

## Co-base 분말을 적용한 SCM440과 GC250의 레이저 클래딩 가공성 평가

최병주<sup>a</sup>, 이문구<sup>a</sup>, 홍민성<sup>a</sup>, 안병민<sup>b</sup>, 정도현<sup>c</sup>, 이광재<sup>d</sup>, 이충근<sup>e</sup>, 전용호<sup>a\*</sup>

## Feasibility Study of Laser Cladding for Co-based Coating on SCM440 and GC250

Byungjoo Choi<sup>a</sup>, Moon G. Lee<sup>a</sup>, Minsung Hong<sup>a</sup>, Byungmin Ahn<sup>b</sup>, Do-Hyun Jung<sup>c</sup>,  
Kwangjae Lee<sup>d</sup>, Chunggeun Lee<sup>e</sup>, Yongho Jeon<sup>a\*</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Ajou University,

206, Worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 16499, Korea

<sup>b</sup> Department of Energy Systems Research, Department of Material Science and Engineering, Ajou University,

206, Worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 16499, Korea

<sup>c</sup> Korea Automotive Technology Institute,

303, Pungse-ro, Yongjeong-ri, Pungse-myeon, Dongnam-gu, Cheonan, Chungnam-do, 31214, Korea

<sup>d</sup> EUROVISION LASER CO., LTD,

B-313, Gunpo IT Valley, 17, Gosan-ro 148beon-gil, Gunpo, Gyeonggi-do, 15850, Korea

<sup>e</sup> Department of Mechanical Engineering, Inha University,

100, Inha-ro, Nam-gu, Incheon 22212, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 16 May 2017  
Accepted 12 June 2017

## Keywords:

Laser cladding  
Structural steel  
Gray cast iron  
Cross section analysis  
Microhardness

## ABSTRACT

The laser cladding process on structural steel (SCM440) and gray cast iron (GC250) substrates with Co-based powder (Stellite 12) was studied. A diode laser (2 kW) was used as a heat source, and the powder was supplied by a disc rotary powder feeder. The relationship between the laser cladding process and the cross-sectional analysis of coating was examined based on coating shape and microstructure. Additionally, the microhardness was measured to confirm the mechanical property improvements. As a result, proper laser cladding conditions were selected through this study and verified by cross-sectional analysis. In addition, the evaluation process for laser cladding feasibility was conducted on the selected materials.

## 1. 서론

부품의 수명은 기계적인 마모 또는 균열의 형성에 의해 결정되며, 이를 보완하기 위한 선제적인 방안으로 표면에 우수한 기계적 성질의 코팅층을 형성하는 방법이 널리 사용되고 있다. 대표적으로 내마모성, 내식성 및 내열성 등의 성질을 표면에 부여하기 위하여 이중 분말을 모재에 용융 접합하는 방식의 레이저 클래딩 기술이

적용되고 있다<sup>[1]</sup>. 레이저 클래딩은 신소재 개발의 관점에서 보았을 때 복합적인 특성을 지닌 재료를 얻을 수 없고, 또한 소재의 부족을 대체하고, 값 비싼 재료를 절약한다는 의미에서 바람직하다. 레이저 특성상 모재 전체에 전달되는 입열량이 아크용접이나 용사(thermal spray) 등에 비해 국부적으로 가능하기 때문에 가공물의 변형 또는 기계적 성질의 변화를 최소화 할 수 있다. 또한 비접촉식 공정으로 불순물의 유입이 적기 때문에 상대적으로 우수한 표면을

\* Corresponding author. Tel.: +82-31-219-3652

Fax: +82-31-219-1611

E-mail address: princaps@ajou.ac.kr (Yongho Jeon).

을 수 있는 장점이 있으며, 주로 자동차 산업, 발전 설비 분야, 방산, 항공 우주 등에 적용 되고 있다.

Ocelik 등<sup>[2]</sup>은 2 kW급 Nd:YAG 고출력 레이저를 이용하여 Co-base 분말을 회주철에 코팅하여 가공 조건을 분석하였다. 레이저 조사 속도, 레이저 출력, 분말 공급 속도의 공정 변수를 조절하여 시편을 제작하였다. 시편을 절개하여 코팅층의 높이와 폭, 용입량(dilution)을 분석하였으며, 초기 조건 선정을 위한 laser processing map을 제작하였다.

