



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

유/무기 하이브리드 용액에 의한
아연도금강판의 내식특성
(SiO_2 폴리실리케이트와 멜라민의 양이
일정한 경우)



기계공학 학연협동과정

김 성 민

공 학 석 사 학 위 논 문

유/무기 하이브리드 용액에 의한
아연도금강판의 내식특성
(SiO_2 폴리실리케이트와 멜라민의 양이
일정한 경우)

지도교수 남 기 우

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2019년 2월

부경대학교 대학원

기계공학 학연협동과정

김 성 민

김성민의 공학석사 학위논문을 인준함

2019년 2월

주 심 공학박사 정 희 록 (인)

위 원 공학박사 김 태 일 (인)

위 원 공학박사 남 기 우 (인)

목 차

Abstract

1. 서론	1
2. 재료 및 실험방법	2
3. 결과 및 고찰	6
3.1 염수분무에 의한 내식성	6
3.2 코팅층의 특성	17
4. 결론	21
참고문헌	22
발표 논문 목록	25

Corrosion Resistance for Galvanized Steel by Organic/Inorganic Hybrid Solution (In case of Constant Amount of SiO₂ Polysilicate and Melamine)

Seong-Min Kim

UR Interdisciplinary Program of Mechanical Engineering, Graduate School, Pukyong
National University

Abstract

Abstract : This study evaluated the corrosion resistance for three kinds of zinc plated steel sheets. A high corrosion resistant coating solution had different amounts of urethane resin. The corrosion resistance of GI and GA steels were worse as the amount of urethane resin increased. However, EGI steel showed similar corrosion resistance regardless of the amount of urethane resin. The abrasion resistance, scratch resistance and flexural resistance were excellent in four kinds of coating solutions coated on three kinds of zinc plated steel sheets. It is considered that the excellent corrosion resistance of the coating liquid is due to the crosslinking of the melamine hardener to the SiO₂ polysilicate and the urethane resin.

1. 서 론

북미, 북유럽에서는 자동차의 안전을 확보하기 위하여 겨울에 소금을 뿌려왔다. 그 살포량은 해마다 증가하고 1970년대에 소금에 의한 자동차 부식이 사회 문제화 되었다. 자동차의 안전을 확보하기 위하여 살포한 소금이 차량을 부식시켜, 안전 주행을 해치는 요인이 되었다. 그 때문에 미국이나 북유럽에서는 차체의 방청 품질 목표, 캐나다 코드 I (1978년), 캐나다 코드 II (1981년), 노르딕 코드 (1983년), 미국 BIG3 자체 목표 (General Motors Corp., Ford Motor Corp., Daimler Chrysler Corp. 1989)가 제시되어, 소금 살포 지역의 차량 부식 방지 대책이 활발하게 제시되었다. 유럽 자동차 메이커는 “차량 12년 방청 보증”의 방청 목표가 제시되고, 구미에서 자동차 방청 품질에 대한 요구가 점점 엄격해지고 있다. 한편, 일본은 1990년 이후 스파이크 타이어의 사용지역이 해마다 확대되고, 소금 살포량이 급격히 증가하여 자동차에 부식 환경은 구미 수준에 이르고 있다. 이와 같은 내식성을 위하여 다양한 방법으로 차체에 도색을 실시하고 있다.

내식성 향상을 위하여 첨가되는 6가 크롬은 인체에 유해하다는 이유로 사용이 금지되었다. 6가 크롬을 대체하기 위한 Chromium (III)^(1~4), Cr-free 코팅액^(5,6) 및 유/무기계 피막처리^(7~12) 등 환경 친화형 코팅 용액 개발의 연구가 실시되고 있다. 남 등은 유/무기하이브리드 코팅용액을 개발하여, 아연도금강판 및 냉연강판 등의 내식성 향상을 적용성을 평가하였다.^(14~20)

본 연구는 6종류의 유/무기 하이브리드 용액을 3종류의 아연도금강판(GI, GA, EGI)에 코팅하여, 염수 분무에 의한 내식성, 부착성, 내비등수성, 문지름 특성 및 내굴곡성을 평가하였다.

2. 재료 및 실험 방법

사용한 재료는 산업용으로 널리 사용되는 두께 1 mm의 용융아연도금강판 (GI, hot-dip galvanized steel sheet), 합금화아연도금강판(GA, galvanized steel sheets) 및 전기아연도금강판(EGI, electrolytic galvanized steel sheet)이다. 도금강판에 부착된 아연의 양과 두께는 Table 1에 나타내었다. KS D 9502 규정에 따라서 제작한 염수분무 시험편의 치수는 구정보다 약간 큰 160 x 90 mm로 만들었다. 시험편 형상은 Fig. 1에 나타내었다. 구정보다 약간 크게 제작한 것은 모서리에서 부식이 시작되는 것을 방지하기 위하여 테이프를 붙이기 위한 여유분이다. 시험편은 이소프로판올에 침지하여 5분간 초음파로 표면의 이물질을 제거하였다.

Table 1 Specification of GI and EGI

Materials	GI	EGI
Specific Character		
Deposited weight of Zn(g/m ²)	122.8	18.4
Thickness of Plating layer(μm)	5.4~7.4	1.6~4.0

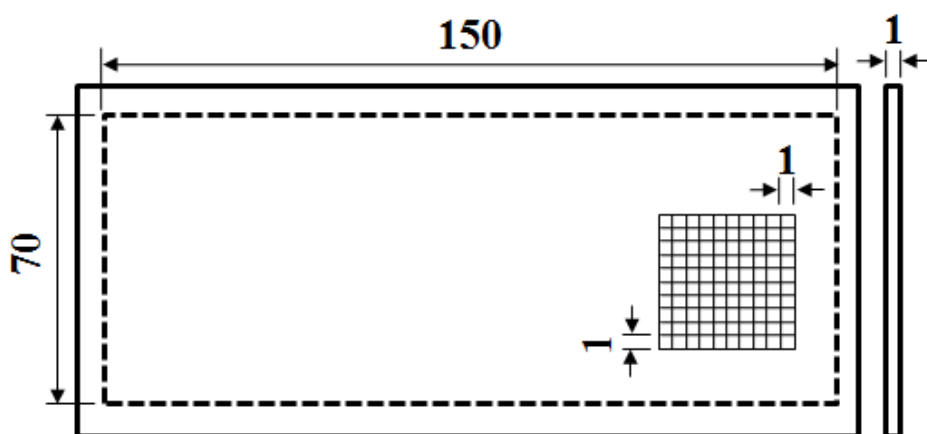


Fig. 1 Dimensions of specimen for salt water spray test

Table 2 Composition of coating solution (wt.%)

