

# 용사법에 의한 주철제 표면개질부의 내마모성 연구

이광렬\* · 최영국\*\* · 김영식\*\*\*

\*한국해양대학교 대학원 재료공학과

\*\* (주)종합 폴스타

\*\*\*한국해양대학교 교수 기계소재공학과

## A study on the anti-wear properties of surface modified cast iron by metal spray method

KWANG-RYEOL LEE\*, YOUNG-KOOK CHOI\*\* AND YOUNG-SIK KIM\*\*\*

\*Korea Maritime University, Material Engineering, Busan, Korea

\*\*Jonghap Polestar Co. Ltd., Busan, Korea

\*\*\*Korea Maritime University, Division of Mechanical & Materials Engineering, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Cast Iron 주철, Surface Modification 표면개질, Plasma Metal Spray 플라즈마용사, Cylinder Liner 실린더 라이너

**ABSTRACT:** A experimental try was conducted for the purpose of establishment of the cast iron modification by the metal spray method. The friction and wear resistance properties of the metal sprayed cast iron surface were evaluated. The application experiment for the cast iron modification by the metal spray method was conducted in order to develop the restoring method of the scrapped cast iron cylinder liner of the marine engine.

### 1. 서 론

주철제 표면의 표면 개질은 기계 부품의 수명 연장, 성능향상을 위해 매우 중요한 일이다. 그러나 지금까지 주철제에 대한 표면개질의 연구는 그다지 이루어지지 않았다. 그것은 주철제가 비교적 저렴한 소재이고, 또한 표면 개질을 통해 주철제의 자기윤활성을 손상하지 않으면서 표면 특성을 향상시킬 수 있는 방법이 개발 되지 않았기 때문으로 사료 된다.

이 연구에서는 플라즈마 아크 용사법에 의해 주철제 표면에 용사 피막을 형성 함으로서 주철제의 표면 개질성을 조사 하였다. 용사 피막을 갖는 주철제에 대해 마찰, 마모 특성을 조사하여 주철 소지 금속 보다 용사피막제의 특성이 우수함을 발견하고, 이 방법을 선박용 기관의 실린더 라이너의 수명 연장과 성능 향상에 응용 할 수 있음을 확인 하였다.

### 2. 실험 방법 및 결과

#### 2.1 용사법에 의한 주철표면의 오버레이(Overlay)방법 개발

##### 2.1.1 용사조건의 확립

실험에 사용 한 용사장치는 플라즈마(Plasma)용사 장치

제1저자 이광렬 연락처: 부산시 영도구 동삼2동

한국해양대학교 기계소재공학과 용접공학실험실(N334)

051-410-4965 lkr3896@korea.com

(Metco 社製)를 사용하였다. 그리고 주철 소지 재료는 FC25의 폐기된 실린더 라이너를 사용하였다. 또한 용사분말은 예비실험을 통해 Fe-Ni-Al 계열이 가장 적합한 것으로 판명되어 이 분말을 사용하였다.

Table 1에 FC25의 조성을 Table 2에 용사분말의 성분을 나타낸다.

**Table. 1** Mechanical properties of substrate material

	Tensile strength (MPa)	Hardness (HB)	Elongation (%)
FC25	210	180~230	0.3

**Table. 2** The compositions of substrate and spraying powder

		Composition (%)										
		Fe	Ni	C	Al	Si	Mn	P	S	B	Cu	V
Substrate	FC25	Bal.		3.3		1.2	0.5	0.25	0.06	0.03	1.4	0.22
Spraying powder	METCO 452	Bal.	38		10							

이상과 같은 용사장치와 소지금속 및 분말을 이용하여 최적의 용사조건을 탐색하였다. 최적의 용사조건은 사용가스의 압

력, 유량, 전압, 전류 조건 등은 범용의 조건으로 고정하고, 용사거리의 변화에 따른 용사피막의 조직관찰, 용사피막의 경도, 기공률 측정, 용사피막의 열충격 실험을 통하여 구하였다.

