

아연분말을 이용한 강재부식 유지보수 효율성 향상 기술 개발

Development of Technology to Improve Maintenance Efficiency of Steel Corrosion using Zinc Powder

김동익*

Dong-Ik Kim*

Researcher, Department of Construction Safety Engineering, Kyonggi University, Suwon, Republic of Korea

*Corresponding author: Dong-Ik Kim, dongik2002@hotmail.com

ABSTRACT

Purpose: This study is intended to improve the performance of traffic signs corroded by aging, to ensure maintenance efficiency, a water-hardened coating solution was developed. Performance tests were then used to determine the optimal component scale. **Method:** For research purposes, the results were analyzed by conducting corrosion resistance assessment, physical properties evaluation, storage safety assessment, etc. on coating solutions of various magnifications. **Results:** The analysis results showed that there was little hearing in the cutting area in the liquid with added magnesium, so the method effect was excellent. And there was little blister occurrence, which was analyzed at the highest magnification. **Conclusion:** Enhancements to future new component scale experiments are needed for water-hardened coating solutions that have been recognized for their performance through this study. And institutional improvement efforts are needed to expand the enforcement of traffic sign maintenance using coating solutions.

Keywords: Zinc Powder, Structural Steel, Rust, Maintenance

요약

연구목적: 본 연구는 건축물 및 교통 시설물 등에 사용중인 강재류가 시간에 흐름에 따라 부식이 발생됨에 따라 부식된 강재의 성능을 향상시키고 유지보수 효율성을 확보하기 위해 수분 경화형 방식 코팅액을 개발하였고, 그 성능 시험을 통해 최적의 성분 배율을 결정하도록 하였다. **연구방법:** 연구를 위하여 다양한 배율의 코팅액에 대해 내식성 평가, 물리적 성질 평가, 저장안전성 평가 등을 시행하여 그 결과를 분석하였다. **연구결과:** 분석결과 마그네슘을 추가로 첨가한 액체에서 커팅 부위에 발청이 거의 없어 방식효과가 우수하였고, 블리스터 발생도 거의 없어 가장 우수한 배율로 분석되었다. **결론:** 본 연구를 통해 그 성능이 인정된 수분 경화형 방식 코팅액에 대해 향후 새로운 성분 배율 실험을 통한 기능 향상과 시행 확대를 위한 제도적 개선 노력이 필요하다.

핵심용어: 강재, 부식, 마그네슘, 수분경화, 방수 코팅

Received | 8 April, 2020

Revised | 9 April, 2020

Accepted | 11 June, 2020

 OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

연구 배경 및 목적

산업기술의 발전과 더불어 건축물이나 시설물에 사용되는 건축 재료도 다양화 되고 계속적으로 새로운 사용 기법 등이 증가하고 있는 추세이다. 하지만 구조적인 측면에서의 안전성을 갖는 건축재료는 현실적으로 강재 류를 주 재료로 사용 하게 되는 것도 사실이다. 특히 교통 시설물 중 교량은 장대화되게 되면 활하중에 비하여 사하중의 영향이 크게 되며 이로 인해 장대교량에는 주로 강 구조물이 사용되고 있다. 그러나 강 구조물의 가장 큰 취약점은 부식이다. 강구조물에 물이 고이거나 또는 염분에 노출이 되는 곳은 필연적으로 부식이 발생 할 수 있다. 일단 부식이 되면 시각적인 면에서 불쾌하고 안전성 면에서도 문제가 될 수 있다. 부식이 발생하게 되면 구조적으로 구조물의 안전성을 떨어질 수 밖에 없다.