Materials	BM	U5	U10	U21	U32	U42
Distilled water	0	64	59	48	37	27
Urethane resin	0	5	10	21	32	42
EtOH	0	21	21	21	21	21
SiO ₂ polysilicate	0	7	7	7	7	7
Melamine	0	3	3	3	3	3

코팅은 습도막 두께 6.86 μm 인 바코터 3호를 사용하였다. 코팅의 경화조건은 190 $^{\circ}\text{C}$ 에서 3분으로 하였다. 이때 경화된 코팅층의 두께는 습도막의 두께에 코팅 용액의 고형분을 곱하면, 1.37 μm 정도이다. 코팅 용액은 일정한 양의 SiO_2 폴리실리케이트 및 멜라민(경화제)에 우레탄 수지양을 변화시키면서 증류수와 에탄올에 혼합하였다. 용액은 (주)프리폴에서 제조한 것으로 Table 2에 나타낸다.

염수분무시험⁽²¹⁾은 사용 강판의 내식성을 조사하기 위하여 염수분무시험기 (ATS-SST900)를 사용하였다. 시험편은 챔버 온도 $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ 인, 45° 거치대에 설치하여, PH7 염수를 분무하였다. 시험편의 외관은 72시간 동안 관찰하였다. 내식성은 일정 시간마다 촬영한 사진으로 부식 발생시간과 부식의 넓이로 판단하였다. Fig. 2는 본 연구에서 실시한 염수분무의 개략도이다.

내비등수성, 문지르기 특성 및 내굴곡성을 평가하였다. 내비등수성과 문지르기 특성은 코팅 시험편을 끓는 물에 1시간 동안 침적한 후 건져내어 표면을 관찰하고, 젖은 상태에서 손가락으로 30회 문질러 표면의 색변화를 관찰하였다. 코팅 표면의 균열 및 박리 등의 발생 유무는 180 $^{\circ}$ 굽혀서 관찰하였다.

