

금속 용사를 통한 정수장 착수정 유입밸브의 방식에 관한 연구

*오민환, 문숙주, 김은영, 김병춘
한국 수자원 공사

Abstract - 본 연구는 우리 나라 물공급의 60%이상을 담당하고 있는 한국 수자원 공사의 수자원 관리 설비의 방식에 관한 연구이다. 특히 수자원 관리 시설의 대부분이 철구조물로 외부에 노출되어 있거나, 해수와 담수에 동시에 접해있기도 하며 끊임없이 화학약품에 영향을 받고 있기도 하다. 이러한 매우 열악한 환경 하에 있는 대부분의 설비 및 철구조물들은 부식이 쉽게 되어 부식으로 인한 시설관리 및 경제적 피해가 발생하게 된다. 수자원 공사는 여러 해 동안 설비 보전을 위해 부식에 관한 많은 연구들을 수행하고 있으며 그 중 도장을 통한 설비의 방식을 주로 시행하고 있으나 이런 도장 방식이 체계적으로 정리되어 있지 않고 또한 도장 방식의 수명이 길지 못하므로 주기적으로 재시공하여야 한다는 단점이 있다. 알루미늄 코팅 방식은 알루미늄이 철 보다 부식 전위가 낮아 부식이 잘 진행되어 철 구조물의 부식을 방지하는 희생 양극 특성이 있다. 그러나 알루미늄 도장의 경우 시공 단가가 비싼 단점이 있어 시공비를 줄이기 위하여 알루미늄 도장전에 철 구조물의 표면을 전처리하는 공정을 개선하여 총 시공비의 80%를 점하는 전처리 비용을 절감하여 경제적인 도장 방법을 조사하고자 하였다.

1. 서론

설비가 비교적 많은 우리 공사 설비의 주요 손상의 원인으로는 부식, 침식, 마모 및 재료의 경년 열화 등이 있다. 이들 설비 손상의 주요 원인으로는 설계의 부적절, 부적당한 재료의 사용 및 환경 요인으로 분류할 수 있는데, 이중 부적당한 설계와 재료 선정은 댐이나 하구둑 또는 정수장 건설 당시 고려 사항이고 운전 부주의에 의한 손상은 운전원의 철저한 교육으로 방지될 수 있다. 그러나 기존 설비에서 고유 환경 인자인 온도, 습도와 정수 설비의 경우 많은 화학 약품을 사용하기 때문에 각종 부식, 침식, 마모 등의 손상으로부터 설비를 보호, 유지해야 한다. 이러한 설비의 부식 방지를 위해 많은 방식 방법 등을 시행하고 있는 데 전기

방식, 도장방식, 표면 처리법등이 있는 데, 이들 방법 중 용사법은 기체 분사에 의해 용융 상태의 금속이나 세라믹 등을 코팅시키고자 하는 금속 표면에 고속도로 충돌시켜 코팅을 형성하는 표면 처리 방법으로 피복재의 성분 및 종류에 따라 내마모성, 내식성, 내고온 산화성 및 절연성 등을 요하는 재료 표면에 코팅을 시킬 수 있으며 특히 발전 설비나 정수설비등의 대형의 설비나 하구둑의 배수갑문같은 대형 철구조물 및 이미 제작 설치된 기기등에 적용할 수가 있다.

2. 본론

2.1 부식

부식이란 금속이 액체 용액에 의해 퇴보되는 현상 또는 주위환경과의 전기화학적 또는 화학적 반응에 의해 금속에 가해지는 공격 보상이라고 정의할 수 있다. 최근 공업이 발달함에 따라 산업계에는 많은 종류의 금속 제품, 기계 장치 그리고 구조물 등이 사용되고 있는데, 금속 제품의 사용 환경이 다양화되면서 부식 환경도 가혹해져 재해 발생 등의 안전 문제, 환경오염 등으로 인한 환경 문제 등으로 경제적 손실을 일으켜 부식으로 인한 문제가 점차 확대되고 있어 이에 적절한 방식기술이 요구되고 있다.

부식의 가장 중요한 특징은 전기 화학적 기구에 의해 발생한다는 것이다. 부식 과정의 전기화학적 모형이 그림 1에 나타나 있다.

이러한 전기 화학적 과정에 필요한 세부 사항은 다음과 같다.

- ① 양극과 음극이 존재하여 전지를 형성해야 한다.
- ② 양극과 음극이 전기적으로 접촉해야 한다.
- ③ 액체가 전해액으로 작용해야 한다.

