

스테인레스 박판의 레이저용접

Laser welding for the Thin Stainless plate

현대자동차 정대현, 배동관, 심민선, 장인성, 이희범

I. 서론

전세계 자동차 보유 대수가 5억대를 넘어서면서, 자동차 내연기관에서 발생하는 배기 가스가 지구 온난화에 크게 기여 하므로서, 다양한 형태의 친환경 자동차를 개발하기 위해 모든 자동차 메이커들이 많은 연구 개발비를 투자하고 있다.

다양한 형태의 친환경 자동차용 에너지원 중, 연료전지(Fuel Cell)는 PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)가 사용되어 지고 있으며, 산소와 수소의 전기분해 역반응에 의해 480volt, 80kW 이상의 전력을 생성 자동차 구동에 필요한 에너지를 공급하는 기존 자동차의 내연기관과 같은 역할을 한다. 전기를 발생시키기 위하여 연료전지는 약 400개 이상 단위 셀(Unit Cell)로 구성되어 있으며, 각 셀은 분리판(Separate Plate, Bipolar Plate)과 MEA(Membrane Electrode Assembly)으로 구성되어 전력을 발생한다. 분리판은 두개의 성형된 스테인레스판을 접합하여 사용하며, 그 표면으로 수소와 산소가, 내부로는 냉각수가 흐르게 된다. 그러나, 전력 발생 요소로서 공급되는 수소는 가연성 물질로서 누설될 경우 화재의 위험이 크다. 또한, 화학반응에 의해 생성되는 물과 반응열을 냉각시키는 냉각수가 누설될 경우 누전에 의한 안전사고의 발생위험이 크므로, 연료전지 내부는 엄격한 기밀성이 요구 된다.

현재까지 알려진 금속분리판 접합 방식은 성형판 사이에 성형 Gasket 을 삽입하는 방식으로 양산성이 없다. 그러므로, 양산성을 가진 금속분리판의 접합 기술을 개발하는 것은 연료전지 차 실용화를 위한 필수 요소 중 하나이다. 다양한 연료전지용 금속분리판의 접합 기술 중 레이저를 이용한 접합 기술 개발에 대한 타당성을 검증, 적용 가능성을 검토하였다

II. 본론

1. 배경

Fig. 1은 연료전지(이하 “스택(Stack)”)의 구성을 나타내었으며, Fig. 2에는 분리판의 내, 외부로 흐르는 유체의 종류를 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 스택을 조립하기 위해서는 분리판과 MEA를 연속 적층 하여 400층 이상의 셀을 적층하여야 한다. 따라서, 분리판 접합에 요구되어지는 조건은 내부에 흐르는 냉각수의 외부 유출 방지를 위한 기밀성과 분리판과 MEA가 원활하게 연속 적층 가능하고, 스택의 성능 유지 및 안전성 확보를 위해 MEA와 분리판 사이에 흐르는 수소 및 공기의 기밀 유지가 가능하도록 평탄도를 유지하여야 한다. 현재, 금속분리판 소재로 일반적으로 사용되어지는 소재는 두께 0.2mm의 STS316L재질로서, 일반 강판에 비해 성형성이 좋지 않은 것으로 알려져 있다. 지금까지 금속분리판의 접합 방법은 발표된 바가 없으며, Fig. 2에 성형판사이에 성형Gasket을 삽입하여 적층하는 방법을 나타내었으며, 스택 조립시 많은 인원과 시간이 소요된다. 또한, 현재까지 실용화 되고 있는 분리판 재질은 기계 가공된 흑연판으로서, 총 원가의 40%이상을 차지하고 있으며, 금속분리판이 실용화 될 경우 원가 비중은 15%이하로 줄어 들 것이다. 따라서, 금속분리판의 실용화는 전체 연료전지차의 원가를 낮출 수 있는 효과적인 방법으로, 생산기술 측면에서는 저Cost, 고품질 접합기술의 확보가 필요하다.

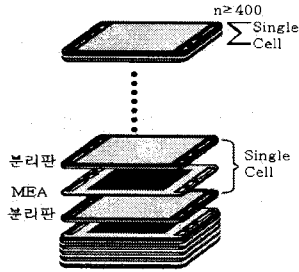


Fig. 1. 스택의 구성

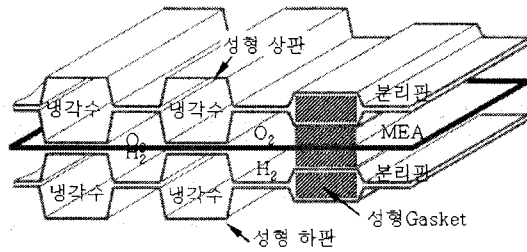


Fig. 2. 분리판 구조

2. 테스트 내용 및 결과

금속분리판 레이저용접을 위하여, Nd:YAG Pulse레이저와 Fiber CW레이저 2종류의 레이저에 대하여 테스트를 수행하였으며, 용접 방법은 Overlap용접을 수행하여 변형상태, 연속용접 시 용접 비드의 품질 등을 확인하였다.

테스트 방법은 먼저 용접 조건 확보를 위하여, 평판 시편에 대하여 용접을 하였으며 그 결과를 이용하여 분리판을 용접, 변형 상태를 3D Scanner를 이용하여 측정하였다.

2.1 평판 시편 용접

레이저용접 조건 확보를 위한 테스트로, STS316L 0.2t 평판 시편에 대하여, 4.5kW Fiber CW 레이저와 Nd:YAG Pulse 레이저를 이용하여 Overlap 용접 실시하였으며, 각각의 실험 조건과 결과는 Table 1, 2 와 같다.