Tong 등<sup>[3]</sup>은 임의의 균열(non-smooth)을 가공한 회주철에 Fe, Ni, Co-base의 분말(자용성 합금)을 이용한 레이저 클래딩 실험을 통하여 열 피로 저항을 분석하였다. 특히, 현미경을 이용한 조직 분석을 통하여 조직의 미립화를 확인하고, 고용체로 강화된 상 및 분산된 탄화물과 붕소화물에 의한 경도 향상을 확인하였다.

Xu 등<sup>[4]</sup>은 회주철에 Fe-base 분말을 이용하여 레이저 클래딩을 하고, 접합부(bonding zone)의 흑연(graphite)에서 미세 균열(microcrack)을 분석하였다. 또한 수치 해석 모델링을 수행하여 레이저 클래딩의 냉각 과정에서 발생하는 인장 응력(tensile stress)으로 인한 미세 균열의 생성 및 성장을 분석하였으며, 흑연의 반지름과 길이가 길수록 더 큰 응력이 집중되는 것을 확인하였다.

Yi 등<sup>[5]</sup>은 회주철에 Fe-base의 Fe314, 316L 합금 분말로 레이저 클래딩 하여 균일한 미세조직을 생성하였다. Repaired zone (RZ)과 모재의 경계에서 탄소(carbon) 성분이 집중되어 나타나며, 동일한 방향으로 성장하는 침상(dendrite)구조가 일정하게 정렬되는 조직을 확인하였다. 코팅 표면에 인접한 미세조직은 등축정(equiaxed grain)으로 구성되어 인성(toughness)과 가공성(machinability)이 개선되었다.

Yi 등<sup>[6]</sup>은 레이저 클래딩 공정에서 동적인 국부 예열(dynamic local preheating)과 정적인 전체 예열(static global preheating)의 특징을 수치 해석적으로 모델링하고 분석하였다. 동적 국부 예열에서 열응력(thermal stress)과 잔류 응력(residual stress)이 감소하는 결과를 얻었으며, 실험에서도 용융부(fusion area)에 조밀한 조직이 생성되어 균열의 생성을 억제하였다.

본 연구에서는 SCM440과 GC250에 Co-base 분말의 코팅 층을 생성하여 가공성을 분석하였다. 레이저 조사 속도, 출력, 분말 공급량의 공정변수를 조절하여 실험하였으며, 시편을 절개하여 코팅 두께와 폭, 접착부(bonding zone)와 열영향부(heat affect

zone)의 두께에 대하여 분석하였다. 또한 코팅, 경계, 열영향부, 모재부에 따른 미세조직을 분석하여 재료적인 접합 기작(mechanism)과 기계적인 경도를 측정하였다.

## 2. 실험장치 및 시편 구성

본 연구는 구조용 강으로 사용되는 SCM440과 금형소재로 사용되는 GC250 시편에 대한 레이저 클래딩 특성을 분석하였으며, 화학 조성은 Table 1과 같다. SCM440은 1 %의 Cr과 0.25 %의 Mo가 첨가된 것으로 고온강도와 용접성이 모두 양호하기 때문에 강력 볼트, 크랭크샤프트, 고온 고압 파이프 소재 등으로 사용되고 있다. GC250은 주조성과 절삭성이 좋기 때문에 형상이 복잡한 금형에 주로 사용되고 있다. 또한 레이저를 이용한 공정에서 선택적인 가공과 자기 냉각(Self cooling)이 가능하기 때문에 엔진 블록과 같이 높은 정밀도가 필요한 분야에 적용되고 있다.

클래딩 분말에는 Stellite 12 (Deloro)를 사용하였으며, 조성은 Table 1과 같다. 코발트(Co)를 주성분으로 카바이드(carbide) 혼합물의 합금으로 구성되며, 고온에서 우수한 마찰(friction), 마모(wear), 박리(galling), 부식(corrosion) 저항의 성질을 가지고 있다. 일반적으로 절삭 공구의 내마모성 향상을 위해 사용되며, 엔진 밸브의 표면, 금속 가공을 위한 핀치 롤러(pinch roller) 표면, 고속 회전 날개의 모서리 등의 코팅에 사용된다.