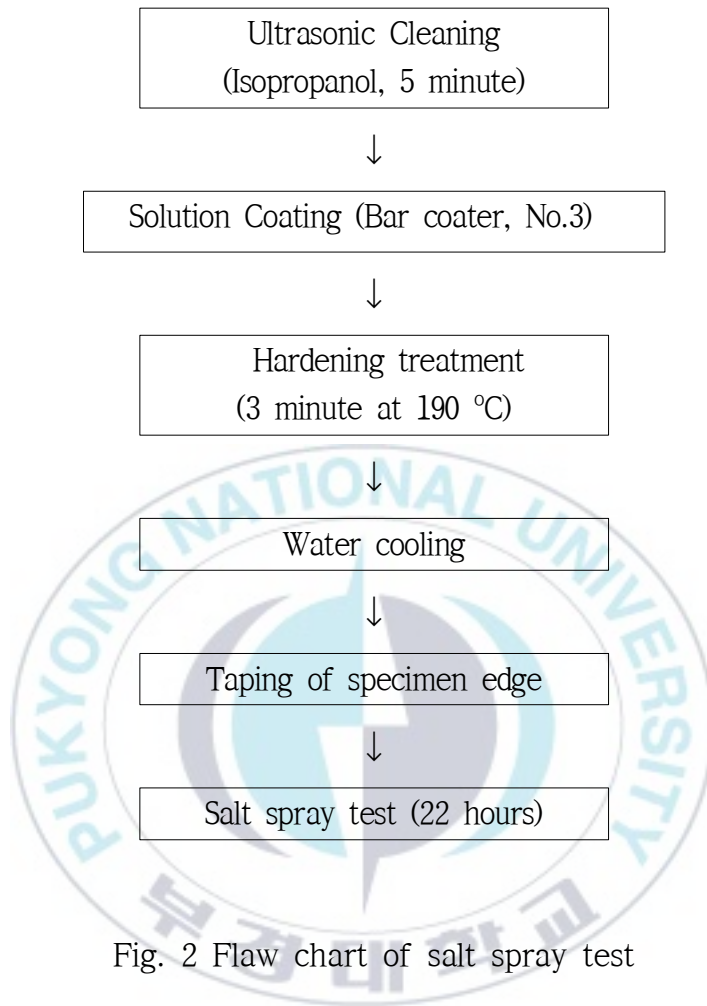


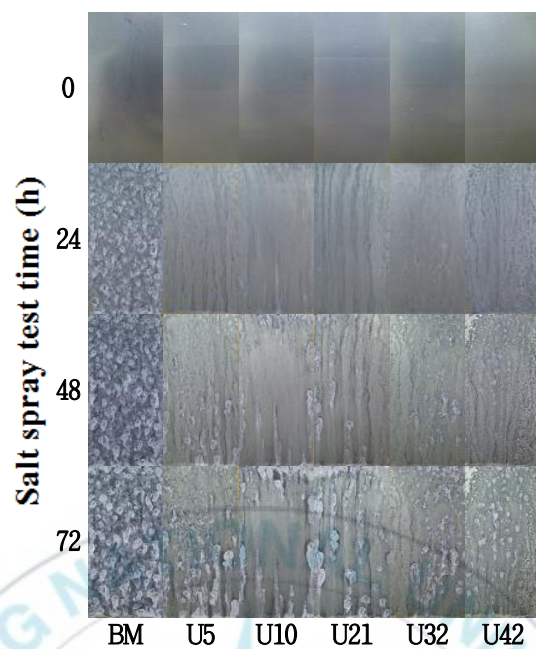
Fig. 2 Flow chart of salt spray test

3. 결과 및 고찰

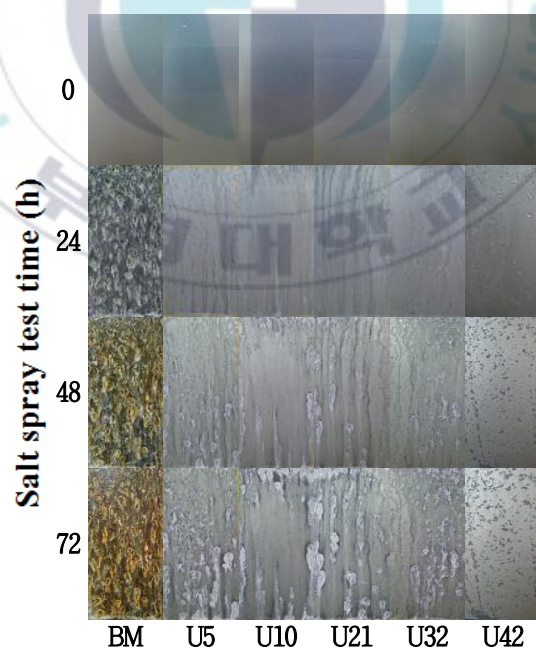
3.1 염수분무에 의한 내식성

모재, U5, U10, U21, U32 및 U42으로 코팅한 GI, GA 및 EGI 시험편을 사용하여, 72시간 염수 분무 시험 후의 외관을 각각 Fig. 3에 나타낸다. Fig. 3에서 (a)는 GI, (b)는 GA, (c)는 EGI 시험편이다. 시험편 종류와 용액에 관계없이, 코팅 시험편은 백청이 나타나는 것을 확인할 수 있었고, 시간이 지남에 따라서 적청이 나타났다.

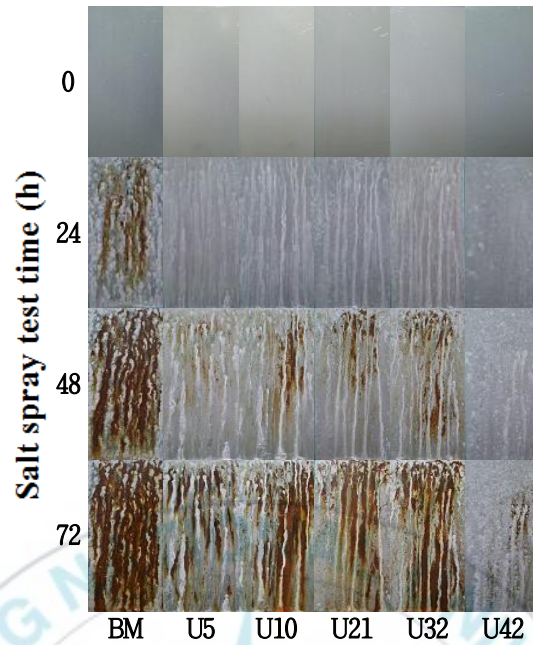
Fig. 4(a),(b),(c)는 5종류의 용액을 코팅한 GI, GA 및 EGI 시험편의 염수분무 시간과 백청(white rust) 비율과의 관계를 각각 나타낸다. (a) GI의 모재는 급격하게 백청이 발생하고, 30시간에서 90% 이상 발생하였다. U5, U21 및 U32는 거의 비슷한 발생을 보이며, U42는 가장 많은 백청을 나타내었다. 그러나 U10은 36시간 및 72시간까지 2개의 직선 구간으로 발생하였으며, 가장 적은 백청을 나타내었다. (b) GA의 모재는 18시간까지 급격하게 백청이 발생하였으나, 그 후는 감소하면서 적청이 나타났다. 그리고 U5, U10, U21, U32 및 U42는 시간의 증가에 따라서 완만하게 증가하였으며, 우레탄의 양이 많을수록 백청이 적게 발생하였다. (c) EGI의 모재는 GA와 비슷하게 12시간까지 백청의 발생이 급격하게 나타났으나, 그 후는 감소하면서 적청이 발생하였다. 그리고 U5, U10, U21 및 U32는 48시간까지 증가하다가, 그 후는 감소하면서 적청이 발생하였다. 한편 U42는 54시간까지 백청의 발생이 증가하다가, 그 후는 일정한 백청을 나타내었다.



(a)

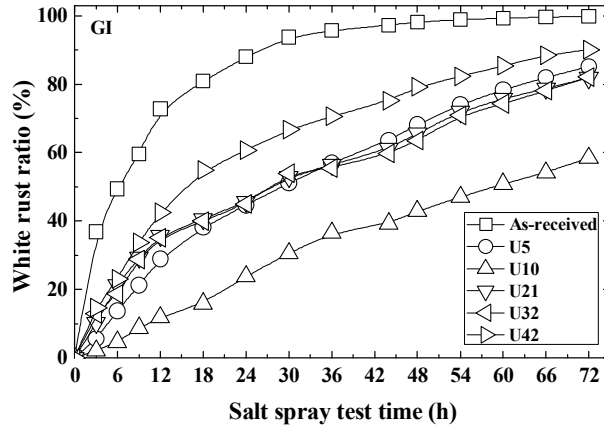


(b)

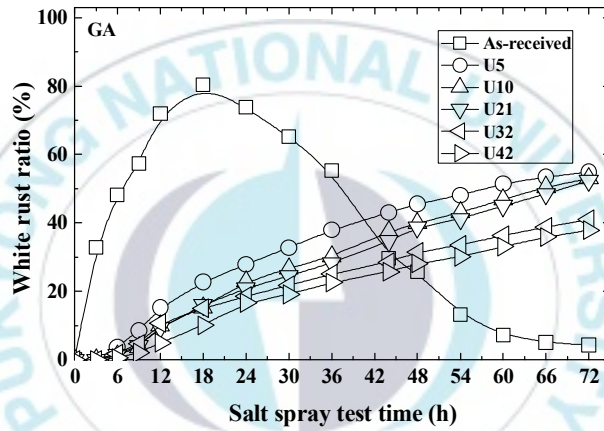


(c)

