

# CO<sub>2</sub> 레이저 원격용접 장치 차체용접 적용

(Development of CO<sub>2</sub> laser remote welding system for the car body)

현대자동차 생산기술개발팀

부장 이희범 부장 장인성 과장 정창호 대리 박희규 ※사원 염증환

## ABSTRACT

최근 차체 용접의 고속화를 통한 생산성 향상 및 차체 설계의 자유도 향상, 차체 강성 증가를 목적으로 원격 용접, 브레이징 등 다양한 형태로 레이저 적용 기술이 개발되고 있다. 뿐만 아니라, 레이저의 종류에 있어서도 CO<sub>2</sub> 레이저, Nd:YAG 레이저, 화이버 레이저, 디스크 레이저 등 다양한 형태의 레이저가 사용되고 있으며, 사용자의 목적에 부합하는 여러 형태의 레이저들이 개발되고 있다.

본 연구는 CO<sub>2</sub> 레이저 원격 용접의 차체 T/GATE 양산 적용 결과를 바탕으로, 적용 용접점 선정, 용접품질 확보, 생산성 향상을 위한 공정의 최적화 요소들에 대한 개발을 진행하였다.

## 서 론

CO<sub>2</sub> 레이저는 높은 BPP 값(5.7 mm·mrad), 긴 초점거리(1500mm)를 가지고 있으나, 광케이블을 통한 전송이 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 그러나 CO<sub>2</sub> 레이저가 가진 높은 BPP 값과 긴 초점거리 특징을 바탕으로 미러(Mirror)를 통해 빔을 작업물(Workpiece)의 용접 위치까지 전송하고, 고속으로 용접을 진행하는 원격용접 장치를 구성함으로써 CO<sub>2</sub> 레이저가 가진 한계를 극복함과 동시에 고속용접을 통한 생산성 향상이 가능해졌다.

그러나 CO<sub>2</sub> 레이저 원격 용접의 양산 적용에 있어 높은 BPP 값이나 긴 초점거리가 용접품질 확보 및 생산성

향상으로 이어지는 것은 아니다.

CO<sub>2</sub> 레이저 원격 용접을 양산에 적용하기 위해서는 몇 가지 장비 특성 및 용접특성들에 대한 고려가 필요하다.

첫째, 원격 용접 장비 구조에 대한 고려이다. 한정된 설치 공간에서 효율적인 공정을 구성을 위해서는 무엇보다 최적의 공정을 구성할 수 있는 장비 구조를 갖추어야 한다.

둘째, 빔 전송 미러의 결로 현상에 대한 대책이다. 용접 장치가 설치되는 장소가 습기가 많은 장소일 경우 미러표면과 대기와의 온도차이로 인해 미러에 결로 현상이 발생하게 되며, 결과적으로 빔 전송을 방해하게 된다. 따라서 미러 표면에 습기가 발생하지 않도록 미러 표면의 결로 현상에 대한 대책이 필요하다.

셋째, CO<sub>2</sub> 레이저 원격 용접 장치는 발진기에서 발생된 레이저 빔을 축을 따라 이동하는 구동 미러를 통해 작업물의 용접위치까지 전달하는 프레임 구조이다. 또한, 레이저 빔은 미러가 고정된 상태에서 작업물의 여러 용접점을 차례대로 고속 용접하게 된다. 따라서, 레이저 빔의 조사 경로에 간섭물이 존재하게 되면 레이저 빔이 작업물의 용접위치까지 도달하지 못하게 되며, 결과적으로 용접이 불가능하게 된다.

넷째, 레이저 빔 조사 각도에 의한 에너지 밀도 저하 현상이다. 위에서 언급한 바와 같이 고정된 위치에서 작업물의 용접점으로 빔을 조사하기 때문에 조사되는 레이저 빔이 용접점과 이루는 각이 클 경우 레이저 빔 입사면적이 증가하며, 작업물을 용접하는데 필요한 충분한 에너지를 전달하지 못하게 된다.

