

유압실린더 세라믹코팅 기공률 최소화 방안

정영호, 문승재*, 유호선**†

현대건설(주), *한양대학교 기계공학부, **승실대학교 기계공학과

Minimization of Porosity in Ceramic Coating on a Hydraulic Cylinder

Youngho Jung, Seung-Jae Moon*, Hoseon Yoo**†

Hyundai E&C, Seoul 135-791, Korea

*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received August 20, 2010; accepted December 3, 2010)

ABSTRACT : The best way to prevent the corrosion of piston rod is a selection of quality of the material and method of construction which minimize the porosity. The high velocity oxy fuel(HVOF) method, which generates lower porosity than existing plasma spray, was applied to ceramic laminated bond layer. Porosity percentage fell to below 2%, lower than that of plasma spray at 7%. Coating material of ceramic-coated main layer was selected as the Cr_2O_3 affiliation material, which is more dense than Al_2O_3 affiliation. To fill up the pores formed after the coating process, we sealed the bond layer and main layer. Sealing process was performed twice, once after the coating and once after the grinding. Upon the anti-corrosion test on the sealed sample and on the non-sealed sample, it is confirmed that the sealed sample was not corroded for 1,000 hours**† while the non-sealed sample was corroded within 48 hours.

Key words : hydraulic cylinder, ceramic coating, porosity, HVOF, sealing

1. 서론

현재 국내에서 발주되는 신규 수문, 4대강사업 등 대형 수문 및 배수갑문의 개폐 장치인 권양기는 과거 와이어로프 형식에서 유압실린더 형식 또는 유압 모터 형식으로 권양기의 기술이 선진화 되고 있는 추세이다. 과거 우리나라의 유압기술은 소형인 산업용, 증장비용, 선박용 및 방산용은 수요가 많아 상당한 수준까지 발달되어 있으나, 수문 및 배수갑문에 사용되는 대형 유압실린더는 수요가 많지 않아 기술 발전이 더디게 이루어 졌다.

또한 국내 적용된 대부분의 대형 유압실린더는 해

외에서 수입하여 사용하는 실정이다. 이는 국내에서는 대형 유압실린더를 제작하는 업체가 거의 없고 아직 실적이나 성능 면에서 검증받지 못한 면도 있지만, 악조건인 사용 환경에 노출되어 있는 피스톤로드의 부식방지 기술이 발주처나 시공하는 건설업체로부터 신뢰를 받지 못하기 때문이라고 생각한다. 유압실린더는 해수에 침수되어 사용되는 환경이 대부분이므로 부식에 특별히 유의하여야 한다. 특히 피스톤로드 부식방지를 위한 세라믹코팅 기술은 업체의 고유 노하우로 공개되는 것이 제한되어 왔다.

따라서, 본 연구에서는 세라믹코팅의 공법검토 및 재질선정 등 기술적인 측면과 실제 시편시험을 통한 기술검증 측면에서 다양하게 검토하였고, 세라믹코팅 분말선정 및 조성 비율을 선정하는데 보다 많은 실험과 연구를 실시하였다. 또한, 세라믹코팅의 공법 및 재질 선정 이외에 추가적인 보완사항으로 쉘

† Corresponding author

Tel.: +82-2-820-0661; Fax +82-2-820-0668

E-mail address: hsyoo@ssu.ac.kr

유압실린더 세라믹코팅 기공률 최소화 방안

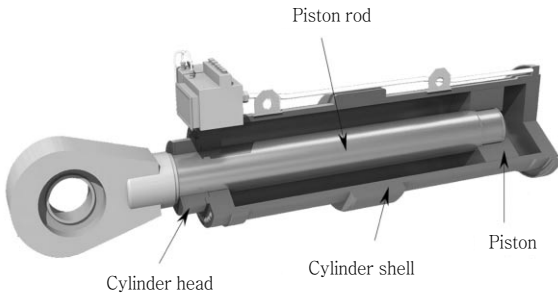


Fig. 1 Hydraulic cylinder.

링 처리를 검토하여 유압실린더 내부식성 향상을 위한 세라믹코팅 기공률 최소화 방안을 제시하고자 한다.

