

# 화이버 레이저 원격 용접에 의한 스파터 거동 분석

## Spatter Analysis By Fiber Laser Remote Welding

현대자동차 생산기술개발팀 ※ 염중환, 김기순, 정창호, 장인성, 이희범

### 1. 서 론

CO<sub>2</sub> 레이저는 긴 초점거리 (1500 mm)를 가지고 있어 동일한 위치에서 여러 용접 위치를 용접 할 수 있는 원격 용접 장치 구성에 유리한 조건을 가지고 있다. 그러나, 광케이블을 통한 빔의 전송이 불가능한 단점을 가지고 있어 Fig.1과 같이 프레임 구조에 빔 경로를 제어하는 반사 미러를 부착한 형태로 시스템을 구성한다. 따라서, 용접 위치에 대한 자유도에 많은 제약을 받게 된다.

반면, 화이버 레이저 원격 용접은 Fig.2와 같이 로봇 기반의 시스템 구성이 가능하며, 이를 통해 CO<sub>2</sub> 레이저 원격 용접 장치보다 넓은 작업 영역 및 더 높은 자유도 확보가 가능하다. 그러나, CO<sub>2</sub> 레이저에 비해 초점거리가 짧기 때문에 스파터로부터 원격 용접 장치 내부의 광학계를 보호하고 있는 보호유리의 오염 가능성이 상대적으로 증가하게 된다. 보호유리에 고착된 스파터에 의한 레이저빔 에너지 전달 저하로 용접품질이 떨어지고, 보호유리 교체를 위한 운영비가 증가하게 된다.

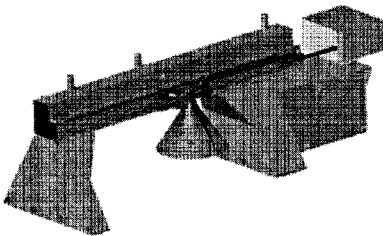


Fig.1 CO<sub>2</sub> 레이저 원격 용접 장치

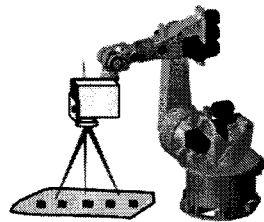


Fig2. 화이버 레이저 원격 용접 장치

따라서, 본 연구에서는 화이버 레이저 원격용접 장치의 스파터 거동 분석을 통해 보호유리에 고착되는 스파터를 효과적으로 제거하고자 하였다.

## II. 본 론

### 1. 실험 방법

스패터의 발생 원인을 관찰하고 빔 조사각과 크로스젯 에어 분사각의 영향을 분석하기 위해 레이저 출력, 용접 속도, 판넬 조합, 판넬 갭을 아래와 같이 설정한 후 빔조사각과 에어 분사각을 변화시키면서 스패터의 거동을 관찰하였다.

- 레이저 출력 : 4.5 kW
- 용접속도 : 30 m/sec
- 판넬 조합 : 3겹 (SGACEN 0.8mm + SPRC45 1.0 mm + SGACEN 0.8 mm)
- 판넬 갭 : 0 mm

스패터의 거동 분석을 위해 Fig.3과 같이 초당 1,000 프레임으로 촬영이 가능한 고속카메라를 사용하였다.

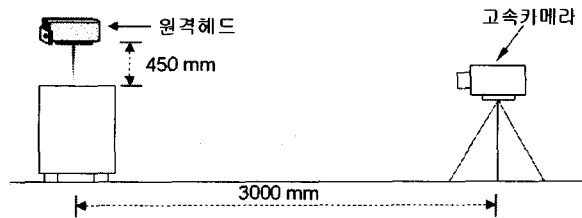


Fig.3 용접 스패터 측정을 위한 고속 카메라

### 2. 실험 결과

#### (1) 용접 진행(시간)에 따른 스패터 거동

스패터의 발생 원인 분석을 위해 Fig.4와 같이 빔 조사각을 90°, 에어 분사각을 15°로 설정 후 보호 유리에 고착되는 스패터를 관찰하였다.