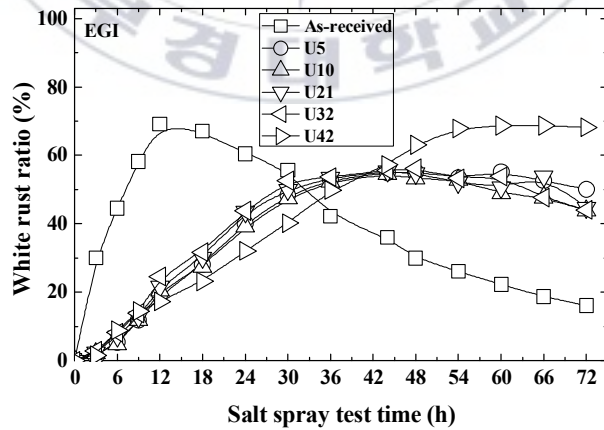
Fig. 3 Appearance after salt spray test. (a) GI, (b) GA, (c) EGI



(a) GI



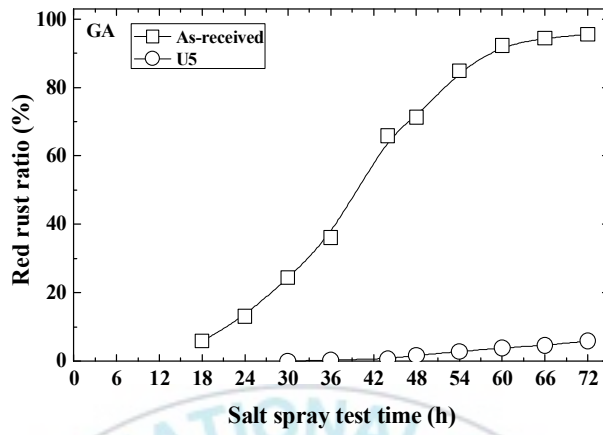
(b) GA



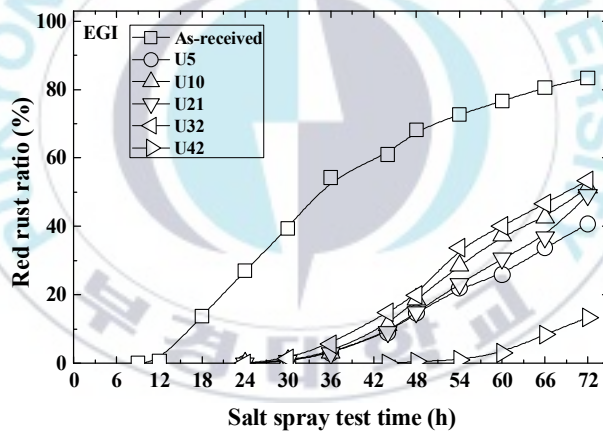
(c) EGI

Fig. 4 Relationship between salt spray test time and white rust ratio. (a) GI, (b) GA, (c) EGI

Fig. 5(a),(b)는 5종류의 용액을 코팅한 GA 및 EGI 시험편의 염수분무 시간과 적청(red rust) 비율과의 관계를 각각 나타낸다. GI는 72시간까지 백청만 발생하여, 나타내지 않았다. (a) GA의 모재는 18시간에서 적청이 발생하기 시작하여, 60시간까지 급격하게 발생하였다. 72시간에서 약 96%의 적청이 발생하였다. 우레탄의 양이 가장 작은 U5는 36시간에서 약 0.3% 정도 발생하기 시작하여, 72시간에 약 6%의 적청이 발생하였다. (b) EGI의 모재는 12시간에서 약 0.6% 정도 소량의 적청이 발생하여, 72시간에 약 83%의 적청이 발생하였다. 그리고 U5는 30시간에 0.5%의 적청이 발생하여, 72시간에 약 41%의 적청을 나타내었다. 한편 U10, U21 및 U32는 30시간에 0.7-1.4% 정도 적은 적청이 발생하였고, 72시간에서 약 50% 전후의 적청이 발생하였다. 그러나 우레탄 양이 가장 적은 U5는 48시간에 0.5% 정도의 미소한 적청이 발생하여, 72시간에서 약 13.4%의 적청이 발생하였다.



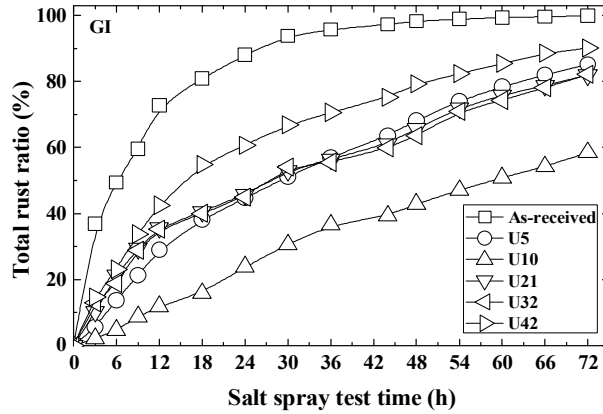
(a)



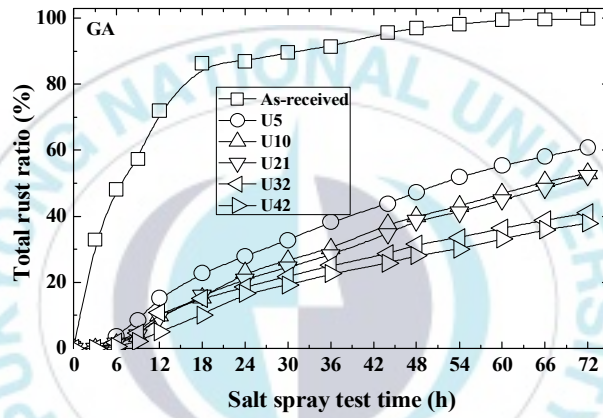
(b)

Fig. 5 Relationship between salt spray test time and red rust ratio. (a) GA, (b) EGI