부식은 금속이 물이나 토양과 같은 전해질 속에 놓이게 되면 그 표면의 용존 산소, 농도차, 온도차 등 주위 환경 조건의 차이와 금속자체에 함유된 불순물, 잔존응력, 표면 부착물 등의 금속축 원인에 의하여 그 표면에 국부적으로 전위차가 생기게 되고 그 결과 수많은 양극부와 음극부가 형성된다. 이때 양극부에서 음극부로 전류(부식전류)가 흐르게 되는데 이 과정에서 양극부의 금속이 이온 상태로 용출 되어 점차 전해질 속으로 용해 되어가는데 이러한 전기화학 반응을 일반적으로 '부식'이라고 한다. 부식을 방지하는 방법에는 여러 가지 방법들이 있다. 부식에 강한 재료를 사용하거나 수분이나 염분이 절대적으로 강 재료에 접촉을 하지 못하게 하는 방법도 있다. 또는 부식방지제인 방청제를 사용하는 방법과 전기방식법도 있다. 그러나 경제적으로 효율적인 방법은 도료를 사용하여 수분이나 염분이 강 재료에 접촉하지 못하게 하는 것이다. 따라서 본 논문은 건축물 및 교통 시설물의 사용중인 강재의 기능적 성능 확보와 유지보수 효율성을 향상시키기 위한 방안으로 수분 경화형 방식 코팅액을 제시하였다.

본론

수분경화형 도료 성능 평가

샘플 시료의 제작 기준

수분 경화형 방식 코팅 액은 편상의 아연말, 디페닐메탄 디이소시아네이트 프리폴리머(diphenylmethane diisocyanate based prepolymer), 징크 포스페이트(zincphosphate, $Zn_3(PO_4)_2$), p-톨루엔설포닐 이소시아네이트(p-toluenesulfonyl isocyanate), 트리에틸오쏘포미에이트(triethylorthoformiate), 용매 및 기타 첨가제 등의 구성물을 포함하며, 성능 강화를 위해 Mg 분말을 추가하였다. 코팅액의 기능은 녹 속에 있는 수분으로 인해 경화되고, 이로 인해 발칭되는 국소부에 밀착성 및 교 밀도가 우수한 도막을 형성하고, 코팅액은 아연(Zn)과 징크 포스페이트를 함께 사용하여 Fe의 부식과 황변 현상을 방지하도록 하였다. 수분 경화형 방식 코팅액은 p-톨루엔설포닐 이소시아네이트(p-toluenesulfonyl isocyanate), 트리에틸오쏘포미에이트(triethylorthoformiate)등이 원료에 함유된 수분을 없애고 자가 경화하는 것을 막고 또한 공기 중의 습기와 반응하여 경화하는 것을 막아 저장 안정성이 우수한 특성이 있다. 또한 코팅액은 강력 환원제인 Mg 포함이 가능함으로 FeO을 Fe로 환원시켜 철의 부식을 더욱 효과적으로 방지할 수 있다.

디페닐메탄 디이소시아네이트 프리폴리머 46 중량부, 편상의 아연말 15 중량부, 징크 포스페이트 3 중량부, p-톨루엔설포닐 이소시아네이트 2 중량부, 트리에틸오쏘포미에이트 1 중량부, 솔벤트 나프타 10 중량부, 아세테이트 10 중량부, 침전 방

지제 벤토나이트 클레이 10 중량부를 포함하는 코팅액을 만들었고, 이를 표준액으로 명명하였다. 침전 방지제 10 중량부는 벤토나이트 클레이 고형분을 용매에 팽윤시킨 것으로, 실제 벤토나이트 클레이 고형분의 양은 1 중량부이다.

편상의 아연말 대신 편상의 알루미늄 분말을 사용하고 징크 포스페이트를 사용하지 않은 것을 제외하고는 표준액A과 동일하게 하여 비교액A를 만들었다. 그리고 징크 포스페이트를 사용하지 않은 것을 제외하고는 비교액A 조성물과 동일하게 하여 비교액B를 만들었다. 그리고 편상의 아연말 대신 편상의 알루미늄 분말을 사용한 것을 제외하고는 비교액A와 동일하게 하여 비교액C를 만들었다. 위 각 조성물들의 조성을 표로 나타내면 아래 Table 1과 같다.

