<연구논문>

한국표면공학회지
J. Kor. Inst. Surf. Eng.
Vol. 45, No. 6, 2012.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2012.45.6.264>

WC-10Co4Cr으로 초고속 화염용사 코팅된 Cu 합금의 해수내 캐비테이션 손상 거동

한민수^a, 김민성^b, 장석기^a, 김성종^{a*}

^a목포해양대학교 기관시스템공학부, ^b(주)디섹

Behaviors of Cavitation Damage in Seawater for HVOF Spray Coated Layer with WC-10Co4Cr on Cu Alloy

Min-Su Han^a, Min-Sung Kim^b, Seok-Ki Jang^a, Seong-Jong Kim^{a*}

^aFaculty of Marine Engineering, Mokpo Maritime University, Jeonnam 530-729, Korea

^bDSEC, 1, Aju-dong, Geoje-si, Gyeongnam 656-714, Korea

(Received December 10, 2012 ; revised December 26, 2012 ; accepted December 30, 2012)

Abstract

Due to the good corrosion resistance and machinability, copper alloy is commonly employed for shipbuilding, hydroelectric power and tidal power industries. The Cu alloy, however, has poor durability, and the seawater application at fast flow condition becomes vulnerable to cavitation damage leading to economic loss and risking safety. The HVOF(High Velocity Oxygen Fuel) thermal spray coating with WC-10Co4Cr were therefore introduced as a replacement for chromium or ceramic to minimize the cavitation damage and secure durability under high-velocity and high-pressure fluid flow. Cavitation test was conducted in seawater at 15°C and 25°C with an amplitude of 30 μ m on HVOF WC-10Co4Cr coatings produced by thermal spray. The cavitation at 15°C and 25°C exposed the substrate in 12.5 hours and in 10 hours, respectively. Starting from 5 hours of cavitation, the coating layer continued to show damage by higher than 160% over time when the temperature of seawater was elevated from 15°C to 25°C. Under cavitation environment, although WC-10Co4Cr has good wear resistance and durability, increase in temperature may accelerate the damage rate of the coating layer mainly due to cavitation damage.

Keywords : Copper alloy, Seawater, High velocity oxygen fuel (HVOF), Cavitation, WC-10Co4Cr coating

1. 서 론

산업의 고도화와 대형화로 인해 조선해양, 수력, 조력 및 원자력 발전설비 등은 가혹한 부식환경에서도 재료의 높은 내구성과 안전성은 물론 경제성까지도 요구된다. 기존에는 경질크롬도금이나 세라믹과 같은 재료로 코팅하여 제품의 수명을 연장하였으나 공정 중에 유해물질이 발생하거나 코팅층의 취성이 대단히 크고 쉽게 손상되는 문제점이 발생하였다¹⁾. 기존 기술의 문제점을 해결하고 원가절감

과 제품의 내구성 향상을 위해 현재 초고속화염용사(high velocity oxygen fuel; 이하 HVOF) 기술이 주목받고 있다. 표면 금속용사코팅 기술은 용사재료 조성에 따라 코팅층의 성능을 인위적으로 제어할 수 있어 모재선택에 대한 원가절감뿐만 아니라 부식환경, 내구성, 내열성 환경과 같은 제품 사용 환경에 대한 영향에서 자유로울 수 있다. 연료와 산소를 혼합하여 연소시킴으로써 3000°C 이상의 고열과 마하의 속도는 분사되는 용사속도는 일반 용사코팅에 비해 코팅 계면의 결합력이 강하며, 기공이 적으며 조직이 치밀하여 그 응용분야가 대단히 넓다^{2,3)}. 또한 HVOF에서 표면 경화용 용사재료로

*Corresponding author. E-mail : ksj@mmu.ac.kr

는 높은 경도와 강도를 갖는 WC 강화상이 주로 사용되며, WC-Co 재료는 단위질량당 표면적이 대단히 커서 공정 중 열의 흡수가 많아 Co 기지 내에 초경 WC 입자의 분산강화가 이루어져 내마모성이 우수하며 Co와 Cr은 계면 접착력이 우수하여 고속 회전체의 내구성 향상을 위해 주로 사용된다³⁻⁵⁾.

