

## 하도 및 상도 수지에 따른 폴리아닐린 방청도료의 특성

공승대\* · 박진우\*\* · 김태옥†

명지대학교 공과대학 화학공학과

\*한국환경자원공사 기술센터

\*\*씨엠솔루션

(2007년 9월 21일 접수 ; 2007년 12월 10일 채택)

### Characteristics of Polyaniline Anti-Corrosive Coatings with Primer and Top Coating Resins

Seung-Dae Kong\* · Jin-U Park\*\* · Tae-Ok Kim†

Department of Chemical Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea  
\*Technology & Research Center, Korea Environment & Resources Corporation, Incheon  
404-170, Korea

\*\*C.M.Solutions, Ansan 426-701, Korea

(Received September 21, 2007 ; Accepted December 10, 2007)

**Abstract** : Characteristics of polyaniline anti-corrosive coatings with various primer coating resins(epoxy resin, urethane resin, and others) and top coating resins(epoxy and acrylic urethane resins) were investigated through adhesion, acid resistance, alkaline resistance, water resistance, and anti-corrosion tests. As a result, the anti-corrosive properties of the prepared coatings using polyaniline varied with the types of primer and top coating resins. In this condition, the properties of adhesion, chemical resistance, and water resistance were found to be very satisfactory when using emeraldine base (EB) of polyaniline blended with single-packaged urethane and acrylic urethane resins as the primer coatings, and using acrylic urethane resin as the top coatings. Also, the anti-corrosive function of these anti-corrosive coatings was well preserved for 1000 hr in the salt spray experiment.

**Keywords** : anti-corrosive coatings, polyaniline, coating resin, anti-corrosion.

### 1. 서론

금속은 환경에 따라 표면에 접하는 물질과 반응하여 안정한 화합물이 되려고 하며, 이와 같은 결과로 금속면에 생성된 산화물이나 수산

화물인 녹(rust)에 의해 표면이 소모되어 간다. 특히, 철근 및 철골의 경우에는 그 표면에 산화 피막이 형성되어 안정된 상태로 되며, 산화피막의 구조는 내부에서 표면 쪽으로 갈수록 산화 정도가 높은 구조( $\text{Fe} \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )로 되어 있다.

철강의 적색 녹은  $2\text{Fe} + \text{O}_2 = 2\text{FeO}$ ,  $2\text{Fe}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,  $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 =$

†주저자 (e-mail : kimto@mju.ac.kr)

4Fe(OH)<sub>3</sub>와 같이 산소와 수분의 존재로 수산화물이 되며, 이 녹은 다공성이기 때문에 흡습성이 있고, 금속을 부식하는 염류나 가스를 흡착하기 쉽기 때문에 확산되어 간다. 철이 부식하게 되면 강도 변화를 초래하는데, 철재 두께의 1%가 녹으로 변할 경우 강도는 5~10% 줄고, 양면에서 5%의 녹이 발생하면 철의 기능을 상실하게 된다.

따라서 각종 금속, 특히 철이 녹스는 것을 방지하기 위해 방청도료가 사용되는데, 공기, 물, 이산화탄소 등의 작용에 의해 금속이 녹슬기 때문에 방청도료는 이들과 금속면과의 접촉을 방지하고, 화학적으로 녹의 발생을 막는 작용을 해야 한다. 따라서 하도(primer coatings)는 바탕금속에 대한 부착력이 강해야 하고, 상도(top coatings)는 도막이 공기나 수분을 통과시키지 않고, 흡수성이 좋으며, 균열이 잘 생기지 않을 뿐만 아니라 내후성과 내구력이 커야 한다.

방청도료에는 건성유와 방청안료를 조합한 유성 페인트가 대부분이며, 아직도 광명단(사삼산화납)과 보일유를 조합한 광명단 페인트가 널리 사용되고 있다. 광명단 대용의 방청도료는 아연분말, 아산화납, 염기성 크롬산아연(아연황) 및 염기성 크롬산납(징크로메이트) 등의 안료를 사용한다[1-3]. 최근에는 알루미늄, 아연, 주석 등의 금속에 대한 방식처리에 염기성 크롬산아연과 인산 및 부티탈 수지를 알코올, 케톤, 물로 된 혼합용제로 분산시킨 도료(에칭 프라이머)가 선박, 차량, 일반 금속재의 도장을 방식처리하고 이어서 도장하는 데 널리 사용되고 있다[4-7].

도막은 부식 환경에 폭로되면 시간이 지날수록 열화가 진행되므로, 적절한 시기에 재 도장을 실시하여 방식효과를 유지할 필요가 있다. 이것은 재 도장에 의해 도막을 갱신하고, 방식효과를 장기간 유지할 수 있는 장점이 있지만, 초기 도장비 외에 도장의 유지관리를 위한 비용이 필요한 것이 단점이 될 수 있다. 이러한 경제성과 기능성 및 환경적인 특성을 보완·대체하기 위하여 부식방지를 위한 새로운 소재의 개발 및 연구가 선진국을 중심으로 활발하게 진행되고 있다[8-10].

본 연구에서는 환경적이고 기능성이 부여된 새로운 소재인 폴리아닐린을 이용한 강 구조물용 방청도료의 제조 및 특성 연구[11]에 이어 하도 및 상도 수지에 따른 폴리아닐린 방청도

료의 특성을 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약 및 재료

아닐린은 Tokyo Chemical Industry사 제품을 진공증류하여 사용하였고, 산화제인 ammonium persulfate와 도판트(dopant)인 HCl은 Merck사 제품을 그대로 사용하였다. 방청안료는 환원형 (EB) 및 산화형 (ES) 폴리아닐린을 직접 합성하여 사용하였고, 하도 제조용 합성수지인 polyvinylbutyral (PVB)은 일본 Sekisui화학(상품명: S-Lec BM2) 제품을, cellulose acetate propionate (CAP)와 cellulose acetate butyrate (CAB)는 미국 Eastman사 제품을 용액으로 제조하여 사용하였다. 이때, 도료용 용매인 크실렌, 톨루엔, *n*-부탄올 및 butyl cellosolve는 모두 Sigma Chemical사 1급 시약을 사용하였다.