그리하여 양극에서는 산화반응이 일어나며 금속이온이 분해하여 용액 속으로 들어간다. 또한 음극에서는 환원

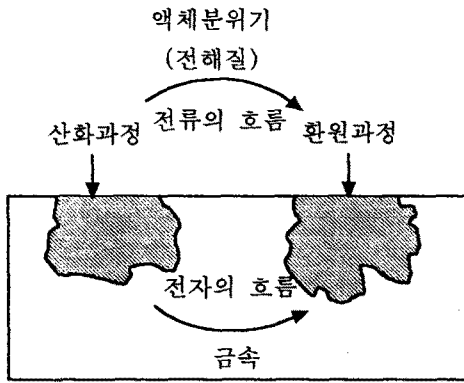


그림1 부식과정의 전기화학 반응

그리하여 양극에서는 산화반응이 일어나며 금속이온이 분해하여 용액 속으로 들어간다. 또한 음극에서는 환원반응이 일어나는 데 주로 용해된 산소의 환원과 수소기체의 발생이 그것이다.

전기화학적 기구에 의해서 발생하는 이러한 금속의 부식은 금속이 그들 원래 상태인 산화물로 되돌아갈려는 본질적인 성질 또는 자연적인 경향이라고 말할 수 있다.

2.2 방식

금속이 부식되는 것을 방지하는 것을 방식 또는 방청이라고 하는 데 실질적으로는 부식되는 경향을 조금이라도 줄인다거나 금속표면에 비교적 안정한 막을 만들어 표면을 보호하는 것을 모두 포함한다. 따라서 방식, 방청은 내용적으로는 부식억제라고 말할 수 있다. 또한 부식은 여러 가지 형태로 복합적으로 발생하기 때문에 여러 종류의 부식 형태를 일으키는 과정을 잘 이해하고 문제가 된 시스템의 부식 현상이 어느 경우에 해당되는지를 확실하게 파악하여야 가장 경제적이고 효과적인 방식 기술을 선택할 수 있다. 동시에 선택된 방식 기술을 계획하고 실행할 수 있는 조직적인 체계가 이룩될 수 있도록 공장의 관리 목표가 설정되어야 한다. 방지 대책에는 재료 선택, 환경 조절, 피복방식, 전기방식, 방식 설계 등 다섯 가지의 기본적인 대책이 있는데, 그것들은 독자적으로 또는 복합적으로 활용이 가능하며 환경에 맞게 사용할 수가 있다.

2.3 용사 코팅

표면 코팅 기술의 한 분야인 용사법은 각종 금속을 용해하여 이를 도장과 같이 분무, 부착하는 방법을 말한다. 스위스 취리히의 Dr. M.U.Schoop가 1917년에 처음 발표하였으며 일본에 이 방법이 도입된 후 메탈리콘이라고 명명된 것이 이후 40년간 계속 사용되어 일본 특유의 명칭이 되어 일반화되고 있다. 현재는 응용범위도 넓어지고 금속 용사를 나타내는 말로써 쓰이고 있다. 작업대상의 크기와 재료의 종류에 크게 구애되지 않고 후막을 제조할 수 있는 기술로써 각광받고 있다. 그러나 용사 기술의 보급이 널리 알려져 있지 않아 실제적으로 일반 산업에 활용되고 있는 것은 일부분에 국한되고 있다. 또 용사기술은 여러 가지 산업 분야에 잉여 기술을 부여하는 등 파급효과가 매우 크기 때문에 이 분야에 관한 많은 연구와 노력이 필요하다.

2.3.1 용사의 특징

금속의 방식을 목적으로 용사법을 사용하는 경우의 특징에 대하여 생각해 보면 다음과 같다.