본 연구에서 모재로 사용된 ALBC3 합금은 주조성이 뛰어나며 내식성 크고 인성이 풍부하여 오래전부터 조선해양 기자재 산업분야에 폭넓게 사용된다. 그러나 동합금의 경우 내구성이 부족하여 해수 환경에서 상대적인 유속과 회전수가 증가하면 부식과 함께 침식이 발생하게 된다. 유속의 증가는 부식의 손상보다 침식에 의한 손상을 증가시키고 특히 캐비테이션 손상이 가속화되어 제품에 대한 경제적 손실과 함께 안전을 위협한다⁶⁻⁸⁾.

본 연구에서는 주조재인 ALBC3 합금에 초경재료인 WC-10Co4Cr 재료로 초고속화염용사 코팅을 실시하여 여름과 겨울철 국내 연안 해수온도의 평균값에 상응하는 15°C와 25°C의 온도를 변수로 하여 해수환경에서 캐비테이션 실험을 실시하여 표면 코팅층의 내구성을 평가하였다.

2. 실험방법

연구에 모재로 사용된 Cu 합금인 ALBC3(Cu: 80~82 wt%, Al: 9~10 wt%, Fe: 3~4 wt%, Ni: 4~5 wt%) 합금에 표면 내구성 향상을 위해 WC-10Co4Cr을 코팅재료로 하여 HVOF 코팅을 실시하였다. 코팅 전 모재의 표면 거칠기를 일정하게 하기 위하여 페이퍼 600번으로 연마하였다. 실험에 사용된 코팅재료의 화학적 조성은 표 1에 나타내었으며, HVOF의 최적화된 용사조건은 표 2에 나타내었다. HVOF 코팅층의 특성을 파악하기 위해서 표면 코팅층의 두께, 경도를 측정하였고, EDS, XRD 촬영을 실시하여 성분 분석을 실시하였다. 그리고 표면에 대한 캐비테이션 특성을 파악하기 위해 천 연해수 15°C와 25°C의 온도변수에서 코팅층이 손상되어 모재가 발견될 때까지 2시간 30분 간격으로 실험을 진행하였다. 캐비테이션 특성 평가에 사

용된 장비는 압전(Piezo electric) 효과를 이용한 진동발생 장치(cavitation erosion tester)이며, 진동대향법으로 모재와의 거리 1 mm에서 초음파 진폭 30 μm 로 일정하게 유지하여 해수내에서 실험하였다. 시험편 표면 손상정도를 파악하기 위해 표면 Scan, 광학현미경 촬영, SEM촬영, 3D 현미경 촬영, 무게 감소량 변화를 측정하여 온도변화에 따른 가혹한 부식-캐비테이션 환경에서 운용되는 동합금의 캐비테이션 손상 거동을 평가하고자 하였다.

3. 실험내용 및 고찰

그림 1은 WC-10Co4Cr 코팅층의 횡단면과 표면을 광학현미경과 주사전자현미경으로 관찰한 것이다. 용사코팅은 용융된 용사재의 적층으로 단면조직형상이 층상을 조직을 갖게 된다. 횡단면의 경우는 탄화물을 포함하여 금속 바인더로써 첨가된 Co, Cr이 분산강화되어 있다. 코팅층 내부에는 용사코팅층의 전형적인 결함인 내부 기공들이 존재하고 WC-Co계 재료는 HVOF시 표면적이 다른 합금원소에 비해 크고 열의 흡수가 많아 모재와 방사형으로 충격하면서 Co 기지 내에 초경 WC 입자의 분산강화가 이루어지고 후속 용융입자가 적층되면서 기공이 생성된다. 또한 HVOF의 특성상 고열과 고속 적층은 공정중에 발생하는 가스를 배출할 수 없어 미세한 기공을 남기기도 한다^{3,9)}. 코팅표면 관찰에서는 판상 용융입자 주위에 미용융 입자의 구형으로 적층되어 있으며 기공도 함께 관찰되었다. 코팅층의 두께는 285.6 μm 이었으며 경도는 619.8 Hv

Fig. 1. Observation of the cross-section and surface for HVOF coating specimens.

