

API강재의 파이버레이저 용접시 유기하는 플라즈마의 방사특성 (Ⅲ) - 보호가스가 플라즈마 방사 신호에 미치는 영향 -

이 창 제* · 김 중 도**,* · 김 유 찬***

*한국해양대학교 대학원

**한국해양대학교 기관시스템공학부

***BEST F.A 기술연구소

Characteristics of Plasma Emission Signals in Fiber Laser Welding of API Steel (Ⅲ)

-The Effect on Plasma Emission Signals by Shield Gas-

Chang-Je LEE*, Jong-Do KIM**,* and Yu-Chan KIM***

*Graduate School, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Division of Marine System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***R&D Institute, BEST F.A, Changwon 641-290, Korea

†Corresponding author : jdkim@hhu.ac.kr

(Received May 13, 2013 ; Revised June 19, 2013 ; Accepted June 29, 2013)

Abstract

Ar, N₂, and He are the conventional kind of shield gas that are used for laser welding. Many researches on the impact of laser welding shield gas have been done, and it is on going until now. However, there are few studies that analyze the changes and differences of the plasma emission signal. Therefore, in this study, we evaluated the change in the penetration characteristics according to the type of shield gas during fiber laser welding impacts to the plasma signal. As a result, it was checked that the difference in molecular weight of Ar, N₂, and He affects to the amount of spatter, and also found that the measured plasma radiation signal changes similar to the order of the molecular weight of the gases. Especially, clear change on the signal intensity per each shield gas was measured through RMS, and found that the shield gas was nothing to do with the FFT analyzed result.

Key Words : Fiber laser, Laser welding, Plasma, Emission Signal, Shield gas, Spatter

1. 서 론

용접은 기본적으로 금속을 국부적으로 용융하여 접합하는 프로세스로 높은 온도에서 액상으로 존재하는 용융 금속은 주위의 대기중 활성기체와 반응하기 쉽다. 따라서 대기중의 반응하기 쉬운 기체들과 용융금속간의 차폐를 목적으로 보호가스가 사용되고 있다¹⁾.

보호가스로는 불활성 기체가 주로 사용되나 레이저

용접의 경우에는 아크와는 달리 높은 파워밀도에 의한 기체분자의 해리가 발생하여 오히려 활성원자의 공급원이 될 수 있으므로 분자형 기체인 CO₂는 거의 사용되고 있지 않으며, 대부분이 비활성 가스인 He과 Ar을 사용하며, 저출력이나 질화되지 않는 재료에만 N₂를 사용하고 있다. 또한 레이저 용접은 보호가스의 종류뿐만 아니라 유량 및 분사위치 등에도 지대한 영향을 받는다^{2,3,4)}.

이와 같이 레이저 용접시 보호가스는 중요한 용접변수

로써 기존의 용융용접 프로세스 보다 민감하게 영향을 받는다. 특히 보호가스의 분자량 차이에 의한 가스별 냉각속도의 차이는 레이저용접시 형성되는 키홀과 키홀에서 분출되는 금속증기에 영향을 미쳐 용입특성과 용접 결함 등을 제어하는 또 하나의 인자로 작용한다⁵⁾.

따라서 본 연구에서는 파이버레이저 용접시 보호가스의 종류에 따른 용입특성 및 스패터의 영향을 살펴보고, 이때 플라즈마의 방사광 신호를 측정 및 분석하여 보호가스에 따른 방사신호의 거동과 용접결과를 비교함으로써 레이저 출력 및 용접속도 변화에 따른 신호의 변화와 어떤 차이점이 있는지 알아보고자 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료 및 장치

본 연구에서는 1보⁶⁾와 2보⁷⁾에서 사용된 API-X80강으로 실험을 실시하였다. 사용된 시편의 치수는 $200 \times 140 \times 16$ mm이다.