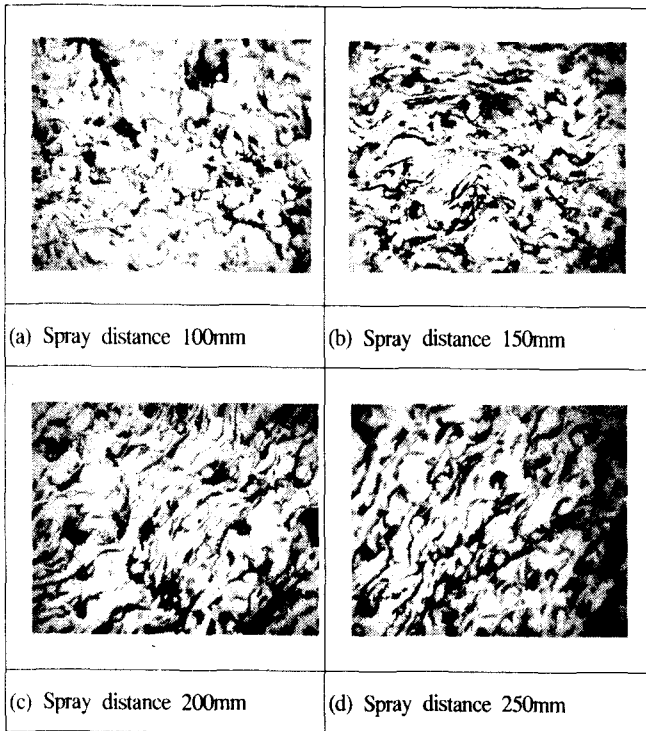


Fig.1 Micrographs of cross section of sprayed coatings  $\times 200$

Fig.1은 용사거리에 따른 용사층의 조직 사진이며 이러한 조직 사진으로부터 Image analysis를 사용하여 기공률과 산화물량을 Table 3과 같이 정량화 하였다. 이 결과에 의하면 용사거리가 증가 할 수 록 기공률과 산화물층이 증가하는 경향을 보이고 있다.

Table. 3 The amount of porosity and compound of the sprayed coating

Spray distance (mm)	100	150	200	250
porosity (%)	2.0	4.0	5.9	8.5
compound (%)	11.9	15.6	16.8	19.8

이상과 같은 실험과정을 거쳐 플라즈마 용사시 용사거리는 가능하면 짧게 하는 것이 기공률과 산화물량을 작게 하여 피막의 강도를 향상 시킬 수 있음이 판명되었다. 그러나 너무 짧게 하면 용사입자가 완전히 용융되지 못하고 미용융상태에서 부착하여 피막의 강도를 저하시키고 자기유효 효과를 저하시키는 결과를 초래 할 수 있기 때문에 이 연구에서는 용사거리를 75mm로 하였다. 그 밖의 용사조건은 Table 4와 같게 하였다.

Table. 4 Established spray conditions obtained from various experimental results

Ar		H <sub>2</sub>	
Powder spray rate(g/min)	Spray distance (mm)	Ampere	Voltage
55	75	500	50

Pressure (psi)	Flow rate (scfm)	Pressure (psi)	Flow rate (scfm)
60	18	55	10

## 2.2 용사 시험편의 마찰·마모 실험

실린더 라이너와 피스톤링의 왕복운동을 재현하기 위하여 만능재료시험기를 사용하여 왕복마찰마모 실험 장치를 제작하였다. 마찰축과 링재 사이의 마찰면에 작용하는 하중은 강선을 이용하여 Fig 2와 같이 한쪽 끝을 고정하고 다른쪽은 링재를 1회 감은 후 베어링을 거쳐 그 끝에 추를 매달아 추의 자중에 의해 마찰축의 원주 둘레 전면에 하중이 작용하도록 하였다. 따라서 실제하중은 추의 무게를 W로 하면 한바퀴를 감게 되면 4W가 되므로 본 실험에서 4W로 계산하여 마찰계수를 측정하였다.

마찰마모 실험의 조건은 조직 및 경도 실험에서 가장 우수한 특성의 용사조건으로 용사한 시험편과 모재를 선택하여 실험 비교 하였다. 부하하중은 392N을 가하였고, 실험환경은 건식과 일반엔진의 작동조건을 재현하기 위해 일반 엔진 윤활유에 시험편을 1회 침지한 상태로 실험하였다. 마찰마모거리는 1회 왕복변위를 8mm를 1cycle로 하여 총 200,000cycle 동안 실험하여 총 마찰거리가 1600m 가 되도록 하였다.