2. 피스톤로드의 부식원인

2.1 배수갑문 유압시스템 개요

수문 및 배수갑문의 유압시스템이란 유압펌프에 의하여 발생된 동력의 기계적 에너지를 유체의 압력 에너지로 바꾸어 유체 에너지의 압력, 유량, 방향의 기본적인 3가지 제어를 통하여 유압실린더를 작동시킨 후 다시 기계적 에너지로 바꾸어 수문을 개폐하는 시스템이다.^[1]

유압실린더는 피스톤로드, 피스톤, 실린더헤드, 실린더 셸 등 여러 부품으로 이루어지며 각각의 부품 간의 연계에 의하여 유압에너지를 이용하여 실린더가 동작을 한다. Fig. 1은 유압실린더의 개략적인 그림을 나타내고 있다. 피스톤로드는 용접구조용강으로 부식을 방지하기 위하여 피스톤로드 표면을 코팅

한다. 피스톤로드 표면 손상은 소재의 부식과 찰에 대한 손상을 야기시키며 이는 유압실린더 작동 시 효율의 감소를 초래한다. 피스톤은 실린더에서 바닥부(bottom part)와 로드부(rod part)의 두개의 공간을 구분하는 부품이며, 피스톤은 한쪽 또는 양쪽 방향으로 압력이 발생되므로 피스톤을 경계로 압력차가 생기게 된다. 실린더헤드는 실린더 내부 압력이 외부로 빠져나가는 것을 방지하며 먼지나 얼음 등이 유압실린더 내부로 들어가는 것을 막는 역할을 한다. 실린더 셸은 강재 튜브로 제작되고 압력과 굽힘모멘트를 견디게 설계되어 있다.

2.2 유압실린더 구조적 결함

유압실린더 피스톤로드의 재질은 용접구조용 강으로 독일공업규격(DIN) 17100인 S355J2G3+N이다. 피스톤로드가 사용되는 환경은 해수에 잠기거나 비말대(splash zone)에 위치한 악조건인 사용 환경이므로, 부식방지를 위하여 내부식성이 우수한 세라믹 재질로 코팅하였다. Table 1은 피스톤로드 세라믹 코팅 사양을 나타내며 코팅의 두께는 300 μm 이고, 해수에 침수되어 사용되는 환경조건을 명시하고 있다.

배수갑문의 유압실린더 피스톤로드에는 실제 사용기간 4년 만에 32개 전량 부식이 발생되었으며, 일부 세라믹코팅은 박리되었다. 손상된 세라믹코팅 표면에 의해 실린더 찰이 손상되어 일부 실린더는 누유가 되고 수문을 열었을 때 수문이 처지는 문제점이 발생하였다. 유압실린더 피스톤로드 설계 스트로크 및 유효 스트로크의 차이와 배수갑문 설치 환경에 따른 구조적 문제를 검토하였다.

유압실린더 피스톤로드 설계 스트로크는 8,400

Table 1 Detailed specification of ceramic coating

Description	Specification & environment condition	
Specification	Surface thickness	300 μm (total layer thickness)
	Surface finish	Ra 0.1 ~ 0.3 μm
	Surface hardness	900 ~ 1,000 Hv
Environment condition	Ambient temperature	-15°C up to +50°C
	Relative humidity	100% (splash zone)
	Atmosphere	Extremely salty and corrosive
	The hydraulic cylinder assembly will be directly exposed to seawater, sun, rain, ice, wind, storm and thunder. The rod will be partly submerged(seawater) and partly in the splash zone for long periods.	

mm이고 유효 스트로크는 8,300 mm로서 배수갑문의 최대 개폐 시에 기계적 무리가 가지 않도록 하기 위하여 실린더커버 측 50 mm와 로드 측 185 mm의 여유길이를 설계에 반영하였다. 이에 따라 피스톤로드가 로드말단으로부터 185 mm는 항상 외부에 노출되어 운전되는 설계상의 구조적 문제로 인하여 해수에 장시간 노출될 경우 부식 가능성의 원인을 제공하고 있었다.

또한 유압실린더를 배수갑문에 설치한 다음 운영과 운전의 효율을 기할 목적으로 해수측 스트로크 7,900 mm, 담수측 스트로크는 8,100 mm로 운전 스트로크를 설정함으로써, 피스톤로드가 로드 말단부로부터 해수측은 약 550 mm, 담수측은 약 350 mm 정도가 상시 노출되어 운전될 수밖에 없는 운영상의 문제로 인해 노출된 부분이 부식될 가능성의 원인을 제공하고 있었다. 유압실린더의 설치 환경에 따른 구조적 문제로 인해 기존과 동일한 세라믹코팅으로 재 제작시 문제가 재발할 것으로 판단되었으며, 현 사용 환경에 적합한 피스톤로드 코팅재질과

코팅공법을 재검토할 필요성이 대두 되었다.[2]

2.3 세라믹코팅 특성적 결함

현장에 설치된 피스톤로드의 부식 상태를 육안검사 하고 박리된 세라믹코팅 시편의 성분분석을 통해 피스톤로드의 부식 원인을 규명하였다. Fig. 2는 부식 초·중기 상태의 피스톤로드이다. 피스톤로드의 말단부위(최하위부분)나 중간, 윗부분이 동일한 부식양상을 보이고 있으며, ㉠, ㉡, ㉢에서 보이듯이 부식으로 추정되는 붉은색 점들이 고루 분포되어 있다. 이는 세라믹코팅 표면에 산재하는 기공을 통하여 해수가 침투되어 피스톤로드 모재를 부식시킴으로써 붉은색 녹이 기공을 통하여 안에서 밖으로 흘러나오고 있는 상태임을 보여주고 있다. 세라믹코팅층의 기공을 통한 모재의 부식이 진행되고 있음을 명백히 알 수 있는 현상이다.

