

## 공해방지를 위한 鋼構造物의 塗裝用 샌드블라스트 장치 개발

임 우 조 · 황 태 호

부경대학교 공과대학 기계공학과

### Development of Sandblast Machine in Painting of Steel Structures for Environmental Pollution Prevention

Uh-Joh Lim and Tae-Ho Hwang

*Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University*

The sandblasting work has been performed in every kind of steel structures before the painting to prevent corrosion and improve adhesive effect of painting film. However, being jetted by a high-pressure air compressor, such sand powder causes the environmental pollution. In this study, the anchor pattern behavior by sand-water 2 phases jet, the characteristics of corrosion protection and the adhesive effect of painting film by the corrosion inhibitor were investigated so as to prevent the environmental pollution caused by the sandblasting work before the painting. The result can be summarized as follows; In the case that the ratio of sand to water was above 0.2, average depth of the anchor pattern by the slurry erosion shows that its range was from 56 to 64  $\mu\text{m}$ . In slurry erosion, the occurrence of disbonding and blistering of epoxy film applied by 1.0% potassium chromate ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) was more delayed than that of dry sandblasting. After injection of sand-water 2 phases, as the concentration of potassium chromate chloride was increased, electrode potential of epoxy coated steel was higher.

#### 1. 서 론

각종 강구조물은 부식방지와 미관화를 위하여, 여러가지 도료에 의해 도장되고 있다. 그러나 강구조물의 표면에는 변질층, 산화물, 유류, 수분 및 먼지 등의 이물질이 부착되어 있다. 이들 부착물들은 금속표면과 도료와의 부착력을 저하시킬 뿐만 아니라 blistering 및 cracking이 일어나게 함으로서 도막이 박리하는 원인이 된다.<sup>1-5)</sup>

이와같은 도막의 박리로 인해서 강구조물이

부식되며, 이 부식을 기점으로 부식피로 및 응력부식균열을 초래할 수 있다. 그러므로 도장 전에 강구조물의 부착물질들을 완전히 제거하기 위한 표면전처리작업을 필수적으로 실시하고 있다.<sup>1,3)</sup> 이러한 전처리 작업방법중의 하나로 값이 싸고 작업능률이 우수한 기계적 처리방법인 샌드블라스트(sand blast)법이 많이 이용되어 왔다. 이 샌드블라스트법은 표면에 부착된 부착물질들을 제거함과 동시에 앵커패턴(anchor pattern)의 조면율을 형성시켜 도료의 부착면적 증가와 앵커효과에 의해 도막의 부착력을 향상

시킨다.<sup>6-9)</sup>

그러나 샌드블라스트 작업은 고압공기압축기로 모래를 고압분사함으로써 모래의 충격에 의해 강구조물 표면을 침식-마멸시키기 때문에 분진에 의한 대기의 환경오염에 따른 공해문제가 심각하게 제기되고, 이에 대한 규제법규도 점차 강화되고 있다. 산업현장에서는 공해 때문에 house를 별도로 제작하여 shot ball에 의한 전처리 작업을 실시하고 있으나, house의 제작비가 소요되고, 금속분말에 해당하는 shot ball의 미세량이 강구조물에 부착하여 오히려 전지작용부식을 일으킬 수도 있다.<sup>10)</sup> 또 일부는 깊은 산악 지역에서 샌드블라스트 작업을 비밀리에 하고 있으나 공기지연 및 물유비량이 증가할 뿐만 아니라 위법이다.

따라서 본 연구에서는 강구조물의 도장 전 샌드블라스트 작업에 따른 공해를 방지하기 위해, 모래-물의 2상류를 분사할 수 있는 습 샌드블라스트 장치를 제작하여, 2상류분사에 따른 slurry erosion에 의한 anchor pattern을 고찰하고, 물에 의한 강구조물의 부식을 방지하기 위한 부식억제제의 전처리에 따른 도막의 부착효과와 내식성을 구명(究明)함으로써 공해 및 부식파손을 방지하는데 기여하고자 한다.