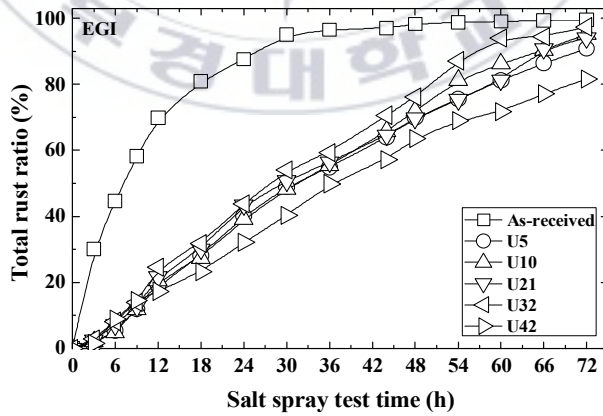
Fig. 6(a),(b),(c)는 5종류의 용액을 코팅한 GI, GA 및 EGI 시험편의 염수분무 시간과 총 녹(total rust) 비율과의 관계를 각각 나타낸다. (a) 백청만 발생한 GI는 Fig. 4(a)에서 설명하였다. (b) GA의 모재는 18시간에서 약 86%의 녹이 발생하였으나, 그 후는 완만하게 증가하면서 72시간에 약 100%의 녹이 발생하였다. 그리고 U5, U10, U21, U32 및 U42는 시간의 증가에 따라서 완만하게 증가하였으며, 우레탄의 양이 많을수록 녹이 적게 발생하였다. 즉, 72시간에서 각각 약 61%, 53%, 52%, 41% 및 38%를 나타내었다. (c) EGI의 모재는 12시간에 약 70%, 30시간에 95%의 녹이 발생하였고, 그 후는 완만하게 증가하여 72시간에 약 10%의 녹이 발생하였다. 그리고 U10, U21 및 U32는 직선적으로 녹이 발생하였으며, 72시간에 약 95% 전후의 녹이 발생하였다. 그러나 U5는 약간 적은 녹이 발생하였으나, U42는 72시간에 약 82%의 녹이 발생하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 Relationship between salt spray test time and total rust ratio. (a) GI, (b) GA, (c) EGI

Table 2, 3 및 4는 염수 분무 시간 72시간에서 각각 백청 면적비, 적청 면적비 및 전체 녹 면적비를 나타낸 것이다.

Fig. 7(a),(b),(c)는 Table 2, 3 및 4를 각각 그래프로 나타낸 것이다. 백청 면적비 (a)에서, GI의 모재는 100% 정도, U5, U21 및 U32는 비슷하였으나, U42는 약 90%의 백청 면적비를 나타내었다. 그러나 U10은 백청 면적비가 약 60%를 나타내었다. 그러나 GA와 EGI의 모재는 아주 적은 백청을 나타내었고, U5, U10 및 U21은 비슷하였다. GA의 U32 및 U42는 더욱 감소하였다. 한편 EGI의 U32는 감소하였으나, U42는 증가하였다. 적청 면적비 (b)에서, GI는 백청만 발생하였으므로 그림에 나타내지 않았다. GA의 모재는 약 96%, U5는 약 6%가 나타났으나, U10, U21, U32 및 U42는 적청이 전혀 발생하지 않았다. GI와 GA 시험편은 우레탄 양이 증가할수록 백청 면적률이 증가하였다. 그러나 EGI는 우레탄 양에 관계없이 거의 비슷하였다.

앞선 연구에서 SiO_2 폴리실리케이트 및 우레탄의 합성에 멜라민 경화제가 가교 역할을 하여, 우수한 내식성을 나타내었다. 그러나 우레탄의 양이 어떤 역할을 하는 것인지 규명이 필요하다.

Table 2는 염수 분무 시간 22시간에서 백청 면적률을 나타낸 것이다. Fig. 5는 Table 2를 그래프로 나타낸 것이다. 이 그림에서 GI와 GA 시험편은 우레탄 양이 증가할수록 백청 면적률이 증가하였다. 그러나 EGI는 우레탄 양에 관계없이 거의 비슷하였다.

앞선 연구에서 SiO_2 폴리실리케이트 및 우레탄의 합성에 멜라민 경화제가 가교 역할을 하여, 우수한 내식성을 나타내었다. 그러나 우레탄의 양이 어떤 역할을 하는 것인지 규명이 필요하다.

Table 2 White rust ratio (%) at 72 hours of salt spray test time

Solution Steel	BM	U5	U10	U21	U32	U42
GI	99.9	85.2	58.5	81.9	82.1	90.1
GA	4.3	54.9	53.0	52.4	41.0	37.9
EGI	16.1	50.1	43.9	44.9	44.0	68.2

Table 3 Red rust ratio (%) at 72 hours of salt spray test time

Solution Steel	BM	U5	U10	U21	U32	U42
GI	0	0	0	0	0	0
GA	95.5	5.9	0	0	0	0
EGI	83.4	40.7	51.3	49.2	53.4	13.4

Table 4 Total rust ratio (%) at 72 hours of salt spray test time

Solution Steel	BM	U5	U10	U21	U32	U42
GI	99.9	85.2	58.5	81.9	82.1	90.1
GA	99.8	60.8	53.0	52.4	41.0	37.9
EGI	99.5	90.8	95.2	94.0	97.4	81.6

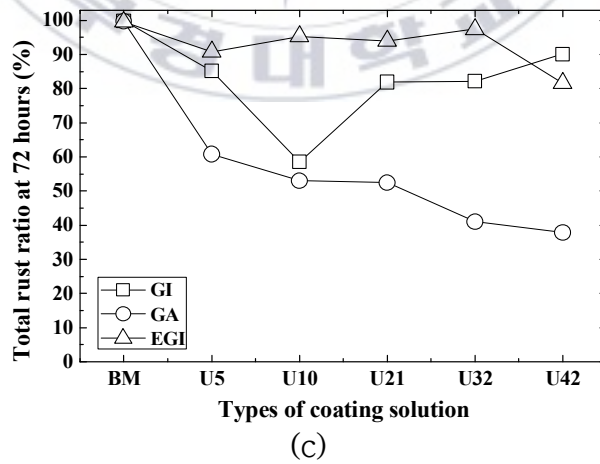
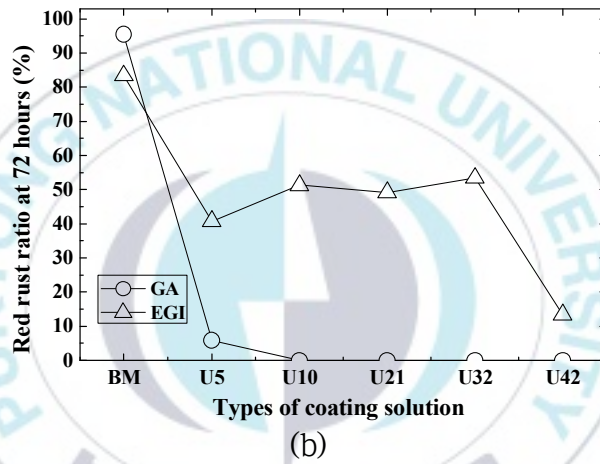
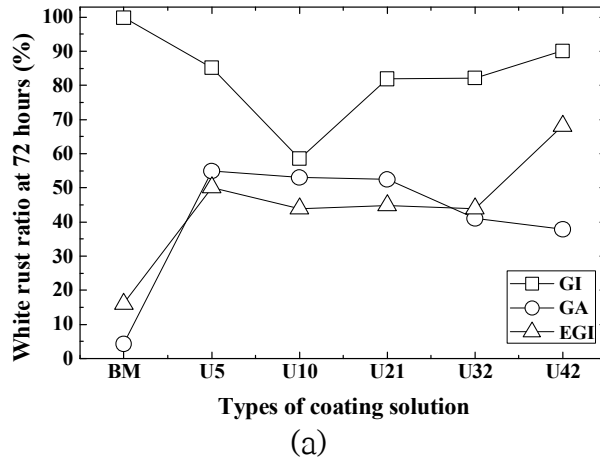