Fig. 3은 부식이 완전히 진행되어 피스톤로드로부터 세라믹코팅 층이 박리되어 이탈한 상태를 보여주는 사진이다. ㉠부분은 피스톤로드 말단부위부터 위로 박리가 진행된 높이를 나타내고 있으며, 이 높이는 유압실린더 동작 중에 피스톤로드가 실린더 내부로 들어가지 않는 부위로서 피스톤로드의 부식과 박리가 심하게 진행되었음을 볼 수 있다. 기공으로 인한 부식과 피스톤로드 말단부위의 부식으로 인해 이미 피스톤로드로서의 기능을 상실한 상태임을 알 수 있다.

Fig. 4는 부식으로 인해 세라믹 층이 거의 박리되고 없는 사진을 보여 주고 있다. 사진에서 ㉠는 로드 표면이고, ㉡는 결합층으로 추측되며, ㉢는 주 세라믹 코팅층으로 코팅 층이 2개가 보이고 있다. 이 사진으로부터 피스톤로드 세라믹코팅은 결합층과 세라믹 코팅층으로 처리되었음을 파악할 수 있다.

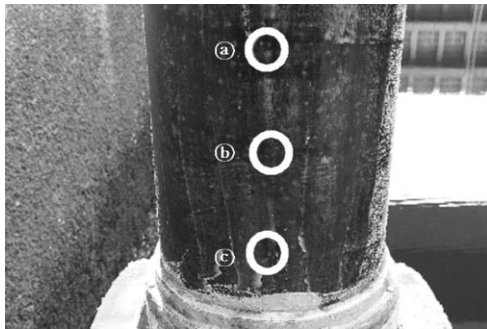


Fig. 2 Corrosion of piston rod.

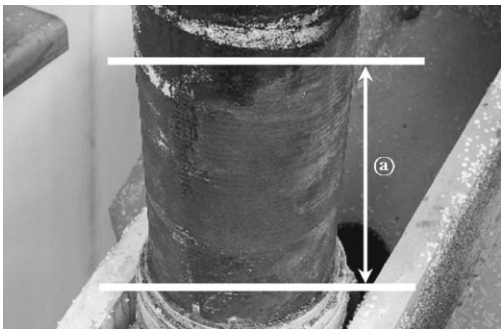


Fig. 3 Detachment of ceramic coating.

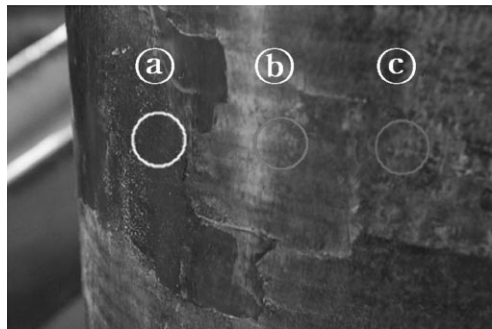
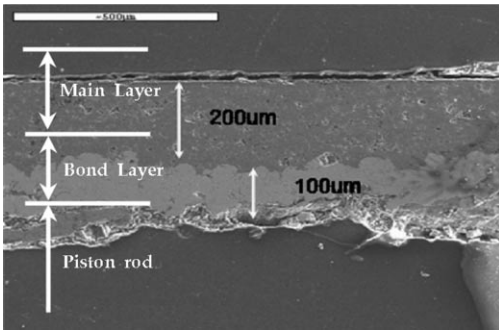
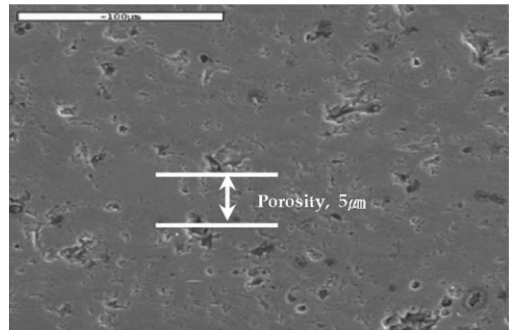


Fig. 4 Structure of coating layer.



(a) Cross section of ceramic coating layer



(b) Porosity of ceramic coating layer

Fig. 5 SEM image of coating layer.