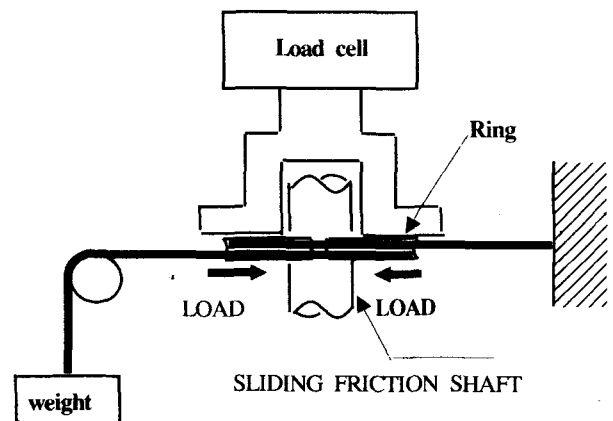


Fig. 2 Schematic illustration of friction and wear test

마찰계수는 컴퓨터를 이용하여 인스트론사의 다축 동적제어 프로그램인 MAX 프로그램을 이용하여 데이터를 수집하여

Excel 프로그램을 이용하여 하중을 계산하여 구하였다. 마모량은 마이크로미터로 마모실험 전 시험편 직경과 마모실험 후의 직경을 측정하여 직경변화를 계산하였고, 마모실험 전 무게를 측정하여 무게를 계산하였다.

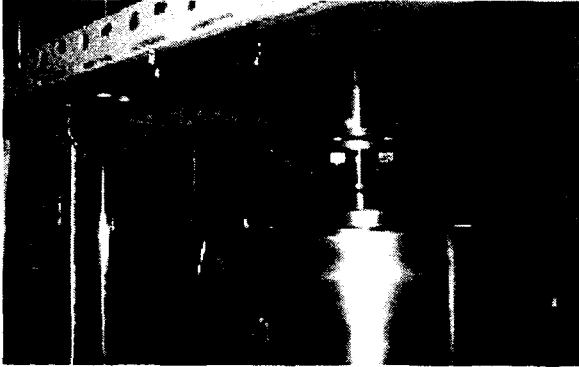


Fig. 3 The shape of friction and wear test

### 2.3 마찰마모실험의 결과

Fig 4와 Fig 5는 건식 상태에서 FC25의 주철제와 주철제 표면에 코팅 처리한 시험재의 마모량을 무게감량과 직경감량으로 나타내어 비교한 것이다. 이 결과에 의하면 건식상태에서의 코팅처리재의 마모량이 코팅처리를 실시하지 않은 주철제의 마모량보다 더 많게 나타남을 알 수 있다. 한편 1회 윤활유에 침지한 조건에서의 코팅처리재와 주철제의 마모량을 비교한 결과는 Fig 6과 Fig 7에 나타내었다. 이 결과에 의하면 용사코팅처리재의 경우가 주철제에 비해 마모량이 작게 나타났음을 알 수 있다.

이처럼 1회 윤활유 침지조건에서 용사코팅재가 양호한 결과를 보이는 것은 용사코팅 피막 내에 존재하는 기공에 의한 윤활유의 침윤효과 때문에 유막이 지속적으로 유지되어 마찰계수를 낮게 하기 때문인 것으로 판단된다.

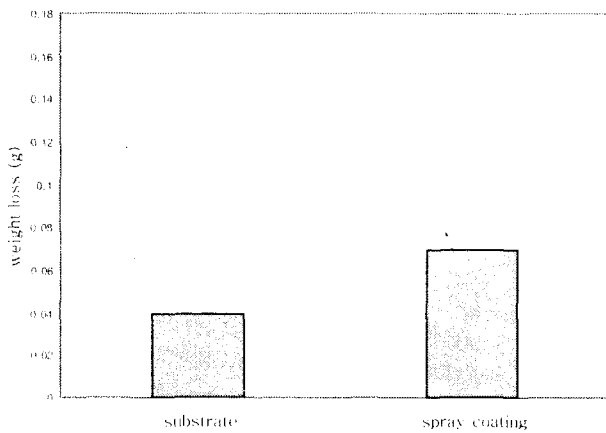


Fig. 4 The comparison of wear weight loss with substrate and sprayed coating layer in dry condition

