 변수가 기계적 변수와의 복합적인 작용으로 인해 단수명이나 저 하중 조건에서도 균열이 발생하여 안정성과 신뢰도에 많은 문제가 발생되고 있다.

현재 자동차 분야에서 자동차의 밸브 스프링, 판스프링, 클러치, 커넥팅 로드, 크랭크 축, 코일 스프링과 같이 자동차부품의 상온에서 피로수명 연장방법으로 쇼트피닝 가공을 통해 재료의 표면부에 압축잔류응력을 부여하는 방법이 많이 사용되고 있다^[5-7]. 이는 쇼트피닝 가공에 의해 금속표면부에 형성된 압축잔류응력은 반복하중을 받는 금속표면부에서의 인장력과 상쇄되어 표면부에 걸리는 응력을 감소시켜 표면부위의

* 부경대학교 기계공학부

교신저자 : 부경대학교 대학원 기계설계학전공

E-mail : galmaegi05@nate.com

피로균열 개시를 지연시켜 주고 균열의 안정성장을 지연시켜 피로수명을 향상시키기 때문이다. 하지만 쇼트피닝의 고온과 저온에서의 효과에 대한 연구는 많이 이루어졌으나, 부식 환경에서의 그 효과에 대해서는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 자동차나 철도의 현가장치 재료로 사용되고 있는 스프링강에 쇼트피닝 가공을 실시하여 세 가지 부식 용액에서 실험하였으며, 압축 잔류응력에서의 쇼트피닝의 효과에 대해서 알아보고자 한다. 또한 이러한 연구결과를 통해 부식 환경에서의 부식으로 인한 손상을 줄이고, 각종 부품이나 구조물의 설계 시 피로수명 평가 자료로 활용하여 안전설계에 기여하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편

본 실험에 사용된 시험편은 와이어로드 상태의 압연 스프링강(SAE 5155)이며, Table 1에 화학적 성분을 나타내었고, Table 2는 열처리(Quenching & Tempering) 한 시험편의 기계적 성질로서, 연속식가스로에서 970℃, 유지시간은 20분간 가열한 후 퀴칭오일 40~80℃에서 5분간 담금질을 실시하였고, 연속식 뜨임로에서 490℃로 80분간 유지하는 템퍼링을 시행하였다.

Table 1 Chemical compositions of spring steels [wt.%]

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
SAE 5155	0.56	0.25	0.84	0.016	0.009	0.88	-

Table 2 Mechanical properties of spring steels after heat treatment

Material	Tensile strength (MPa)	Hardness (H _R C)		Elongation (%)
		After quenching	After tempering	
SAE 5155	1350	57	44	9.4

침지시험에 사용된 시험편은 CT시험편으로 하였고,

그 형상과 치수를 Fig. 1에 나타내었다. 시험편의 쇼트피닝 유무에 따라 쇼트피닝 시험편과 언피닝 시험편 두 가지로 하였다. 쇼트피닝 가공은 판스프링 제조용 쇼트피닝기를 이용하여 Table 3과 같은 조건하에서 실시하였으며 시험편 표면에 균일한 쇼트피닝 가공면을 얻기 위해 양면을 쇼트피닝 가공하였다.

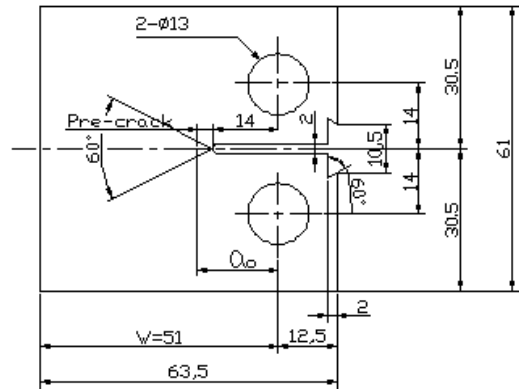


Fig. 1 Shape and dimensions of specimen

Table 3 Conditions of shot peening

Impeller diameter (mm)	Shot velocity (rpm)	Shot ball diameter (mm)	Arc height (mm)	Cover age (%)
490	2200	0.8	0.375	95