레이저 클래딩은 Fig. 1의 개략도와 같이 실험하였다. 일반적인 레이저 클래딩 단면은 코팅(coating), 접합부(bonding zone), 열영향부(heat affected zone), 모재(substrate)로 구분된다. 노즐에서 분사된 분말은 레이저에 의하여 용융되며, 소량의 모재가 용융

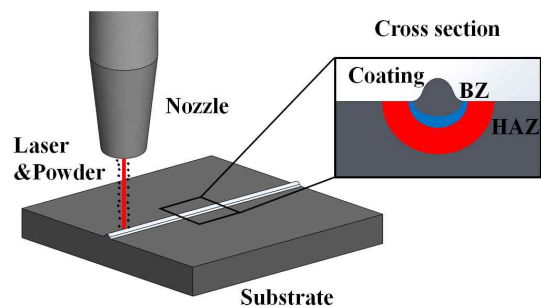


Fig. 1 Schematic diagram of laser cladding process and cross-sectional analysis

Table 1 Chemical composition of substrate and powder (wt.%)

		Co	Cr	Si	C	Fe	Mn	P	S	Cu	Mo	W	Ni	Others
Substrate	SCM440	-	1	0.2	0.4	Bal.	0.8	<0.04	<0.04	-	0.2	-	-	-
	GC250	-	0.3	2.0	3.4	Bal.	0.7	<0.01	<0.13	0.5	-	-	-	-
Powder	Stellite 12	Bal.	30	<20.	1.6	<3.0	-	-	-	-	-	8	<3.0	<0.5

되어 화학적인 결합을 형성하며 용착된다. 클래딩 공정 조건에 따라 희석량(dilution)이 결정되고, 기계적 성질이 변화하기 때문에 단면 분석을 통하여 공정 조건의 가공성을 분석하였다.

실험에는 970 nm 파장의 다이오드 레이저(2 kW Direct Diode Laser, Teradiode, Inc.)를 사용하였으며, 레이저 조사 속도, 레이저 출력, 분말 공급량을 조절하며 각 3회씩 수행하였다. 초기 시편을 100 (W) × 100 (L) × 12 (H) mm의 크기로 제작하여 표면에 수직인 방향에서 레이저를 조사하고 동일한 축(Co-axial)에서 분말을 분사하였다. 분말 공급은 원판 회전방식 장비를 사용하였으며, RPM을 조절하여 분사량을 조절하였다. Particle size analysis (PSA) 분석으로 분말의 입도는 120±40 μm으로 확인하였다. cleaning 및 shielding을 위하여 아르곤 20 L/min과 질소 15 L/min을 혼합하여 보호 가스로 사용하였다.

단면 분석은 10 (W) × 10 (L) × 10 (H) mm의 크기로 절개한 시편을 폴리머로 mounting하고, grinding 및 입도 1 μm의 연마제까지 polishing을 하였다. 미세 조직 관찰을 위해 nital 2 %의 용액으로 시편을 etching 하고, USB 현미경, 광학 현미경, 주사전자현미경(SEM)으로 분석하였다. 비커스 마이크로 경도계를 이용하여 300 g의 하중을 깊이방향 50~90 μm 간격으로 경도를 측정하였다.

### 3. SCM440의 가공성

#### 3.1 레이저 조사 속도

레이저 조사 속도는 입열과 급냉 정도를 조절 할 수 있고, 이에

따라 용융부의 깊이 및 너비를 결정하여 가공물의 코팅층과 모재부의 결합력을 좌우하는 중요한 인자이다. 특히 조사 속도가 증가하면 표면 경도가 감소하는 경향을 보이며, 일정 깊이 이상에서는 급격히 감소하는 경향이 있다. 또한 속도에 따라 단위체적당 입열량이 변화하여 코팅층의 미세조직이 변화하는 것으로 연구되었다<sup>7)</sup>.

Table 2는 SCM440의 가공 조건에 따른 코팅의 단면 형상 및 접합부의 치수 측정 결과이다. 조사 속도가 (a)의 15 mm/s에서 (b)의 30 mm/s로 상승하면 코팅의 두께와 폭이 감소하는 경향을 보인다. 속도 상승에 따라 단위 면적당 레이저 입열량이 감소하여 분말이 충분히 용착되지 못한 것으로 확인된다. 접합부와 열영향부의 두께도 레이저 조사 속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보인다. 열영향부가 감소하면 모재의 미세조직 변화가 적기 때문에 우수한 기계적 성질을 예상할 수 있지만 접합부의 두께가 감소하여 코팅 접착 강도는 낮을 것으로 확인된다. 따라서 코팅 단면 형상과 접합부와 열영향부의 관계를 고려할 때, 15 mm/s의 레이저 조사속도가 적절하다.