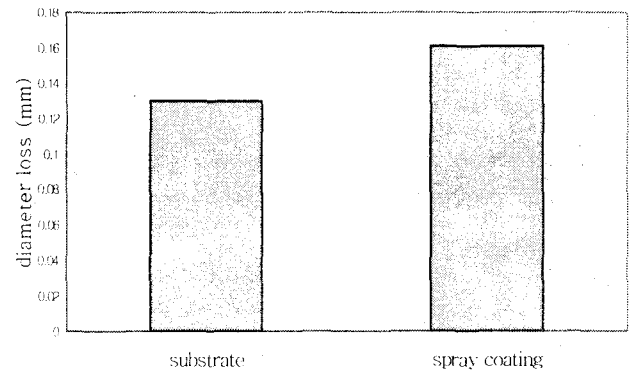


Fig. 5 The comparison of wear diameter loss with substrate and sprayed coating layer in dry condition

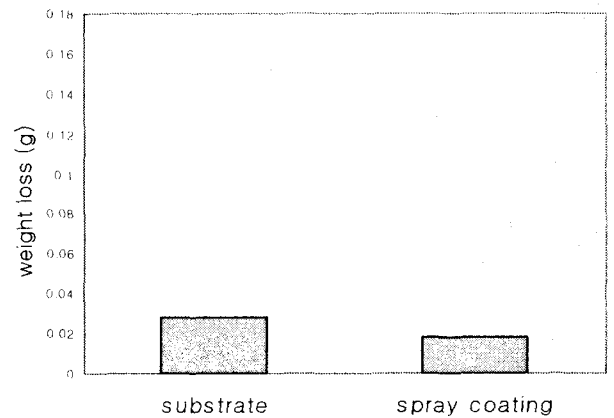


Fig. 6 The comparison of wear weight loss with substrate and sprayed coating layer in lubricate condition

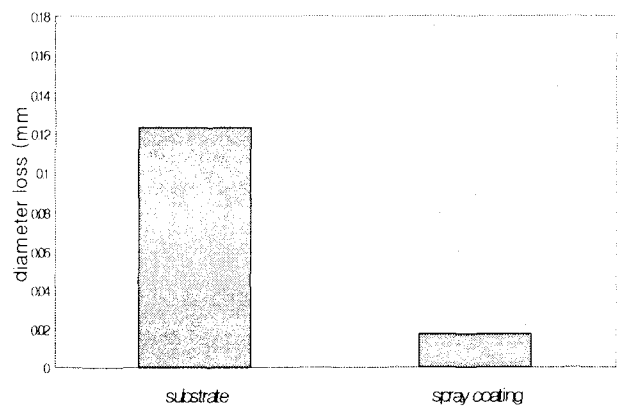


Fig. 7 The comparison of wear diameter loss with substrate and sprayed coating layer in lubricate condition

또한 건식과 윤활유에 1회 침지한 조건에서 주철제와 주철제 표면에 용사 코팅을 한 시험체에 대한 마찰거리에 따른 마찰계수의 변화 거동을 조사하여 그 결과를 Fig 8과 Fig 9에 나타내었다.

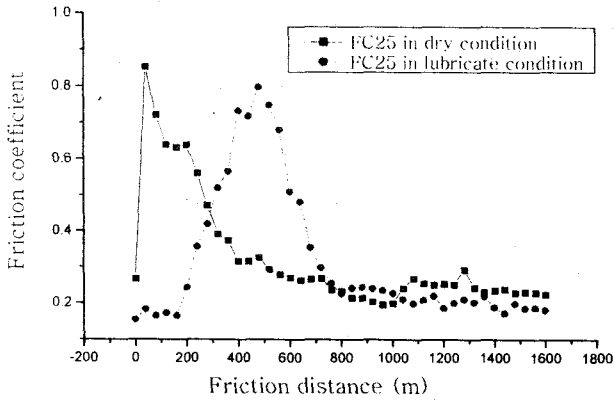


Fig. 8 Relation between friction distance and friction coefficient in substrate material