- (1) 설비의 간편성 : 장치가 간단하여 쉽게 운반할 수 있으므로 이미 완성된 기기를 현장에서 설치한 상태 그대로 사업할 수 있으므로 현지에 출장하여 코팅 작업을 하는 경우가 많으며 이는 다른 방법에서는 거의 불가능한 교량, 가스탱크, 선박 등에 활용할 수 있다.
- (2) 피복의 두께 조절 가능 : 용사 횟수에 따라서 코팅의 두께를 조절할 수 있으므로 이론적으로는 어떠한 두께의 코팅도 생각한 대로 피복 할 수 있기 때문에 부분적인 피복 두께의 변화가 용이하다. 실제로 30 μm 부터 0.7mm 정도까지 피복이 가능하며, 피복 두께의 조절로 인해 가공 효율의 향상과 코팅 가격의 절감이 가능하다.
- (3) 모재의 손상 가능성 저하 : 고온의 용융된 입자가 충돌하기 때문에 소재온도가 어느 정도 상승할 것으로 생각할 수 있으나 실제로는 작업시간이 짧기 때문에 모재의 온도 상승으로 인한 손상이나 변형이 생기지 않으며, 일정길이의 앵글과 채널에 피복하여도 변형이 일어나지 않는다.
- (4) 작업시간의 절약 : 피복 속도가 빠르기 때문에 단 시간에 작업이 종료되고 여러 가지 면에서 유리하다.
- (5) 모재와의 접착력 증가 : 피복한 코팅 표면의 조도

가 크기 때문에 그 위에 다른 코팅을 할 경우 접착성이 우수하다.

2.3.2 금속 용사의 절차

용사법은 시공 순서에 따라서 전처리, 용사, 후처리의 3단계로 나눌 수 있다. 전처리는 모재의 청결과 조도를 높이기 위해 Blasting처리를 하는 단계로 피막의 밀착성을 증가시키는 데 목적이 있다. Blasting은 규사나 grit를 압축 공기를 사용하여 물체 표면에 분사하여 표면을 연삭하는 것으로 grit blasting이 많이 이용된다. 규사나 강모래를 분사하는 sand blasting은 물체 표면에 모래가 부착되어 잔류하거나 blasting작업 중에 부서져 매우 작은 미립이 되어 사방에 분사되기 때문에 공해를 유발시키므로 구미에서는 금지되었으나 일본에서는 경제적인 면에서 아직 활용하고 있다. 모재 표면의 산화물이나 먼지를 제거하고 표면 조도를 충분히 높이기 위해 blasting을 많이 할수록 좋은 것으로 되어 있으나 최근 과도한 blasting은 비용이 많이 들고 소재에 피로 손상을 주는 원인이 될 수 있어 필요한 만큼 충분한 정도로 하는 것이 최적이라고 하는 발표가 있었으며 이에 대하여는 아직 연구의 여지가 남아있다고 할 수 있다. 사용하는 압축 공기는 청정기로 충분히 기름이나 수분을 제거하고 사용하지 않으면 소지 표면에 이것들이 잔류하여 생각하지도 못했던 결함을 발생시키므로 주의하지 않으면 안된다. blasting을 한 표면을 청정하게 유지하기 위해서는 손으로 만지거나 장기간 공기 중에 방치하지 말고 적어도 2-3시간 내에 다음 공정인 용사를 해야한다.

2.4 실험 및 결과

본 연구에서는 ASTM규정에 따라 접착력 평가용 시편을 제작하여 용사 코팅을 실시하였다. 용사 코팅 전처리를 Alumina gritting, Sand Blasting, Sand Blasting 후 Compressed Air로 Cleaning하여 접착강도 및 부식 특성의 차이를 보고자 하였다. 접착강도 차이를 평가하기 위하여 인장 시험기인 INSTRON 1127을 사용하였다. 실험 결과를 요약한 것이 표1이다. 시험 결과의 재현성을 보기 위하여 같은 전처리 조건마다 5개의 시편을 제작하여 접착력 평가시험을 하였다.

전처리를 Alumina Gritting한 경우 접착 강도가 평균 37.2MPa이며, Sand로 Blasting한 경우는 평균 9.1MPa에 불과하며, Sand Blasting한 후 Compressed Air로 표면을 Cleaning한 경우는 19.5MPa의 평균 접착 강도를 얻을 수 있었다. 이는 일반적으로 알려져 있는 경우와 잘 일치한다. 다만 Sand Blasting한 경우 중, Compressed Air로 한번 더 Cleaning한 경우 접착 강도가 2배이상 증가한 것을 알 수 있다. 접착 강도는 일반적으로 표면 거칠기와 상관 관계가 있어 Alumina로 Gritting하는 경우 표면이 더 거칠어 지기 때문에 접착 강도가 큰 것으로 알려져 있다. 그러나 Compressed Air로 Cleaning을 추가로 한 경우 표면 거칠기의 차이는 크지 않으리라 여겨지나, 접착력 측정 결과는 2배 이상의 차이가 있었다. Sand Blasting에 의해서도 접착 강도를 향상시킬 수 있다면 ALumina Gritting의 경우에 비하여 현저하게 경비를 절감할 수 있다. 이런 이유로 Compressed Air로 표면을 Cleaning한 효과를 조사하기 위하여 전처리한 표면을 주사 전자 현미경(SEM)으로 조사하였고 표면 조도를 측정하여 비교하였다.