## 2. 시험재료 및 실험방법

### 2.1 시험편

본 실험에 사용할 도장용 강의 재료는 일반구조용탄소강재인 SS41로서 그 화학적 성분과 기계적 특성은 Table 1과 같으며, Table 1과 같은 SS41 시험재료로 부터 절취하여 제작가공한 시험편은 Fig. 1과 같고 전기화학적 거동을 조사하기 위하여 직경 2mm의 비닐피복동선을 삽입하여 고정하였다.

그리고 본 실험에 대전극으로 사용된 재료는 오스테나이트계 스테인레스강재인 SUS 304로 하였으며, 대전극시험편의 형상은 Fig. 1과 같

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of used epoxy coated steel

Chemical composition (wt%)	C	Si	Mn	P	S
	0.11	0.29	0.59	0.0	0.01
Mechanical properties	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )		Yield strength (kgf/mm <sup>2</sup> )		Elongation (%)
	42.4		25.8		32

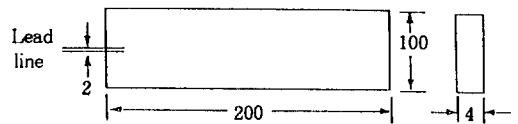


Fig. 1. Dimension of test specimen(unit : mm).

은 치수로 제작하였다.

### 2.2 모래/물 2상류 분사의 샌드블라스트 장치

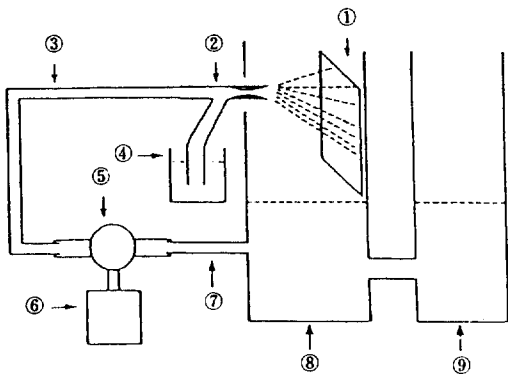
모래/물 2상류를 분사할 수 있도록 고압용 펌프모터(Max. pressure : 200 Bar, Max. flow rate : 15 L/Min, Motor : 220V×7.5 HP)에 water-sand jet injector 및 압력조절밸브를 부착한 Fig. 2와 같은 습 샌드블라스트 장치를 설계, 제작하였으며, 각 부재를 한 개의 package 식으로 조립하여 이에 바퀴를 부착한 이동식 습 샌드블라스트장치로 하였다. 여기서 고압용 펌프에 의해서 물을 water-sand jet injector에 공급함으로써 모래가 물에 혼합되어 물/모래 2상류를 분사할 수 있도록 제작하였다.

### 2.3 도막의 내식성 실험장치

도막의 내식성 평가를 하기 위하여, 전해촉진법에 의한 부식가속시험법을 도입하여 예폭시 도막의 Blistering양상에 의해 평가하였으며,<sup>10)</sup> 부식가속시험 실험장치의 전체 계통도는 Fig. 3과 같이 설계·제작하였다.

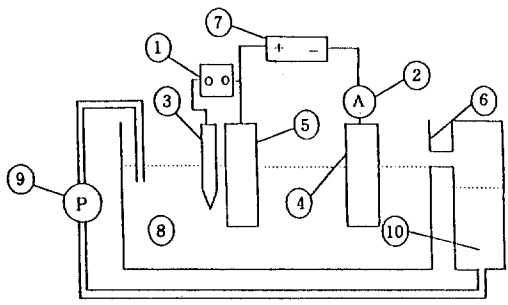
### 2.4 실험방법

Fig. 2와 같은 물/모래 2상류분사 샌드블라스트 장치에 의해 물과 모래의 혼합비율에 따른 2



① Specimen      ② Water-sand jet injector   ③ Delivery pipe  
 ④ Sand supply tank   ⑤ Feed water pump      ⑥ Motor  
 ⑦ Suction pipe      ⑧ Drain tank                      ⑨ Supply water tank

Fig. 2. Schematic diagram of sandblasting test apparatus.