또한 현장에서 채취한 세라믹코팅 시편 샘플 분석을 통해 세라믹코팅 재질 및 기공률을 측정하여 현 코팅방법보다 기공률을 최소화하는 코팅방법을 적용하여 평가하고자 한다. Fig. 5(a)는 현장에서 채취한 피스톤로드 세라믹 코팅층 단면을 나타낸 단면 SEM 분석결과이다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 결합층의 코팅두께가 100 μm이고, 세라믹 코팅층의 두께가 200 μm 정도로서 코팅의 총 두께가 약 300 μm로 적층이 잘 형성되었음을 알 수 있다. Fig. 5(b)는 평면에 대한 SEM(scanning electron microscope) 분석결과로서 플라즈마용사 코팅방법에 의해 코팅되었음을 알 수 있다. Fig. 5(b)에서 볼 수 있듯이 기공이 산재해 있고 그 크기는 약 5 μm 정도임을 확인할 수 있다.

현장에서 채취한 세라믹코팅 샘플의 성분분석 결과에 의하면, 주 세라믹 코팅층 성분은 산화알루미늄(Al_2O_3)과 산화티탄(TiO_2)으로 가장 평범한 세라믹 분말재료를 사용하여 코팅하였음을 알 수 있다. SEM분석 및 EDS 분석을 사용하여 검사한 결과 산화알루미늄과 산화티탄이 약 60% 대 40% 정도의 비율로 구성되어 있음을 확인하였다. 또한 세라믹코팅 샘플에서 결합층이 발견되었으며, 그 성분은 주로 니켈(Ni)과 크롬(Cr)으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 하지만 세라믹코팅 조직 내부에 5 μm 정도 크기의 기공이 많이 산재해 있고, 또 세라믹의 성분 자체가 산화알루미늄과 산화티탄으로서 입자가 굵기 때문에 플라즈마 코팅 시 코팅의 적층은 잘 형성되는 반면에 산화크롬보다 상대적으로 기공의 발생빈도가 높고 기공의 크기가 클 우려가 있는 코팅 재료임을 추정할 수 있다. 따라서 조직검사 및 코팅 방법의 분석결과 장시간 해수에 노출될 경우 로드가

부식될 가능성의 문제점을 지니고 있는 상태라고 할 수 있다.

3. 피스톤로드 세라믹코팅 개선

3.1 결합층 코팅 공법 변경

세라믹 분말 용사(thermal spray)법을 이용하여 피스톤로드 표면에 코팅을 하였다. 용사 공정을 살펴보면 피막의 밀착성을 확보하는 전처리 단계, 소재의 피막을 형성하는 용사 단계, 용사 후 피막특성을 향상시키는 후처리 단계의 3단계로 크게 분류할 수 있다. 피스톤로드는 소재와 코팅 피막의 접합력을 향상시키기 위해 로드 표면에 결합층 코팅을 1차로 실시하였으며 결합층 코팅 후 2차로 세라믹 코팅을 실시하였다.

용사는 그 사용 목적과 특성에 따라 가스식 용사와 전기식 용사로 나뉜다. 가스식 용사는 화염용사, 폭발용사 및 초고속용사로 구분되고, 전기식 용사는 아크용사, 플라즈마용사, 선폭용사 및 레이저용사로 구분된다. 용사법의 분류는 크게 가스식용사와 전기식 용사로 나뉘고 가스식용사에는 화염용사, 폭발용사 및 초고속용사(HVOF, high velocity oxygen fuel)로 구분하고, 전기식용사는 아크용사, 플라즈마용사(plasma spray), 선폭용사 및 레이저용사로 구분한다. 당초 결합층 코팅에 적용된 플라즈마용사와 최근 많이 사용되고 있는 초고속용사에 대해 비교하였다.

플라즈마 용사는 역극성 아크(non-transfer arc)에 의해 불활성 가스로부터 생성되는 플라즈마를 속도 마하 2, 중심온도 16,500°C로 분사하고, 코팅재료를 순간적으로 용융시켜 완전 용융된 분말 용사재

Table 2 Comparison of bond layer coating methods ^[3]

Plasma - spraying		HVOF(high velocity oxy fuel) spraying	
Porosity	1 ~ 3%	Porosity	under 1%
Flame temperature	Electricity 10,000°C	Flame temperature	Flame 2,000°C
Particle velocity	300~400 [m/s]	Particle velocity	1,200 ~ 2,100 [m/s]
Bond strength	5~7 [kgf/mm ²]	Bond strength	10 [kgf/mm ²]
Coating types	All compositions one can imagine	Coating types	Ferrous and non ferrous compositions. WC and CrC-metal bonded compositions. No ceramic coatings
Supplies	When the coating has to be as much corrosion resistant as possible. No or little interference with the atmosphere during spraying.	Supplies	To spray WC or Cr-compositions as hard and as dense as possible.

