

모터 스테이터 적층코어의 펄스 Nd:YAG 레이저 용접특성

The Weldability of Stator Laminated Core for Motor

by Pulsed Nd:YAG Laser

한국해양대학교 기관시스템공학부 김종도

한국해양대학교 대학원 이창제, 강운주

한국레이저산업 오용택

I. 서론

모터는 구동부의 핵심부품이다. 특히 운송기기들의 고속화 및 고효율화의 문제와 더불어 경량화가 크게 부각됨에 따라 기존의 모터제조 공법으로는 모터의 경량화 및 콤팩트화가 어려워, 새로운 가공기술이 고려되고 있는 실정이다. 더욱이 모터는 매년 진행되는 기기의 소형경량화 중에서 그 요구도가 더욱더 높아지고 있을 뿐만 아니라, 특수화나 짧은 납기화 등 고객의 요구는 점점 다양화되고 있다. 따라서 다른 제품과 마찬가지로 소품종·소량생산이라는 경향이 두드러지고 있다^[1].

특히, 모터의 주요부품인 적층코어는 그 외주환부품을 최소화함으로써 코어의 경량화와 더불어 외주환부품 대비 코일의 감소라고 하는 이점을 얻을 수 있다. 그러나 기존의 프로세스로는 4mm이하로 외주환부품을 가공하기 어려웠다. 따라서 레이저를 이용한 모터의 제조로 경량화 및 콤팩트화라는 시장의 요구를 현실화하려는 연구가 진행되고 있으며, 1980년대 초경 자동차용 부품제조부분에서 이미 레이저용접이 도입되어 성공적으로 이루어지고 있다^[2].

그러나 레이저 용접기술은 고정도(高精度)의 고속·저입열 용접에 따른 용접지배인자의 제어가 어려우며, 적층코어의 경우 적층판사이의 절연피막과 형성인자에 기인한 입열의 집중에 따른 제어의 어려움, 그리고 절연피막의 증발에 따른 기공 등의 결합형성이 문제시 되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 모터의 적층코어 용접에 펄스 Nd:YAG 레이저빔 열원을 적용하여, 용접수행 중 발생하는 각종 결함의 억제 및 방지를 위해, 그 발생 원인을 규명하고 적절한 가공인자를 도출함으로써 우수한 품질의 모터코어 제조기술 개발을 목적으로 하였다.

II. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 재료는 약 0.3%의 규소(Si)가 함유된 무방향성 규소강판 PN60(JIS: 50A1300)으로 두께가 약 0.5mm¹인 모터용 규소강판이다. 그 화학적 조성을 Table 1에 나타낸다.

우선 규소강판을 외경 80mm×80mm, 내경 φ43mm의 모터코어형상으로 재단하였으며,

Table 1 Chemical compositions of Non-oriented Silicon Steel Sheet

Element Material	Si	C	Mn	P	S	Fe
PN60 (0.5mm ¹)	0.36	0.005	0.32	0.09	0.0087	bal.

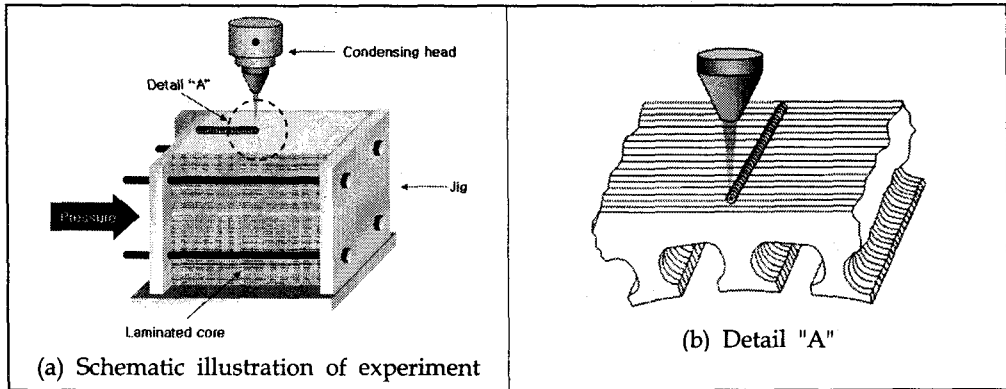


Fig. 1 Schematic illustration of edge welding

이때 외주환부폭은 4mm로 하였다. 다음으로 재단된 규소강판을 적층한 후, 레이저의 가공인자 변화에 따른 적층코어의 엣지(edge)용접 특성을 각각 분석하였다.

2.2 실험방법

본 연구에 사용된 레이저용접기는 플래시램프(flash lamp) 여기방식의 펄스 Nd:YAG 레이저이다. 동축 실드가스 노즐(coaxial shield gas nozzle)을 사용하여 20 l/min의 Ar으로 용접부를 실드하였다.