① Potentiometer      ② Ampere meter      ③ Reference electrode  
 ④ Counter electrode   ⑤ Epoxy coated      ⑥ Corrosion cell  
 ⑦ Electric power      ⑧ Synthetic seawater  
 source                      ⑩ Drain water tank

Fig. 3. Schematic diagram of immersion test apparatus.

상류를 Fig. 1과 같은 시험편에 분사하여 anchor pattern을 형성하였다.

또, 모래/물 2상류를 시험편에 분사함으로써 습부식이 일어나므로 이 부식을 방지하기 위하여, 부식억제제인 크롬산염( $K_2CrO_4$ ), 아질산염( $NaNO_2$ ) 및 CCI 250(수용성 첨가제로 개발된 부식억제제, UNITOR Co., Norway)의 3종류를 각각 물에 혼입하여 전처리제로 사용하였다.<sup>11,12)</sup>

물/모래 2상류분사에 의한 anchor pattern을

형성시킨 다음, 부식억제제로 전처리하여 건조시킨 후에 에폭시 도료로 3회 도장하였다. 이 에폭시 도막의 두께는 평균  $360\mu m$ 로 하였으며, 10일간 건조시켰다. 그런다음 도막의 부착력을 고찰하기 위하여, 도막부착시험기에 의해  $90^\circ$  crosshatch scribe test(ASTM D 3330-96)를 실시하였다.

그리고 인공해수(ASTM D 1141) 중에서 Fig. 3과 같은 실험장치에 의해, 인가전압(Im-pressed voltage, E,) DC 1.5 V를 도장된 강재 시험편(양극)으로부터 대전극 시험편(음극)으로 배류되도록 부가하였다. 인가전압 1.5V하에서 도장된 에폭시 도막의 Blistering거동을 관찰 조사하고, 시험중 100시간마다 전극전위와 전류밀도를 측정하였으며, 시험기간은 2000시간 실시하였다. 여기서 100시간마다 실측된 전극전위와 전류밀도의 값을 평균한 값을 평균전극전위 및 평균전류밀도로 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 slurry erosion 거동

Fig. 4는 모래/물 2상류 분사하에서 모래/물의 비에 따른 slurry erosion에 의한 무게감소율을 정리하여 나타낸 것이다.

모래/물 2상류 분사하에서 slurry erosion에 의한 무게감소율은 모래/물의 비가 크게 될수록 점차 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이와 같은 경향을 나타내는 이유는 모래의 고체입자 물의 액체입자보다 시험편 표면에 더 큰 충격력이 가해지고, 완충작용이 작기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 5는 모래/물 2상류 분사하에서 모래/물의 비에 따른 slurry erosion에 의한 anchor pattern의 거동을 나타낸 것이다.

모래/물의 비가 0, 즉 수용액만의 분사에서는 anchor pattern의 깊이가 약 21m로 작게 나타나지만, 모래/물의 비가 크게되어짐에 따라 an-

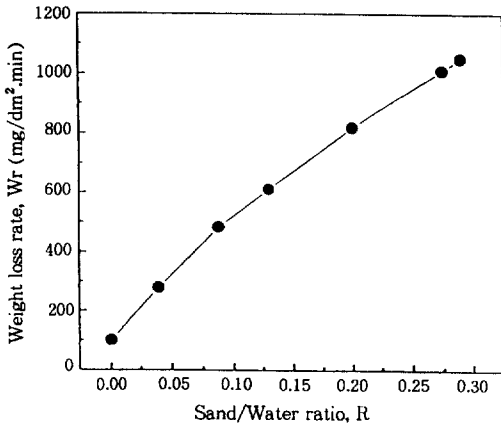


Fig. 4. Effects of and/water ratio on weight loss rate under sand-water 2 phase flow.

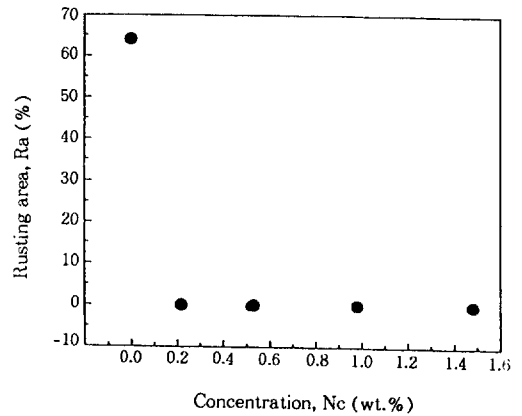


Fig. 6. Relation of rusting area vs.  $K_2CrO_4$  concentration of corrosion inhibitors.