### 2.2. 도료 제조

#### 2.2.1. 하도 제조

폴리아닐린과 함께 사용된 하도수지는 전도성 고분자인 폴리아닐린과의 혼용성, 산과 알칼리 저항성 및 전기적 특성을 고려하여 PVB 수지와 에폭시 수지(국내 페인트제조회사 YD-011)의 블랜드, 에폭시 에스터(epoxyester) 수지, 에폭시 수지, CAP, 아크릴 우레탄(2액형) 등의 일반 범용수지와 세라머 및 열가소성 우레탄(1액형) 등을 특수하게 합성하여 사용하였다. 또한 방청성을 비교하기 위하여 에폭시 zinc 프라이머(국내 페인트제조회사 슈퍼폭시 121)와 폴리아닐린을 사용한 방청 프라이머(독일 Ormecon사 Corpassive 4900)는 그대로 사용하였다.

#### 2.2.2. 상도 제조

상도는 기존 제품인 2액형 에폭시 도료(국내 페인트제조회사 에포마)와 2액형 아크릴-우레탄 도료(국내 페인트제조회사 스피롤탄)를 그대로 사용하였다.

### 2.3. 방청도료의 시편 제작 및 물성시험

### 2.3.1. 시편 제작

본 실험에서 사용한 시편은 도료의 일반 시험방법(KS M 5000)에 따른 조건에 맞추어 물성시험을 하기 위해 냉간압연강판(KS D 3512)을 KS M 5000-1111의 시험방법 4.4(도료의 시험용 철판의 제작방법) 즉, 기계적 전처리를 하는 시편의 규격에 맞추어 준비한 판넬 위에 하도를 건조도막 두께가 20  $\mu\text{m}$ 가 되도록 스프레이 코팅하여 상대습도 50 $\pm$ 4%, 온도 23 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$ 의 항온 항습실에서 7일간 건조시켰다. 특히, 하도가 에폭시 아연인 경우에는 추천된 건조도막 두께인 70  $\mu\text{m}$ 이 되도록 하였다. 그리고 상도로 사용된 도료는 추천된 건조도막 두께인 70  $\mu\text{m}$ 이 되도록 스프레이 코팅하여 상대습도 50 $\pm$ 4%, 온도 23 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$ 의 항온 항습실에서 7일간 건조시켰다.

### 2.3.2. 접착성 시험

도료의 접착성 시험은 ASTM D 3359의 cross-cut 시험방법에 따라 시편의 도막 위에 칼로 흠집을 내고, 흠집이 난 부위가 고르게 부착되도록 셀로판테이프를 밀착을 시킨 뒤 이를 박리시켜, 흠집이 생긴 부위의 도막박리 상태를 육안으로 비교하여 5A~0A로 구분하여 평가하였다. 이때, 5A는 박리가 전혀 없는 상태를 나타내고, 0A는 완전 박리된 상태를 나타낸다.

### 2.3.3. 내산성 및 내알칼리성 시험

내산성 및 내알칼리성은 KSM 5000-3411의 건조도막의 침지저항 시험방법에 따라 시편을 각각 5% HCl 및 5% NaOH 수용액에 72시간 동안 침지시킨 후 blistering이나 60 $^{\circ}$  경면광택도 변화를 육안으로 측정하여 우수(excellent), 양호(good), 보통(normal) 및 불량(poor)의 4 단계로 구분하여 판정하였다.

### 2.3.4. 염수분무 폭로시험

염수분무 폭로시험은 ASTM B-117에 따른 방법으로, 처리한 시편을 ASTM D 1654의 method 2(scraping)에 따라 X자로 scribed areas를 만들어 KS D 9502에 의하여 5 wt%의 NaCl 수용액이 35 $^{\circ}\text{C}$ 로 분사되는 salt spray에 넣어 폭로시키고, 폭로시간에 따른 도막상태를 확인하였다. 이때, 염수분무 시험장치는 KS규격에 의하여 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

하도수지는 PVB, 아크릴, 에폭시, 에폭시 에스테르, 아크릴 우레탄(2액형) 및 우레탄 수지(TPU)를 사용하고, 상도수지는 현재 범용적으로 사용되고 있는 에폭시 및 우레탄 수지를, 그리고 폴리아닐린은 ES와 EB 분말 그 자체를 사용하여 부착성, 내산성, 내알칼리성, 내수성 및 염수분무시험을 통해 방청효과 등 방청도료의 특성을 살펴보았다. 또한 국외에서 시판중인 상품과 비교하기 위하여 시제품인 Corpassive 4900(독일, Ormecon사), 유기아연 및 무기아연 도료를 구입하여 동일한 조건에서 비교·실험하였다.

### 3.1. PVB, CAB 및 아크릴 수지

Table 1 및 Fig. 1~Fig. 3은 하도수지로 PVB, CAB 및 아크릴 수지를, 그리고 상도수지로 우레탄 및 에폭시 수지를 사용한 경우에 방청효과에 대한 실험결과를 나타낸 것이다. 이때, PVB는 내약품성은 다소 약하지만 일시 방청용으로 사용되는 수지이다.

Table 1에서와 같이 PVB와 ES의 블랜드는 부착성이 우수하지만 수지의 특성상 내약품성의 단점을 나타내었다. 그러나 PVB와 EB의 블랜드는 부착성이 떨어지지만 내약품성은 우수하였는데, 이것은 폴리아닐린의 양성자가 수지에 영향을 주는 것으로 생각된다. 그리고 상도수지로는 우레탄이 에폭시보다 다소 양호하게 나타났다. 또한 300시간의 염수분무 폭로시험에서는 방청안료에 따른 방청효과가 크게 차이가 나지 않으나 시간이 경과함에 따라 다소 차이를 나타내었다. 이것은 PVB 수지와 ES의 블랜드 경우 내수성 실험에서 다소 부풀음 현상을 나타내어 외부환경과의 물질이동이 상대적으로 높은 것으로 생각된다[5].