Fig. 1에 나타난 것과 같이 적층된 규소강판에 엣지용접(edge welding)을 실시하여, 그 용접 특성을 검토하였다. 재단된 규소강판을 적층한 후, 적층부에 간격이 생기거나 용접시 용접변형에 의한 적층판 사이의 간극변화를 없애기 위해 양측을 지지한 후 볼트로 고정하였다. 또한 기존의 아크용접과 달리 입열과 변형을 고려한 용접개소의 프로젝션(projection)부를 두지 않았다. 단면관찰용 시험편은, 재현성을 확보하기 위해 비드가 안정적으로 얻어지는 레이저빔 조사 후 25mm진행된 시점에서 횡단면(transverse section)을 2mm간격으로 4회 취하여 그 평균값을 사용하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

3.1 레이저빔 출력특성에 따른 용입특성

비초점과 램프전압만으로는 깊은 용입을 갖는 건전한 비드를 얻기 어려웠다. 따라서 펄스폭을 조절하여 깊은 용입과 동시에 험핑을 제어하는 실험을 행하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타낸다. 여기에서는 펄스폭 1ms 이후부터 용입이 급격하게 증가하며, $\tau_p=6\text{ms}$ 부터 안정적인 비드가 나타나는 것을 알 수 있다. 이때 가장 깊은 용입을 나타내는 비초점거리 $f_d=-1\sim+3$ 의 구간을 조사하였다. 그 결과, Fig.2(a)의 용입깊이 변화를 관찰하여 보면, 펄스폭 $\tau_p=2\text{ms}$ 에서 가장 깊은 용입을 보였으며 그 이후 용입이 점차 감소하는 모습을 나타내고 있다. 그러나 Fig. 2(b)의 비드폭 변화를 관찰하여보면 비드폭은 점점 증가하여 $\tau_p=6\text{ms}$ 을 정점으로 하여 다시 감소하는 모습을 나타내고 있다. 펄스폭 증가에 따라 용입은 감소하고 있으나 적층코어를 고정하기에는 충분한 용입을 얻을 수 있었다.

비초점거리가 $f_d=-1\sim+1$ 의 구간에서는 펄스폭 6ms에서 용입 및 비드가 안정되었으며, 비초점거리 $f_d=+2\sim+3$ 의 구간에서는 $\tau_p=5\text{ms}$ 에서 용입 및 비드가 안정화되었다. 이때 $f_d=-1$, $\tau_p=6\text{ms}$ 일

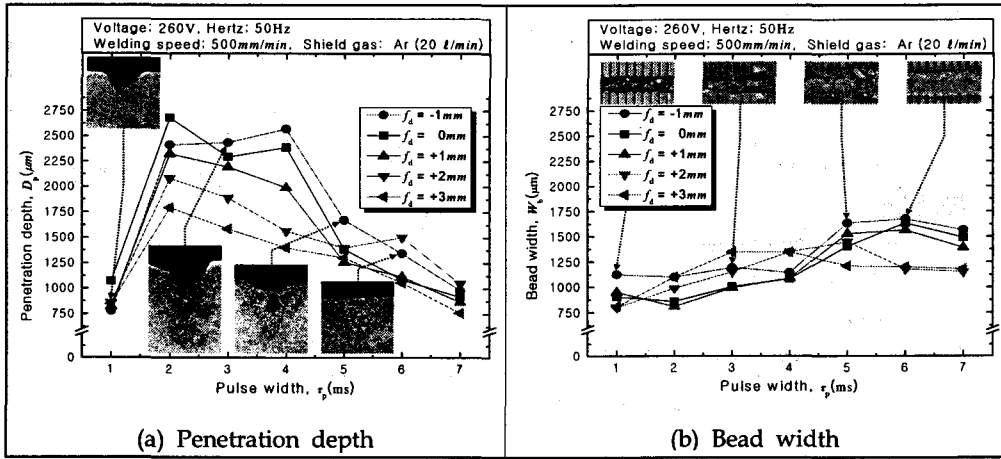


Fig. 2 Variation of penetration depth and bead width in laminated core welded by Nd:YAG laser as a function of pulse width

때 가장 깊은 용입과 넓은 비드폭을 얻을 수 있었으나, $f_d=+2$, $\tau_p=6ms$ 의 구간은 상대적으로 용입이 깊으나 비드의 안정성이 떨어지기 때문에 제외시켰다.

이는 펄스폭이 $\tau_p=2ms$ 이후, $\tau_p=6ms$ 까지 일정한 평균에너지를 유지하면서 피크파워만을 낮추어 높은 피크에 의한 플라즈마의 급속증발을 제어함으로써 험핑이 제어되는 것으로 판단된다.

3.2 레이저용접부와 기존 용접부의 특성

레이저용접과 기존 용접인 아크용접은 그 열원의 특성상 상이한 용접특성을 보여준다. 레이저용접은 용입이 깊고 열영향부가 작다는 특징이 있는 반면, 아크용접은 레이저에 비해 입열의 범위가 넓기 때문에 용입은 얇고 열영향부가 크다. 따라서 모터코어의 아크용접시 열영향을 최소화하면서 깊은 용입을 얻기 위하여 용접개소에 별도의 프로젝션부를 두고 있다. 이러한 아크용접부의 설계개선에도 불구하고 용접부의 결함은 지속적으로 발견되었다.