Table 1. Chemical composition of the HVOF coating materials

Component (wt%)	Cr	Co	C	W
WC-10Co4Cr	3.5-4.5	9-11	5.0-5.4	79.1-82.5

Table 2. Spray condition of HVOF coating for WC-10Co4Cr

Powder	Spray rate [g/min]	Spray distance [mm]	Feeder speed [rpm]	Gun Barrel [inch]
WC-10Co4Cr	100	380	200	8

로 모재의 경도 261 Hv 보다 137% 정도 높은 값을 나타냈다.

그림 2는 WC-10Co4Cr 코팅층 표면에 대한 XRD 분석 결과를 나타낸 것이다. 대부분이 WC 결정상으로 존재하고 있다. 다양한 크기를 가지는 WC-CoCr 분말은 최고 약 3,500°C의 고온화염에 의해 용해 혹은 부분 용해되며, 이들 액적(splat)은 최고 약 1,000 m/s의 고속으로 모재에 증착된다¹⁰⁾. 화염의 최고 온도 3,500°C는 Co(4.7 at% C) 용융점 1,321°C, Co 용융점 1,495°C, Cr₂₃C₆ 용융점 1,495°C, Cr 용융점 1,863°C 및 δWC 열분해 온도 1,250°C, βW₂C와 WC 용융점 2,785 ±10°C 보다 높으며 W 용융점 3,422°C와 유사하다^{10,11)}. 따라서 접착제 역할을 하는 Co와 Cr은 완전히 용융되어 액적을 형성하며 이들 액적은 1,000 m/s의 고속으로 모재표면에 강한 증착을 한다. 이는 액적이 고온의 화염 속을 비행하는 동안 δWC 열분해 온도 이상에서 약간의 WC가 상분해 되었기 때문이다¹¹⁻¹³⁾. 결정상은 표 3에 나타낸 바와 같이 WC는 육방정(Hexagonal) 결정격자를 가진다. XRD 분석 결과 WC의 금속간 화합물이 측정된 스펙트라(spectra) 내에서 가장 높은

Fig. 2. The XRD analysis of WC-10Co4Cr coating surface by HVOF spray coating process.

Table 3. The result of crystal analysis for WC-10Co4Cr coating surface

Phase	Crystallographic parameters (Å)		Bravais lattice
Tungsten Carbide (WC)	a	2.9060	Hexagonal
	b	2.9060	
	c	2.8370	
	α, β	90.0000	
	γ	120.0000	

피크를 나타냈으며 Co 또는 Cr의 산화물은 관찰되지 않았다.

그림 3은 WC-10Co4Cr 분말의 성분 분포를 나타내는 EDS mapping으로 코팅 횡단면에 대한 분석 결과를 나타낸 것이다. 밝은 영역은 바인더로 사용된 Co, Cr 성분은 WC 입자 사이에 고르게 존재하나 곳곳에 적은 양이 편석되어 존재하는 것을 관찰할 수 있다. C의 경우도 극히 적은 편석이 관찰되고 코팅층 전반에 고루 분포하고 있으며 용사공정시 고온에서의 산화 및 외부 산소의 코팅층 내부로의 확산에 기인하여 다량의 산화물을 포함하고 있는 것으로 사료된다.

그림 4는 WC-10Co4Cr 코팅층 횡단면에 대하여 Spot EDS 분석결과를 나타냈으며, 측정된 곳은 코팅층과 모재와의 계면을 중심으로 촬영하였다. Spectrum 1은 코팅층에 대부분의 영역에서 관찰되는 밝은 회색을 나타내는 영역이다. 이 영역에 대하여 spot EDS 분석결과, W이 80.50 wt%, Co가 8.86 wt%, C가 6.73 wt%, Cr이 3.91 wt%로 이루어진다. W가 대부분을 구성하고 Co, C, Cr순으로 원소를 포함하는 고용체로 구성되어 높은 경도를 나타낼 것으로 사료된다. 이와 같은 고용체가 코팅층 전체에 균일하게 분포되어 있는 것으로 보아 우수한 내마모성 및 내캐비테이션 특성을 가지는 것으로 사료된다. Spectrum 2은 W가 64.98 wt%, Cu가

Fig. 3. Analysis for chemical elements of cross-section by mapping analysis for WC-10Co4Cr coating.