표1 접착력 평가 결과

시편종류	Adhesion Stress
Al coating after Alumina gritting	37.83MPa
	40.03MPa
	35.93MPa
	40.13MPa
	32.12MPa
Al coating after sand blasting	7.5MPa
	8.10MPa
	11.16MPa
	9.55MPa
	8.97MPa
Al coating after sand blasting and compressed air cleaning	23.79MPa
	10.33MPa
	24.62MPa
	19.28MPa
	19.40MPa

주사 전자 현미경으로는 배율 30배로 표면 형태와 불순물의 오염 형태를 관찰하였고 자세한 불순물이나 표면 변형은 100배의 배율로 관찰하였다.

이 관찰한 사진이 그림 2, 3, 4 이다.

그림2가 Alumina Griting한 표면으로 표면이 심하게 파인 것을 알 수 있으며, Alumina의 부서러진 파편이 표면에 많이 존재하는 것을 알 수 있다. 표면의 요철 부위가 상당히 날카로운 것도 관찰된다. 그림3이 Sand로 표면을 Blasting한 것으로 표면이 완만한 것을 알 수 있으며, Sand의 부서러기가 박혀 있는 것을 볼 수 있으나 표면의 그림2에 비하면 변형을 받지 않은 것을 알 수 있다. 그림 4가 Sand로 Blasting한 후 Compressed Air로 Cleaning한 것으로 표면 상태는 그림3과 유사한 것을 알 수 있으며, 표면의 Sand가 남아 있는 것도 유사한 것을 알 수 있다.

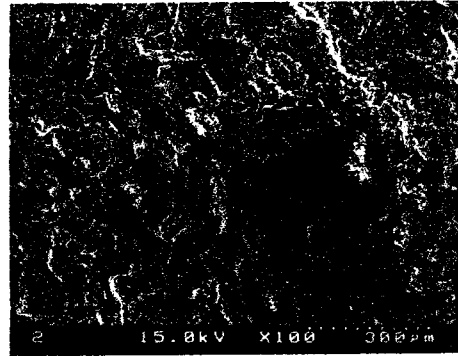


Fig.3 Surface morphology of pre-treated with sand.

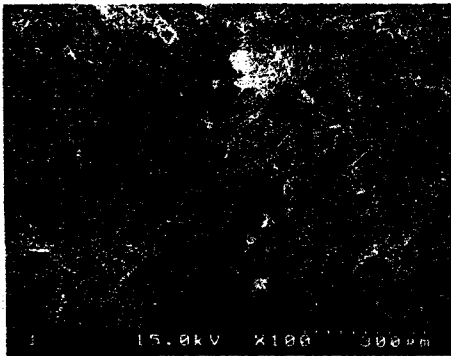


Fig.2. Surface morphology of pretreated with alumina grit.

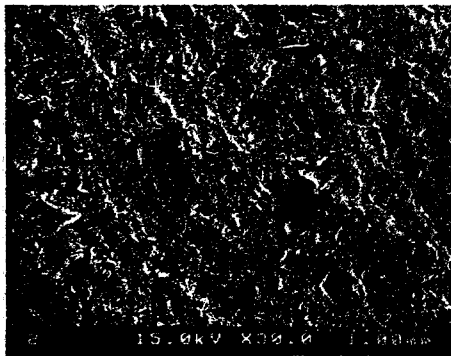
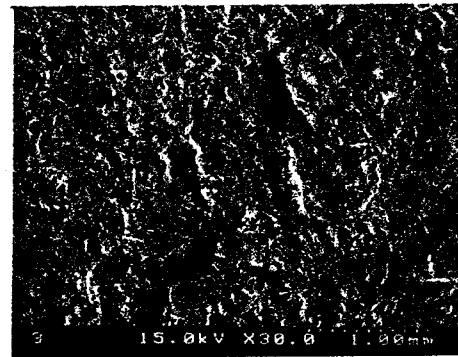


Fig.4 Surface morphology of pre-treated with sand and cleaning with compressed air.