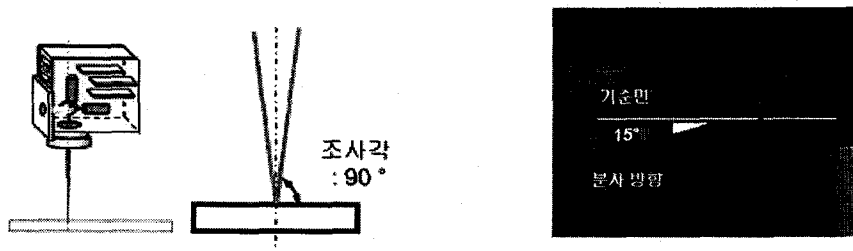
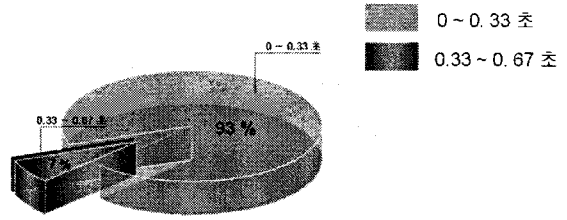


Fig.4 빔조사 및 에어 분사 조건

Fig.5는 빔조사각이 90°, 에어 분사각이 15° 일 때 용접 진행에 따른 고착 스페터 수를 측정한 결과이다.

위의 결과에서 키홀 생성전 용접 시간 동안 전체 고착 스페터 중 93%가 보호유리에 고착되며, 키홀 생성 후 나머지 7%가 보호유리에 고착되었다. 이를 통해, 용접시 보호 유리에 고착되는 스페터가 키홀 생성 과정에 의해 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다.



스페터의 보호유리 고착 과정을 살펴보면, 먼저 모재가 레이저빔을 흡수하여 용융되며, 키홀을 형성 하게 된다. 이때 키홀 내부의 압력은 외부의 압력보다 높은 상태가 되며, 이러한 키홀 내·외부 압력 구배에 의해 스페터가 비산하게 된다. 즉, 스페터의 비산력을 Eq.1 과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{유속 (V)} = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{\Delta P}{r}} \cdot \text{유량 (Q)}}{\text{단면적 (A)}}$$

$\Delta P$  : 키홀 내외부 압력 구배  
 $r$  : 유체 비중  
 $g$  : 중력 가속도

Eq.1에서 키홀 생성 후 증기 배출 단면적이 Fig.6처럼 2배 증가하면 비산력은 1/2로 감소하게 되며, 결국 보호 유리까지 도달하여 고착되는 스페터의 수가 감소하게 된다. 따라서, 증기가 배출 되는 키홀 단면적 증가를 통해 보호 유리 고착 스페터 수를 감소시킬 수 있다.

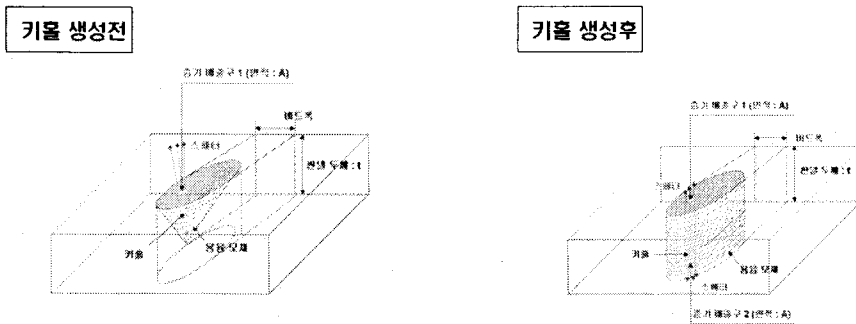


Fig.6 키홀 생성 전/후 증기 배출 면적 변화

(2) 레이저빔 조사각에 따른 스페터의 영향

레이저빔 조사각에 따른 고착 스페터 정도 측정을 위해 Fig.7과 같이 레이저빔 조사각을 변화시키면서 고착 스페터 정도를 측정하였다.