Fig. 4. Analysis for chemical elements of cross-section by spot EDS spectrum for WC-10Co4Cr coating.

Fig. 5. Comparison of the damaged behavior for WC-10Co4Cr HVOF coating in sea water of 15°C.

19.12 wt%, C가 6.38 wt%, Co가 5.22 wt%, Cr이 2.58 wt%, Al이 1.71 wt%로 이루어져 있다. 모재와 코팅층 계면의 포인트를 측정된 결과여서 Cu와 Al의 함량이 나타났고, 나머지 원소들은 Spectrum 1과 비슷한 비율로 나타나 있는 것을 확인 할 수 있다. Spectrum 3는 W이 61.53 wt%, Cu가 23.22 wt%, C가 5.69 wt%, Co가 5.51 wt%, Al이 2.06 wt%, Cr이 2.00 wt%로 구성되어 있다. 모재와 코팅층간 차이가 있음에도 불구하고 Cu와 Al의 함량이 Spectrum 2보다 높게 나타난 원인은 초고속 화염용사 중에 sputter와 모재와의 충돌로 인해 빠져나온 모재의 일

부 합금이 검출된 것으로 판단된다. 이 포인트 역시 나머지 원소들이 Spectrum 1과 비슷한 비율로 나타났다. 각 Spectrum에서 검출된 원소의 비율이 비슷하였고, 일부에서 모재의 원소들이 검출되기도 하였다. 결과적으로 WC-10Co4Cr의 코팅층은 고르게 원소들이 분포되어 있어 전체적으로 우수한 내마모성 및 내캐비테이션 특성을 가지는 것으로 사료된다.

그림 5는 15°C 해수환경 하에서 ALBC3 합금에 HVOF 용사법으로 제작된 WC-10Co4Cr 코팅 시험편에 대해 캐비테이션 실험 후 표면의 손상변화를

각 적용시간에 따라 관찰한 것이다. 7.5시간까지는 표면 손상이 관찰되지 않았으나, 10시간을 기점으로 표면 손상이 관찰되었다. 캐비테이션 손상은 혼(horn)의 형상을 따라 손상이 발생하였다. 12.5시간의 사진에서 캐비테이션 시간이 지나면서 전체적으로 코팅층의 손상이 진행되었음을 알 수 있다. 캐비테이션 영향부의 중앙은 캐비티의 충격압이 가장 강하기 때문에 요철 형상이 지속적으로 제거되게 된다. 15시간 동안 캐비테이션을 지속한 경우, 코팅층이 박리되어 모재가 노출되었다(노란색). 가혹한 캐비테이션 실험을 실시하였음에도 불구하고 모재 표면 손상이 거의 관찰되지 않는 이유는 다른 용사기술 대비 HVOF의 낮은 기공율과 용사재의 높은 경도를 가지고 화학적으로도 대단히 안정적이기 때문에 캐비테이션 특성이 매우 양호한 것으로 판단된다. 또한 Co와 Cr의 용융으로 인한 코팅층 계면의 접합력이 우수하고 C와 함께 공정 중 산소와 가스가 결합하여 화학적 변화를 수반한다. 그리고 용사재료 내의 다양한 원소들이 복합적으로 화합한 금속간 화합물은 코팅층의 박리에 영향을 미치게 된다¹⁴⁾. 17.5시간, 20시간의 사진에서 캐비테이션 시간이 경과함에 따라 코팅층의 박리는 중심부를 기점으로 점점 확산되나 급격히 증가하지는 않는다. 이는 캐비테이션이 진행되면서 손상된 표면의 거칠기가 증가하므로 캐비티가 상호 충돌하여 소멸하는 완충작용(cushion effect)이 발생하며, 캐비테이션을 발생시키는 혼과 이에 대항하는 시험편 표면과의 이격거리가 손상에 발생함에 따라서 증가하기 때문에 캐비티의 충격에너지의 소모가 증가하는 것으로 사료된다.