이상과 같이 표면 관찰만으로 Sand Blasting한 경우와 Sand Blasting한 후 Compressed Air로 Cleaning한 경우는 큰 차이를 발견할 수 없었다. 다만 Alumina Gritting한 경우는 표면 변형이 심할 뿐만 아니라 파인 면이 날카로운 것을 알 수 있고 표면에 Sand나 Alumina가 잔류한 정도는 유사한 것을 알 수 있었다.

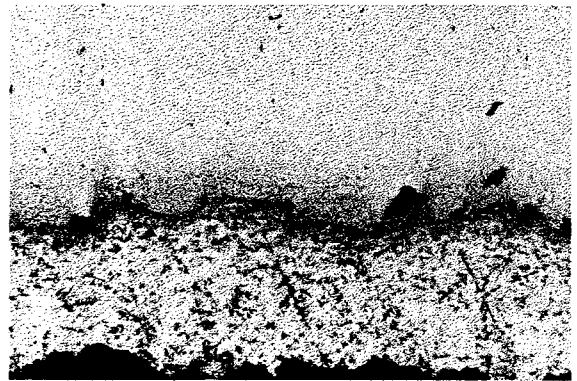
이와 같은 전처리에 따른 표면 조도의 차이를 조사하기 위하여 표면 조도 측정기를 이용하여 표면 조도를 측정하였다. 표면 조도는 0.8m거리를 탐침으로 scanning하여 표면 조도를 측정하였다. 표2가 표면 조도 측정 결과이다.

표2. 표면 조도 측정 결과

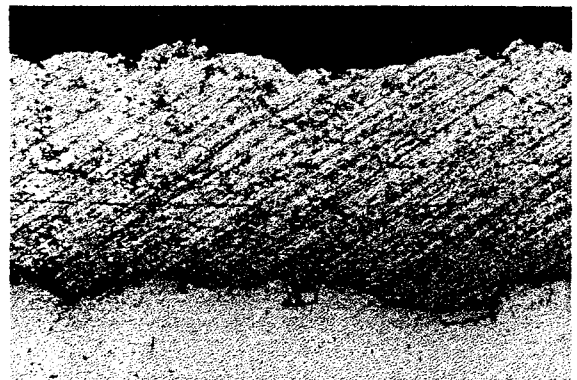
시편종류	표면 조도(Ra)
Alumian Gritting시편	11.8 μ m
Sand Blasting시편	6.5 μ m
Sand Blasting후 Air Cleaning 한 시편	8 μ m

표2의 표면 조도 측정 결과를 볼 때, 코팅층의 접착력이 클수록 코팅 전처리시 표면 조도가 클수록 접착 강도가 큰 것을 알 수 있다. Sand Blasting한 후 표면 조도가 다소 증가한 것을 알 수 있으며, 이는 Sand시 표면 부위의 변형된 부스러기나 파손된 Sand 부스러기가 제거되었을 수 있으며, 이러한 경우 표면 불순물 제거이외에 표면 조도 향상 효과가 있음을 알 수 있다.

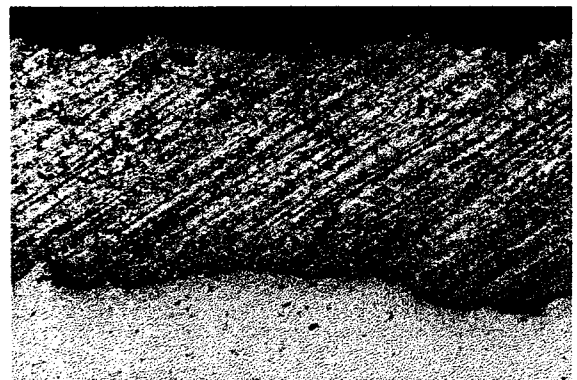
이와 같은 전처리를 한 후 Aluminium을 용사 코팅한 경우의 코팅층과 모재층 사이의 계면을 보여주는 것이 그림 5, 6이다.



(a)



(b)



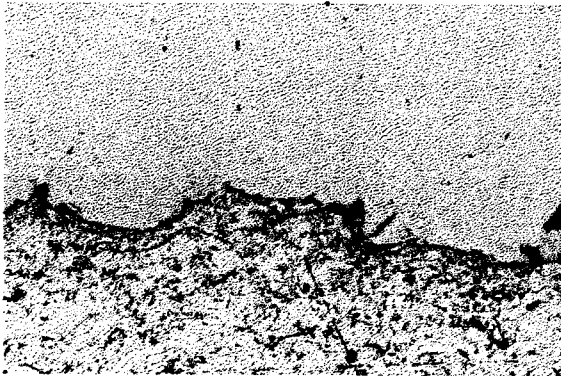
(c)