다섯째, CO<sub>2</sub> 레이저 용접시 발생하는 플라즈마의 효율적 제거 대책이다. CO<sub>2</sub> 레이저는 10.6 $\mu$ m의 파장을 가진 레이저로 용접시 발생하는 플라즈마를 효율적으로 제거하지 못할 경우 레이저 빔이 플라즈마에 의해 산란하게 되며, 결과적으로 용접에 필요한 충분한 에너지를 용접위치까지 전달하지 못하게 된다.

본론에서는 이러한 CO<sub>2</sub> 레이저 원격 용접 장치의 양산 적용 제약 조건들 특히 레이저 빔 간섭, 조사각에 의한 에너지 밀도 저하 현상, 플라즈마에 의한 레이저 빔 산란에 대한 대책을 중심으로 최적화된 양산 적용 조건에 대해 기술하였다.

## 본 론

### 2-1. 적용가능 용접점 선정

CO<sub>2</sub> 레이저 원격 용접 장치는 구조적 특징에 의해 기존의 스폿 용접이나 로봇에 옴틱을 연결하여 사용하는 레이저 용접과 같은 방법으로의 빔 간섭 및 레이저 빔 조사 각도에 의한 에너지 밀도 저하 현상에 대한 사전 검토가 불가능하다.

그림1은 판넬을 핸들링 할 수 있는 핸들링 로봇을 이용하여 간섭 및 에너지 밀도 저하 현상에 의한 용접 불가 현상을 극복한 예이다. 그러나 양산에서 작업시간 및 기타 조건으로 인해 이러한 공정의 구현이 불가능한 경우 사전에 각각의 용접점에 대한 용접 가능여부 평가에 대한 평가가 이루어져야 한다.

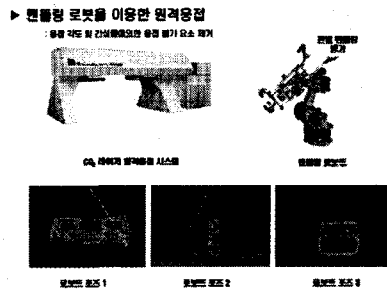


그림1. 핸들링 로봇을 이용한 공정

다음은 개별 용접점에 대한 용접 가능성 평가를 위한 순서이다.

- (1) CATIA 모델을 통해 공간상에서 용접점 위치에 존재하는 세 점 (P1, P2, P3)의 좌표를 읽어냄
- (2) P1을 지나고 세 점이 존재하는 평면상의 직선 (L1) 산출

- (3) P0와 P1을 지나는 직선 (L2) 산출
- (4) 두 직선 사이의 빔 조사각  $\alpha$  산출

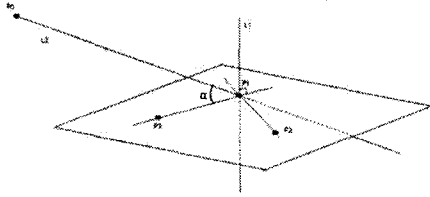


그림2. P0, P1, P2, P3 및 L1, L2

예)

- P0 (2740, 0, 320) : 원점
- P1 (3313.7, -576.4, 1145.0)
- P2 (3309.9, -578.8, 1139.6)
- P3 (3316.9, -578.5, 1139.1)

- (a) 두 직선 L1, L2 사이의 각을 구함
- (b) 용접각도에 대한 조건 (40° 이상에서 용접 불가 : 기초실험) 만족여부 평가
- (c) 적용시스템의 거리에 대한 조건 (500mm 이상 1100mm 이하 : 장비제원) 만족여부 검토