그림 6은 25°C 해수환경 하에서 ALBC3 합금에

Fig. 6. Comparison of the damaged behavior for WC-10Co4Cr HVOF coating in sea water of 25°C.

HVOF 용사법으로 제작된 WC-10Co4Cr 코팅 시험편에 대해 캐비테이션 실험 후 표면의 손상변화를 각 적용시간에 따라 관찰한 것이다. 표면은 육안으로 관찰 시 15°C의 경우 보다 손상이 더욱 빨리 진행되었으며, 2.5시간부터 혼 가장자리에서 손상이 발생하였다. 12.5시간이 경과한 경우, 코팅층 전체적으로 손상이 진행되어 모재가 노출되기 시작하였으며, 15시간이 되는 시점에서 코팅층이 전체적으로 박리되었고, 모재 손상이 관찰되었다. 온도 변수 적용 시 온도가 증가할수록 보다 활성적인 거동으로 표면 손상도가 증가함을 확인 할 수 있었다.

그림 7은 15°C 해수환경 하에서 ALBC3 합금에 HVOF 용사법으로 제작된 WC-10Co4Cr 코팅 시험편에 대해 캐비테이션 실험 후 주사전자현미경과 3D 현미경을 통해 표면의 손상변화를 각 적용시간에 따라 관찰한 것이다. 용사 코팅층의 형성은 고온, 고속의 미소 용융입자의 충돌과 적층과정을 거치면서 표면에 입자간 기공이 관찰되었다. SEM/3D 관찰 모두에서 2.5시간부터 시험편에 손상이 관찰되었고 실험시간이 증가함에 따라 코팅층에 존재하던 기공은 캐비티 충격압으로 기공이 성장하고 깊

Fig. 7. 2D/3D analysis of the damaged behavior with cavitation time for WC-10Co4Cr HVOF coating in 15°C sea water.

이방향의 손상도 크게 증가함을 알 수 있다. 10시간 이후부터는 손상이 빠르게 증가하면서 캐비테이션으로 인한 표면 침식이 발생하였고 12.5시간에 모재의 노출이 시작되었다. WC-10Co4Cr 용사재는 1250°C에서 2WC는 W_2C 와 C로 분해되고 이들 산화물의 표준생성자유에너지가 크다. 그러므로 탄소가 우선적으로 초과 공급된 산소와 반응하여 탄산가스로 방출하면서 계면에 금속산화물을 거의 형성하지 않기 때문에 WC-Co 코팅의 부착력이 큰 것으로 알려져 있다¹⁵⁾. 이처럼 뛰어난 부착력으로 인해 15시간 동안 캐비테이션 실험한 경우 코팅이 박리되어 ALBC3 합금 모재가 노출되었으며, 노출된 모재 표면에서 침식현상이 관찰된 것으로 사료된다.

그림 8은 25°C 해수환경 하에서 ALBC3 합금에 HVOF 용사법으로 제작된 WC-10Co4Cr 코팅 시험편에 대해 캐비테이션 실험 후 주사전자현미경과 3D 현미경을 통해 표면의 손상변화를 각 적용시간에 따라 관찰한 것이다. SEM/3D 관찰 모두에서 2.5시간에서는 코팅층이 캐비테이션 영향으로 손상된 기공이 발생하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 이후 시간이 경과함에 따라 기공이 점점 성장하고 있음을 확인할 수 있다. 10시간의 경우 코팅층이 박리되고 ALBC3 합금 모재가 노출되기 시작하였다. 그리고 12.5시간의 경우 코팅층의 박리가 증가되었고, 노출된 ALBC3 합금 모재 표면에 캐비테이션 침식

Fig. 8. 2D/3D analysis of the damaged behavior with cavitation time for WC-10Co4Cr HVOF coating in 25°C sea water.