#### 3.2 레이저 출력

레이저빔이 조사되면 다중반사 및 흡수에 의하여 분말로 에너지가 전달되며, 입자의 형상을 그대로 유지한다. 레이저 조사가 지속되어 에너지 전달량이 증가하면 표면부터 분말이 용융되어 하나의 집합체로 크기가 커지고, 추가 온도 상승으로 에너지 흡수율이 증가한다. 이후 분말들의 용융체가 cluster와 같은 형태를 갖게 되며, 전체가 하나로 용융되어 모재 표면에 용착된다<sup>8)</sup>.

레이저 출력이 (a)의 50%에서 (c)의 80%로 상승하면 코팅의 두

Table 2 Cross-sectional analysis of SCM440 for various process conditions

		(a)	(b)	(c)	(d)	
Process conditions	Traverse speed	15 mm/s	30 mm/s	15 mm/s	15 mm/s	
	Laser power	50%	50%	80%	60%	
	Powder feeder	10 RPM	10 RPM	10 RPM	20 RPM	
Thickness and width						
Bonding zone and Heat affected zone						

께와 폭이 매우 증가하는 경향을 보인다. 출력의 상승에 따라 단위 면적당 레이저 입열량이 증가한 것으로 확인된다. 추가로 70 %의 출력 실험에서도 80 %의 동일한 단면 형상을 확인하였는데, 이는 일정 출력 이상에서는 코팅의 치수가 증가하지 않고 수렴하는 것으로 판단된다. 레이저 출력이 증가함에 따라 접합부 두께가 증가하는 경향을 보이지만, 열영향부는 뚜렷한 경향성을 보이지 않았다. 따라서 코팅 단면 형상과 접합부와 열영향부의 관계를 고려할 때, 80 %의 레이저 출력이 적절하다.

### 3.3 분말 공급량

분말 공급량은 모재의 높이를 제어하는 주요 변수로서 공급량이 증가할수록 코팅층의 높이가 증가하며, 폭은 거의 변화하지 않는다. 단위 시간 및 면적당 공급되는 분말밀도가 높아짐에 따라 분말에 흡수되는 에너지가 증가하고, 상대적으로 모재에 흡수되는 에너지가 줄어들기 때문이다. 따라서 분말에 의해 생성되는 코팅층의 단면적은 증가하지만 모재의 용융면적이 줄어들기 때문에 폭이 일정하게 유지된다. 그러나 분말이 과잉 공급되면 대부분의 레이저 빔이 분말에 흡수되어 모재와의 접합이 불완전하게 형성된다<sup>8)</sup>.

분말 공급량이 (a)의 10 RPM에서 (d)의 20 RPM으로 증가하면 코팅 층이 생성되지 않는다. 그 이유로, 첫 번째는 분말 공급량이 증가하면 함께 분사되는 공기의 양이 증가하기 때문에 분말이 충분히 가열되어 용착되기 전에 공기에 의하여 비산되는 것으로 생각된다. 두 번째는 다량의 분말에 의하여 레이저 빔이 모재에 전달되는 경로를 방해하여 모재가 충분히 가열되지 못하여 분말이 용착되지 못한 것으로 생각된다. 따라서 코팅 단면 형상과 열영향부의 관계

를 고려할 때, 10 RPM의 분말 공급량이 적절하다.