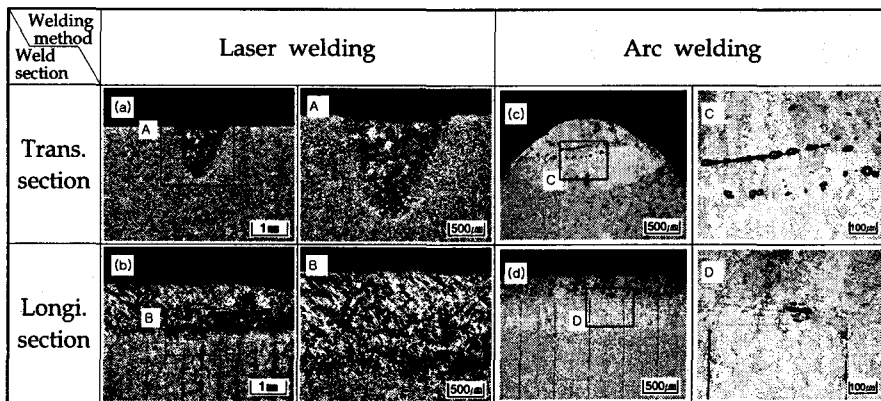


Fig. 3 Appearance and defects of weldment by pulse laser and arc heat source

Fig. 3는 레이저용접부와 아크용접부의 횡·종단면 현미경관찰 사진을 나타낸 것이다. 레이저용접부는 결함이 없는 건전한 비드와 1,300 μm 정도의 용입을 얻을 수 있었다. 반면, 아크용접은 용접부에서 가장 취약한 용융경계부를 따라서 기공이 생성되었으며, 약 700 μm 이내의 용입깊이를 나타냈다. 또한 열영향부의 범위도 아크용접이 레이저용접에 비해 2배 이상 크게 나타났으며, 비드폭 또한 아크용접이 약 400 μm 정도 큰 값을 보였다. 그 결과를 Fig. 4에 나타낸다.

입열을 최소화하기 위한 프로젝트의 영향으로 아크용접부의 비드폭과 열영향부는 일반적인 아크용접에 비해 대단히 작음에도 불구하고, 레이저보다는 큰 값을 보였다. 더욱이 레이저용접은 입열을 고려한 별도의 구조 없이도 깊은 용입과 작은 열영향부를 얻을 수 있었다.

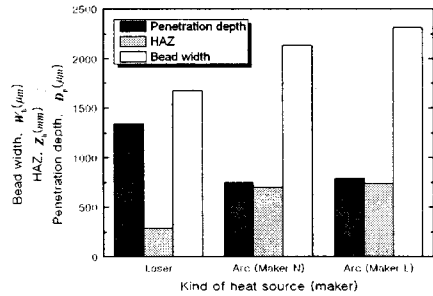


Fig. 4 Comparison of weldment formed by laser and arc heat source

IV. 결론

펄스 Nd:YAG 레이저 열원을 이용한 스테이터 적층코어용 무방향성 PN60규소강판의 적층 옛지용접시, 레이저빔의 출력특성에 따른 용접특성 및 용접부의 특성에 대하여 검토한 결과를 다음에 정리한다.

1) 옛지용접시 전압증가에 따른 험핑을 제어하기 위해 비초점거리를 줄 경우, 건전한 비드를 얻을 수는 있었으나, 깊은 용입은 얻지 못하였다. 그러나 펄스폭에 의해 피크파워를 조절함으로써 급격히 팽창하는 플라즈마를 제어할 수 있었다. 그 결과 260V, 50Hz, $\tau_p=6\text{ms}$ 에서 $f_a=1\text{mm}$ 일 때 결함이 없고 용입이 깊은 건전한 비드를 얻을 수 있었다.

2) 레이저용접의 경우 전형적인 깊은 용입용접을 나타낸 반면, 열영향부는 매우 작았다. 그러나 아크용접은 입열을 최소화하기 위한 프로젝트 구조를 갖고 있음에도 불구하고 레이저용접부 보다 2배 이상의 열영향부를 나타내었다.

3) 레이저에 의한 적층코어의 용접 시 절연피막의 제거공정 없이도 건전한 비드를 얻을 수 있었다. 뿐만 아니라, 별도의 용접설계 공정 없이도 용접이 가능하고, 용접 후공정도 생략할 수 있었다. 더욱이 결함을 제어하기 위해 충분히 설계된 기존의 아크용접에 비해서도 우수한 용접 품질을 나타내었다.

V. 참고문헌

1. 高木勝美, 後藤 徹 : レーザ溶接によるモータ鋼板フレーム生産ライン, 溶接技術, Vol. 42, No. 11, pp. 62-68, (1994)
2. Yoshio Iwai, Nozomu Okumura and Osamu Miyata : Application of Laser Processing for Automotive Parts Manufacturing, Proc. of LAMP'87, Osaka, pp. 517-523, (1987)