의 흔적이 발견되었다. 결과적으로 15°C 보다 25°C의 조건에서 더욱 캐비테이션 침식이 빠르게 진행됨을 확인하였고, 육안으로 관찰하였던 결과와 다르게 SEM을 통해서도 침식조건이 더욱 빠르게 진행된 것으로 관찰되었다.

그림 9는 WC-10Co4Cr 코팅에 대한 캐비테이션 실험 후 측정된 손상깊이를 상호 비교한 것이다. 초기 2.5시간에서는 차이를 보이지 않았으나 5시간부터 15°C 보다 25°C에서 더 큰 손상깊이를 나타냈으며, 코팅층 완전 박리되기 전인 12.5시간까지는 그 증가폭과 경향은 유사함을 알 수 있다. 또한 손상은 초기에 기공의 형태로 손상되어 깊이방향으로 진행하였다. 이것으로 온도가 상승할수록 코팅층의 표면 손상깊이는 증가하여 온도와 캐비테이션 손상과는 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 그리고 모재가 노출된 이후에는 캐비테이션 침식이 빠르게 증가되어 모재의 손상깊이 또한 크게 상승함을 알 수 있다.

Fig. 9. Comparison of the damaged depth change for WC-10Co4Cr with cavitation temperature parameters in sea water.

Fig. 10. Variation of weight loss and cavitation damage rate for WC-10Co4Cr coating in sea water of 15°C.

그림 10은 15°C 해수 내에서 ALBC3 합금에 WC-10Co4Cr 재료로 코팅된 시험편에 대한 캐비테이션 실험 후 무게감소량 및 단위 시간당 무게감소율(캐비테이션 손상율)을 나타낸 것이다. 캐비테이션 무게 감소율은 각 시간별 무게감소량에 대한 지속시간을 나눈 것을 의미한다. 해수용액 하에서 캐비테이션 손상은 시간에 비례하여 지속적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이와 같이 캐비테이션 손상은 해수환경 하에 노출된 경우, 캐비테이션의 물리적인 손상과 부식현상이 복합적으로 작용하여 가속화 되는 상승효과를 나타낸다. 캐비테이션이 15시간 지속되었을 경우, 코팅층이 박리되어 모재가 노출되었으며 캐비테이션 손실은 급격하게 증가하였다. 각 적용 시간에서 감소량의 차이는 5시간은 0.0713 g, 10시간의 경우, 0.1312 g, 12.5시간의 경우, 0.1312 g으로 측정되었다. 반면, 박리현상이 발생된 15, 20시간 구간에서는 0.1792 g과 0.2397 g으로 무게 감소량은 보다 급격하게 상승하였다. 뿐만 아니라, WC-10Co4Cr 코팅에 대한 무게감소율은 초기에 높은 값을 나타낸 후 감소하였으며 박리가 시작된 15시간 이후 구간을 기점으로 다시 증가하였다.

그림 11은 25°C 해수 내에서 ALBC3 합금에 WC-10Co4Cr 재료로 코팅된 시험편에 대한 캐비테이션 실험 후 무게감소량 및 단위 시간당 무게감소율을 나타낸 것이다. 실험 초기 캐비테이션 거동은 5시간과 10시간의 경우, 무게감소량은 각각 0.1157 g, 0.2124 g이며 무게 감소율은 0.0231 g/h, 0.0212 g/h로 초기의 손상은 대단히 적은 양으로 감소하였다. 10시간까지 완만하게 상승한 후 12.5시간부터 보다 큰 기울기로 캐비테이션에 따른 무게감소량이 증가하고 있으며 전체적인 경향은 15°C 조건과 유사하였다. 반면, 무게감소량의 차이에서 25°C 조건이 15°C 조건보다 현저하게 낮은 캐비테이션 저항성을

나타냈음을 알 수 있다. 온도 변수로 확인한 결과 15°C의 5시간, 10시간 그리고 15시간에서의 감소량은 25°C의 조건에서 각각 162.3%, 161.9% 그리고 177.6% 높게 측정 되었으며 캐비테이션에 대한 저항성은 상대적으로 매우 낮은 것으로 판단된다. 반면, 코팅은 해수환경 하에서 캐비테이션이 12.5시간 이상 지속하였을 때 코팅층의 박리로 인해 모재가 노출되었다.