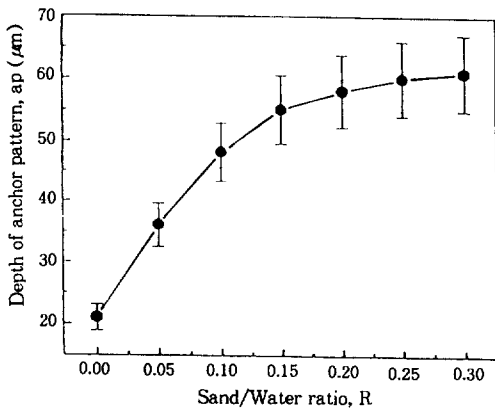


Fig. 5. Effects of sand/water ratio on the depth of anchor pattern under sand-water 2 phase flow.

chor pattern의 깊이는 점차 깊게되다가 모래/물의 비가 약 0.2이상에서는 anchor pattern의 평균깊이가 약 51-67µm 정도로 그 깊이가 지연되는 것으로 나타나고 있다. 일반적으로 도료에 알맞는 anchor pattern의 깊이는 약 38-63µm 정도가 가장 바람직한 것으로 보고된 바<sup>13)</sup> 있으므로, 본 연구에서 도료의 도장에 알맞는 anchor pattern의 깊이는 모래/물의 비가 약 0.2로 분사해도 되지만, 모래/물의 비를 이 보다 더 크게 하는 것이 기계적 전처리작업시간이 단축될 것으로 판단된다.

### 3.2 크롬산염 전처리에 의한 도막의 내식성

Fig. 6은 모래/물 2상류(S/W=0.3)를 분사한 후, 부식억제제인 크롬산염( $K_2CrO_4$ )의 농도를 0.2-1.5%로 변화시켜 전처리한 시험편의 부식이 방지되는 양상을 나타낸 것이다. 여기서 부식억제제로 전처리하여 48시간 후에 부식이 방지되는 양상을 구한 것은 일반적으로 샌드블라스팅 후 8시간 이내에 도료로 도장해야하므로 이 보다 더 장시간 부식억제제동을 관찰하기 위하여 48시간을 기준으로 실험하였다. 모래/물 2상류 분사한 후에 부식억제제로 전처리하지 아니한 시험편 표면의 부식은 약 60% 이상으로 녹이 분포되어 있었지만, 크롬산염의 농도를 0.2% 이상으로 크롬산염의 부식억제제로 전처리하였을 때에는 본 시험기간내에 부식양상이 나타나지 아니하였다.

Fig. 7은 모래/물 2상류(S/W=0.3)를 분사한 후, 부식억제제인 크롬산염( $K_2CrO_4$ )의 농도를 0.2-1.5%로 변화시켜 전처리하여, 에폭시 도료로 도장된 도막에 대해 인공해수 중에서 인가전압에 의한 에폭시 도막의 blistering 거동을 나타낸 것이다.

부식억제제인 크롬산염의 농도가 증가할 수록 에폭시 도막의 blistering 현상이 점차 감소되는

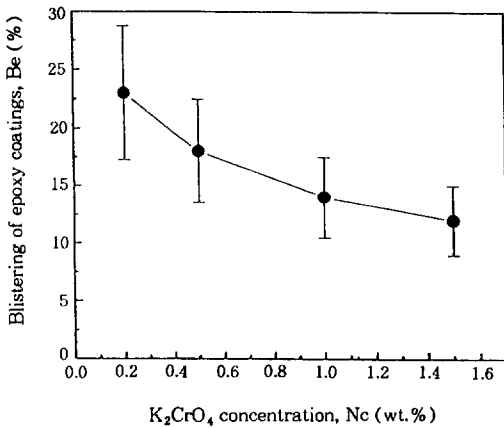


Fig. 7. Effects of  $K_2CrO_4$  concentration on blistering of epoxy coatings(S/W=0.3, h=2,000 hours, Ev=1.5V).

