

# 브라운관 전자총 부품의 펄스 Nd:YAG 레이저 용접성 (제1보) — 빔 출력특성과 광학변수 —

## Pulsed Laser Weldability of Electron Gun Parts in Braun Tubes (Report I) - Characteristics of Beam Output Energy and Optical Parameters -

하승협\*, 양우영\*\*, 김명도\*\*,  
김중도\*\*\*, 조상명\*, 김영식\*\*\*

\*부경대학교, \*\*삼성SDI DC사업부, \*\*\*한국해양대학교

### 1. 서 론

브라운관 전자총 부품의 용접에는 기존의 저항열원에서 펄스 YAG 레이저 열원으로 전환과정에 있거나 완료된 상태에 있다. 그러나, 소출력의 극단시간에 용접이 완료됨으로 해서 용접품질에 미치는 각 가공인자의 제.영향에 대해서는 지금까지 소홀함이 없지 아니하였다. 레이저 용접품질에 미치는 가공인자는 장치 및 광학계의 품질 및 제어 측면, 재료와 유기 플라즈마의 물성, 키 홀의 동역학적 측면, 그리고 각 인자간의 상호작용에 의한 복합적 측면에서 지배인자로서 산재해 있다.

전자총 용접현장에서는 레이저 용접중 스패터(splatter)의 전자총내 유입으로 인한 브라운관 마스크 막힘과 전자총 전극사이에 부착되어 단선의 문제점을 일으키는 요인이 되어왔다.

본 산·학연구에서는, 이러한 문제점들을 해결하기 위해 용접 품질에 미치는 지배인자를 평가하여 현장에 적용하고 있다. 연구성과의 일부로서, 우선 현장의 소출력 레이저 빔의 출력특성과 빔의 조사각도, 초점위치, 그리고 보호글라스 등의 광학인자에 대한 용접성을 검토하였다.

### 2. 실험방법

브라운관 전자총 부품재료인 두께 0.33mm의 STS304(18%Cr-8%Ni) 박판을 사용하여 점용접을 행하였다. 용접열원은 파장( $\lambda$ )이 1.064 $\mu$ m인 Miyachi(주)의 펄스 Nd:YAG 레이저를 사용하였으며 최대 출력 에너지( $E_0$ )는 15J/p(펄스폭 5ms시), 펄스 제어폭 0.3~10ms, 펄스 반복수가 1~10 pps로 광화이버로 동시4분기가 가능하다. 집광렌즈의 초점거리( $f$ )는 70mm, 집광광학계 선단과 피용접재의 초점위치까지의 거리(working distance)는 56mm이다. 용접조건은 현장의 상황을 고려하여 비초점거리( $f_0$ )가 0~ $\pm$ 6mm, 조사각도는 용접개소에 따라 0~25° 까지 경사시켜 용접성을 평가하였다. 또한 출사 집광광학계에 의한 빔 에너지 손실과 보호글라스의 종류 및 거기에 부착되는 스패터에 의한 에너지 손실도 추정하여 용접성에 미치는 영향을 검토하였다.

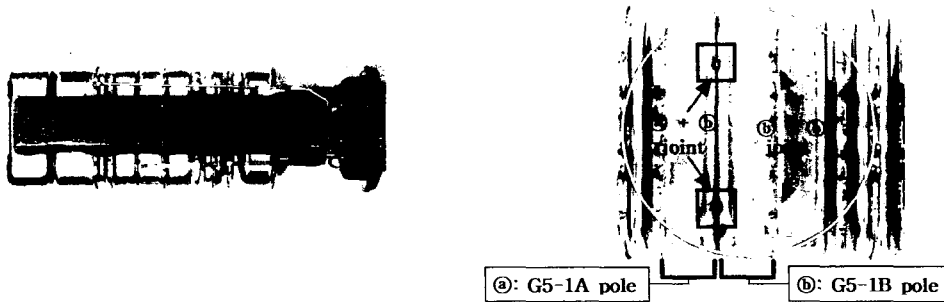


Fig. 1 General view of laser welding points of electron gun in braun tube

### 3. 실험결과 및 고찰

**3.1 빔의 출력특성** 전자총 부품의 레이저 용접시 현장에서 이용되고 있는 출사 집광광학계의 한 예를 Fig. 2에 나타낸다. 일반적으로 집광광학계는 좌우 및 상하의 조사각도 및 비초점거리( $f_0$ )의 조절이 가능하게 구성되어 있다. 이러한 광학계를 이용하여 비초점거리를 바꾸었을 때의 빔의 burn pattern을 Fig. 3의 결과로부터 알 수 있으며, 빔 웨이스트인 초점위치에서 가장 빔의 직경이 좁고 에너지가 집중되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 4로부터 동일한 여기용 lamp voltage에서 레이저 조사시간이 짧을수록 침투출력이 크게됨을 알 수 있으며, 이것은 레이저 용접시 용융깊이와 용융액의 스패터 현상에 지대한 영향을 미치는 인자이다. Fig. 5로부터, lamp voltage의 증가에 따라 출력 에너지와 침투출력이 높게되고 재료내의 용융깊이는 비례하여 깊게되며, 이때 스패터 현상과 용융액의 self-burning현상도 관찰되었다. G5-D connector용접금속의 매크로 단면관찰결과, 특정조사시간에서 스패터가 없는 안정한 비드가 형성되나 보다 낮거나 높은 출력에서는 용접부의 탈락과 전극내부로의 스패터가 침투할 우려가 있으며,