4. 결 론

해양환경 하에서 사용되는 ALBC3 합금의 내구성 향상을 위한 목적으로 HVOF 코팅기술을 이용하여 WC-10Co4Cr 코팅된 재료에 대하여, 30 μ m의 초음파 진폭을 이용한 캐비테이션 특성 평가를 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 코팅층이 박리되어 모재가 노출되는데 소요된 캐비테이션 실험 시간은 해수온도 15°C의 경우 12.5시간, 25°C의 경우 10시간으로 해수온도 15°C의 조건이 더 높은 내구성을 나타냈다.

2. 코팅층의 표면손상 깊이의 증가는 5시간부터 15°C 보다 25°C에서 더 큰 손상깊이를 나타냈으며, 모재에 캐비테이션 침식이 발생하기 전인 12.5시간까지는 일정한 증가폭을 나타냈다.

3. 15°C에서 25°C로 해수온도가 높아지면 무게감소량은 5시간 이후부터 캐비테이션 발생시간에 따라 160% 이상 증가하는 경향을 보였다.

결과적으로 WC-10Co4Cr 코팅의 화학적 안정성 및 높은 내구성이 갖고 있을지라도 해수온도가 상승할수록 캐비티의 활동성 증가로 표면 캐비테이션 침식이 빠르게 증가될 수 있다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. J. E. Cho, S. Y. Hwang, K. Y. Kim, J. Kor. Inst. Met. Mater., 42 (2004) 1005-1013.
2. G. B. Kwon, D. H. Cho, Y. K. Chang, Y. N. Park, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 35 (2002) 5-10.
3. K. S. Kim, N. K. Baek, J. H. Yoon, T. Y. Cho, S. J. Youn, S. K. Oh, S. Y. Hwang, H. G. Chun, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 39 (2006) 179-189.
4. T. Y. Cho, J. H. Yoon, K. S. Kim, N. K. Baek, K. O. Song, S. J. Youn, S. Y. Hwang, H. G. Chun,

Fig. 11. Variation of weight loss and cavitation damage rate for WC-10Co4Cr coating in sea water of 25°C.

- J. Kor. Inst. Surf. Eng., 39 (2006) 5-10, 295-301.
5. K.-O. Song, T.-Y. Cho, J.-H. Yoon, W. Fang, S.-J. Youn, C.-H. Suh, K.-T. Youn, S.-Y. Hwang, S.-S. Ha, J. Kor. Inst. Met. & Mater., 46 (2008) 351-356.
 6. A. G. Petersen, D. Klenerman, W. M. Hedges, Corrosion, 60 (2004) 187-194.
 7. Annual Book of ASTM Standards G32-92, ASTM (1992) 110.
 8. J. T. Chang, C. H. Yeh, J. L. He, K. C. Chen, Wear, 255 (2003) 162-169.
 9. Y.-Q. Zhang, Z.-X. Ding, Y. Fan, Hot Working Technology, 39(16) (2010) 25-29.
 10. P. Chivavibul, M. Watanabe, S. Kuroda, K. Shinoda, Surface and Coatings Technology, 202 (2007) 509-521.
 11. J. E. Cho, S. Y. Hwang, K. Y. Kim, Surface Coating Tech., 200 (2006) 2653-2662.
 12. T. Y. Cho, J. H. Yoon, K. S. Kim, K.O. Song, Y. K. Joo, W. Fang, S. H. Zhang, S. J. Youn, H. G. Chun, S. Y. Hwang, J. Adv. Mater. Res., 26-28 (2007) 1325.
 13. K. J. Euh, S. B. Kang, B. M. Yang, J. Kor. Inst. Met. & Mater., 45(5) (2007) 292-299.
 14. A. A. Bouudi, M. S. J. Hashmi, B. S. Yilbas, J. Materials Processing Technology, 173 (2006) 44-52.
 15. S. Mattnew, B. James, M. Hyland, Corrosion Science, 51 (2009) 1172-1180.