료를 고속으로 분사 밀착시켜 피막을 형성시키는 코팅 방법이다. 플라즈마 용사는 사용범위가 광범위하고 탁월한 내마모성, 내열성, 내식성, 전기전도, 전기차폐성 등의 우수한 피막을 얻을 수 있다. 또한 육성 보수도 가능하며 용사시의 가공물의 표면 온도가 150°C 이내로 제어되기 때문에 모든 모재에도 코팅이 가능하다.

초고속용사의 대표적인 방법으로는 JP-5000용사법이 있으며 로켓 연소실로부터 연소압력이 13 bar의 고압 상태로 속도 2,100 m/s이상으로 토출되는 극초음속의 제트흐름 가열 및 가속 에너지를 이용한다. 이때 최대의 충돌 운동에너지에 의해 용사 재료를 연화(soften) 및 가속시킴으로써 극히 치밀한 고밀도의 피막을 형성시키는 새로운 용사방법의 신기술이다. 용사재의 비행속도는 900 m/s이상으로 극히 빠르기 때문에 공기 중에서의 체재시간이 짧아서 조직의 산화나 변질 등의 물성변화가 거의 없으며, 조직이 강하고 치밀한 고밀도의 초경피막을 얻을 수 있다.^[3]

세라믹코팅은 플라즈마용사가 유일한 방법이고 피스톤로드의 최종 표면처리는 세라믹 재질로 하기 때문에 코팅에 세라믹만을 사용할 경우에는 기공을 많이 함유할 수밖에 없어 모재가 쉽게 부식될 가능성이 높다. 이를 해결하기 위해서는 기공을 없애기 위한 보완적인 방법이 도입되어야 하고 그 방법이 바로 결합층에 초고속용사법을 적용하는 것이다.

Table 2는 플라즈마용사와 초고속용사의 특성을 비교하였으며, 플라즈마 용사의 경우 기공의 존재가

능성이 0.5 ~ 7.0%이고, 초고속용사의 경우 0.5 ~ 2.0%로 기공의 발생확률에서 초고속용사가 현저히 낮음을 볼 수 있다. 유압실린더 로드말단 부분이 자주 해수에 침수되고 비말대에 설치되어 있기 때문에 열악한 환경에도 부식되지 않고 견딜 수 있어야 하므로 기공발생을 최소로 하는 초고속용사 방법을 채택하였다.

3.2 세라믹코팅 재질 변경

기존 세라믹코팅은 산화알루미늄과 산화티탄의 가장 평범한 세라믹 분말재료를 사용하였다. 기존 산화알루미늄 계열의 코팅 재질은 입자가 굵기 때문에 플라즈마용사 시 코팅의 적층은 잘 형성되는 반면에 상대적으로 기공의 발생빈도가 높고 기공의 크기가 클 우려가 있다. 이를 보완하기 위하여 코팅 재질 입자가 가늘고 기공 발생을 최소화할 수 있는 재질을 검토하였다.

플라즈마용사에 사용되는 분말의 입자크기는 용사 작업에 있어서 매우 중요한 인자이다. 입자의 크기가 클 경우, 용융 열에너지가 많이 필요하고 용융에 필요한 시간이 많이 요구되므로 입자의 크기에 따라 화염의 세기와 가스 유량등이 조절되어야 한다. 입자크기는 코팅층의 특성에도 영향을 주기 때문이다. 반면에 입자 크기가 아주 작을 경우에는 용사시 용융 입자의 속도가 감소하고, 과열에 의한 용사분말의 휘발 때문에 밀도와 용착 효율이 크게 저하된다. 용사분말 입자의 최적 크기는 140 ~ 325 mesh (0.10 ~ 0.04 mm)이다. 분말의 입자크기 못지않게

유압실린더 세라믹코팅 기공률 최소화 방안

Table 3 Comparison of ceramic coating material

Description	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
Coating method	Plasma	Plasma
Melting point(°C)	over 1,850	over 2,500
Powder size	over 40 μ m	under 40 μ m
Thickness per one path coating	thick	thin
Porosity	2 ~ 4%	1 ~ 2%
Price	40,000/Kg	100,000 kg
Coating color	gray	black
Hardness(Hv)	700~900	900~1,100

입형 (particle morphology) 또한 분말의 유동도 (flowability)와 밀접한 관계가 있으며, 이것은 분말 입자가 플라즈마 화염 속으로 용이하게 주입되는데 중요하다. 일반적으로 용사에 사용되는 분말은 사용하는 모재와 열팽창계수 및 열전도도 등이 서로 유사하여 모재와 용사층 간의 열팽창 차이에 의해서 발생하는 열응력이 최소화되도록 선택하여야 한다.^[4]