| Plane passing through P1, P2 and P3 : Ax+By+Cz+D=0   |                                  |                                  |                  |
|--|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| A  | B                                | C                                | D                |
| $-(y2-y1)(z3-z1)+(y3-z1)(z2-z1)$   | $-(z2-z1)(x3-x1)+(z3-x1)(x2-x1)$ | $-(x2-x1)(y3-y1)+(x3-y1)(y2-y1)$ | $-(Ax1+By1+Cz1)$ |
| 3.23193  | 30.335654                        | 15.534344                        | 21181.36812      |
| Line perpendicular to above plane and passing through P1, L1 : (x-x1)/a1=(y-y1)/a2=(z-z1)/a3                 |                                  |                                  |                  |
| a1   | a2                               | a3                               |                  |
| -3.23193   | 30.335654                        | 15.534344                        |                  |
| -0.07618492  | 0.9274597                        | -0.366594071                     | direction number |
| Line passing through P0 and P1, L2 : (x-x0)/b1=(y-y0)/b2=(z-z0)/b3   |                                  |                                  |                  |
| b1   | b2                               | b3                               |                  |
| x1-x0  | y1-y0                            | z1-z0                            |                  |
| 573.7  | -578.8                           | -1145.0                          |                  |
| 0.497892577  | 0.501590155                      | -0.710265787                     | direction number |
| Angle between L1 and L2 : $\cos(\alpha) =  a1*b1+a2*b2+a3*b3  / \sqrt{a1^2+a2^2+a3^2} \sqrt{b1^2+b2^2+b3^2}$ |                                  |                                  |                  |
| cos(Ang)   | 0.76263685                       |                                  |                  |
| Ang  | 40.3                             | 48.3                             | degree           |

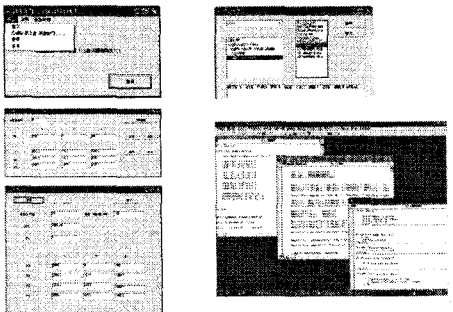


그림3. 용접점 선정 프로그램  
 그림3은 조사각을 산출하기 위한 알고리즘과 조사각 및 초점에서 거리 산출하기 위한 프로그램이며, 그림4는 프로그램을 이용하여 판정한 전체 용접점에 대한 판정결과이다.

| 번호 | Point #1(P1) |       |        | 거리<br>(mm) | 조사각도<br>(도) |
|----|--------------|-------|--------|------------|-------------|
|    | x            | y     | z      |            |             |
| 1  | 3281.4       | 397.7 | 1216.2 | 1060.2     | 12.7        |
| 2  | 3273.5       | 356.4 | 1213.3 | 1071.4     | 13.7        |
| 3  | 3267.3       | 411.2 | 1209.1 | 1082.4     | 15.2        |
| 4  | 3259.1       | 461.2 | 1204.6 | 1093.3     | 16.4        |
| 5  | 3251.9       | 510.2 | 1199.0 | 1104.0     | 18.3        |
| 6  | 3249.6       | 566.1 | 1192.7 | 1125.5     | 17.4        |
| 7  | 3243.7       | 576.4 | 1145.0 | 1127.3     | 38.7        |
| 8  | 3246.6       | 581.9 | 1124.9 | 1126.7     | 50.2        |
| 9  | 3261.8       | 580.1 | 1106.0 | 1127.7     | 56.4        |
| 10 | 3445.9       | 599.1 | 1041.3 | 1177.0     | 37.2        |
| 11 | 3463.7       | 602.0 | 1037.8 | 1130.1     | 30.0        |
| 12 | 3522.6       | 603.1 | 973.7  | 1133.0     | 39.4        |
| 13 | 3548.2       | 598.3 | 944.4  | 1129.2     | 26.0        |
| 14 | 3574.9       | 589.0 | 916.5  | 1125.2     | 40.3        |
| 15 | 3284.4       | 459.2 | 946.8  | 1124.9     | 22.0        |
| 16 | 3263.3       | 346.5 | 921.4  | 1110.5     | 42.2        |
| 17 | 3263.5       | 346.5 | 921.4  | 1110.5     | 66.1        |
| 18 | 3062.5       | 408.6 | 237.6  | 1094.5     | 17.8        |
| 19 | 3674.7       | 404.6 | 233.6  | 1050.3     | 16.3        |
| 20 | 3620.2       | 368.7 | 232.3  | 1071.3     | 14.7        |
| 21 | 3650.6       | 387.7 | 235.3  | 1038.8     | 12.8        |
| 22 | 3699.1       | 235.3 | 348.7  | 1046.0     | 19.3        |
| 23 | 3703.8       | 163.6 | 347.5  | 1037.4     | 8.3         |
| 24 | 3739.0       | 98.5  | 346.4  | 1032.0     | 6.7         |
| 25 | 3711.8       | 35.1  | 346.0  | 1029.3     | 5.7         |
| 26 | 3709.9       | 35.7  | 246.0  | 1029.9     | 5.7         |
| 27 | 3709.9       | 35.7  | 246.0  | 1029.9     | 8.3         |
| 28 | 3703.8       | 163.6 | 347.5  | 1037.4     | 8.3         |
| 29 | 3699.1       | 235.3 | 348.7  | 1046.0     | 10.3        |