용접에 사용된 레이저는 10 kW의 연속 이터븀 파이버레이저(CW Ytterbium-Fiber laser)를 사용하였다. 레이저용접은 Fig. 1과 같이 초점거리 $f = 500$ mm인 광학계를 사용하였으며, 레이저 반사광을 고려하여 광학계를 용접진행방향에 대해 전진각 1.0° 를 주었다. 또한 레이저용접은 비초점거리 $f_a = -20$ mm에서 레이저출력 $P = 5$ kW와 10 kW에서 각각 용접속도를 변화시키면서 비드용접을 실시하였다.

2.3 보호가스 및 플라즈마의 측정방법

레이저 용접시 보호가스의 종류에 따른 영향을 살펴

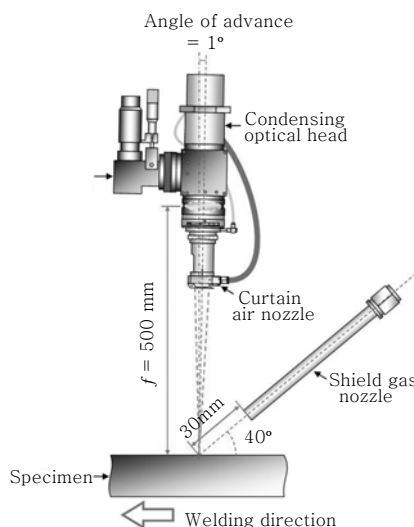


Fig. 1 Schematic illustration of fiber laser welding

보기 위하여 99.999%의 Ar, N₂ 그리고 He을 각각 20 l/min의 유량으로 실드하면서 실험을 실시하였다. 그리고 보호가스 노즐은 용접진행방향 후방 40°에서 레이저 조사지점과 30 mm의 거리를 두고 배치하였다.

파이버레이저 용접시 발생하는 유기 플라즈마의 방사광 신호는 자외선, 가시광선 및 적외선의 영역에서 동시에 각각 측정하였다. 이때 신호의 측정은 2보에서 이미 기술한 바와 같이 자외선 및 가시광 포토다이오드를 용접진행방향 측면 45°, 200 mm의 위치에 설치하여 유기 플라즈마의 방사광을 측정하였으며, 적외선 포토다이오드는 용접진행방향 후면 80°, 200 mm의 위치에 설치하여 레이저반사광 및 용융지의 적외선을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 보호가스에 따른 용입특성

본 연구에서는 보호가스에 따른 용입특성과 그에 따른 신호의 영향을 평가하였다. 우선 보호가스별 용입특성을 Fig. 2에 나타낸다. 그래프에서 보듯이 레이저출력 $P = 5$ kW 및 10 kW 모두 보호가스에 따른 용입의 차이는 거의 없었으며, Ar 실드시의 비드폭이 다른 두 가스에서보다 조금 더 작았을 뿐이다.

그러나 스패터 발생량은 보호가스별로 차이를 보이고 있었다. Fig. 3은 용접속도 $v = 1$ m/min 일 때 $P = 5$ kW와 10 kW에서 1 mm 이하, 1 ~ 2 mm 그리고 3 mm 이상의 스패터가 비드표면에 부착된 양을 측정한 것이다. 여기서 1 mm 이상의 큰 스패터를 살펴보면, 먼저 $P = 5$ kW에서는 1 mm이상의 스패터가 Ar, N₂ 그리고 He 순으로 증가하였으며, $P = 10$ kW에는 2 mm이상의 스패터도 보호가스별로 증가하는 모습을 보였다. 특히, 2 mm이상의 스패터는 상당히 큰 크기에 속하는 것으로 이 크기의 스패터가 증가한다는 것은 보호가스가 충분히 역할을 하지 못하고 용접품질에 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다.