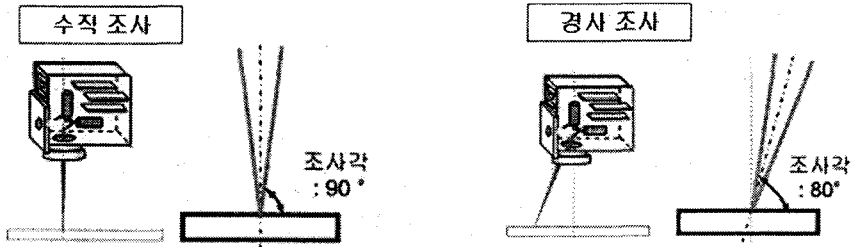


Fig.7 레이저빔 조사각도 변화

Fig.8은 레이저 빔 조사 각도에 따른 고착 스페터 수의 측정 결과이다. Fig.8에서 나타난 바와같이 빔조사각이 감소함에 따라 고착 스페터 수가 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, 레이저 빔의 조사각도를 줄임으로써 증기가 배출 될 수 있는 기공 단면적을 증가시킬 수 있으며, 조사 방향의 변화를 통해 비산 방향을 변화시킬 뿐만 아니라 보호유리까지의 거리를 증가시킬 수 있다. 따라서, 용접이 가능한 범위내에서 조사각을 최대한 줄이는 것이 고착 스페터를 제거할 수 있는 유리한 조건이 된다.

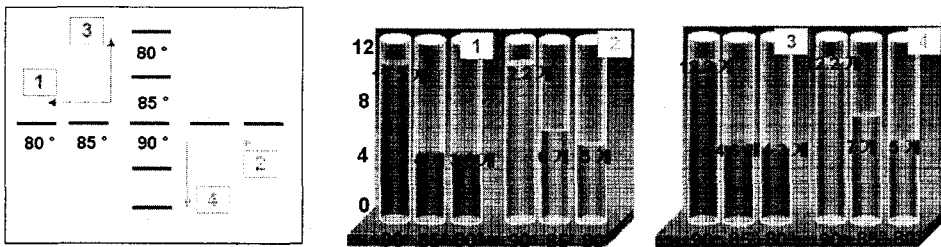


Fig.8 빔조사각에 따른 고착 스페터 측정 결과

(3) 에어 분사각에 따른 스페터의 영향

크로스젯의 에어 분사각에 따른 영향을 측정하기 위해 에어 분사각을 변화 시키면서 스페터의 고착 정도를 측정하였다. Fig.9는 크로스젯의 에어 분사각 변화에 따른 고착 스페터 측정 결과이며, 에어 분사각 30° 이상일때 보호유리에 고착되는 스페터가 완전히 제거됨을 알 수있다.

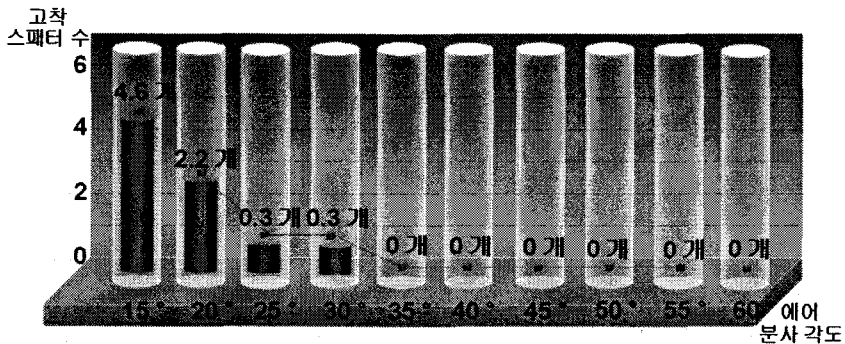


Fig.9 에어 분사각 변화에 따른 고착 스페터 측정

용접시 발생하는 스패터의 비산력은 스패터 발생시 키희름 내·외부 압력차에 의한 상승력과 에어 분사력의 합력에 의해 결정된다. 즉, Fig.10과 같이 에어 분사각이 커짐에 따라 합력 크기는 작아 지고 합력 방향은 보호유리에 수직한 방향과 멀어지게 되어 결국 고착되는 스패터의 수가 감소하게 된다.