Table 1. Sample and comparison samples

Ingredient	Comparison A	Comparison B	Comparison C	Standard A
diphenylmethane diisocyanate based prepolymer	46	46	46	46
zinc flake	-	15	-	15
Al flake	15	-	15	-
zinc Phosphate	-	-	3	3
p-toluenesulfonyl isocyanate	2	2	2	2
triethylorthoformiate	1	1	1	1
solvent Naphtha	10	10	10	10
acetate	10	10	10	10
anti-depressants	10 (1)	10 (1)	10 (1)	10 (1)

표본으로 사용한 강재에 국부적으로 발생된 발청 부위에 철의 음극보호(cathodic protection)를 위해 철보다 이온화 경향이 큰 아연을 금속 안료로 사용하여 희생 양극으로 삼아 철의 부식을 방지할 뿐만 아니라 녹을 환원시키고, 습기 경화형 폴리우레탄 수지를 사용하여 그 속에 함유된 반응성 NCO기가 녹 속의 물과 반응하여 탈수화 및 아민 생성 반응을 통해 소지면에 코팅을 형성함으로써 내구성이 우수한 코팅막을 얻을 수 있는 방식 코팅액을 확보할 수 있다. 그리고 아연을 첨가할 수 있으며 구상의 아연말(zinc dust)보다 편상의 아연말(zinc flake)을 사용하면 표면적이 커지기 때문에 방식성이 더 우수해 지는 특성을 가진다.

성능시험 방법론 및 분석결과

수분경화형 방식 코팅 액은 접착성이 우수하고 구도막에도 도장이 가능하여 내마모성, 내용제성, 내후성이 우수하다. 이러한 성능 시험을 위해 각 시료별로 영하(-5°C) 및 고온(50°C), 다습(RH 30 내지 90%)한 환경에서도 도장 가능하고, 일액형이기 때문에 시공의 간편성 확보가 가능하다.

① 내식성 평가

기준이 되는 표준액과 비교액을 이용해 옥외폭로 내식성 시험과 염수분무 내식성 시험을 시행하였다.

옥외폭로 내식성 시험은 (a) 시편재질 및 두께: 발청된 철판 드럼, 2T(두께 2mm), (b) 도장방법: 건조 도막 두께 40~50 μ m 기준으로 롤러 1회 도장, (c) 시험방법 및 기간: 옥외폭로, 24개월 의 기준을 적용하였다.

실험 1 : 징크 포스페이트를 첨가하지 않은 액에서 편상의 알루미늄 분말과 편상의 아연말의 내식성 비교

실험 1의 결과는 아래의 Table 2와 Fig. 1에서와 같이 안료로 편상의 알루미늄 분말을 사용하면서 징크 포스페이트를 첨가하지 않은 샘플액A는 커팅 주변으로 발청이 많이 되었고, 안료로 편상의 아연말을 사용하면서 징크 포스페이트를 첨가하지 않은 샘플액B도 커팅 주변으로 미세 발청이 생긴 것으로 나타났다. 두 액상을 비교한 결과 샘플액B의 내식성이 다소 우수한 것으로 나타났다.

Table 2. The comparison of sample A and sample B

Contents	Sample A	Sample B
Results	corrosion around cutting part	tiny corrosion around cutting part



Fig. 1. The comparison of sample A and sample B

실험2 : 징크 포스페이트 첨가 유무에 따른 내식성 비교

실험2의 결과는 Table 3과 Fig. 2에서와 같이 안료로 편상의 아연말을 사용하였지만 징크 포스페이트를 첨가하지 않은 샘플액B는 시편 아래 쪽으로 많은 핀포인트가 발청되었으나, 안료로 편상의 아연말을 사용하고 징크 포스페이트를 첨가한 표준액A는 핀포인트 발청이 거의 되지 않아 내식성이 더 우수한 것으로 나타났다.