PT-3과 PT-4는 하도수지로 CAB를 사용하고, 방청안료는 ES와 EB를 각각 사용한 경우로, 건조가 빠르며, 도막이 깨지기 쉽고, 부착력이 매우 저조하였다. 그러나 상도로 우레탄 수지와와의 조합은 내약품성에서 우수하였다. 또한 염수분무시험에서 기포가 발생되었으나 방청효과는 매우 양호하게 나타났으며, 방청성은 ES나 EB가 비슷하게 나타났다. 따라서 부착력을 증진시킨다면 매우 우수한 방청도료로 생각되며, 앞으로 연구할 가치가 있는 것으로 판단된다.

Table 1. Characteristics of Anti-Corrosive Coatings at Various Primer and Top Coating Resins(PVB, CAB, Acrylic/Epoxy, Urethane)

| Primer coating resin |          | PVB  |      | CAB  |      | Acrylic |      |
|----------------------|----------|------|------|------|------|---------|------|
| Sample No.           |          | PT-1 | PT-2 | PT-3 | PT-4 | PT-5    | PT-6 |
| Aniline type         |          | ES   | EB   | ES   | EB   | ES      | EB   |
| Adhesion             | Epoxy    | 5A   | 3A   | 0A   | 0A   | 5A      | 5A   |
|                      | Urethane | 5A   | 3A   | 3A   | 5A   | 0A      | 4A   |
| Acid resistance      | Epoxy    | △    | ○    | △    | ○    | ○       | ◎    |
|                      | Urethane | ○    | ◎    | ◎    | ◎    | ◎       | ◎    |
| Alkaline resistance  | Epoxy    | △    | ◎    | ◎    | △    | △       | ◎    |
|                      | Urethane | ◎    | ◎    | ◎    | ◎    | ◎       | ◎    |
| Water resistance     | Epoxy    | ◎    | ○    | △    | △    | △       | ◎    |
|                      | Urethane | △    | ○    | △    | ◎    | ◎       | ◎    |
| Anti-corrosion test  | Epoxy    | ○    | ○    | ○    | ○    | △       | ○    |
|                      | Urethane | ○    | ○    | ○    | △    | △       | ×    |

◎: excellent, ○: good, △: normal, ×: poor

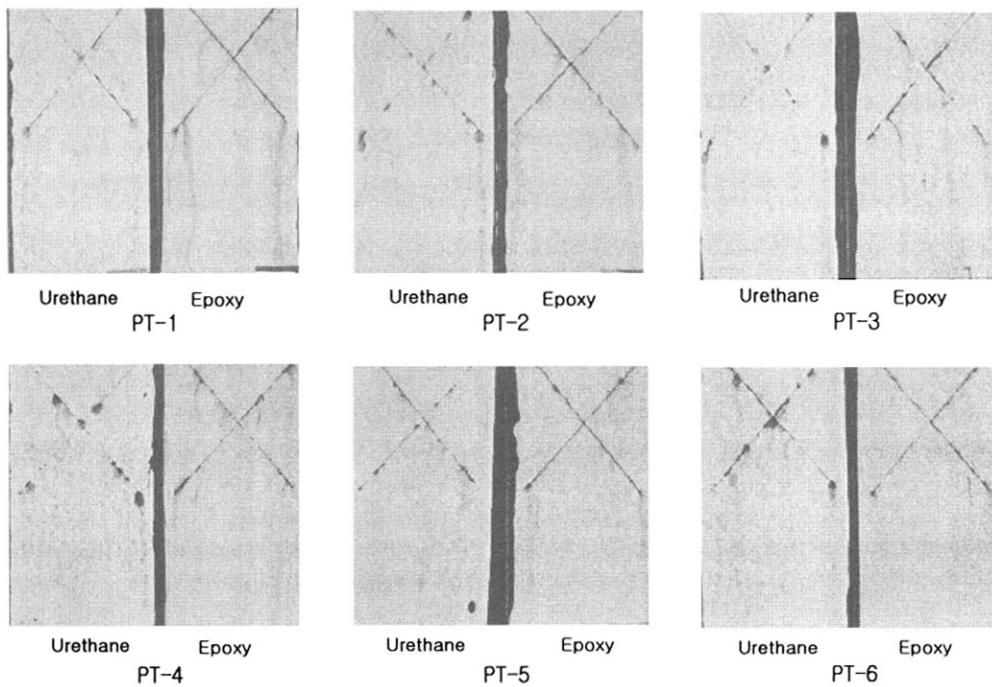


Fig. 1. Corrosive experiments of salt spray at various primer and top coating resins(PVB, CAB, acrylic/epoxy, urethane) for 300 hr.