## 4. GC250의 가공성

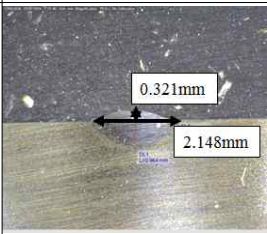
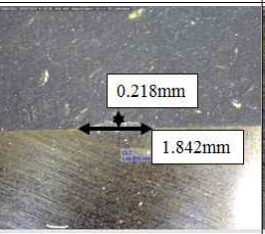
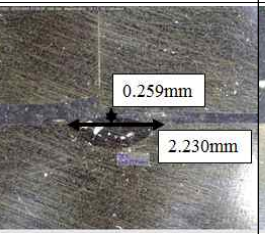
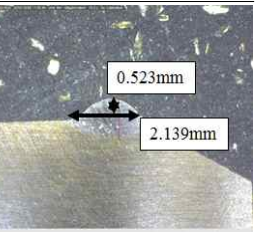
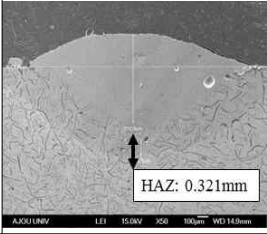
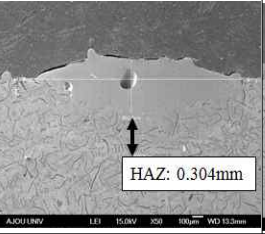
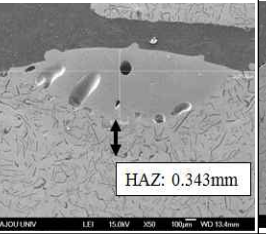
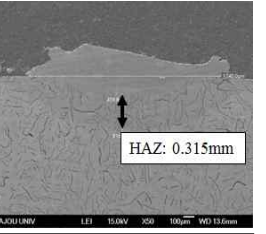
### 4.1 레이저 조사 속도

Table 3은 GC250의 가공 조건에 따른 코팅의 단면 형상 및 접합부의 치수 측정 결과이다. 조사속도가 (a) 5 mm/s에서 (b) 10 mm/s로 상승하면 코팅의 두께와 폭이 감소하는 경향을 보인다. 추가로 15 mm/s의 속도에서는 코팅의 두께와 폭이 더 감소하였으나 20 mm/s의 속도에서는 변화가 없었다. 즉, 일정한 속도 이상에서는 코팅의 크기에 영향을 주지 않는 것으로 확인된다. 접합부의 경계는 확인되지 않았으나 열은 색깔의 열영향부를 확인하였다. 속도의 증가에 따라 레이저 노출 시간의 감소로 인하여 열영향부 두께는 감소하는 경향을 보인다. 따라서 단면 형상 및 열영향부를 고려하여 5 mm/s의 조사 속도가 적절하다.

### 4.2 레이저 출력

레이저 출력이 (b)의 60 %에서 (c)의 70 %로 상승하면 코팅의 두께와 폭이 증가하는 경향을 보인다. 단면 형상만을 고려하였을 때 코팅의 기계적 성질이 향상 될 것으로 보이지만, 접합부 분석에서 다량의 기공(porosity)이 존재하는 것으로 보아 매우 불완전한 접착이 된 것으로 확인된다. 특히, 기공은 레이저 용융에서 발생하는 기체가 빠져나가지 못하여 발생하는 결함으로 응력집중에 의한 결함의 생성 및 성장을 야기한다. 또한 출력의 상승으로 인하여 열영향부의 두께가 증가하는 경향이 있다. 따라서 단면 형상, 기공,

Table 3 Cross-sectional analysis of GC250 for various process conditions

		(a)	(b)	(c)	(d)
Process conditions	Traverse speed	5 mm/s	10 mm/s	10 mm/s	10 mm/s
	Laser power	60%	60%	70%	60%
	Powder feeder	5 RPM	5 RPM	5 RPM	10 RPM
Thickness and width					
	Bonding zone and heat affected zone				

열영향부를 고려하여 60 %의 출력이 적절하다.

### 4.3 분말 공급량

분말 공급량이 (b)의 5 RPM에서 (d)의 10 RPM으로 상승하면 코팅의 두께와 폭이 증가하는 경향을 보이는데, 두께가 비약적으로 상승한다. 밀링과 선삭 등의 2차 가공을 염두에 둔다면 분말 공급량을 늘려서 두꺼운 코팅을 생성하는 것이 가공에 유리할 것으로 판단된다. 추가로 20 mm/s의 레이저 조사 속도에서 분말 공급량을 증가시키면, 단면 형상이 감소하는 경향을 보인다. 열영향부의 두께는 분말 공급량의 변화에 관계없이 유사하게 측정되었다. 따라서 단면 형상 및 열영향부를 고려하여 5~10 RPM의 공급량이 적절하다.