Table 3. The comparison of sample B and standard A

Contents	Sample B	Standard A
Results	Pin Point corrosion	Few Pin Point corrosion



Fig. 2. The comparison of comparison A and comparison B

실험3 : 징크 포스페이트를 첨가한 조성물에서 편상의 알루미늄 분말과 편상의 아연말의 내식성 비교

실험3은 Table 4와 Fig. 3에서와 같이 안료로 편상의 알루미늄 분말을 사용하면서 징크 포스페이트를 첨가한 샘플액C는 샘플액A와 샘플액B보다는 괜찮았지만 황변 현상이 발생하였다. 하지만 안료로 편상의 아연말을 사용하면서 징크 포스페이트를 첨가한 비교액A는 황변 현상이 발생하지 않은 것으로 분석되어 표준액A의 내식성이 더 우수한 것으로 나타났다.

Table 4. The comparison of sample C and standard A

Contents	Sample C	Standard A
Results	Yellowing	good



Fig. 3. The comparison of sample C and sample comparison A and comparison B

② 염수분무 내식성 평가

기준이 되는 표준액A와 샘플액C를 아래와 같이 전 처리 된 시험편에 건조도막 50 μm의 두께로 하도 도장과 그 위에 우레탄 톱코트를 건조도막 50 μm의 두께로 상도 도장을 하였다. 염수분무 내식성 평가는 (a) 시험 재질 및 두께: 냉간압연철판, 2T, (b) 전처리: St3(동력공구를 사용하여 녹을 제거하는 전처리), (c) 시험 방법 및 기간: 염수분무(ASTM D-3359), 1,200시간의 기준을 적용하였다.

실험 1 : 표준액A와 샘플액C(편상의 알루미늄 분말과 편상의 아연말의 내식성 비교)

Table 5에서는 실험 1의 결과 안료로 편상의 알루미늄 분말을 사용하면서 징크 포스페이트를 첨가한 샘플액C는 아래의 Table 4에서와 같이 커팅 주변에 많은 발청이 생겼으나, 안료로 편상의 아연말을 사용하면서 징크 포스페이트를 첨가한 표준액A는 커팅 주변에 거의 발청이 되지 않은 것으로 분석되었다.

Table 5. The comparison of sample C and standard A

Contents	Sample C	Standard A
Results	corrosion around cutting part	Few corrosion



Fig. 4. The comparison of sample C and standard A

③ 물리적 성질 평가

비교액A와 표준액의 물리적 성질을 평가하기 위해 밀착성 실험은 아래의 Fig. 5에 기준을 둔 시험규격 ASTM D 3359을 적용한 크로스 컷(cross cut) 법으로 측정하였다.

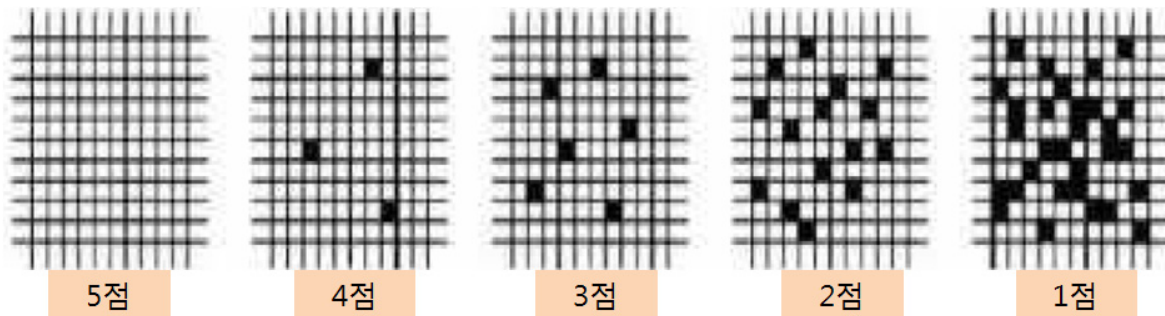


Fig. 5. Cross cut measurement method

내충격성은 듀폰식 충격시험기를 사용하였고, 이는 추무게 500g, 1/4 인치 봉을 높이 50 cm를 낙하 기준으로 설정하고, 그 결과는 아래 Table 6와 같이 수분 경화형 방식 코팅액의 물리적 성질은 모두 적절히 우수한 것으로 조사되었다.