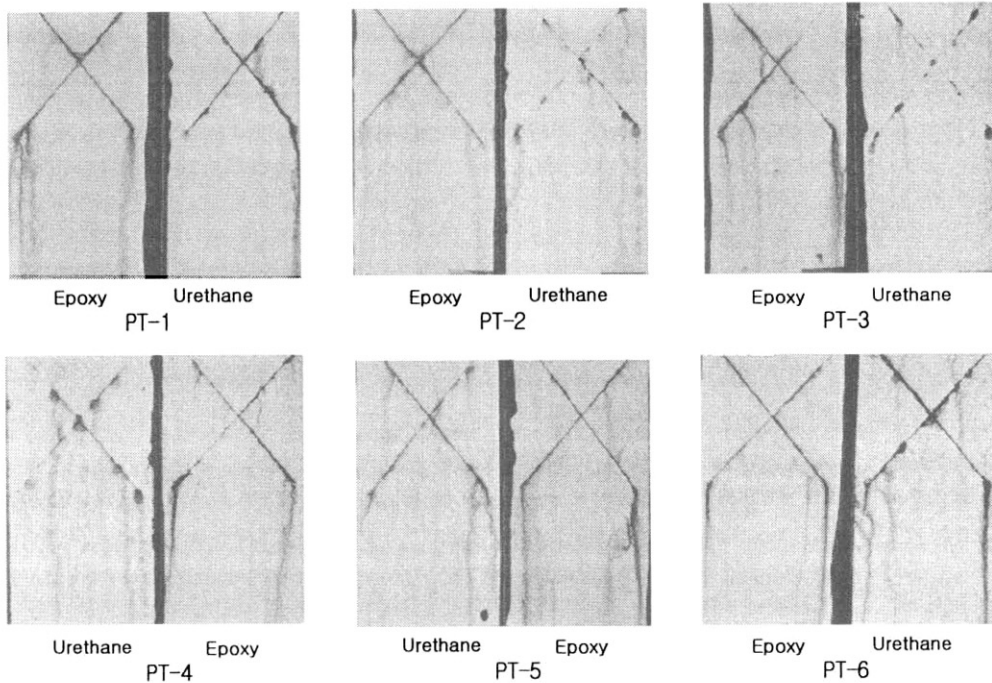


Fig. 2. Corrosive experiments of salt spray at various primer and top coating resins(PVB, CAB, acrylic/epoxy, urethane) for 600 hr.

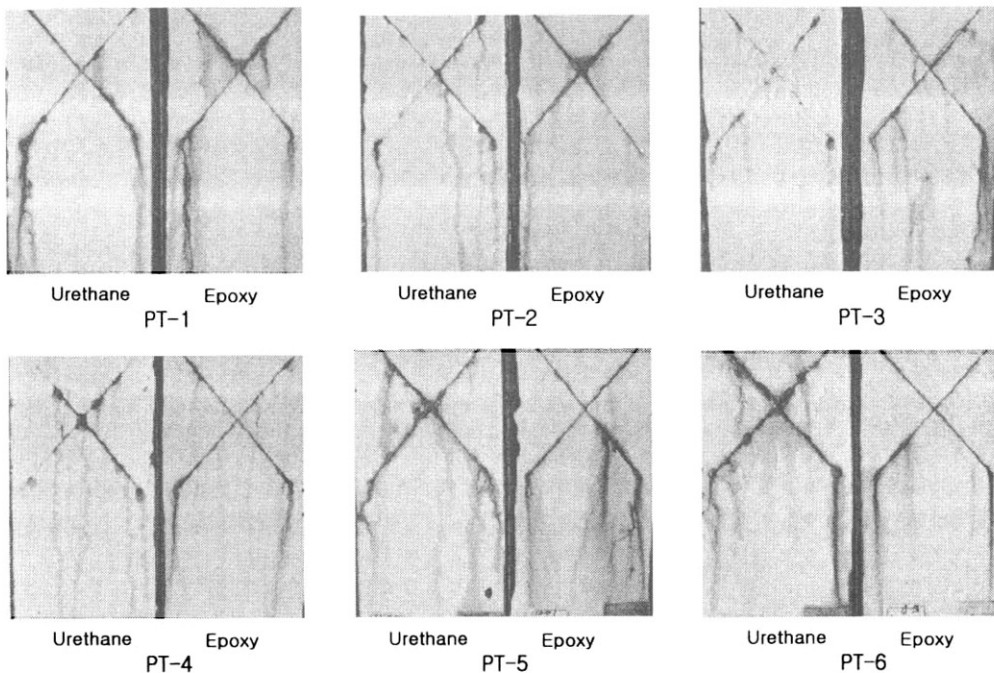


Fig. 3. Corrosive experiments of salt spray at various primer and top coating resins(PVB, CAB, acrylic/epoxy, urethane) for 1000 hr.

PT-5와 PT-6은 하도수지로 열가소성 아크릴 수지를 사용하고, 방청안료로 ES와 EB를 각각 사용하여 제조한 경우로, 이 도료는 건조가 빠르며, 부착력과 내약품성은 매우 양호하였으나, 방청력이 떨어짐을 알 수 있었다. 따라서 아크릴 수지의 장점과 CAB의 단점을 보완하면 우수한 방청도료를 제조할 수 있을 것으로 생각된다.

### 3.2. 우레탄 수지 및 P-4900 수지

우레탄은 내약품성, 내후성, 부착성 등의 모든 물성이 우수하여 도료수지로 매우 많이 사용되고 있다. 특히, 2액형 아크릴 우레탄은 범용적으로 사용되고 있으며, 작업성이 우수하고, 건조가 빠른 1액형 열가소성 우레탄 수지(TPU)도 다소 사용되고 있다.

따라서 2액형 및 1액형 우레탄 수지를 하도수지로 사용하여 방청효과를 조사하였으며, 그 결과를 Table 2 및 Fig. 4~Fig. 6에 나타내었다.

Table 2에서와 같이 2액형인 아크릴 우레탄 수지를 하도수지로 사용한 경우에는 내약품성과 내수성이 양호하고, 부착성이 우수하였으나 염수분무 시험에서 blistering이 발생하였으며, 방청성은 EB와 ES가 유사하였다. 또한 PT-9와 PT-10은 하도로 1액형 우레탄 수지를 사용한 경우로, 건조가 빠르고, 부착성과 내약품성

및 내수성이 양호하였다. 그리고 방청성은 다른 수지(CAB, PVB, CAP) 보다 양호하고, 상도수지는 에폭시보다 우레탄이 우수하였으며, EB와 ES 모두 방청력은 상대적으로 우수하였으나 EB에서 blistering이 발생하였다.