산화알루미늄과 산화크로뮴 계열의 코팅 분말에 대한 용사층의 특성을 Table 3에서 비교하였다. 산화크로뮴 계열의 코팅 분말의 크기는 40 μ m 이하이고 산화알루미늄 계열의 코팅 분말의 크기는 40 μ m 이상이다. 입자 크기가 작을 경우 입자 크기가 클 경우보다 촘촘히 용사되어 기공률이 낮아지고 내부 식성이 강화되는 장점이 있다. 그러나 코팅시 입자 크기가 작을 경우 용사분말의 휘발 때문에 용착 효율이 낮아져 1회 코팅시 적층되는 두께가 얇으므로 작업공정이 길어지고 자재비의 소모가 많아지는 단점이 있다. 세라믹코팅의 기공률을 최소화하기 산화크로뮴 재질로 변경하였으며, 실제 적용된 제품은 DSM-4430이다. 코팅 파우더의 입자크기는 평균 37.49 μ m이다.

신규 적용된 코팅의 내부식성 평가를 위해 염수분무시험을 실시하였으며, ISO 14933 Corrosion of metals and alloys에 의해 실시하였다. 염수분무시험조건은 Table 4에서와 같이 최대고온 150°C, 시험조의 온도는 35 \pm 2°C로 염수분무 시험을 실시하였다. 1,000시간 염수분무시험 결과 시편에 부식이 발생되지 않음을 확인하였다. 또한 32개의 피스톤로드 코팅작업 수행시 피스톤로드 양 끝단에 동시 시험편을 부착하여 실제 코팅된 로드와 동일한 조건

Table 4 Salt spray test condition

Description	Condition
Control	PID control
Power supply	Single phase 220V, three-phase 380V
Max. temperature	150°C
Humidity	20% ~ 95%
Salt solution	NaCl 5 \pm 1%, H ₂ O 95%
Test solution specific gravity	1.0268 ~ 1.0413
Air spray PH	6.5 ~ 7.2 (at 25°C)
Temperature of tank	35 \pm 2°C
Sprayed pressure	0.7 ~ 1.8 kg/cm ²
Sprayed capacity	0.5 ~ 3.0 ml
Nozzle diameter	0.508mm
Heating ratio	2.7°C/min
Size	1.57m(W)×1.445m(D)×2.06m(H)

의 시험편 기공률을 측정 한 결과 최대 기공률은 2.89% 최소 기공률은 1.26%이고, 평균 기공률은 2.37%임을 확인하였다. 경도 측정결과 최대 경도는 1,088.1 Hv 최소 경도는 986.3 Hv이고, 평균 경도는 1,038 Hv임을 확인 하였다.

3.3 씰링 처리

세라믹코팅은 재질 및 코팅공법의 특성상 기공이 발생한다. 기공률을 낮추기 위해 결합층 코팅 공법을 기존 플라즈마용사에서 초고속용사로 변경하고, 세라믹코팅 재질을 입자가 미세한 산화크로뮴 재질을 사용하여도 코팅된 제품의 평균 기공률은 2.37%이다. 이는 기존 제품보다 기공률 감소 측면에서는 향상되었으나 피스톤로드가 해수에 오랜 기간 침수되었을 경우 또다시 부식이 발생하는 문제를 야기할 수 있는 잠재적 가능성을 내포하고 있음을 의미한다. 이를 최소화하기 위해 코팅 후 코팅 표면에 씰링제를 도포하여 남아있는 기공을 메우는 방법을 도입하였다.

씰링제는 세라믹코팅 재질 및 공법에 적합한 사양을 전문 용사업체로 추천받아 DS-SS1이라는 제품을 사용하였다. 세라믹코팅 후 1차 씰링처리를 수행하였으며, 연마 및 폴리싱 공정 후 2차 씰링 처리를 하였다. 씰링 처리 수행 전 시편의 코팅 기공률이 2.88% 이었으나 씰링 처리를 수행 후 1.04%로 현저히 낮아졌다. 또한 씰링 처리를 수행한 시편과 씰링 처리를 수행하지 않은 시편에 대한 내부식 시험을 약 1,000시간동안 실시하였다. Fig. 6(a)는 씰링 처리를 하지 않은 시편의 부식시험 전 사진이며,

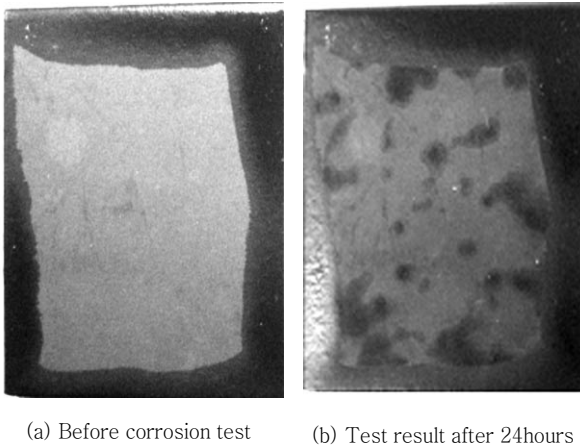


Fig. 6 Corrosion test of none sealed sample.