Table 6. Impact resistance test results

Ingredient	Sample A	Sample B	Sample C	Standard A
adhesion	5	4	4	5
longitude	2H	1H	1H	2H
shock resistance	good	good	good	good

④ 저장 안전성평가

저장안전성을 평가하기 위한 표준액A, B와 샘플액D, E의 성분 조성은 아래의 Table 7과 같고 해당 액은 제조 직후부터 1년 후까지 용기 내 상태와 점도를 평가하였다.

Table 7. Sample samples and comparison samples

Ingredient	Comparison D	Comparison E	Standard A	Standard B
diphenylmethane diisocyanate based prepolymer	46	46	46	46
zinc flake	15	15	15	15
zinc Phosphate	3	3	3	3
p-toluenesulfonyl isocyanate	-	2	2	2
triethylorthoformiate	-	-	1	1
solvent Naphtha	10	10	10	10
acetate	10	10	10	10
anti-depressants	10(1)	10(1)	10(1)	10(1)
3A molecular sieve	3	-	-	2

Table 8과 같이 분석결과 p-톨루엔설폰일 이소시아네이트와 트리에틸오쏘포미에이트를 미첨가한 샘플액D는 제조 후 1주일 부터 팽윤이 시작하고, 1개월 후 겔화 되었다. 이후 1개월 후부터는 점도 측정이 불가능하였다. p-톨루엔설폰일 이소시아네이트만 첨가한 샘플액E는 제조 1개월 후부터 팽윤이 시작되었고, 1개월 후부터는 25°C에서 측정한 점도도 90 KU 이상으로 높았다. 그러나 p-톨루엔설폰일 이소시아네이트와 트리에틸오쏘포미에이트를 모두 첨가한 표준액A는 1년이 지나도 팽윤되지 않고, 점도 역시 82 KU로 양호한 상태를 기록하였다. p-톨루엔설폰일 이소시아네이트와 트리에틸오쏘포미에이트 외에 제올라이트(3Å)까지 첨가한 표준액B 역시 1년 경과 후에도 팽윤되지 않고, 1년 후 점도도 77 KU로 양호하였다.

Table 8. Storage safety evaluation result

Ingredient	ComparisonD	ComparisonE	StandardA	StandardB	
the inside condition of a container	Right after manufacture	good	good	good	good
	a week later	swelling		good	good
	a month later	gelation	swelling	good	good
	6 month later		swelling	good	good
	a year later		swelling	good	good
viscosity (KU, 25°C)	Right after manufacture	78	76	75	78
	a week later	120	85	76	77
	a month later	unable to measure	90	78	76
	6 month later	unable to measure	92	80	78
	a year later	unable to measure	92	82	77

⑤ Mg 분말 첨가 여부에 따른 내식성 평가

편상의 아연말을 15 중량부 대신 10 중량부를 사용하고 Mg 분말 5 중량부를 추가로 첨가한 것을 제외하고는 표준액A와 동일하게 하여 표준액C를 만들고 이에 대한 내식성 평가를 시행하였다. 즉, Table 7과 같이 안료로 편상의 아연말을 사용한 표준액A와 안료로 편상의 아연말과 마그네슘 분말을 함께 사용한 표준액C의 옥외폭로 내식성을 비교하였고, 실험 조건은 (a) 시편 재질 및 두께 : 녹이 발생된 냉간압연철판, 2T, (b) 전처리 : St2(연마지 사용 녹 제거 전처리), (c) 도장 방법 및 도막 두

께 : 롤러 사용해서 건조 도막 50 μm 도장, (d) 시험방법 및 기간: 염화칼슘 용액(5중량%)에 1일간 침지한 후 옥외폭로, 3개월로 설정하였다.