PT-11은 폴리아닐린을 방청안료로 제조한 독일 Ormecon사의 상용도료를 본 연구에서 제조한 도료와 성능을 비교하기 위해 구입하여 제품설명서에 따라 도장한 후 물성을 시험하였다. 그 결과, 건조가 빠르고, 부착력과 내약품성은 양호하였으나 방청력이 다소 떨어졌을 뿐만 아니라 blistering이 발생하였다.

### 3.3. 에폭시 수지 및 아연 수지

에폭시 수지는 내후성이 나빠서 상도수지로 잘 사용되지 않으나 내약품성과 부착성 및 내구성이 우수하여 방청용 하도수지로 널리 사용되고 있다. 또한 아연은 현재 알려진 방청안료로는 가장 우수하여 중방식 도료에 널리 사용하고 있으며, 사용하는 수지가 유기물이면 유기아연 수지라 하고, 무기물이면 무기아연 수지로 분류하고 있다.

따라서 상도수지로 에폭시 수지와 아크릴 우레탄을 사용하고, 하도수지로 에폭시 수지, 에폭시 에스테르 및 아연을 사용하여 방청효과를 실험한 결과는 Table 3 및 Fig. 7~Fig. 9와 같다. 이때, 에폭시 수지는 2액형으로 경화제와

Table 2. Characteristics of Anti-Corrosive Coatings at Various Primer and Top Coating Resins(Acrylic urethane, TPU, P-4900)

| Primer coating resin |          | Acrylic urethane |      | TPU  |       | P-4900 |
|----------------------|----------|------------------|------|------|-------|--------|
| Sample No.           |          | PT-7             | PT-8 | PT-9 | PT-10 | PT-11  |
| Aniline type         |          | ES               | EB   | ES   | EB    | -      |
| Adhesion             | Epoxy    | 5A               | 5A   | 5A   | 5A    | 5A     |
|                      | Urethane | 5A               | 5A   | 3A   | 5A    | 5A     |
| Acid resistance      | Epoxy    | ◎                | ○    | ◎    | ◎     | ○      |
|                      | Urethane | ◎                | ◎    | ○    | ◎     | ◎      |
| Alkaline resistance  | Epoxy    | ◎                | ◎    | ◎    | ◎     | ◎      |
|                      | Urethane | ◎                | ◎    | ◎    | ◎     | ◎      |
| Water resistance     | Epoxy    | ◎                | △    | ○    | △     | ◎      |
|                      | Urethane | ◎                | ○    | ○    | ○     | ◎      |
| Anti-corrosion test  | Epoxy    | ○                | ○    | ○    | ○     | ○      |
|                      | Urethane | ◎                | ○    | ◎    | ◎     | ○      |

◎: excellent, ○: good, △: normal, ×: poor

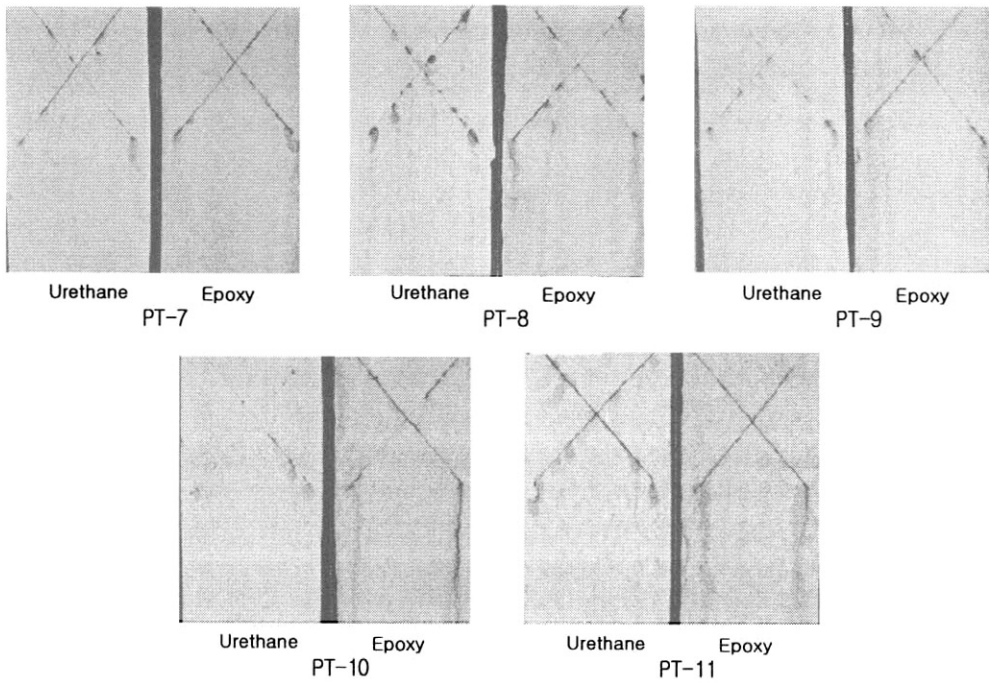


Fig. 4. Corrosive experiments of salt spray at various primer and top coating resins(acrylic urethane, TPU, P-4900/epoxy, urethane) for 300 hr.