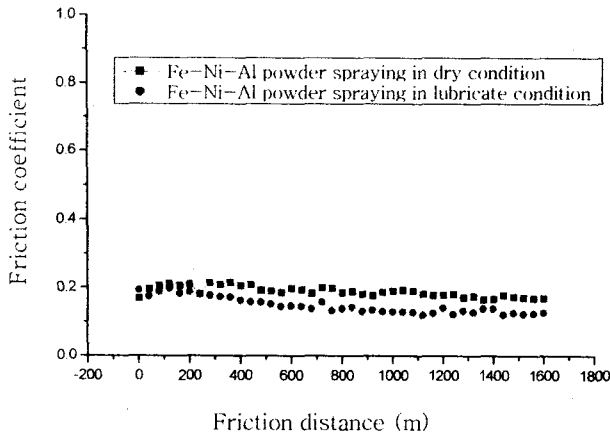


Fig. 9 Relation between friction distance and friction coefficient in spraying coating

이 결과에 의하면 용사코팅처리를 실시하지 않은 주철제의 경우에는 일반적인 마찰계에서 나타나는 초기 마찰계수 피크값이 나타나나, 코팅처리제에서는 초기 피크값이 없이 건식이나 윤활조건에서 매우 낮은 마찰계수 거동을 보이고 있다. 이처럼 용사코팅제에서 초기 피크값이 없이 낮은 마찰계수 값을 보이는 것은, 용사피막을 형성하는 입자와 입자 사이의 결합력이 낮아 마찰계에서 일어나는 초기 용착 현상이 일어나지 않고 이 현상이 일어나더라도 입자 사이에서 쉽게 탈락되어 마찰저항이 매우 작아지기 때문인 것으로 사료된다.

이상의 실험을 통하여 주철제 실린더 라이너 내면에 용사코팅피막 처리를 실시하면 실린더 라이너와 같은 가혹한 윤활 조건에서 실린더 라이너의 마찰계수를 감소시켜 마모량을 현격히 줄여 실린더 라이너의 수명을 연장시킬 수 있음이 판명되었으며 따라서 이러한 방법으로 마모 한도를 초과한 실린더 라이너의 보수 재생이 가능함을 알 수 있었다.

### 2.3 실린더 라이너 시제품의 제작

이상과 같은 실험결과들을 거쳐 확립된 용사조건을 이용하여 실린더 라이너 시제품을 제작하였다. 시제품은 11.9 AKASAKA엔진 (모델 : KC6, BHP :160, RPM :720)용 실린더 라이너로 주조하여 제작하였다.

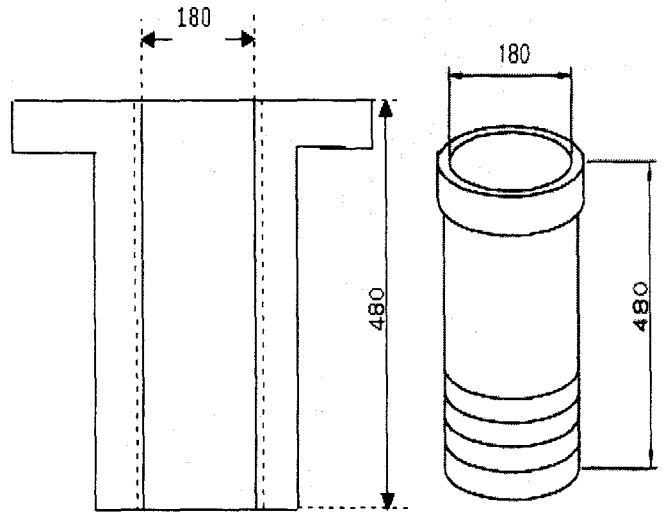


Fig. 10 Dimensions of the test produced cylinder liner.