그림4. 전체 용접점 판정 결과

아래 그림5는 기초 실험을 통한 레이저 빔 조사각에 따른 용입 깊이 실험 결과이며, 0° 에서 30° 까지 안정된 용입깊이를 나타내는 것을 알 수 있다.

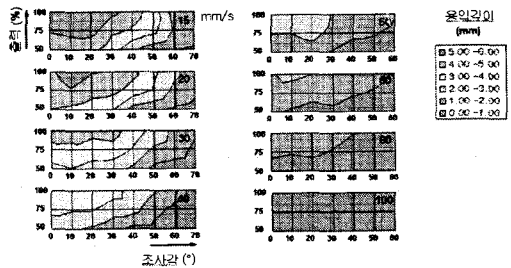


그림5. 조사각도별 용입깊이

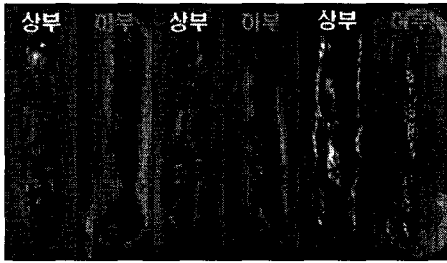


그림6. 불가능 판정 용접점 용접결과

그림6은 용접점 선정 프로그램을 통해 용접 불가로 판정된 용접점(임계각을 벗어난 점)에 대한 용접결과이며, 그림에서 처럼 언더컷 및 미투과 등 불량이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

### 2-2 용접인자 최적화

CO<sub>2</sub> 레이저는 10.6 $\mu$ m 파장의 레이저로써 아래 그림7에서 처럼 용접시 용접 표면에서는 발생하는 플라즈마에 의해 레이저 빔의 산란이 발생한다.

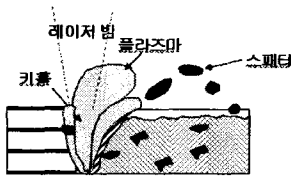


그림7. CO<sub>2</sub> 레이저 용접 용접표면

따라서 효과적인 플라즈마 제거 대책을 마련하는 것이 CO<sub>2</sub> 레이저 원격용접 시스템의 양산적용에 절대적인 요소라 할 수 있다. 그림8은 플라즈마 제거 블로워 형태에 따른 용접결과이며, 블로워 형태에

따라 상이한 결과가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

▶ 용접조건 | 속도 : 2400 mm/min, 출력 : 4.5kW, 겹 : 0.2겹

|        |        |
|--------|--------|
| 블로워 없음 | TOP    |
|        | BOTTOM |
| 그룹 블로워 | TOP    |
|        | BOTTOM |
| 개별 블로워 | TOP    |
|        | BOTTOM |

그림8. 블로워 형태에 따른 용접 결과

그림9는 그림8에서 가장 좋은 용접결과를 보이는 개별 블로워를 설치하여 양산 판넬에 용접을 실시한 결과이다.

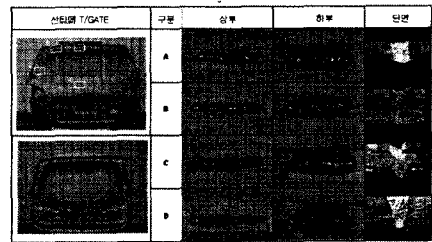


그림9. 개별 블로워를 이용한 용접

그림9에서 C의 경우 용접결과가 불안정한 모습을 보이는 것을 확인할 수 있으며, C의 경우 개별 블로워 설치가 불가능하여 개별 블로워가 아닌 한번에 여러 개의 용접점을 붙여주는 그룹 블로워 형태를 취하고 있는 용접점의 용접결과이다.