## 5. 미세조직과 경도 분석

### 5.1 SCM440

Fig. 2의 (a)-(c)는 SCM440의 클래딩 단면을 광학현미경으로 촬영한 이미지이다. (a)는 단면부 전체를 촬영한 것으로 코팅, 열영향부, 모재의 경계가 분명하다. 각 경계에서 미세하게 단계적 차이(gradation)가 발생하는데, 클래딩 과정에서 용융된 분말이 용착되어 모재로의 확산이 발생하기 때문이다. (b)는 코팅과 열영향부의 경계를 확대한 이미지로 하얀색 띠의 접합부가 뚜렷하게 나타난다. 그 아래의 열영향부에는 앞서 언급한 침투 및 확산(diffusion)에 의한 미세조직이 분포한다. 접합부 인근에서는 침상 구조의 조대한 마르텐사이트(martensite)가 존재하며, 모재로 갈수록 미세화

된다. 기본적으로 레이저 클래딩은 국부적인 가열과 모재로 열이 발산되어 급냉되는 효과를 활용하여 기계적 성질을 극대화한다. 따라서 모재 중심으로 갈수록 빠른 속도로 냉각되어 조직이 미립화되는 것으로 판단된다. (c)는 열영향부와 모재의 경계를 확대한 이미지로 선명한 경계가 확인되지 않는다. 그러나 더 높은 온도 또는 긴 시간 열 영향에 노출되면 마르텐사이트 조직을 형성하지 못하고, 잔류오스테나이트 조직을 형성하여 경도가 낮아지고, 상온에서 변태가 진행되어 팽창하기 때문에 제품의 변형 및 균열이 발생할 수 있다. 즉, 기계적 성질이 저하 될 수 있기 때문에 적절한 가공 조건을 선정하여 열영향부를 제어해야 한다. 결과적으로 두꺼운 코팅을 형성하며, 모재와 균일한 접합부를 가진다. 또한 얇은 열영향부와 미립화된 결정립을 형성하기 때문에 우수한 코팅 성능을 예상할 수 있다.

### 5.2 GC250

Fig. 2의 (d)-(f)는 광학 현미경으로 GC250의 클래딩 단면 미세조직을 촬영한 것이다. (d)는 단면부 전체를 촬영한 이미지로 코팅과 열영향부의 경계가 분명하다. 열영향부와 모재의 경계는 조직적으로 불분명하지만 etching ratio의 차이에 의하여 모재는 과 에칭되고 황색으로 변질되어 차이가 확인된다. 그리고 코팅을 제외한 단면 전체에 흑연(graphite)이 고르게 분포하고 있으며, 코팅 경계의 흑연은 소량이 코팅으로 용융 확산되어 상대적으로 얇고 짧은 흑연 결정이 방사형으로 분포되어 있다.