2.2 실험장치 및 실험방법

침지시험에 사용된 부식액으로는 용존산소를 제거하지 않은 3.5% NaCl 수용액, 6% FeCl₃ 수용액, 3% HF + 10% HNO₃ 수용액 세 가지를 사용하여 5개월 동안 침지시켰다. 부식전위는 기준전극으로는 염화은 전극(Ag/AgCl electrode)을 시험편을 작업전극(working electrode)으로 하여 부식전위를 측정하였다. 그리고 무게감소량은 침지시험 후 15일 간격으로 10번 측정하였다.

침지시험 후에는 시험편의 부식생성물을 제거하고 다시 침지한 시험편(Removal corrosion chemical: RCC)과 계속 침지한 시험편(Continuous immersed specimen: CIS) 두 가지로 나누어서 부식환경에서 그 차이를 알아보려고 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시험편의 잔류응력

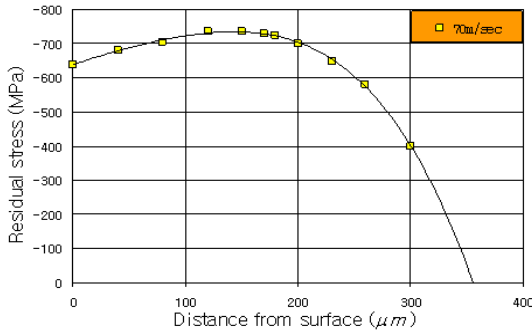


Fig. 2 Compressive residual stress distributions produced by shot-peening

2.1항과 같이 완성된 CT시험편에 압축잔류응력을 부여하기 위해 고속회전 터어빈식 쇼트피닝기로 Table 3의 조건에서 쇼트피닝을 시행하였으며, 표면에 형성된 압축잔류응력은 Fig. 2과 같이 최대값이 -730 MPa이 표면으로부터 110 μ m 깊이에 형성되었다.

3.2 부식전위의 변화

Fig. 3~5은 탈기처리하지 않은 3.5% NaCl수용액, 6% FeCl₃수용액, 3% HF + 10% HNO₃수용액에 150일 동안 침지시켜 부식전위를 24시간주기로 측정하여 나타낸 것이다.

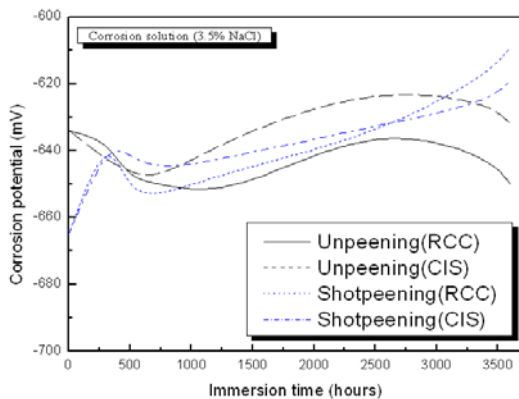


Fig. 3 Corrosion potential versus immersion time of specimens in 3.5% NaCl solution

Fig. 3의 3.5% NaCl수용액에서 전위는 초기 쇼트피닝재가 비한방향(-측 방향)으로 형성되고 언피닝재는 귀한방향(+측 방향)으로 전위의 형성을 보였다. 그리고 부식이 진행 된지 140일부터 차츰 쇼트피닝재가 귀한방향으로 형성되고 언피닝재가 비한방향의 전위를 보였다.