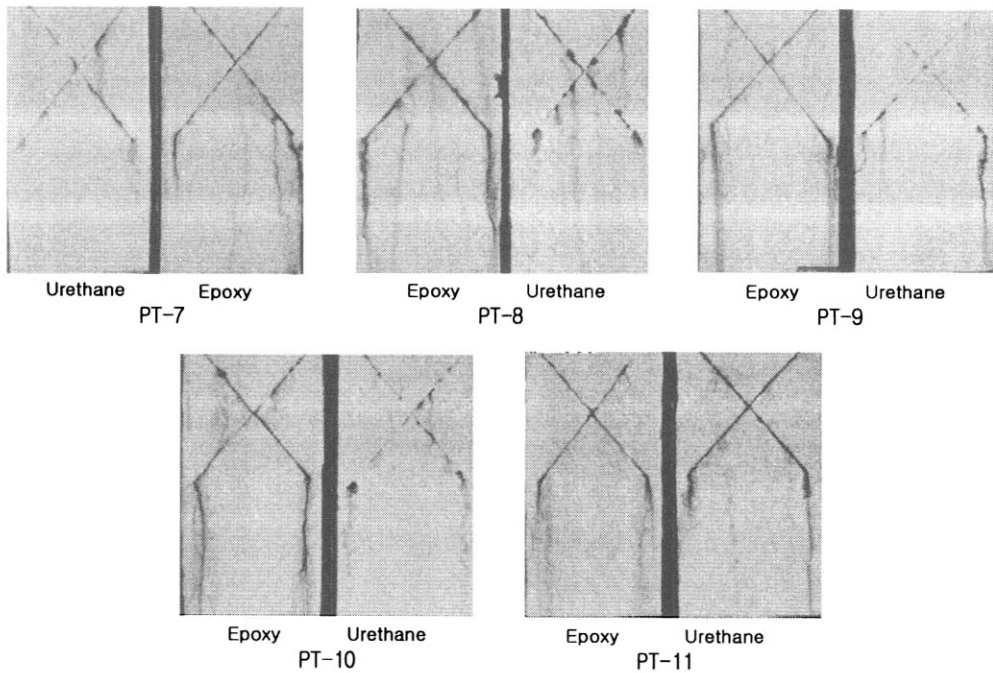


Fig. 5. Corrosive experiments of salt spray at various primer and top coating resins(acrylic urethane, TPU, P-4900/epoxy, urethane) for 600 hr.

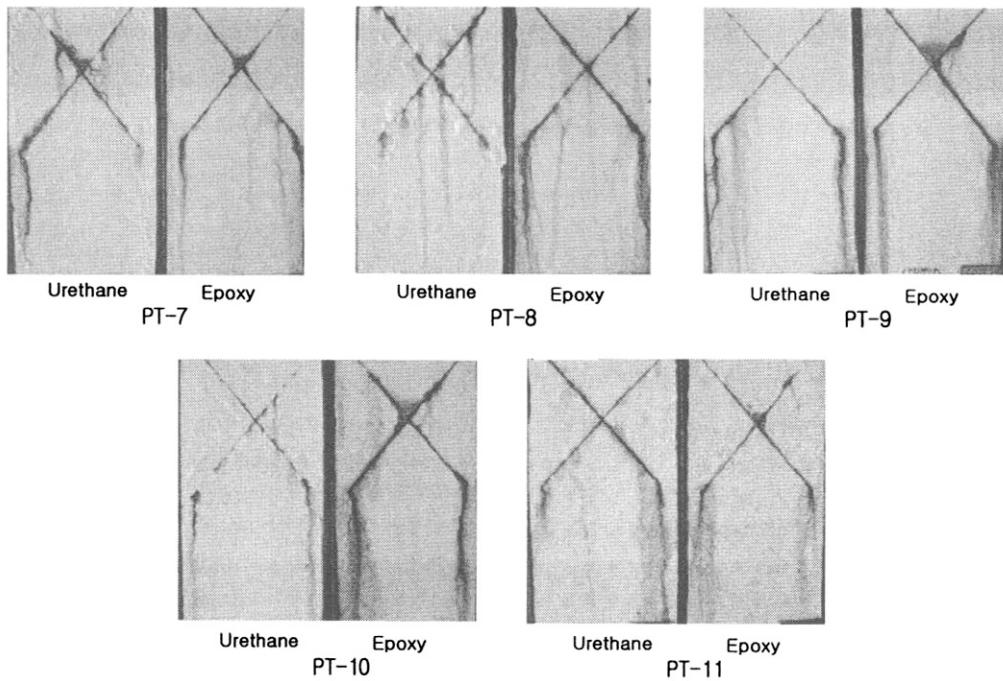


Fig. 6. Corrosive experiments of salt spray at various primer and top coating resins(acrylic urethane, TPU, P-4900/epoxy, urethane) for 1000 hr.

Table 3. Characteristics of Anti-Corrosive Coatings with the Primer and the Top Coating Resins(Epoxy, Epoxy ester, Epoxy zinc, Inorganic zinc)

| Primer coating resin |          | Epoxy | Epoxy ester | Epoxy zinc | Inorganic zinc |       |
|----------------------|----------|-------|-------------|------------|----------------|-------|
| Sample No.           |          | PT-12 | PT-13       | PT-14      | PT-15          | PT-16 |
| Aniline type         |          | EB    | ES          | EB         | -              | -     |
| Adhesion             | Epoxy    | 5A    | 5A          | 5A         | 5A             | 5A    |
|                      | Urethane | 4A    | 5A          | 5A         | 4A             | 4A    |
| Acid resistance      | Epoxy    | △     | ◎           | ◎          | ○              | △     |
|                      | Urethane | ○     | ◎           | ◎          | ◎              | ◎     |
| Alkaline resistance  | Epoxy    | ◎     | ◎           | ◎          | ◎              | ◎     |
|                      | Urethane | ◎     | ◎           | ◎          | ◎              | ◎     |
| Water resistance     | Epoxy    | △     | ◎           | △          | △              | ◎     |
|                      | Urethane | △     | △           | ◎          | ◎              | ○     |
| Anti-corrosion test  | Epoxy    | ×     | ○           | ○          | ◎              | ◎     |
|                      | Urethane | ×     | ○           | ×          | ◎              |       |