거동을 보이고 있으므로 크롬산염의 농도가 증가할수록 모재인 탄소강재의 부식방지의 효과가 더 우수함을 알 수 있다.

Fig. 6 및 Fig. 7에서 크롬산염을 전처리함으로써 부식이 방지되고 크롬산염의 농도가 증가할수록 에폭시 도막의 blistering 현상이 감소되는 이유는 양극억제제인 크롬산염이 부식전위를 “+”방향으로 변화하여 양극분극(anode polarization)을 증가시키므로써 시험편 표면의 부식이 억제되기 때문에 blistering이 억제되는 것으로 사료된다.

Fig. 8은 모래/물 2상류(S/W=0.3)를 분사한 후(습 샌드블라스팅), 에폭시를 도장하기전에 강제 시험편에 부식억제제인  $K_2CrO_4$ 의 농도를 0% 및 1.0%로 분무하여 에폭시 도장된 도막 그리고 현재까지 사용하던 건 샌드블라스팅한 후 부식억제제로 전처리하지 아니한 도막에 대한 인공해수 중에서 인가전압에 의한 에폭시 도막의 blistering 거동을 나타낸 것이다.

습 샌드블라스팅한 후 부식억제제로 전처리하지 아니한( $K_2CrO_4$ 의 농도 0%) 에폭시 도막의 blistering 양상이 가장 많이 나타나고 있으며, 부식억제제인  $K_2CrO_4$ 의 농도를 1.0%로 전처리한 에폭시 도막의 blistering 양상은 건 샌드블

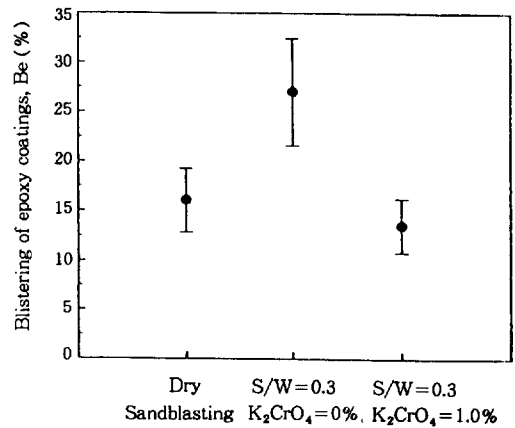


Fig. 8. Effects of dry sandblasting and wet sandblasting( $K_2CrO_4=1.0%$ ) on blistering of epoxy coatings under Ev=1.5V.

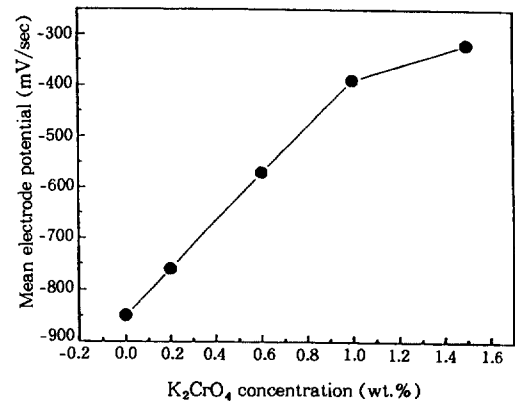


Fig. 9. Effects of  $K_2CrO_4$  concentration on mean electrode potential of epoxy coatings.

라스팅한 후 부식억제제로 전처리하지 아니한 에폭시 도막의 blistering 양상보다 더 억제되고 있다.

Fig. 9는 모래/물 2상류(S/W=0.3)를 분사한 후, 부식억제제인 크롬산염( $K_2CrO_4$ )의 농도를 0~1.5%로 변화시켜 전처리한 후 에폭시 도료로 도장된 도막에 대해 인공해수 중에서 인가전압(Ev)에 의한 에폭시 도막의 평균 전극전위(mV/SCE)의 거동을 나타낸 것이다.