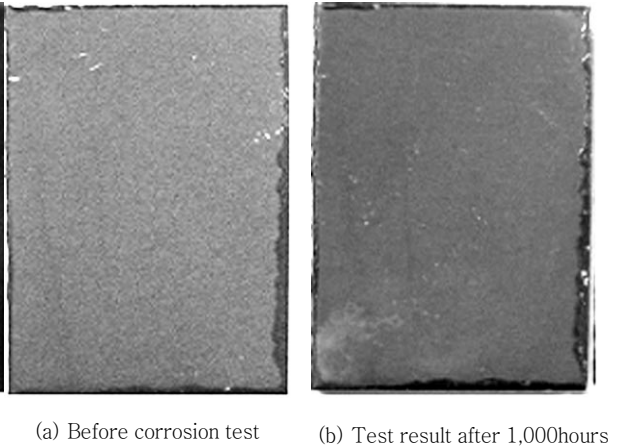


Fig. 7 Corrosion test of sealed sample.

Fig. 6(b)에서는 부식시험 후 약 24시간 후부터 부식이 발생한 것을 확인할 수 있는 사진이다. Fig. 7(a)는 썰링 처리를 한 시편의 부식시험 전 시편 사진이며, Fig. 7(b)에서는 부식시험 후 약 1,000시간 후의 사진이다. 썰링 처리를 한 시편은 1,000시간 후에도 부식이 발생되지 않음을 확인할 수 있다.

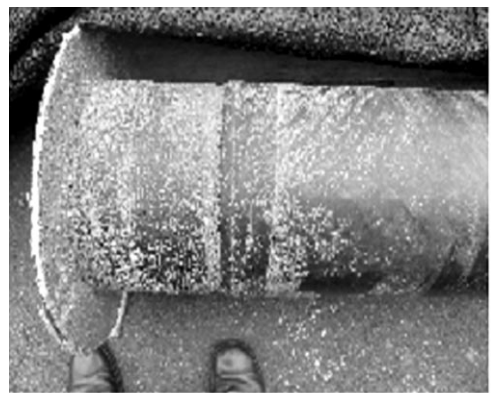
4. 코팅개선 효과

본 연구에서는 신규 피스톤로드에 적용될 결합층 코팅 공법, 세라믹코팅 재질 및 썰링 처리에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 각각의 단위 공정마다 시편을 제작하여 부식시험, 기공률 측정 등을 수행하였

다. 또한 실제 생산될 피스톤로드가 해수에 침수되는 환경에서 얼마나 오랫동안 부식이 일어나지 않는지를 확인하기 피스톤로드 축소모형을 제작하여 해수침수 시험을 실시하였다. 신규 축소모형은 로드재질과 동일한 용접구조용 강인 S355J2G3+N를 사용하였고, 결합층은 니켈, 크롬 분말을 초고속용사하여 코팅하였으며, 세라믹코팅 재질은 산화크로뮴과 산화티탄 분말을 플라즈마 용사하여 코팅하였다. 시험 위치는 사용될 현장 인근으로 선정하였으며, 실사용 보다 가혹한 환경조건을 부여하기 위하여 피스톤로드의 일부는 해수에 침수되고 일부는 침수되지 않도록 설치하여 2009년 9월 2일부터 2009년 12월 2일까지 약 3개월간 부식에 대한 진행 경과

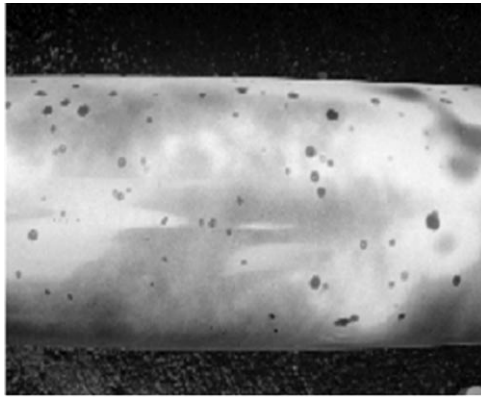


(a) Cr₂O₃-coated piston rod

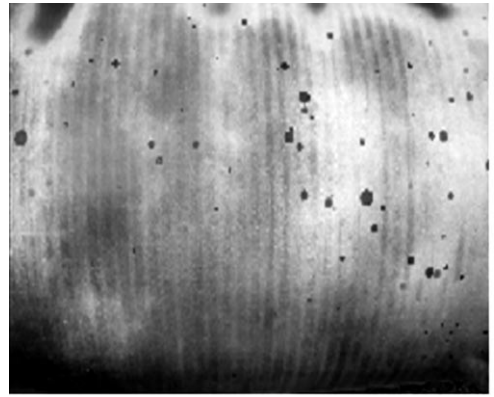


(b) Al₂O₃-coated piston rod

Fig. 8 Test result after 25 days in submerged condition.