◎: excellent, ○: good, △: normal, ×: poor



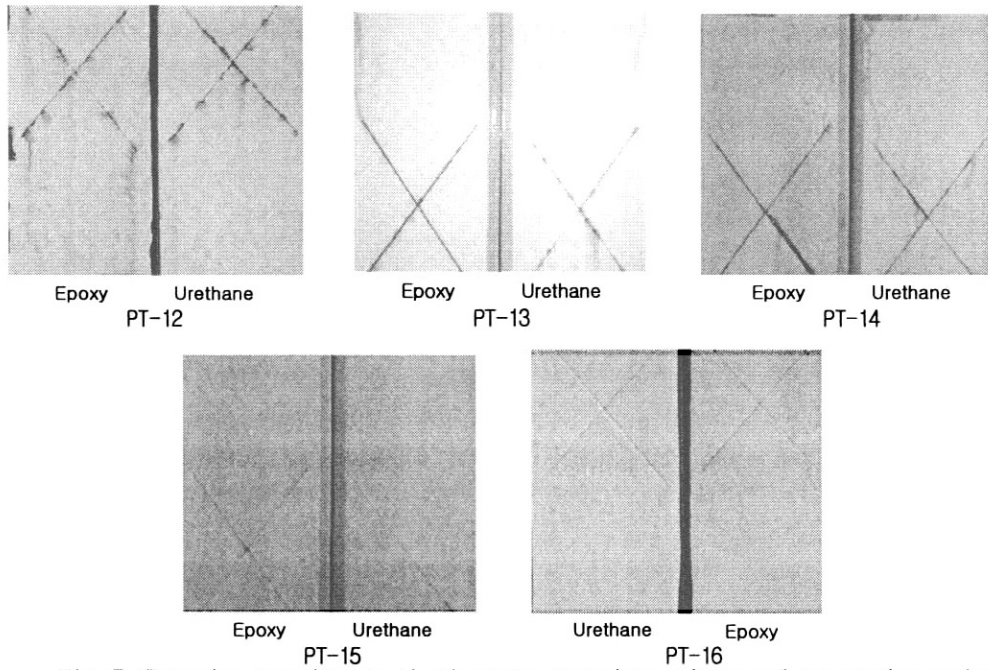


Fig. 7. Corrosive experiments of salt spray at various primer and top coating resins (epoxy, epoxy ester, epoxy zinc, inorganic zinc/epoxy, urethane) for 300 hr.

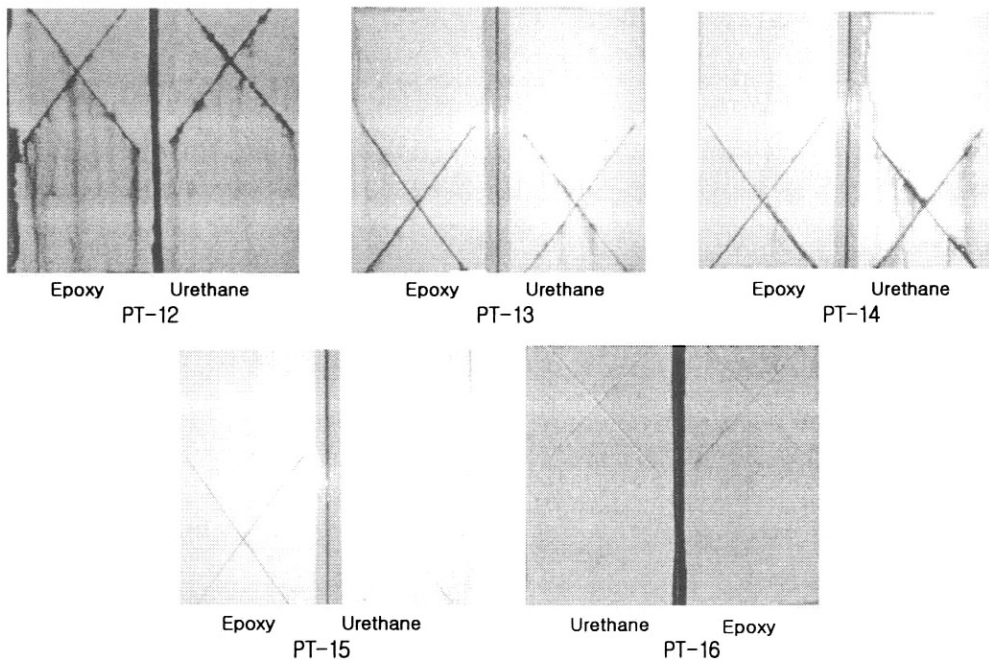


Fig. 8. Corrosive experiments of salt spray at various primer and top coating resins (epoxy, epoxy ester, epoxy zinc, inorganic zinc/epoxy, urethane) for 600 hr.