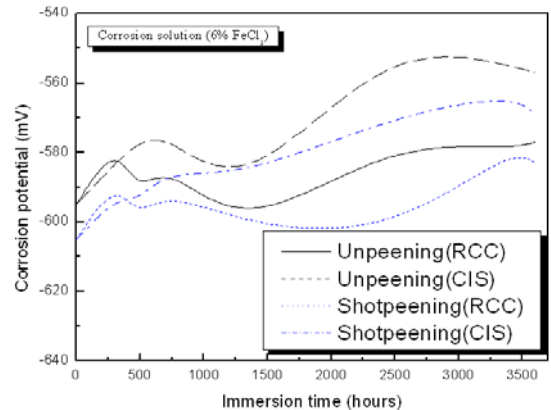


Fig. 4 Corrosion potential versus immersion time of specimens in 6% FeCl₃ solution

Fig. 4는 6% FeCl₃수용액에서의 전위를 나타낸 것이다. 초기 전위는 3.5% NaCl수용액과 같이 쇼트피닝재가 비한방향(-측 방향)으로 형성되고 언피닝재는 귀한방향(+측 방향)으로 전위의 형성을 보였다. 그리고 150일간 부식한 시험편의 전위를 측정한 결과 귀한방향순으로 언피닝 CIS - 쇼트피닝 CIS - 언피닝 RCC - 쇼트피닝 RCC로 나타났다.

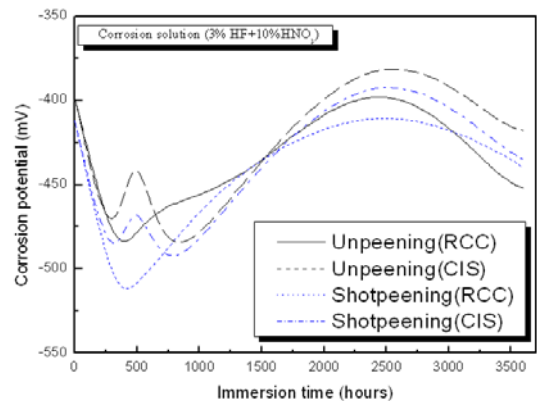


Fig. 5 Corrosion potential versus immersion time of specimens in 10% HNO₃ + 3% HF solution

Fig. 5는 3% HF + 10% HNO₃수용액에 150일 동안 침지 실험한 전위를 나타낸 것이다. 부식 후 전위를 측정된 결과 귀환방향 순으로 언피닝 CIS - 쇼트피닝 CIS - 쇼트피닝 RCC - 언피닝 RCC 로 나타났다. 초기에는 전반적으로 쇼트피닝재가 언피닝재보다 비환방향(즉 방향)으로의 전위가 형성되어 있는 것을 알 수가 있다. 이는 쇼트피닝재가 쇼트볼 충돌에 의해 표면이 거칠어져 있어 부식가속화의 요인으로 작용한 것으로 판단된다⁸⁾. 그러나 전체 측정결과를 보게 되면 3가지 용액 모두에서 언피닝재보다 쇼트피닝재가 안정된 전위를 형성하고 있다. 즉 부식에 대한 재료의 저항이 언피닝재 보다 쇼트피닝재가 크다고 볼 수 있다. 이는 쇼트피닝 가공을 하게 되면 표면에 압축잔류응력이 생기며 표면 전체가 균일한 응력 상태가 된다고 볼 수 있다. 그리고 균일한 응력 상태에서는 국부적인 부식반응을 촉진시키는 국부 전지(Cell)에 의한 영향이 감소된다고 볼 수 있다. 또한 Fig. 6에서와 같이 부식 환경에서 부식이 진행됨에 따라 보호피막이 생성되고 피막내 응력이 발생한다.