특히 He의 경우에는 그 특성상 매우 상반되는 결과가 나타나고 있다. 이는 파이버 레이저용접시 높은 빔 품질에 기인해 상대적으로 가벼운 기체가 강력한 증발 압력의 영향으로 플라즈마를 충분히 제거하지 못하거나 용융부를 차폐하지 못하기 때문이라고 생각된다. 실제 각 보호가스의 분자량은 Ar = 39.948, N₂ = 28.014 그리고 He = 4.0026으로써 이들 분자량의 순서와 1 mm 이상의 스패터 발생량의 순서가 일치하는 것도 이를 반증하는 것이라고 사료된다. 따라서 파이버 레이저용접시

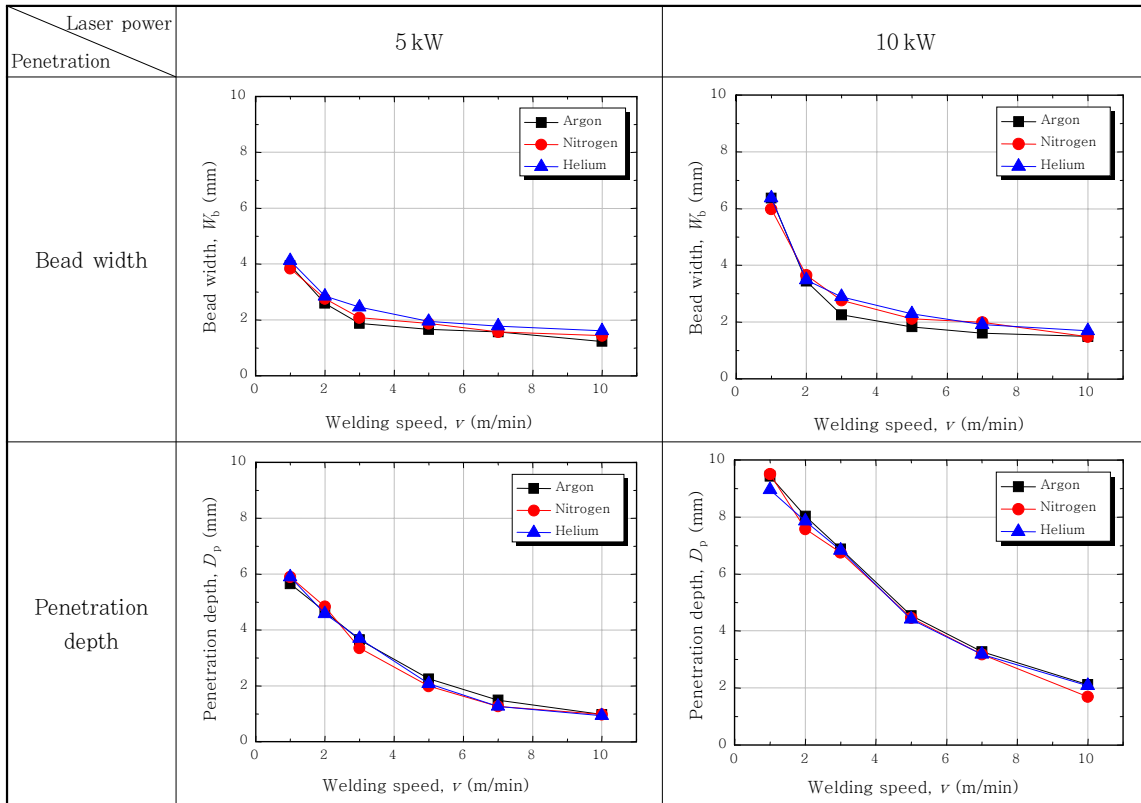


Fig. 2 Characteristics of penetration with shield gases

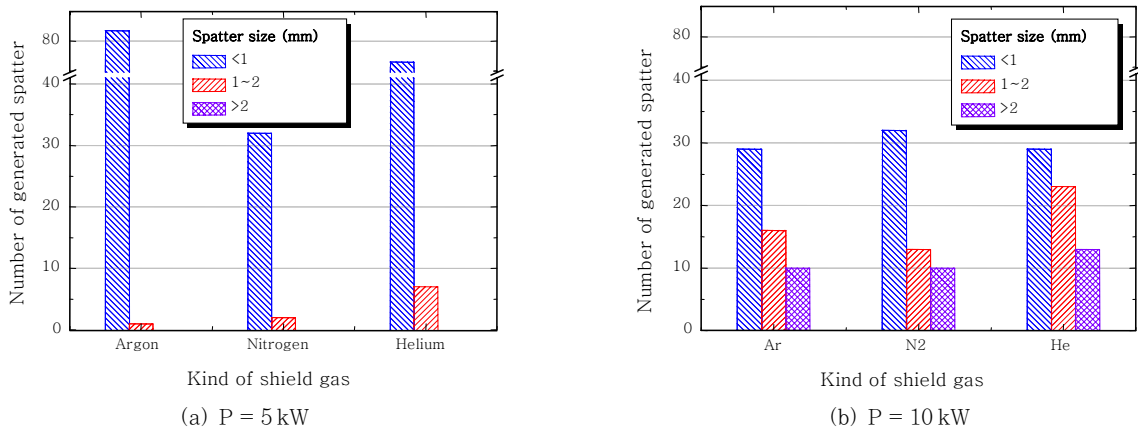


Fig. 3 Adhesion amount of spatter on bead surface with shield gases

에는 높은 증발압력을 고려하여 보호가스별로 분자량을 고려한 유량의 조절이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 보호가스가 신호에 미치는 영향

또한 앞서 살펴본 바와 같이 보호가스에 따른 용입의 차이가 거의 없었던 것과 마찬가지로 측정신호의 패턴에서도 큰 차이를 보이지 않았다. Fig. 4는 보호가스별 원신호의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 P = 5 kW와 10 kW에서 보호가스별 신호의 패턴변화가 크지

않다는 것을 알 수 있다.

그러나 신호의 강도와 진폭은 Ar, N₂ 그리고 He의 순으로 커지고 있었으며, 이러한 경향은 Fig. 3의 스패터 발생정도와 일치하고 있다. 더욱이 P = 10 kW에서의 자외선 신호의 경우, 2 mm이상의 스패터 발생에 따른 용융금속의 소실이 신호에도 강력하게 반영되고 있음을 알 수 있다.

이러한 변화를 Fig. 5의 RMS로 분석하여 보면 Ar, N₂ 그리고 He의 순으로 신호의 레벨이 상승하였고, 플라즈마의 거동이 가장 잘 반영되는 자외선은 보호가스에