주조된 상태에서 내경이 180mm로 된 라이너 내면을 182mm로 기계가공 하여 그 위에 1.5mm의 플라즈마 용사피막을 형성하였다. 용사조건은 Table 4의 조건으로 하였다. 이와 같이 제작된 실린더 라이너를 다시 기계가공 하여 원래의 직경인 180mm로 하여 AKASAKA엔진에 장착하여 실제 사용성능을 조사하였다. 제조된 실린더 라이너를 앞에서 기술한 AKASAKA엔진에 장착하고 엔진을 구동하여 용사코팅처리를 시행한 라이너와 시행하지 않은 라이너의 내면을 비교 고찰 하였다.

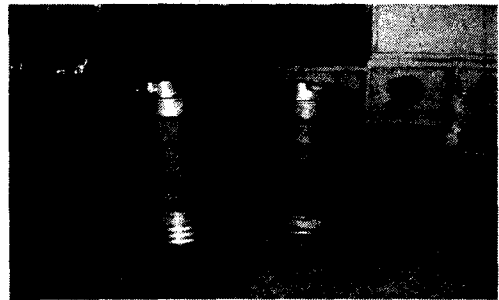


Fig. 11 Appearance of the test produced cylinder liner

### 3. 분석 및 고찰

용사코팅처리제와 비처리제의 실린더 라이너를 함께 같은 엔진에 장착하고, 실기 운전을 실시하였다. 운전은 1일 평균 4시간씩 45일간에 걸쳐 180시간동안 실시하였다. 이처럼 1일 4시간씩 운전은 실시한 것은 운전 중의 폭발 압력과 열사이클에 따라 실린더 라이너에 부가된 손상 외에 운전과 휴지에 따른 여러 가지 조건을 실린더 라이너에 부가하기 위함이었다.

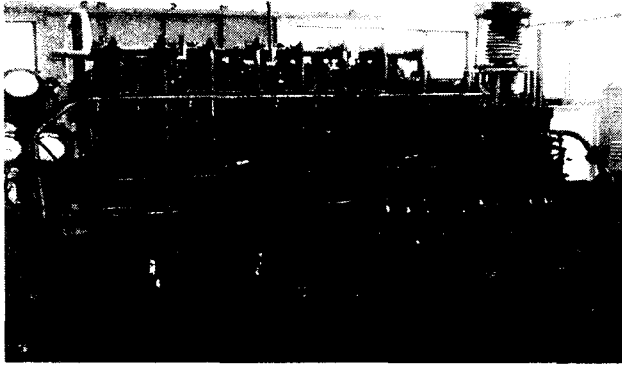


Fig. 12 Experimental operating engine

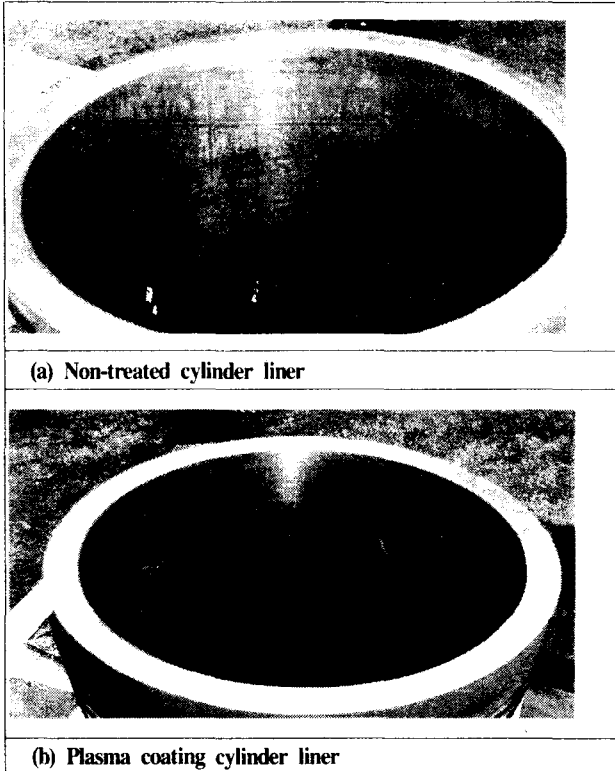
Fig 12는 시제품 실린더 라이너를 장착하고 실기 운전을 실시한 AKASAKA엔진의 외관을 나타낸 것이다.