(e)는 코팅과 열영향부의 경계를 확대한 이미지이다. 흑연을 제외하고 경계가 불분명하게 나타나고 있으며, 코팅으로부터 소량의

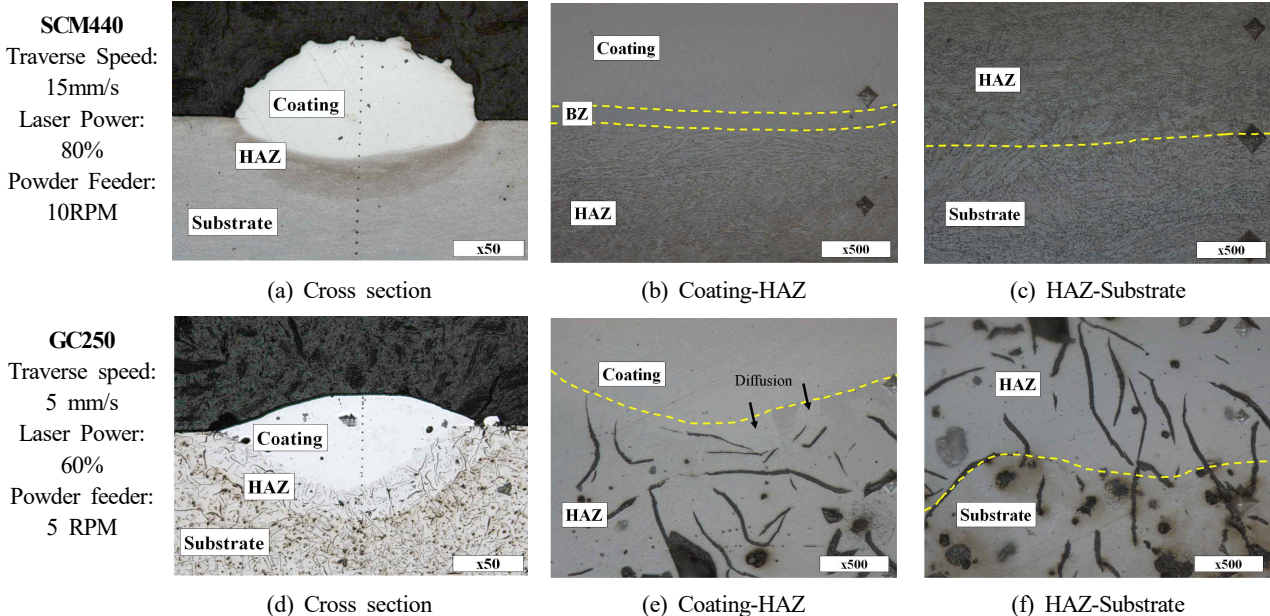


Fig. 2 Cross sectional microstructure of SCM440 (a)-(c) and GC250 (d)-(f)

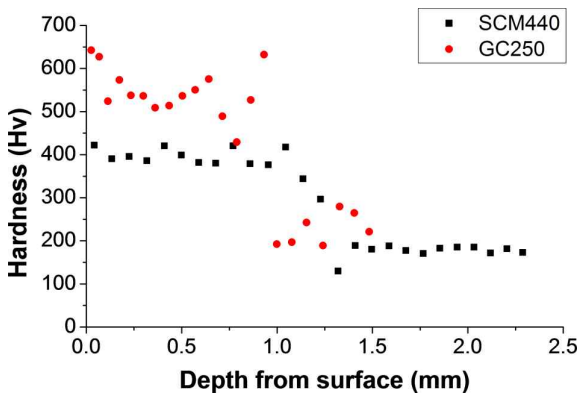


Fig. 3 Vickers Microhardness of laser cladding cross-section

확산이 열영향부로 발생된다. 미세 조직에서 흑연에 부착된 페라이트(ferrite) 조직과 그 사이에 위치하는 펄라이트(pearlite) 조직이 확인 될 것으로 예상하였으나, 코팅과 모재의 etching ratio 차이로 인하여 코팅과 모재에서 뚜렷한 결정립은 확인 할 수 없었다. (f)는 열영향부와 모재의 경계를 나타내고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 과 에칭으로 발생한 황색부에 대한 경계가 확인되며, 다른 조직은 확인 할 수 없었다.

### 5.3 경도

Fig. 2에서 선정한 레이저 클래딩 조건의 SCM440과 GC250 시편에 대한 경도 분석을 수행한 결과는 Fig. 3과 같다. 클래딩 단면의 깊이 방향으로 마이크로 비커스 경도를 측정하였다. SCM440은 코팅이 약 400Hv의 경도를 가지며, GC250은 약 500-650 Hv이다. 두 재료 모두 substrate의 약 200-300 Hv 보다 매우 높은 값을 가진다. 표면에서 냉각속도가 매우 빠르고, 분말의 주요 성분인 코발트가 내마모성을 향상시키기 때문에 우수한 경도를 가지는 것으로 판단된다. 또한 앞서 단면 분석을 수행하여 선정한 공정 조건에서 우수한 코팅의 생성이 가능하다는 것을 확인하였다. 결과적으로 높은 내마모성이 요구되는 부품에 적용 할 수 있다.

## 6. 결론

레이저 클래딩 공정은 표면을 코팅하거나 수리하는데 매우 적합한 기술이다. 주로 이종 재료를 접합하는데 사용하며, 그 매개로 레이저와 분말을 사용한다. 따라서 우수한 공정 조건을 도출하는데 다양한 공정 변수들을 고려해야한다. 특히, 레이저 조사 속도, 레이저 출력, 분말 공급량이 중요하며, 본 연구에서 이를 SCM440과 GC250에 적용하여 분석하였다.

레이저 조사는 느린 속도에서 우수한 코팅 폭과 두께를 형성하지만, 모재의 열영향부를 증가시키기 때문에 적절한 속도의 선정이 필요하다. 또한 빠른 속도에서는 코팅 폭과 두께가 감소하며, 일정

속도 이상에서는 재료에 따라 코팅의 치수가 변화하지 않거나 생성되지 않는 문제가 발생한다.