크롬산염의 농도가 증가 할수록 평균 전극전위(mV/SCE)는 급격히 높아지는 경향을 나타내

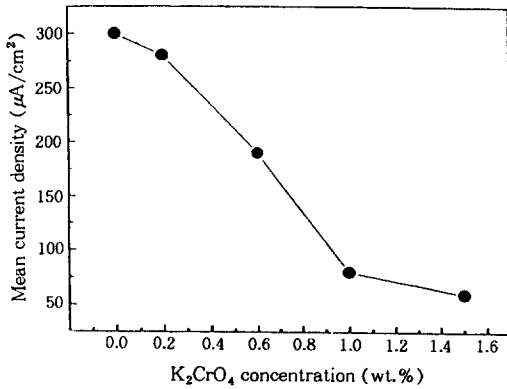


Fig. 10. Effects of K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> concentration on mean current density of epoxy coatings.

다가 크롬산염의 농도가 약 1.0%에서부터 전극 전위의 높아지는 경향이 둔화된다.

Fig. 10은 도래/물 2상류(S/W=0.3)를 분사한 후, 부식억제제인 크롬산염(K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>)의 농도를 0~1.5%로 변화함에 따른 에폭시 도료로 도장된 도막에 대해 인공해수 중에서 인가전압 (E<sub>v</sub>=1.5V)에 의한 에폭시 도막의 평균 전류밀도(μA/cm<sup>2</sup>)의 변화를 나타낸 것이다.

부식억제제의 농도가 증가할 수록 양극인 시험편으로부터 배류되는 전류밀도는 급격히 감소해지는 경향을 보이다가 크롬산염의 농도가 약 1.0%에서부터 전류밀도의 감소하는 경향이 둔화되고 있다.

Fig. 9와 Fig. 10에서 크롬산염의 농도가 증가할수록 전극전위는 높아지고 전류밀도는 감소되는 이유는 Fig. 6 및 Fig. 7에서 고찰된 바와 같이 양극억제제인 크롬산염이 양극분극을 증가시켜 부식전위를 “+”방향으로 변화하여 금속의 표면에 부동태 피막을 형성시키기 때문에 전류밀도가 감소되는 원인으로 생각된다.<sup>14)</sup> 따라서 크롬산염의 농도가 증가할수록 인공해수 중에서 에폭시 피막의 blistering 현상이 억제되어 내식성이 우수해지는 것으로 사료된다.

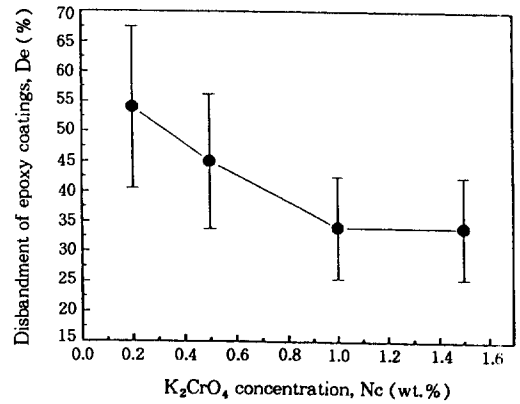


Fig. 11. Effects of K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> concentration on mean current density of epoxy coatings.

### 3.3 크롬산염 전처리에 의한 도막의 부착성

Fig. 11은 모래/물 2상류(S/W=0.3)를 분사한 후, 부식억제제인 크롬산염(K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>)의 농도를 0.2~1.5%로 변화함에 따른 에폭시 도료로 도장된 도막에 대해 도막 부착시험에 의한 도막의 박리거동을 나타낸 것이다.

부식억제제인 크롬산염의 농도가 증가할 수록 도막의 박리현상이 감소되는 거동을 나타내지만, 크롬산염의 농도가 1.0% 이상에서는 도막의 박리현상이 거의 같게 나타나고 있으나, 본 연구에서 실험하지 아니한 크롬산염의 농도가 1.6% 이상에서는 부식억제제의 두께가 증가함에 따른 연구가 더 계속되어야 할 것으로 사료된다.