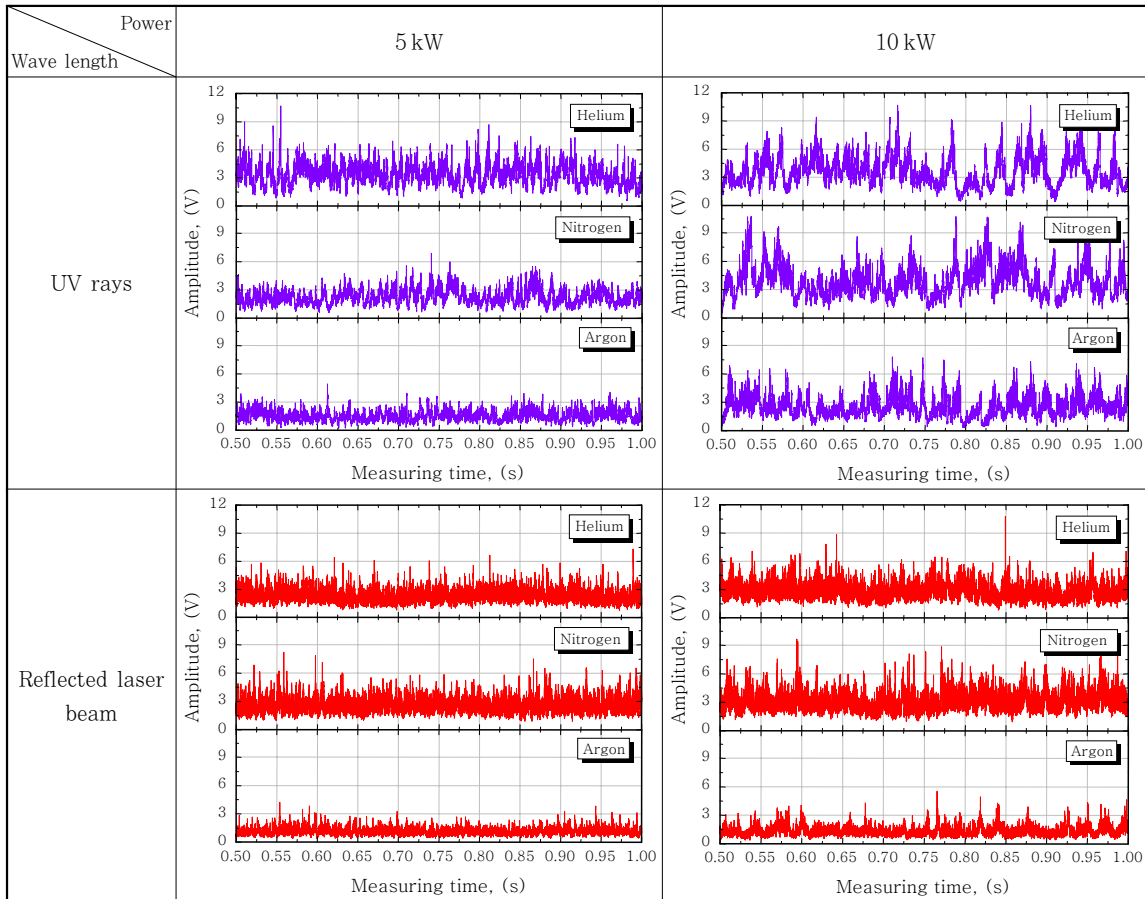


Fig. 4 Variation of raw signals with shield gases

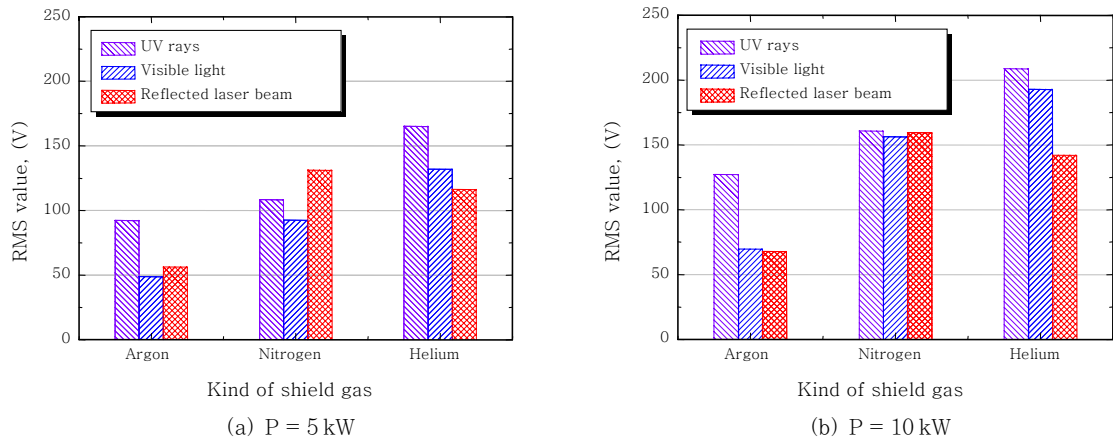


Fig. 5 Various RMS values by laser powers with shield gas

따라 비례적으로 상승하였다. 그러나 N₂의 경우 P = 10 kW에서 가시광선과 레이저 반사광의 상승폭이 크게 나타나는데, 이는 Ar과 N₂의 분자량 차이가 11.934로 N₂와 He의 분자량 차이 24.11에 비해 절반정도임에도 불구하고 He과는 큰 차이를 보이지 않는 것은, N₂가 비활성가스인 Ar이나 He과는 달리 단원자 분자가 아닌 2원자 분자로서 1차 이온화에너지가 1,402.3 kJ/mol로

가장 낮아 고온의 환경에서 먼저 해리될 뿐만 아니라 높은 전기음성도로 인해 플라즈마와 반응하면서 보호가스로서의 역할을 하지 못해 키톨내의 용융금속의 거동이 안정화되지 않고 격하게 요동쳐 레이저빔의 반사율에 영향을 주었기 때문이라고 생각된다.