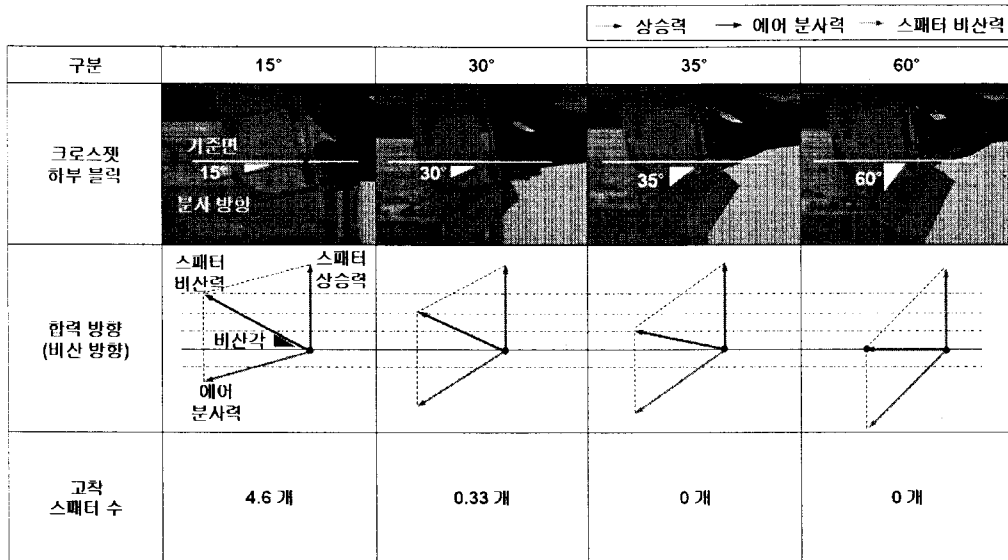


Fig.10 에어 분사각 변화에 따른 합력 변화

### III. 결 론

화이버 레이저 원격 용접의 보호유리 고착 스패터를 제거하기 위한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 레이저 용접시 발생하는 스패터는 키희름 내·외부 압력 구배에 의해 비산되므로 증기배출 면적 증가를 통해 고착 스패터 수를 감소 시킬 수 있다.
- (2) 레이저빔의 경사 조사를 통해 초기 증기 배출 단면적을 증가시킬 수 있으며, 또한 키희름 생성 방향이 변화 하므로 비산 방향 및 보호유리까지의 이동거리를 증가시킬 수 있다.
- (3) 용접시 비산력은 스패터의 상승력과 에어 분사력의 합력에 의해 결정되며, 에어 분사각 증가를 통해 스패터 제거 효과를 높일 수 있다.

### IV. 참고문헌

1. W.M Steen, "Laser material processing", Second Edition, Spring, 1998, p108~144
2. Madhav S.Phadke, "Quality engineering using robust design", Prentice Hall, 1989, p97~132
3. A Ostendorf, "Laser Remote Welding - From Development to Application", EALA 2005, p195 ~229
4. E. Beyer, L. Morgenthal, "Project of Remote Laser Welding with YAG-scanner", EALA 2005

p230~224

5. K.D Debschutz, W. Becker, "Remote Laser Welding of Robot", EALA 2005, p258 ~272
6. P. Ripple "Remote Welding of Robot PFO", EALA 2005, P281~309, 2005.
7. L. Rauschdorf, "Remote Welding in the industrial manufacturing", EALA 2005 p.310 ~330