Fig. 12는 모래/물 2상류(S/W=0.3)를 분사한 후(습 샌드블라스팅), 에폭시를 도장하기전에 강제 시험편에 부식억제제인 K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>의 농도를 0% 및 1.0%로 분무하여 에폭시 도장된 도막 그리고 현재까지 사용하던 샌드블라스팅한 후 부식억제제로 전처리하지 아니한 도막에 대해 부착시험에 의한 도막의 박리거동을 나타낸 것이다.

습 샌드블라스팅한 후 부식억제제로 전처리하지 아니한(K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>의 농도 0%) 에폭시 도막의 박리가 가장 많이 나타나고, 부식억제제인 K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>

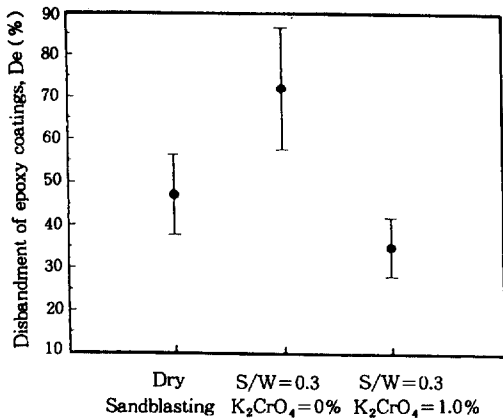


Fig. 12. Effects of dry sandblasting and wet sandblasting( $K_2CrO_4=0.1\%$ ,  $K_2CrO_4=0.1\%$ ) on disbondment of epoxy coatings.

의 농도를 1.0%로 전처리한 에폭시 도막의 박리는 건 샌드블라스팅한 후 부식억제제로 전처리하지 아니한 에폭시 도막의 박리보다 더 억제되는 양상을 보이고 있다.

### 3.4 부식억제제의 종류에 따른 에폭시도막의 부착성 및 내식성

Fig. 13은 모래/물 2상류(S/W=0.3)를 분사한 후, 에폭시를 도장하기전에 강제 시험편에 부식억제제인 크롬산염( $K_2CrO_4$ ), 아질산염( $NaNO_2$ ) 및 CCI 250의 농도를 1.0%로 전처리한 에폭시 도막에 대해 도막의 부착시험에 의한 도막의 박리거동을 나타낸 것이다.

부식억제제의 종류에 따른 에폭시 도막의 부착성인 박리현상은  $CCI\ 250 < NaNO_2 < K_2CrO_4$  순으로 더 많이 나타나고 있다.

Fig. 14는 모래/물 2상류(S/W=0.3)를 분사한 후, 에폭시를 도장하기전에 강제 시험편에 부식억제제인 크롬산염( $K_2CrO_4$ ), 아질산염( $NaNO_2$ ) 및 CCI 250의 농도를 1.0%로 전처리한 에폭시 도막에 대해 인공해수 증과 인가전압하에서 에폭시 도막의 blistering 거동을 나타낸 것이다.

부식억제제의 종류에 따른 에폭시 도막의 내

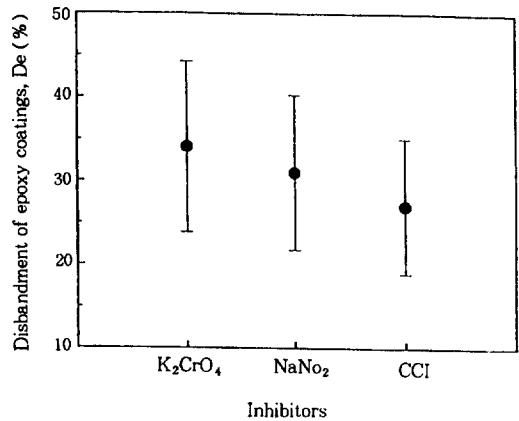


Fig. 13. Effects of  $K_2CrO_4$ ,  $NaNO_2$  and CCI 250 (1.0%) on disbondment of epoxy coatings under  $Ev=1.5V(t=2000hr)$ .