(a) Cr₂O₃-coated piston rod



(b) Al₂O₃-coated piston rod

Fig. 9 Penetration test result after 25 days in submerged condition.

를 검사하였다.

피스톤로드 샘플 침수 후 약 25일 경과 후 1차로 중간점검을 실시하였다. Fig. 8(a)는 신규 공법을 적용한 제품이며, Fig. 8(b)는 기존 공법을 적용한 제품이다. 제품의 표면에 동일하게 어패류 등이 서식하고 있었으며 따개비를 제거후 표면 육안 검사시 코팅표면 박리나 부식 등의 특이사항은 발견되지 않았다. Fig. 9(a)는 신규 공법을 적용한 제품의 썰링제의 탈락 유무를 검사하기 위하여 침투탐상법을 실시한 사진이며 침투탐상 시험 결과 썰링제의 탈락이 이루어 지지 않음을 확인하였다. Fig 9(b)는 기존 공법을 적용한 제품의 침투탐상법 시험을 한 사진이며 침투탐상 시험 결과 침투액이 현상액에 반응을 보인 결과로 추론컨대 썰링 처리가 안 된 것으로 판단된다.

피스톤로드 샘플 침수 후 약 90일 경과 후 2차로 중간점검을 실시하였다. 육안 검사결과 1차와 동일하게 어패류 서식은 있었으나 어패류 제거 시 부식 발생은 없었다. 또한 침투탐상법 검사 실시 결과 썰링제 탈락 등은 나타나지 않았다.

실제 수문은 하루에 한 번이상 운전을 하고 있는 상황이며, 최소 2 ~ 3일에 한 번씩은 운전을 하고 있다. 그러나 유지보수시는 최대 1개월 동안 수문 작동이 불가하여 피스톤로드가 해수에 장시간 침수될 우려가 있지만, 본 시험을 통해 약 3개월 동안 침수가 되더라도 부식이나 코팅의 탈락, 썰링제의 탈락이 발생되지 않을 것이라 판단한다. 그러나 세라믹 코팅면의 보호를 위해 매일 수문 운전을 권장하고, 장시간 피스톤로드를 침수하여야 할 상황에는 유압

작동유를 이용하여 코팅 면에 주기적으로 도포를 해 주는 것이 보다 제품 성능을 향상시키는 방법이라고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 수문용 유압실린더 피스톤로드의 세라믹코팅의 기공률 최소화를 위해 새로운 코팅방법 및 재질을 선정하고, 썰링 처리를 수행한 후 현장 적용 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

세라믹코팅 결합층 코팅방법은 플라즈마용사를 대신해 초고속용사를 적용하였고, 초고속용사의 경우 용사재의 비행속도가 극히 빠르기 때문에 조직이 치밀한 고밀도의 초경피막을 얻을 수 있다. 초고속용사의 기공률은 플라즈마용사의 기공률 7%보다 낮은 2% 이하로 코팅되어 기공률 최소화가 가능하다. 세라믹코팅의 입자 크기가 작을 경우 입자 크기가 클 경우보다 촘촘히 용사되어 기공률이 낮아지기 때문에 산화알루미늄 계열보다 입자 크기가 작은 산화크로뮴 계열의 코팅재질이 기공률 최소화 측면에 우수하다. 산화크로뮴 계열의 기공률은 산화알루미늄 계열의 기공률 2 ~ 4%보다 낮은 1 ~ 2% 범위로 코팅됨을 확인하였다.

세라믹코팅 결합층의 코팅방법은 초고속용사를 적용하고 세라믹코팅의 재질은 산화크로뮴 계열을 적용하였을때 평균 기공률은 2.37%임을 확인하였다. 세라믹코팅후 발생하는 기공을 메우기 위하여 썰링 처리를 하였으며 썰링처리후 기공률이 1.04%로 현

격히 감소하는 것을 확인하였다. 개선된 코팅 공법을 이용하여 제작된 시편을 해수 침수시켰을 경우 약 1,000시간 동안 부식이 발생되지 않았으며 신규로 제작된 피스톤로드의 내부식성이 향상되었음을 확인하였다.

참고문헌

1. 장명식, 1993, 수문용 유압 권양장치, 농공기술지 40호, pp.76-77.
2. 한국기술사회, 2008, 유압실린더 합동점검 결과보고서, 현대건설.
3. 정병용, 2010, 탈황설비용 부스터팬 블레이드의 코팅재질 선정에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위논문.
4. 김영준, 1992, 플라즈마 용사된 Cr_2O_3 계 세라믹 용사층의 특성에 관한 연구, 충남대학교 대학원 석사학위논문.