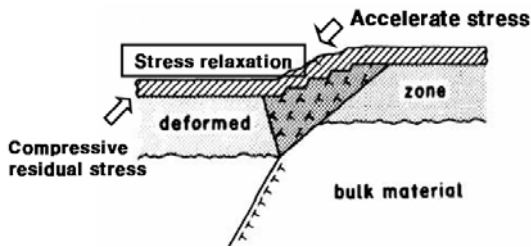


Fig. 6 Schematic diagram of stress decrease by corrosion

이러한 응력의 발생으로 언피닝재는 보호피막이 떨어져 나가 부식에 대한 저항성이 떨어진다. 그러나 쇼트피닝재의 경우 초반에 형성된 압축잔류응력이 성장 응력과의 상호작용에 의해 보호피막의 유지가 언피닝재보다 강하게 형성된 것으로 판단된다. 보호피막의 주성분은 모금속의 산화물로서(Cr₂O₃, Fe₂O₃) 주로 금속의 표면에 덮여져 있어 금속표면이 부식이 되는 것을 방지하고 있다⁹⁾. 그러므로 부식생성물을 제거하고 다시 침지한 시험편(RCC)의 경우는 이러한 피막이 제거되어 계속 침지한 시험편(CIS)에 비해 비환방향의 전위가 형성되어 있음을 알 수가 있다. 하지만 150일째 결과만을 놓고 세 가지 부식액에 따른 부식전위의

형태를 보면 3% HF + 10% HNO₃수용액을 제외한 수용액에서는 모두 비환방향의 전위값을 형성한 것을 알 수가 있다. 이는 염소이온의 빠른 침투로 피막의 국부적인 파괴가 발생하여 부식에 대해 활성화 영역이 나타남으로써 낮은 부식전위값이 나타난 것으로 판단된다.

3.3 부식액에 따른 무게감소량의 변화

Fig. 7과 8는 3.5% NaCl에서 150일 동안 침지시키며 무게감소량을 측정된 그래프이다.

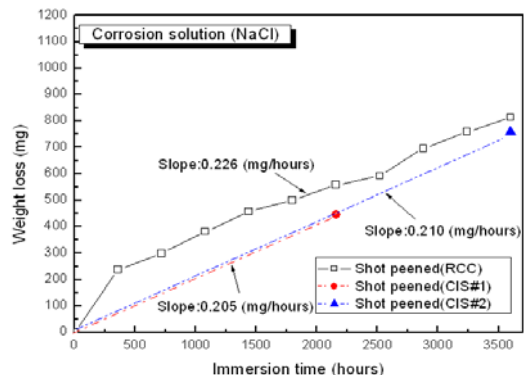


Fig. 7 Weigh loss versus immersion time of shot peened specimens in 3.5% NaCl

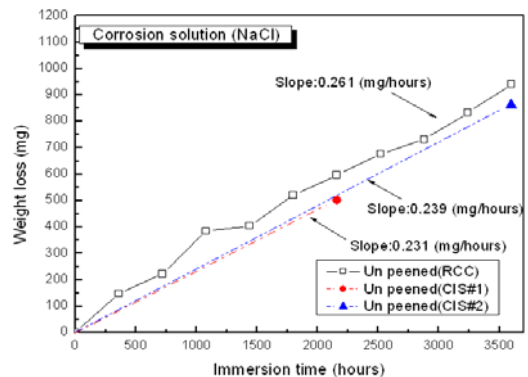


Fig. 8 Weigh loss versus immersion time of unpeened specimens in 3.5% NaCl

대체로 RCC시편은 쇼트피닝재와 언피닝재의 차이는 125mg이 언피닝재가 많은 감소량을 보였다. 또한 계속 침지한 CIS#1시편을 90일에 꺼내어 측정하였을

때는 56mg이 CIS#2시편을 150일에 꺼내어 측정하였을 때는 100mg이 넘게 언피닝재가 많은 무게감소량을 보였다. 그리고 시간이 경과할수록 차이가 줄어드는 이유는 쇼트피닝재의 표면에 생성된 기공과 미소균열에 염소이온의 농축으로 인해 쇼트피닝 층의 용해가 서서히 시작되었기 때문으로 판단된다^[10].

Fig. 9와 10은 6% FeCl₃수용액에서 150동안 침지시켜 얻은 무게감소량을 나타내고 있는 그래프이다.