Fig. 7 Relationship between rust ratio and coating solutions at 72 hrs of salt spray test time. (a) White rust ratio, (b) red rust ratio, (c) Total rust ratio

3.2 코팅층의 특성

내비등수성, 문지르기 특성 및 내굴곡성은 4종류의 용액을 3종류의 시험편에 코팅하여, 190 ℃에서 3분 경화 처리하여 평가하였다.

내비등수성 및 문지르기의 Fig. 8 및 Fig. 9에 나타내었다. 4종류의 용액에 대하여 3종류의 강판은 비등수 시험에서 코팅층의 박리 또는 부풀음이 전혀 발생하지 않았고, 문지름에서도 변화가 없었다.

굴곡성의 결과는 Fig. 10에 나타내었다. 3 종류 강판의 굽힘 시험에서 코팅층의 균열 또는 박리가 전혀 발생하지 않았다. 4종류의 용액은 우수한 내굴곡성을 나타내었다.



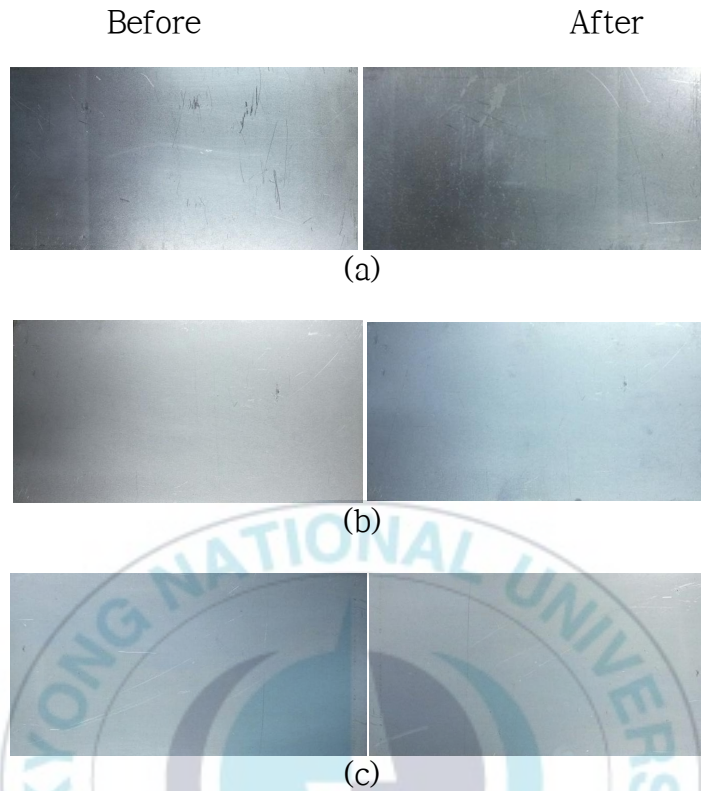


Fig. 8 Results of boiling water resistance test with coating of U10 solution.

(a) GI, (b) GA, (c) EGI

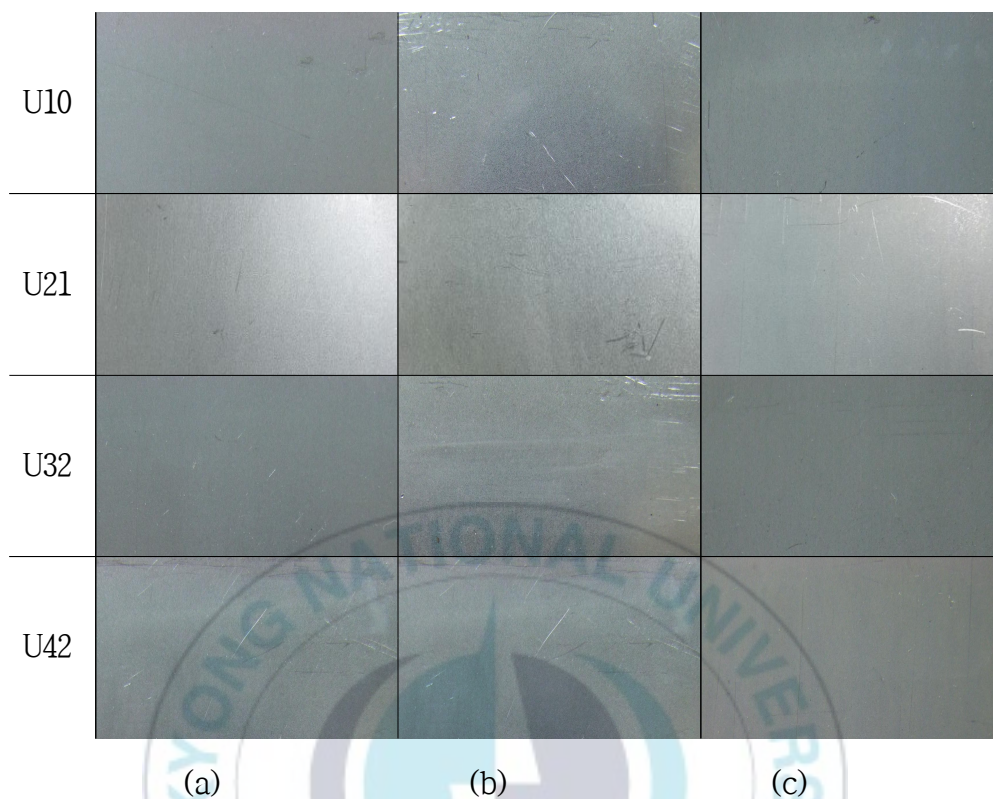


Fig. 9 Results of rubbing test with coating of solutions. (a) GI, (b) EGI, (c) GA