Fig. 6은 P = 5 kW와 10 kW에서의 보호가스별 FFT 결과를 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 보호가스

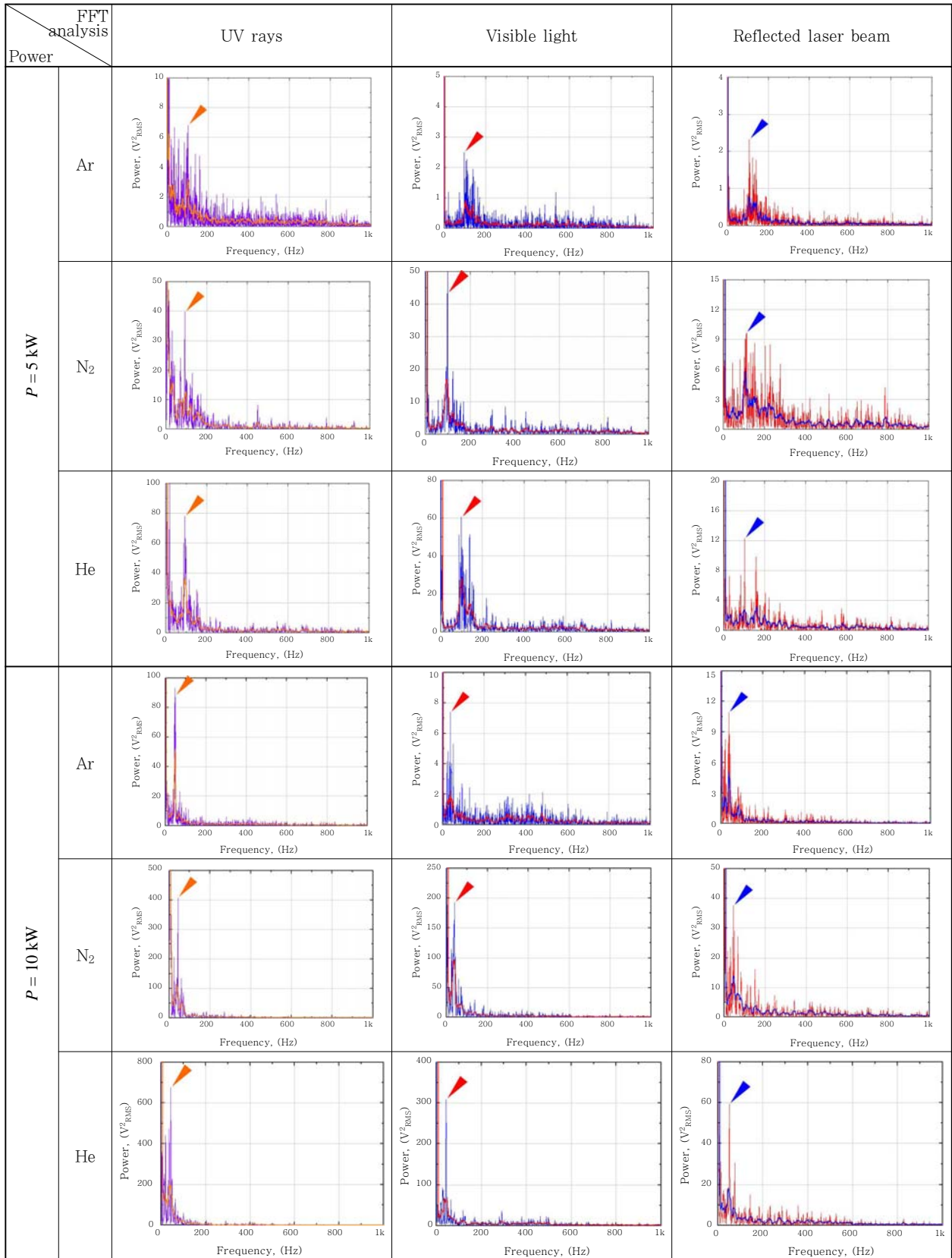


Fig. 6 FFT results of measured signals by laser powers with shield gases

에 따른 피크의 주파수 이동은 관찰되지 않으며, 출력 변화에 따른 주파수 이동도 동일하게 나타나고 있다.