Table 9. Results of corrosion resistance evaluation based on the addition of Mg powder

Ingredient	Standard A	Standard C
diphenylmethane diisocyanate based prepolymer	46	46
zinc flake	15	10
Al flake	-	-
zinc Phosphate	3	3
p-toluenesulfonyl isocyanate	2	2
triethylorthoformiate	1	1
solvent Naphtha	10	10
acetate	10	10
anti-depressants	10 (1)	10 (1)
magnesium	-	5

시험조건에 맞추어 실험 후 3개월 후에 표준액A와 표준액C의 외관을 비교한 결과 표준액A는 커팅 부위에 발청이 거의 발생하지 않아 방식 효과가 매우 우수한 것으로 나타났으나 약간의 블리스터(blister)가 발생하였다. 마그네슘을 추가로 첨가한 표준액C는 블리스터의 발생이 거의 없었고 외관 상태도 표준액A보다 양호한 것으로 나타났다.



Fig. 6. The comparison of standard A and standard C

결론

본 논문은 건축물 및 교통 시설물의 사용중인 강재의 기능적 성능 확보와 유지보수 효율성을 향상시키기 위한 방안으로 수분 경화형 방식 코팅액을 제시하였다. 수분 경화형 방식 코팅액의 성분은 편상의 아연말, 디페닐메탄 디이소시아네이트 프리 폴리머, 징크 포스페이트, p-톨루엔설포닐 이소시아네이트, 트리에틸오소포미에이트(triethylorthoformiate), 용매, 기타 첨가제 등으로 구성되고, 세부적으로 성분의 배율 변화와 첨가물의 종류에 따라 그 성능이 달라질 수 있다. 따라서 기능이 저하된 강재의 재생과 유지보수 효율성을 위한 최적 대안을 설정하기 위해 성분변화에 따른 내식성 평가, 물리적 성질 평가, 저장 안전성 평가 등을 시행하였고, 그 결과 다음의 결론을 도출하였다.

첫째, 안료로 편상의 아연말을 사용하고 징크 포스페이트를 첨가한 표준액A에서 핀포인트 발청이 거의 되지 않아 내식성이 우수한 것으로 나타났다.

둘째, 옥외폭로 내식성 시험에서 편상의 아연말을 사용하면서 징크 포스페이트를 첨가한 표준액A에서 황변 현상이 발생하지 않았고, 커팅 주변에 거의 발청이 되지 않은 것으로 분석되어 염수분무 내식성이 더 뛰어난 것으로 분석되었다.

셋째, 물리적 성질 평가를 위한 두펀식 충격시험기를 통한 측정결과 내충격성은 샘플액A, B, C와 표준액A에서 모두 우수한 수준으로 측정되었다.

넷째, 마그네슘을 추가로 첨가한 액체에서 커팅 부위에 발청이 거의 없어 방식효과가 우수하였고, 블리스터 발생도 거의 없어 가장 우수한 배율로 분석되었다.

References

- [1] Kim, H.-J., Park, C.-H., Kim, D.-Y., Choi, M.-H. (2016). "Effects of surface Iron particles on corrosion speed of magnesium plate." The Korean Institute of Surface Engineering, Vol. 5, pp. 58-59.
- [2] Lee, C.-S., Yoon, I.-S., Park, J.-H. (2003). "Prediction of time to corrosion for concrete bridge decks exposed to de-icing chemicals." Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 15, No. 4, pp. 606-614.
- [3] Park, I.-D., Yoon, O.-N., Nam, K.-W. (1997). "A mechanical properties and corrosion fatigue life of aluminum alloy sheets for autobodies." Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 11, No. 2, pp. 57-69.