레이저 출력을 높이면 우수한 코팅의 폭과 두께를 형성하지만, 일정 출력 이상에서는 변화하지 않는다. 입열량과 관련된 것으로 생각되며, 분말의 공급량이 증가하면 코팅의 치수가 더 증가할 것으로 예상된다. 또한 높은 레이저 출력은 열영향부를 증가시키기 때문에 적절한 조건을 선정해야 한다.

분말 공급량은 높이면 코팅을 두껍게 형성하지만, 너무 높은 공급량은 코팅을 형성하지 못하는 문제가 발생한다. 이는 분말을 분사하는 압력에 의하여 충분히 용착되지 못하고 비산하거나 다량의 분말이 모재를 가열하기 위한 에너지가 전달되는 것을 방해하기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 적절한 공급량을 선정하여 클래딩해야 한다.

레이저 클래딩 가공성을 평가하여 다음의 공정 조건을 선정하였다. SCM440의 레이저 조사 속도는 15 mm/s, 레이저 출력은 80%, 분말 공급량은 10 RPM, GC250의 레이저 조사 속도는 5 mm/s, 레이저 출력은 60%, 분말 공급량은 5 RPM의 조건이 우수한 코팅을 형성하는 것을 확인하였다.

또한, 미세조직 분석에서 SCM440은 코팅과 모재의 경계에서 뚜렷한 결정립이 확인되며, 코팅으로부터 모재로의 확산 및 침투를 관찰 할 수 있다. 그러나 GC250은 코팅과 모재의 etching ratio 차이로 인하여 뚜렷한 경계를 확인 할 수 없었다. 두 재료 모두 Co-base 분말과의 레이저 클래딩에서 우수한 경도의 코팅을 형성하였다.

본 연구에서 Co-base 분말을 적용한 SCM440과 GC250의 레이저 클래딩을 공정 조건을 분석하였으며, 추후 다양한 레이저 클래딩 분석을 수행하여 최적공정 조건을 도출 할 계획이다.

## 후기

본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단과 (NRF - 2015R1C1A1A02036547), 2015학년도 아주대학교 일반연구비의 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] Steen, W., 1991, Laser Material Processing, Springer, Germany.
- [2] Ocelík, V., Oliveira, U. de, Boer, M. de, Hosson J. Th.M. de, 2007, Thick Co-based Coating on Cast Iron by Side Laser Cladding: Analysis of Processing Conditions and Coating Properties, Surface & Coating Technology, 201 5875-5883.
- [3] Tong, X., Li, F. H., Liu, M., Dai, M. L., Zhou, H., 2010, Thermal Fatigue

- Resistance of Non-smooth Cast Iron Treated by Laser Cladding with Different Self-fluxing Alloys, *Optics & Laser Technology*, 42 1154-1161.
- [4] Xu, P. Y., Liu, Y. C., Yi, P., Fan, C. F., Li, C. K., 2014, Research on Variation and Stress Status of Graphite in Laser Cladding Process of Grey Cast Iron, *Material Science and Technology*, 30:14 1728-1734.
- [5] Yi, P., Xu, P., Fan, C., Yang, G., Liu, D., Shi, Y., 2014, Microstructure Formation and Fracturing Characteristics of Grey Cast Iron Repaired Using Laser, *The Scientific World Journal*, 2014 ID 541569.
- [6] Yi, P., Xu, P., Fan, C., Li, C., Shi, Y., 2015, The Effect of Dynamic Local Self-Preheating in Laser Cladding on Grey Cast Iron, *Journal of Mechanical Engineering*, 61:1 43-52.
- [7] Kim, C. W., Suk, H. G., 1994, Laser Cladding Process, *Journal of the Korean Institute of Surface Engineering*, 27:6 359-367.
- [8] Lee, J. H., Suh, M. H., Han, Y. H., 2000, Laser Cladding, *The Korean Welding & Joining Society*, 18:2 28-35.
- [9] Kizaki, Y., Azuma, H., Yamazaki, S., Sugimoto, H., Takagi, S., 1993, Phenomenological Studies in Laser Cladding. Part I. Time-Resolved Measurements of the Absorptivity of Metal Powder, *Jpn. J. of Appl. Phys.*, 32:1 205-212.
- [10] Bong, S. J., Kim, D. S., Oh, K. H., Hong, H. S., Lee, Y. R., Oh, J. Y. 2016, Analysis on the Laser Cladding Process Using Stellite 26 Powder, *The Korean Society of Manufacturing Technology Engineer Spring Conference*, 131.