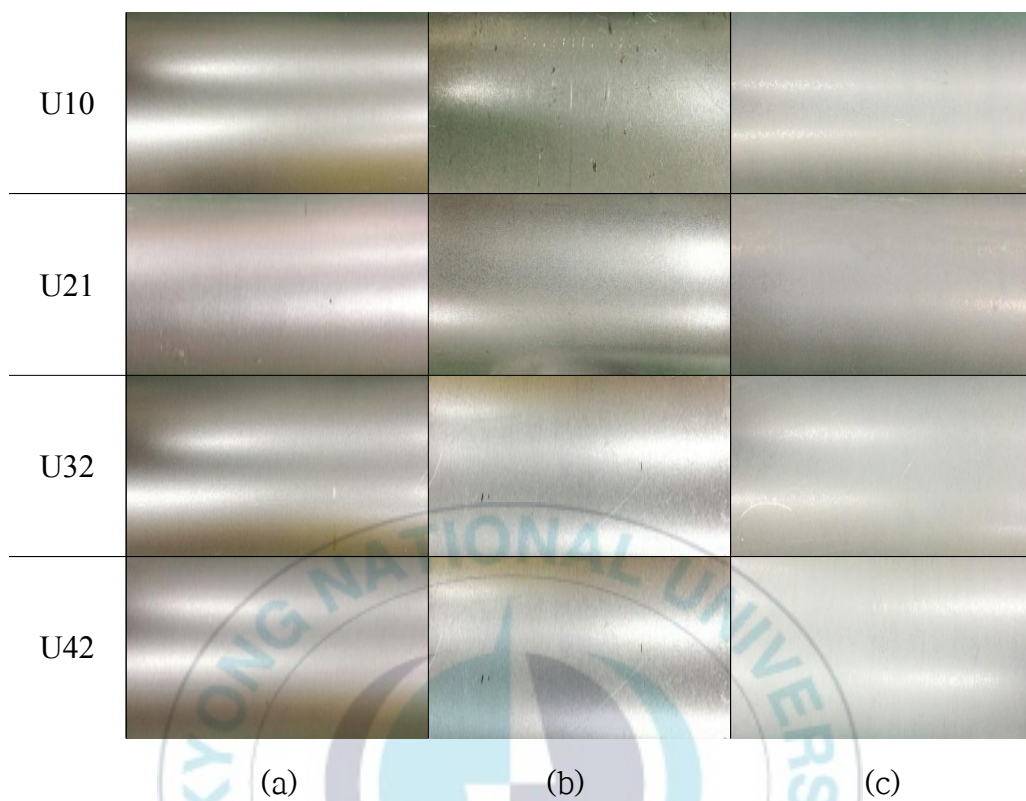


Fig. 10 Results of bending resistance test with coating of solutions. (a) GI, (b) EGI, (c) GA

4. 결 론

본 연구는 우레탄 수지 양을 달리한 고내식 코팅액을 제조하여, 3 종류의 아연도금강판의 내식성 등 제 특성을 평가하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) GI와 GA 강판은 우레탄 수지 양이 증가할수록 내식성이 나쁘게 나타났다. 그러나 EGI는 우레탄 수지 양에 관계없이 비슷한 내식성을 나타내었다. 이것은 향후 연구 과제라 생각한다.
- (2) 내비등수성, 문지르기 특성 및 내굴곡성은 3종류의 아연도금강판에 코팅한 4종류의 코팅액에서 우수한 특성을 나타내었다.
- (3) 코팅액의 우수한 내식성은 SiO_2 폴리실리케이트 및 우레탄 수지에 멜라민 경화제가 가교 역할을 하였다고 판단된다.

References

1. S. W. Kim and C. T. Lee, 2006, "Environment-friendly Trivalent Chromate Treatment for Zn Electroplating ", J. Korean Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 17, No. 5, pp. 433-442.
2. C. T. Lee, 2007, "Enlargement of Anti-corrosion of Zinc Plating by the Trivalent Chromium Sulfate Conversion Coating" , J. Korean Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 18, No. 3, pp. 296-302.
3. M. Kim, J. J. Lee, D. Y. Kim, S. U. Park and S. C. Kwon, 2004, "The Trend of Study of Echo-Friendly Hard Trivalent Chromium Deposition" , J. the Korean Institute of Surface Engineering, Vol. 37, No. 3, pp. 179-184.
4. F. Deflorian, S. Rossi, L. Fedrizzi and P. L. Bonora, 2005, "EIS study of organic coating on zinc surface pretreated with environmentally friendly products ", Progress in Organic Coatings, Vol. 52, No. 4, pp. 271-279.
5. E. N. Michael and P. B. Gordon, 2004, "Mg-rich coatings: A new paradigm for Cr-free corrosion protection of Al aerospace alloys" , J. Coatings Technology and Research, Vol. 1, No. 2, pp 69-80.
6. G. B. Rudolph, G. Hong, M. Suhakar and W. Fariaty, 2003, "Active corrosion protection and corrosion sensing in chromate-free organic coatings" , Progress in Organic Coatings, Vol. 47, Vo. 3-4, pp. 174-182.
7. R. Zandi-zanda, A. Ershad-langroudia. and A. Rahimia, 2005, "Silica based organic-inorganic hybrid nanocomposite coatings for corrosion protection" , Progress in Organic Coatings, Vol. 53, No. 4, pp. 286-291.
8. T. P. Chou, C. Chandrasekaran, S. J. Limmer, S. Seraji, Y. Wu, M. J. Forbess, C. Nguyen and G. Z. Cao, 2001, "Organic-inorganic hybrid coatings for corrosion protection" , J. Non-Crystalline Solids, Vol. 290,

Vo. 2-3, pp. 153-162.