### 3-3. 작업시간 분석

그림10은 공정 작업시간 분석표는 양산라인에서 T/GATE 판넬에 CO<sub>2</sub> 레이저

원격용접 시스템을 적용한 공정의 작업분석표이다. 원격 용접 장치를 이용한 용접공정에서 실제 용접 장치를 구동시켜 용접을 실시하는 시간보다 파트로딩/언로딩, 대기기동 및 클램프 기동 등 레이저 용접을 위한 용접준비완료 시간이 많은 부분을 차지하는 것을 알 수 있다. 즉 고속용접이 가능한 CO<sub>2</sub> 레이저 원격용접 시스템의 최대 효과를 얻기 위해서는 위에서 언급했던 용접가능 용접점 선정, 플라즈마 제거를 위한 대책뿐만 아니라 공정 자체의 최적화가 중요하게 고려되어야 한다는 것을 알 수 있다

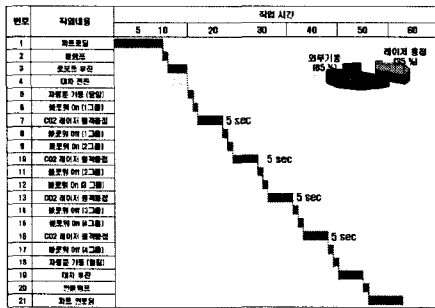


그림11. 공정 작업시간 분석표

## 결 론

- (1) CO<sub>2</sub> 레이저 원격 용접 장치를 이용한 공정에서 간섭물에 의한 빔의 간섭현상, 조사각에 따른 에너지 밀도 분산 현상 등의 용접 영향인자를 최적화를 위해서는 개별 용접점들에 대한 사전 검토가 필요하다.
- (2) CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 용접 장치의

경우 용접시 용접점 표면에서 발생하는 플라즈마에 의해 조사되는 레이저 빔이 산란되어 용접점까지 에너지가 전달되지 못하게 된다. 따라서 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 용접에서는 CO<sub>2</sub> 레이저를 산란시키는 플라즈마에 대한 효율적 제거 대책이 필요하다.

- (3) 고속 용접이 가능한 원격 용접 시스템의 장점을 최대한 이용하기 위해서는 용접에 소요되는 시간외에 용접준비를 위한 대기, 자동문, 클램프 등의 기동 시간을 최적함으로써, 용접외에 소요되는 시간을 줄이고 용접시간을 확보할 수 있는 연구가 진행되어야 한다.

## ※ 참고 문헌 ※

1. W. M. Steen, "Laser material proceeding", Second Edition, Springer, 1998, p.108~144.
2. Madhav S. Phadke, "Quality engineering using robust design", Prentice Hall, 1989, p.97~132.
3. A. Ostendorf, "Laser Remote Welding - From Development to Application", EALA 2005, p.195~229, 2005.
4. E. Beyer, L. Morgenthal, "Project of Remote Laser Welding with YAG-scanner", EALA 2005, p.230~244, 2005.
5. K. D. Debschutz, W. Becker, "Remote Laser Welding of Robot", EALA 2005, p.258~272, 2005.

6. P. Ripple “ Remote Welding of Robot PFO”, EALA 2005, p.281~309, 2005.
7. L. Rauschdorf, M lingner, “Remote Welding in the industrial manufacturing”, EALA 2005, p.310~330, 2005.
8. Schittenhelm, H., Muller, J., Berger, P., Hugel, H. Laser Institute of America; 1999. “Advancements in welding with high power lasers”
9. Jong Hyun Suh. “A Study of Tailored Blank Welding between Mild Steel Sheet and Zn-Coated Steel Sheet by CO2 Laser Beam”
10. Hirose A, Kobayashi KF, “Dynamic behavior of plume and keyhole in CO2 laser welding”