Fig 13은 180시간의 실기 운전 후의 용사코팅처리제와 비처리제의 표면 상상을 촬영한 결과이다. 이 결과에 의하면 용사코팅처리제에서 피막의 탈락이나 손상은 나타나지 않으며 비처리제와 같은 상상을 보이고 있다.

또한 실기 운전 후 용사코팅처리제와 비처리제의 내경 변화를 비교하여 Table 5에 나타내었다. 이 결과에 의하면 용사코팅처리제에서 직경변화가 작게 나타나고 있음을 알 수가 있다. 이 실험에서는 45일간에 걸쳐 180시간 동안 실기운전을 실시하였으나, 운전 시간이 더욱 경과 할 수록 직경 변화의 차이는 더욱 두드러지게 나타날 것으로 사료된다.

Table. 6 Comparison of the diameter change of the non-treated liner between spray coating liner after 180hr operating of engine

Position	Coating		As cast iron	
	base position	cross position	base position	cross position
A	180 +0.05	180 +0.06	180 +0.05	180 +0.10
B	180 +0.05	180 +0.05	180 +0.10	180 +0.09
C	180 +0.05	180 +0.06	180 +0.05	180 +0.05
D	180 +0.05	180 +0.05	180 +0.05	180 +0.10
E	180 +0.05	180 +0.06	180 +0.10	180 +0.10



(a) Non-treated cylinder liner

(b) Plasma coating cylinder liner

Fig. 13 Comparison of the inner side appearance of the non-treated liner and spray coating liner after 180hr operating of engine

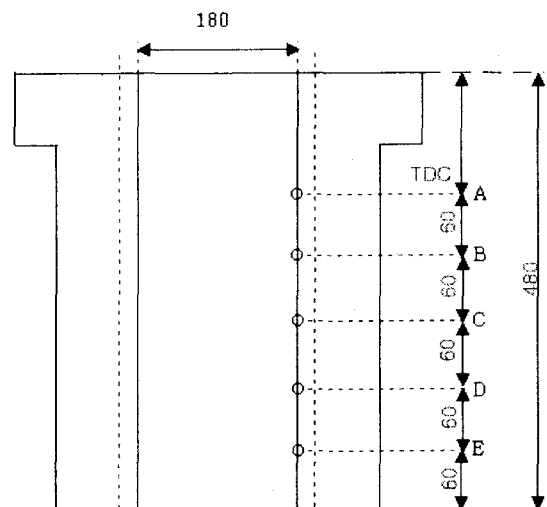
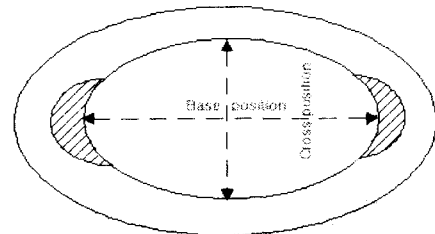


Fig. 14 Dimensions of the test produced cylinder liner

#### 4. 결 론

이 연구에서는 용사법에 의해 주철제의 표면개질이 가능함을 보였다. 주철제 표면에 용사 피막을 형성함으로써 주철제의 자기 윤활성과 침윤성이 더욱 개선되고 더불어 내마모성이 향상됨을 확인하였다.

그리고, 마모한도를 초과한 선박 기관의 실린더 라이너의 재생방법에 이 결과를 적용하여 실기운전을 실시한 결과 주조한 상태의 실린더 라이너 보다 마모량이 더 작고 실제 환경 하에서 응용이 가능함을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- 대한용접학회 (1998). "용접·접합 편람" 대한용접학회  
김영식 김윤해 (1997). "최신기계재료학" 형설출판사  
박용성 (1974). "선박주기관" 아성출판사  
허영진 (1990). "최신내연기관" 동명사  
강태영 (2000). "용사피막의 내마멸성과 용융도금중에서의 내침식성 개선에 관한 연구" 공학박사학위논문, 한국해양대학교  
김태형 (2001). "용사법에 의한 주철의 표면 개질성 연구" 한국해양대학교  
Lech Pawlowski (1995) "The science and engineering of thermal spray coatings" John Wiley & Sons  
ASM (1997) ASM Handbook Vol.1 (Properties and selection : Ferrous alloys and special-purpose materials)