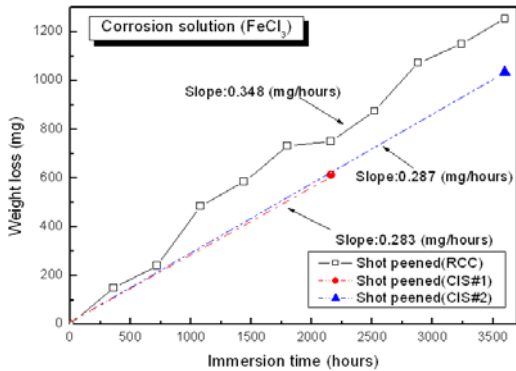


Fig. 9 Weigh loss versus immersion time of shot peened specimens in 6% FeCl₃

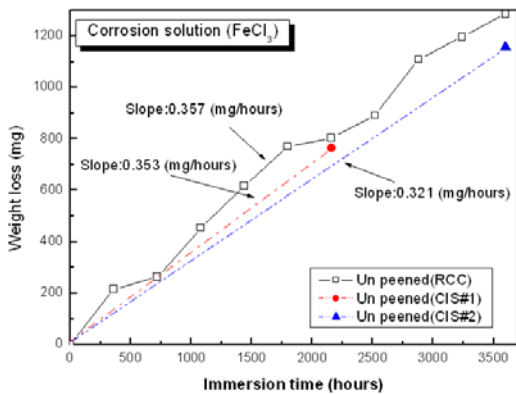


Fig. 10 Weigh loss versus immersion time of unpeened specimens in 6% FeCl₃

이 그래프 역시 쇼트피닝재와 언피닝재의 무게감소량의 차이를 잘 보여주며, 언피닝재의 경우 이번 실험에서 가장 큰 무게감소량을 보였다. 이는 FeCl₃가 산을 생성 할 뿐만 아니라 앞서 언급했던 리탁스층

(Fe³⁺+e⁻→Fe²⁺)을 생성하여 산화력을 추가적으로 제공함으로써 부식을 가속화시키고 있기 때문이다.

Fig. 11과 12는 3% HF + 10% HNO₃수용액에서 150 일 동안 침지시켜 무게감소량 측정된 그래프이다.

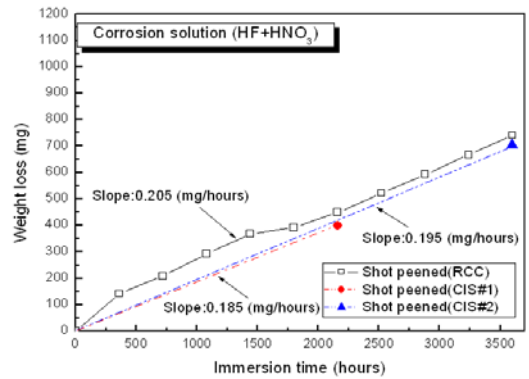


Fig. 11 Weigh loss versus immersion time of shot peened specimens in 3% HF + 10% HNO₃

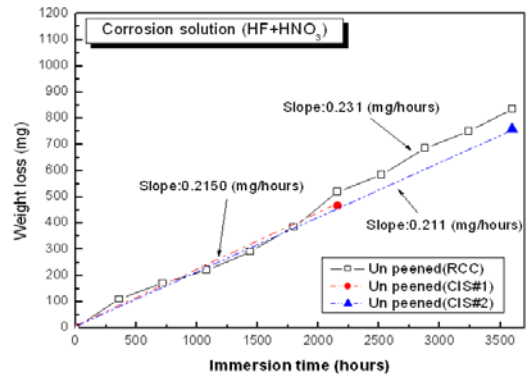


Fig. 12 Weigh loss versus immersion time of unpeened specimens in 3% HF + 10% HNO₃

3% HF + 10% HNO₃용액은 3.5% NaCl보다 산화성 산(oxidizing acid)으로 큰 부식성을 가지고 있음에도 불구하고 쇼트피닝재의 무게감소량은 적었으며, 90일이 지나고부터는 안정화되고 있음을 보였다.

전체적으로 무게감소량을 보면 Table 4에서 보는 것과 같이 3.5% NaCl의 경우 150일째 100mg, 6% FeCl₃의 경우 50mg, 3% HF + 10% HNO₃의 경우 70mg정도 언피닝재가 쇼트피닝재보다 많은 무게 감소량이 나타났다.