9. H. J. Kim, 1993, "Development of Anti-Finger Printed EGI Steel Sheet with High Corrosion Resistance" , J. the Korean Institute of Surface Engineering, Vol. 26, No. 6, pp. 307-315.
10. J. B. Bajat,, V. B. Miskovic-Stankovic, N. Bibic and D. M. Drazic, 2007, "The influence of zinc surface pretreatment on the adhesion of epoxy coating electrodeposited on hot-dip galvanized steel ", Progress in Organic Coating, Vol. 58, No. 4, pp. 323-330.
11. J. H. Steven, C. Lowe, T. M. James and F. W. John, 2005, "Migration and segregation phenomena of a silicone additive in a multilayer organic coating ", Progress in Organic Coatings, Vol. 54, No. 2, pp. 104-112.
12. M. L. Zheludkevich, S. I. Miranda and M. G. S. Ferreira, 2005, "Sol-gel coatings for corrosion protection of metals ", J. Materials Chemistry, Vol. 15, pp. 5099-5111.
13. N. W. Cho, S. H. Kim and K. T. Kim, 2000, "Silica Coating on Al-Si Alloy by the Sol-Gel Method" , RIST Research Paper, Vol.14, No. 3, pp. 358-363.
14. K. W. Nam, D. W. Kim, N. S. Kim and K. Y. Seong, 2014, "Characteristic of Corrosion Resistance under Different Heat Treatment Conditions of Coated Zinc Coating Steel with Cr-Free Solution" , Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 282, pp. 635-643.
15. K. W. Nam, J. R. Kim and C. M. Choi, 2013, "Corrosion resistance characteristics of cold rolled steel by Cr-free green organic/inorganic hybrid coating solution ", J. Ocean Engineering and Technology, Vol. 27, No. 2, pp. 33-38.
16. K. W. Nam, J. R. Kim and C. M. Choi 2011, "Corrosion resistance of cold rolled steel coated organic/inorganic hybrid coating solution

according to the heat treatment temperature “, J. Ocean Engineering and Technology, Vol. 25, No. 6, pp. 56-59.

17. J. R. Kim, C. M. Choi and K. W. Nam, 2012, “Corrosion resistance of cold rolled carbon steel by treating organic/inorganic hybrid coating solution “, Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 36, No. 4, pp. 405-412.
18. H. S. Seo, H. J. Moon, J. R. Kim, J. S. Kim, S. H. Ahn, C. K. Moon and K. W. Nam, 2010, “Corrosion resistance of galvanized iron by treating modified Si organic/inorganic hybrid coating solution” , J. Ocean Engineering and Technology, Vol. 25, No. 1, pp. 32-38.
19. S. H. Seo, H. J. Moon, J. S. Kim, S. H. Ahn, C. K. Moon and K. W. Nam, 2010, “Corrosion Resistance according to the Heat Treatment Temperature of Cr-free Coating Solution on Zinc Coated Steel” , J. Ocean Engineering and Technology, Vol. 24, No. 5, pp. 60-66.
20. H. S. Seo, H. J. Moon, J. S. Kim, S. H. Ahn, C. K. Moon and K. W. Nam, 2010, “Corrosion Resistance of Zinc Coating Steel coated Cr-free Coating Solution according to the Heat Treatment Time” , J. Ocean Engineering and Technology, Vol. 24, No. 5, pp. 67-74.
21. KS D 9502, 2009, “Neutral, acetic acid and copper-accelerated acetic acid salt spray,”
22. T. Nsongo and M. Gillett, 1995, “Adhesion characterization of titanium and titanium nitride thin coatings on metals using the scratch test” , International J. Adhesion and Adhesives, Vol. 15, No. 3, pp. 191-196.
23. ASTM D3359-09, Standard test methods for measuring adhesion by tape test.

<Refereed Journal and Conference Presentations>

1. 김성민, 정희록, 강창룡, 남기우 (2018), “일정한 SiO_2 폴리실리케이트와 멜라민을 갖는 유/무기 하이브리드 용액에 의한 아연도금강판의 내식특성”, 한국동력기계공학회지 제22 제5호 pp. 36-44.

Sung-Min Kim, Hee-Rok Jeong, Chang-Yong Kang and Ki-Woo Nam (2018), “Corrosion Resistance of Galvanized Steel by Organic/Inorganic Hybrid Solution with Constant Amount of SiO_2 Polysilicate and Melamine”, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 22, No. 5, pp. 36-44.

2. Seong-Min Kim, Hee-Rok Jeong, Shuang Wang, Hyungseok Nam and Ki-Woo Nam (2017), “Odor removal by diatomite”, Proceeding of The Korean Society for Power System Engineering 2017 Spring Annual Meeting, pp. 130-131.

3. 김성민, 정희록, 강창룡, 남기우 (2017), “다공성 세라믹 단일체를 만들기 위한 구조토의 fractography”, 한국동력기계공학회 2017년도 춘계학술대회논문집, pp. 132-133.

Seong-Min Kim, Hee-Rok Jeong, Chang-Yong Kang and Ki-Woo Nam (2017), “Fractograph of diatomite to produce porous ceramic monolith”, Proceeding of The Korean Society for Power System Engineering 2017 Spring Annual Meeting, pp. 132-133.

4. 정성민, 정희록, 김성민, 강창룡, 김선진, 안석환, 남기우 (2017), “유/무기 하이브리드 용액에 의한 아연도금강판의 내식성 (SiO_2 폴리실리케이트와 멜라민의 양이 일정한 경우)”, 한국동력기계공학회 2017년도 춘계학술대회논문집, pp.

134-135.

Seong-Min Jeong, Hee-Rok Jeong, Sung-Min Kim, Chang-Yong Kang, Seon-Jin Kim, Seok-Hwan Ahn and Ki-Woo Nam (2017), “Corrosion Resistance of Galvanized Steel by Organic/Inorganic Hybrid Solution (The Constant Amount of SiO₂ Polysilicate and Melamine)” , Proceeding of The Korean Society for Power System Engineering 2017 Spring Annual Meeting, pp. 134-135.