그림 5 Microstructure of interface between aluminum Coating and base metal (x30) (clean surface is base metal. scratched surface is aluminum coating layer)

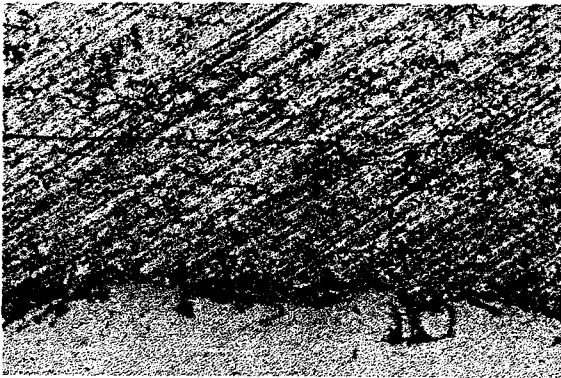
(a) Alumina gritting as pre processing

(b) Sand blasting as preprocessing

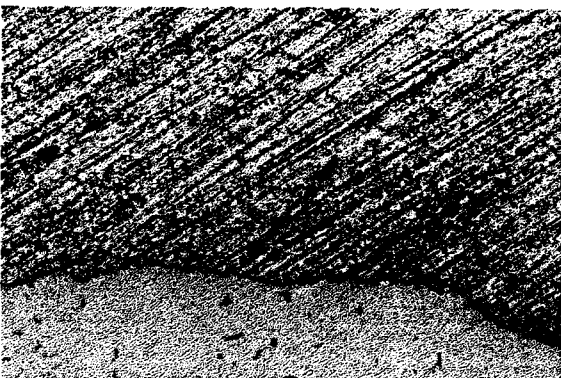
(c) Sand blasting and air cleaning as preprocessing



(a)



(b)



(c)

그림 6 Microstructure of interface between aluminum Coating and base metal (x100) (clean surface is base metal. scratched surface is aluminum coating layer)

(a) Alumina gritting as pre processing

(b) Sand blasting as preprocessing

(c) Sand blasting and air cleaning as preprocessing

그림5에서 알 수 있듯이 Alumina Gritting의 경우 표면 변형이 큰 것을 알 수 있으며, 코팅층 계면에 이물질이 없는 것을 알 수 있다. 반면에 그림5의 (b)의 Sand Blasting한 경우는 표면 변형이 작을 뿐만 아니라 계면에 이물질이 얇게 도포된 형상을 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 이물질 때문에 접착력이 작으며, 이러한 이물질을 압축 공기로 제거한 그림5이 (c)의 경우, 계면에 깨끗한 것을 알 수 있다. 이러한 표면 이물질이 제거되기 때문에 표면 조도가 다소 커지고 접착 강도가 2배이상 증대하였음을 알 수 있다.

3. 결론

근래에 들어 설비의 부식으로 인해 발생하는 수건의 대형사고로 경제적, 사회적 손실이 증대되고 있다. 대부분 열악한 환경 하에 설비가 있는 우리 공사도 여러 가지 방식법을 사용하여 설비의 부식 방지를 위해 힘 쓰고 있다. 우리 공사에서 기존 설비나 대형 철구조물의 방식으로 알루미늄 금속 용사를 하는 경우 비용을 절감하기 위하여 코팅전처리로 수행하는 ALumina Gritting을 저가의 Sand로 Blasting하는 방법을 활용하고자 하였다. Sand만으로 전처리를 하는 경우 표면 이물질이 많이 잔류하여 접착력이 Alumina gritting 한 경우에 비하여 1/4이하로 낮아 졌으나, 압축 공기로 표면 이물질을 제거하는 경우 접착 강도가 2배이상 증가됨을 알 수 있어, 희생 양극 방식의 도장인 Aluminum 용사 도장의 시공비를 절감할 수 있어 이의 확대 적용이 가능할 것으로 예측된다.

(참고 문헌)

- (1) D. A.Jones, Principles of prevention of corrosion, Macmillan Co. (1991)
- (2) 이규화, "방식기술과 관리" 기계와 재료, 9권3호 p.56-66 1997
- (3) 장도연, 정용수, 이규화, " 해양 강구조물의 부식 및 방지 현황", 기계와 재료, 8권 1호, p.52-68, 1996
- (4) O. Ito Mechanical Engineering 6 (Corrosion and protection), p.393, Owna company, Japan (1982)