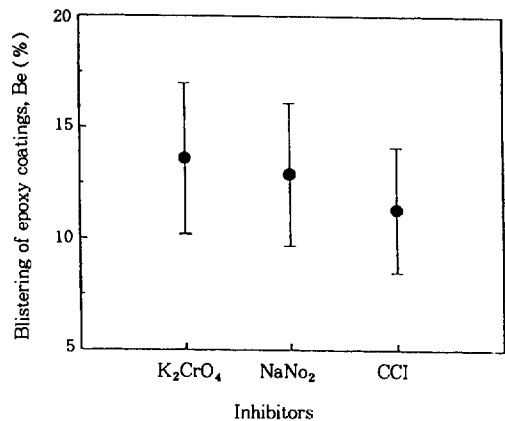


Fig. 14. Effects of  $K_2CrO_4$ ,  $NaNO_2$  and CCI 250 (1.0%) on blistering of epoxy coatings under  $Ev=1.5V(t=2000hr)$ .

식성인 blistering 거동은 Fig. 11의 부착효과와 같은 양상으로 나타나고 있다. 즉  $CCI\ 250 < NaNO_2 < K_2CrO_4$  순으로 blistering 현상이 더 많이 나타나고 있다.

## 4. 결 론

모래/물 2상류분사의 습 샌드블라스트 장치에 의한 anchor pattern 및 부식억제제로 전처리한

에폭시 도막의 부착효과, blistering 거동에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 모래/물의 비가 약 0.2 이상에서 slurry erosion에 의한 앵커패턴의 평균깊이가 약 51~67 $\mu$ m로 유사하게 나타난다.

2) 모래/물의 비가 0.3의 slurry erosion에서 크롬산염( $K_2CrO_4$ )의 농도가 1.0%로 전처리된 에폭시 도막의 박리 및 blistering 발생은 건 샌드블라스팅의 에폭시 도막보다 더 지연된다.

3) 모래/물 2상류(S/W=0.3)분사후에 전처리한 크롬산염의 농도가 증가할 수록 에폭시 도막의 전극전위(mV/SCE)는 더 높아지고 전류밀도는 더 낮게 배류된다.

## 후 기

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비(기계공학:ME95-F-04)에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- 전대회, 腐蝕과 防蝕의 관리, p. 373-382. 일중사, 1985.
- 水流徹, 春山志郎, 塗裝鋼板における塗膜下腐食と物質移動, 日本材料と環境, Vol. 38, No. 8, p. 429-436. 1989.
- (주)고려화학, 도료와 도장기술, p. 219-256, 1992.
- 황준성, 파이프용 에폭시 분체 도료의 열분석 및 음극박리, 한국부식학회지, Vol. 16, No. 3, p. 37-41. 1987.
- 伊藤伍郎, 機械工學全書 6(腐食と防食), p. 394-397. コロナ社, 1989.
- 임우조, 황재호, 백석중, 캐비테이션 침식-부식에 미치는 고체입자-액체의 영향, 한국어업기술학회지, Vol. 29, No. 2, p. 124-134. 1993.
- 岡 良側, 固體粒子衝突エロ-ジョンの材料硬度依存性, 日本材料と環境, Vol. 39, No. 11, p. 610-616. 1990.
- 渡邊 豊, 高橋秀明, 炭素鋼の氣液2相流中エロ-ジョン.コロジョンにおける電氣化學的作用, 日本防食技術, Vol. 37, No. 2, p. 69-74. 1988.
- DENNY A. Jones, Principles and prevention of corrosion, p. 476-510. 1991.
- 山本陸, 小田光之, 森田超夫, 石原慕孝, 肥後清彰, 海洋構造物に適用さらに重の防蝕塗膜の壽命豫測法, 日本防蝕技術, Vol. 35, No. 1, p. 3-9. 1986.
- C. C. NAYHAN, Corrosion inhibitors, National association of corrosion engineers, p. 7-25. 1981.
- K. NATESAN, Corrosion-Erosion Behavior of Materials, Metallurgical SOCIETY OF AIME, p. 146-161, 1980.
- 前掲書(3), p. 237.
- 山本 成, 植田健二, 腐食抑制劑中の鑄鋼腐食に及ぼす攪り返しひすみの影響, 日本材料と環境, Vol. 42, No. 11, p. 694-699. 1993.