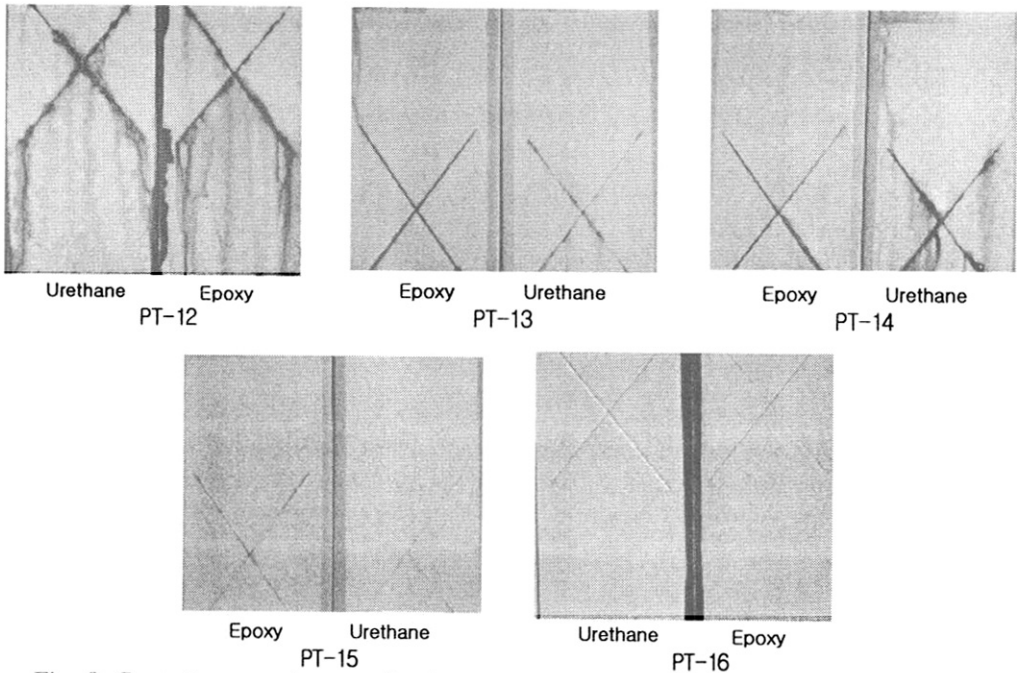


Fig. 9. Corrosive experiments of salt spray at various primer and top coating resins (epoxy, epoxy ester, epoxy zinc, inorganic zinc/epoxy, urethane) for 1000 hr.

ES가 상호 호환성이 없어서 도료를 제조하지 못하였으며, EB와는 도료제조에 문제점이 없었다.

Table 3에서와 같이 PT-12는 하도수지로 에폭시를 사용하고, 방청안료는 EB를 사용한 결과로, 폴리아닐린을 첨가하였을 때 에폭시 수지의 고유물성은 약화되고, 내수성도 좋지 않았으며, 방청성도 다른 수지(TPU, acrylic urethane)보다 상대적으로 저조하였다. 그리고 PT-13과 PT-14는 하도수지로 에폭시 계열인 에폭시 에스테르 수지를 사용하고, 방청안료로 ES와 EB를 사용하여 제조한 도료로, 에폭시 에스테르 수지는 1액형으로 부착성이 양호하고, 내약품성도 양호하며, 방청성은 EB와 상도수지로 우레탄 수지를 사용하였을 때 우수하였다.

또한 아연수지는 도료를 구입하여 사양서에 준하여 도장한 후에 물성을 비교·실험하였는데, PT-15는 수지가 에폭시인 도료이고, PT-16은 수지가 실리케이트인 도료이다. 두 도료 모두가 부착성과 내약품성이 양호하였으며, 아연도료의 특성인 방청성도 우수하였다.

#### 4. 결론

하도수지는 polyvinyl butyral, 아크릴, 에폭시, 에폭시 에스테르, 아크릴 우레탄(2액형) 및 우레탄 수지를 사용하고, 상도수지는 에폭시 및 우레탄 수지를 사용한 폴리아닐린 방청도료에 대해 부착성, 내산성, 내알칼리성, 내수성 및 염수분무 실험을 통해 그 특성을 알아보았다. 그 결과, 폴리아닐린을 사용한 방청도료의 특성은 하도 및 상도 수지의 종류에 따라 큰 차이를 나타내었다. 이때, 폴리아닐린 환원형 (EB)을 1액형 우레탄 및 2액형 아크릴 우레탄과 혼합하고, 상도수지로 2액형 아크릴 우레탄을 사용하였을 때 부착성, 내약품성 및 내수성이 매우 우수하였고, 1000 시간의 염수폭로시험에서도 방청기능이 우수하였다.

#### 참고문헌

1. A. J. Epstein, J. A. O. Smallfield, H.

- Guan, and M. Fahlman, Corrosion Protection of Aluminum and Aluminum Alloys by Polyanilines, *Synth Met.*, **102**, 1374 (1999).
2. N. Ahmad and A. G. Macdiarmid, Inhibition of Corrosion of Steels with the Exploitation of Conducting Polymers, *Synth Met.*, **78**, 103 (1996).
  3. J. C. Lacroix, J. L. Camalet, S. Aeiyaeh, K. I. Chane-Ching, J. Petitjean, E. Chauveau, and P. C. Lacaze, Aniline Electropolymerization of Mild Steel and Zinc in a Two-Step Process, *J. Electroanalytical Chemistry*, **481**, 76 (2000).
  4. G. P. Bierwagen, L. He, J. Li, L. Ellingson, and D. E. Tallman, Studies of a New Accelerated Evaluation Method for Coating Corrosion Resistance Thermal Cycling Testing, *E. Sci.*, **39**, 67 (2000).
  5. A. B. Samui, A. S. Patankar, J. Rangarajan, and P. C. Deb, Study of Polyaniline Containing Paint for Corrosion Prevention, *E. Sci.*, **47**, 1 (2003).
  6. A. Kaynak, J. Unsworth, G. Beard, and R. Clout, Study of Polyaniline Containing Paint for Corrosion Prevention, *Mat. Res. Bull.*, **28**, 1109 (1993).
  7. P. Beadle and S. P. Armes, Electrically Conductive Polyaniline Copolymer Latex Composites, *Macromolecules*, **25**, 2526 (1992).
  8. C. Y. Yang, Y. Cao, P. Smith, and A. J. Heeger, Morphology of Conductive Solution Processed Blends of Polyaniline and Poly(methylmethacrylate), *Synth Met.*, **53**, 293 (1993).
  9. A. Talo, P. Passiniemi, O. Forsen, and S. Ylasaari, Polyaniline/Epoxy Coatings with Good Anti-Corrosion Properties, *Synth Met.*, **85**, 1333 (1997).
  10. X. L. Wei, Y. Z. Wang, and C. Bobezhko, Synthesis and Physical Properties of Highly Sulfonated Polyaniline, *J. Am. Chem. Soc.*, **118**, 2545 (1996).
  11. S. D. Kong, J. U. Park, H. S. Hahm, and T. O. Kim, Preparation and Characteristics of Anti-Corrosive Coatings for Steel Structures using Polyaniline, *J. of Korean Oil Chemist's Soc.*, **23**, 230 (2006).