다만 RMS 레벨의 증가에 따른 피크의 파워 증가만이 차이가 있을 뿐이다. 즉, 보호가스의 차이가 피크의 주

파수 대역에 영향을 미치지 않는다는 것은 FFT 결과가 용입과 깊은 관련이 있다는 것을 간접적으로 나타낸 것이라고 생각한다.

4. 결 론

파이버레이저 용접시 보호가스 종류에 따른 용입특성 및 플라즈마 방사신호의 특성을 비교·분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) P = 5 kW 이상의 파이버레이저 용접시 동일 조건에서 Ar, N₂ 및 He을 각각 보호가스로 사용하여 비드 용접을 실시한 결과, 비드폭 및 용입깊이에는 큰 차이가 없었으며, 다만 Ar 실드에서만 비드폭이 다른 두 가스에서보다 조금 더 작았다.

2) 스패터 발생량은 P = 5 kW에서는 1 mm이상의 스패터가, P = 10 kW에는 2 mm이상의 스패터가 Ar, N₂ 그리고 He 순으로 증가하였는데, 각 보호가스의 분자량은 Ar = 39.948, N₂ = 28.014 그리고 He = 4.0026으로써 이들 분자량의 순서와 스패터 발생량의 순서가 일치하였다.

3) 보호가스별 원신호의 차이는 크지 않았으며, 신호의 강도와 진폭은 Ar, N₂ 그리고 He의 순으로 증가하였다. 이는 스패터 발생정도와 일치한다. 또한 RMS 값도 Ar, N₂ 그리고 He의 순으로 신호의 레벨이 상승하였다. 그러나 N₂의 경우, 비활성가스인 Ar이나 He과는 달리 N₂는 2원자 분자로써 높은 출력에서 고온에 의한 보호가스의 해리로 인해 P = 10 kW에서 신호의 상승폭이 크게 나타났다.

4) FFT 분석결과, 보호가스에 따른 피크의 주파수 이동은 없었으며, 출력변화에만 주파수가 이동하였다. 따라서 보호가스는 플라즈마 방사신호의 강도에는 영향을 미치는 반면, 키홀의 주기변화를 대변하는 주파수에는 영향을 미치지 않았다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행(NIPA-2013-H0301-13-2009)되었으며, 또한 해양수산부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성 사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

1. J.F. Lancaster : The physics of welding, international Institute of Welding, (1984), 297
2. J.D. Kim, K.B TEA, C.J. Lee, M.S. KWAK and O.S Oh : A Study on Shield Gas Behavior by Flow Visualization in Laser Welding, Proceedings of the 25th KOSME Autumn Conference, (2007), 37-38 (in Korean)
3. R. Fabbro, S. Slimani, I. Doudet, F. Coste and F. Briand : Experimental Study of the Dynamical Coupling between the Induced Vapour Plume and the Melt Pool for Nd-YAG CW Laser Welding, Journal of Physics D: Applied Physics, **39-2** (2006), 394
4. T.Y. KUO and Y.D. LIN : Effects of Different Shielding Gases and Power Waveforms on Penetration Characteristics and Porosity Formation in Laser Welding of Inconel 690 Alloy, Materials Transactions : The Japan Institute of Metals and Materials, **48-2** (2007), 219-226
5. A. Matsunawa, J.D. Kim, N. Seto, M. Mizutani and S. Katayama : Dynamics of keyhole and molten pool in laser welding, Journal of Laser Applications, **10-6** (1998), 247-254
6. J.D. KIM, C.J. Lee and M.Y. LEE : Characteristics of Plasma Emission Signals in Fiber Laser Welding for API Steel (I), Journal of KWJS, **28-6** (2010), 51-27 (in Korean)
7. C.J. Lee, J.D. KIM and Y.C. KIM : Characteristics of Plasma Emission Signals in Fiber Laser Welding for API Steel (II), Journal of KWJS, **30-4** (2012), 314-320 (in Korean)