출력 (kW)	용접 속도 (mm/sec)	Beam Dia. (mm)	용접 단면 (x100)
0.5~1.2	120~300	0.3	

Table 1. Fiber CW 레이저 용접 조건 및 결과

Peak 출력 (kW)	주파수 (Hz)	Pulse Width (ms)	용접 속도 (mm/sec)	Beam Dia. (mm)	용접 단면
1.4	175	1.0	30	0.6	

Table 2. Pulse 레이저용접 조건 및 결과

2.2 분리판 용접 테스트

분리판의 전체 용접 길이는 약 1.2m 정도이며, 이를 레이저로 연속 용접할 경우, 열변형 및 용접 비드 전체의 일정한 품질을 유지하는 것이 중요하다. 즉, 분리판 내부에 유체가 이동하므로 기밀을 유지하여야 하고, 차량에 장착 시 진동등과 같은 외부 요인에 의한 피로파괴등을 일으킬 수 있는 용접 결함이 없어야 한다.

따라서, 연속된 긴 거리를 용접시 발생할 수 있는 비드의 안정성을 조사하기 위해, 레이저 조건의 용접 품질에 영향을 줄 수 있는 인자를 파악하기 위해 평판 용접을 실시하여 Back Bead 형상을 관찰하여 투과 여부를 확인하였고, 부위별 단면을 분석하였다.

그 결과, 레이저 조건외에 품질에 영향을 끼치는 가장 큰 요인은 판재간 Gap 으로 나타났다. 용접부의 Gap이 소재 두께의 약 25%(0.05mm) 이상인 경우 Fig. 3의 (c)와 같은 Cutting 과 같은 현상이 나타났다.

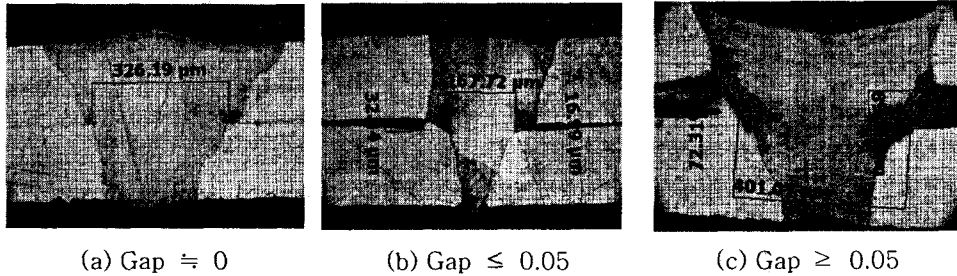
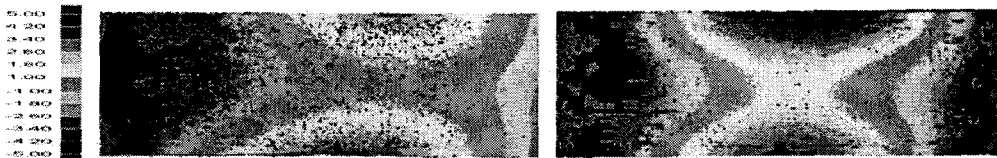


Fig. 3. 용접부 Gap 에 따른 용접 단면

또한, 열변형 정도를 파악하기 위해서는 평판 용접에서는 정확한 결과를 알 수 없으므로, 성형된 분리판을 이용하여 CW, Pulse 레이저 두가지 방법으로 용접하여 그 결과를 3D Scanner 로 측정하였으며, 그 측정결과는 Fig.4 와 같으며, CW 레이저 용접 결과와 Pulse 레이저 용접 결과는 유사한 변형결과를 나타냈으나, 변형량의 절대치는 Pulse 레이저 용접이 크게 나타났다. 변형량 측정에 사용된 3D Scanner 는 독일 Steinbichler 사 COMET T-SCAN 을 이용하여 측정하였다.



(a) CW 레이저용접(-15.08~ 3.17mm) (b) 펄스레이저용접(-13.58~6.43mm)

Fig. 4 용접 변형 3D 측정 결과

III. 결론

연료전지차 실용화를 위한 선행기술로서 금속분리판에 대한 레이저 용접을 실시하여 보았으나, 용접재의 두께가 초박판인데 비해, 용접 길이가 과도 길어짐으로서 많은 열변형량을 나타 내었다.

이는 당사에서 보유한 레이저 옵틱은 차체를 용접하기 위한 설비로서, 판재의 두께 및 용접 길이에 비해 Beam Spot 직경이 과도하게 크므로서, 용접에 필요한 열량 보다 많은 열량이 입 열되므로서, 심한 열변형을 일으킨 것으로 추정 된다. 또한, 가장 보편적인 Overlap 용접으로 금속분리판에 적용할 경우, 입열 방향이 한 방향이 될 수 밖에 없으므로, 입열 방향으로 변형 되는 현상을 보였다.

따라서, 레이저를 이용한 실용성 있는 용접 방법을 얻기 위해서는

- 1) 최소의 열변형을 유발하는 최적의 용접 Joint 형상 설계
- 2) 넓고 얇은 판재 간 Gap 을 정확히 "0" 매칭할 수 있는 Jig 의 개발 등이 필요하다.

IV. 참고 문헌

1. 應和俊雄, 田中 治, " 스텐레스鋼 溶接의實際", 産保出版 1983, p.29 ~57.