Table 4 Weight loss ratio of specimens by corrosion

Corrosion solution	RCC		CIS	
	Shot peening [mg]	Un peening [mg]	Shot peening [mg]	Un peening [mg]
3.5% NaCl	814	940	759	862
6% FeCl ₃	1254	1286	1035	1156
3% HF + 10% HNO ₃	741	835	705	760

5. 결 론

각각의 부식액에서 쇼트피닝의 효과를 알아보기 위해 150일 동안 침지시켜 얻은 결론은 다음과 같다.

- 부식전위의 변화에 있어서 세 가지 부식액 모두 쇼트피닝재가 언피닝재보다 안정화된 전위를 보여주며, 쇼트피닝이 부식 활성화에 대한 저항력을 높여 내식성 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 RCC시험편과 CIS시험편의 비교에 있어서 RCC시험편이 비한방향(-축 방향)의 전위를 형성하였다. 이는 부식생성물 제거로 인해 부동태 피막이 파괴되어 부식환경에 대해 효과적으로 차단하지 못하였기 때문으로 판단된다.
- 무게감소량에 있어서 쇼트피닝재가 언피닝재에 비해 용액에 따라 50mg에서 100mg정도의 적은 무게감소를 보였으며, 6% FeCl₃가 가장 높은 수치를 나타내었다. 이는 쇼트피닝의 잔류응력으로 인한 내식성효과로 해석된다. 또한 6% FeCl₃에서는 리닥스쌍($Fe^{3+} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$)을 생성하여 산화력을 추가적으로 제공함으로써 부식의 활성화가 크게 나타난 것으로 판단된다. 그리고 세 가지 부식액 모두 시간이 갈수록 쇼트피닝재와 언피닝재의 무게감소비율이 작아지는 것으로 봐서 부식이 진전됨에 따라 쇼트피닝의 잔류응력효과와 감소로 인한 것으로 판단된다.

참고문헌

- 村上, 大南, オーム社, 破壊力學入門, pp. 121~127,

- 1979.
- Luo, W., "The Corrosion Resistance of Cr19Ni9 Stainless Steel Arc Welding Joints with and without Arc Surface Melting," Materials Science and Engineering, Vol. 345, pp. 1-7, 2003.
- Guo, J. X., Li, J. X., Qiao, L. J., Gao, K. W. and Chu, W. Y., "Stress Corrosion Cracking and Hydrogen-Induced Cracking of Amorphous Fe74.5Ni10Si3.5B9C2," Corrosion Science, Vol. 45, pp. 735-745, 2003.
- Lopez, D. A., A. W. H., Schreinerb, S. R., de Sancheza and S. N. Simisona, "The Influence of Carbon Steel Microstructure on Corrosion Layers an XPS and SEM Characterization", Applied Surface Science, Vol. 207, pp. 69-85, 2003.
- 정성균, 이승호, 쇼트피닝 가공개론, 세화출판사, pp. 6~29, 2001.
- S. Tekeli, "Enhancement of Fatigue Strength of SAE 9245 Steel by Shot Peening," Materials Letters, Vol. 57, pp. 604-608, 2002.
- Muller, M. P., Verpoort, C. and Gessinger, G. H., "The Influence of Shot Peening on the Fatigue and Corrosion Fatigue Behavior of an Austenitic-Ferritic Stainless Steel," Proc. of the 1st International Conference on Shot Peening, Vol. 1, Paris, pp. 479-484, 1981.
- Park, K. D. and Ha, K. J., "Influence of Shot Peening on the Corrosion of Spring Steel," KSOE, Vol. 17, No. 3, pp. 39-45. 2003.
- Sato, N., "Toward More Fundamental Understanding of Corrosion Process," Corrosion, Vol. 45, No. 5, pp. 354, 1989.
- Gibson, F. W., "Corrosion, Concrete, and Chloride," ACISP, Vol. 102, pp. 13, 107, 155, 161. 1987.