humping비드도 관찰되었다. Fig. 5에서 lamp voltage를 270V에서 280V로 10V 증가시 출력 에너지는 0.4J상승하고 이때 용융깊이는 약0.09mm(90 $\mu$ m) 깊어지는 것을 알 수 있다. 이와 같이 소출력 레이저의 경우 미소한 전압차이에도 용융깊이는 극단적으로 변화할 수 있으므로 각별한 관리와 주의가 요망된다. 또한, 일정한 lamp voltage에서 조사시간을 길게 할 경우, 빔 에너지는 증가하지만 침투출력은 저하하게되어 이 또한 용융특성에 지대한 영향을 미치게 되므로 침투출력의 제어가 매우 중요함을 인식할 수 있다.

**3.2 광학변수** YAG 레이저 용접시 고려해야할 광학변수로서는 레이저 매질의 여기광원 관련 및 집광계, 광화이버 특성 등 여러 가지를 고려할 수 있으나, 본 보고에서는 출사 집광광학계와 보호글라스 자체흡수에 의한 에너지 손실, 빔의 경로에 스페터 부착에 따른 에너지 손실, 그리고 빔의 조사각도와 초점거리 변화에 따른 용접성을 비교 검토하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 출사 집광광학계와 광학계의 보호글라스에 의한 빔 에너지 손실값을 각각 나타낸다. 그 손실정도는 브라운관 전자총 부품에 적용되는 소출력 레이저일수록 용입깊이에 직접적으로 민감하게 영향을 미치게 되며, 관리의 중요성은 Fig. 5에서 기술하였다. 특히 Fig. 7의 결과로부터는 보호글라스에 부착되는 스페터량에 따라 에너지 손실정도를 알 수 있었으며 글라스 교환주기에 대한 지론도 갖게 되었다. 또한 보호글라스의 재질에 따른 빔의 투과특성차이에 대해서도 검토한 결과, 어느 재질이든 용접결과에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

Fig. 8은 레이저 조사각도에 따른 G5-1A, G5-1B(Fig. 1 참조) 전극의 용접부 매크로 단면을 나타내고, Fig. 9는 Fig. 8가운데 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 약 5°의 빔 조사각도에서 출력 에너지의 변화에 따른 용융특성에 대하여 세심한 검토를 하였다. 용융단면의 형상에는 조사각도의 영향이 그대로 나타나 있으며, 일정각도 이상에서는 용융부의 중심이 접합해야할 전극의 중심부를 완전히 벗어나 있으며, 고출력의 경우 전극배면으로 용액이 비산되어 내면에 부착될 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 적절한 파워밀도와 용융부내에 형성되는 키홀(keyhole)의 능숙한 제어에 의해 조절가능하며, 용접부 표면상의 결과만을 중요시해서는 아니 될 것이다. 이러한 결과는 빔의 비초점거리 변화에 의해서도 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

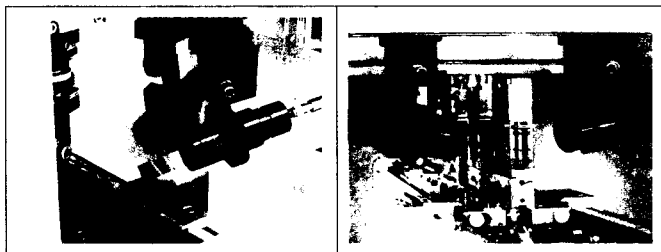


Fig. 2 An example of condensing optic system for laser spot welding

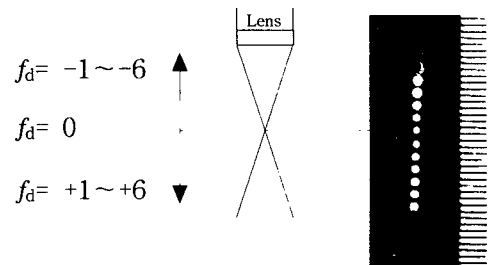


Fig. 3 Variation of beam diameters by defocused distance

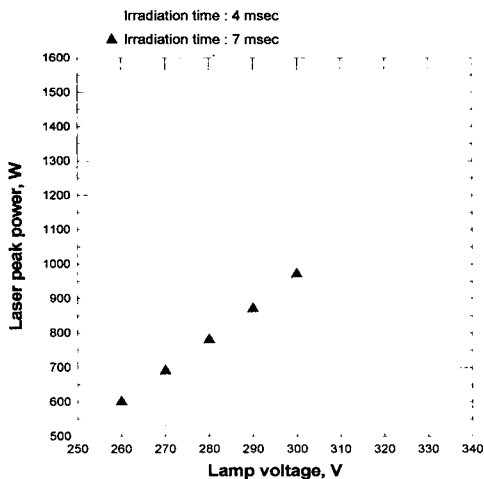


Fig. 4 Effect of beam irradiation time and lamp voltage on laser peak power

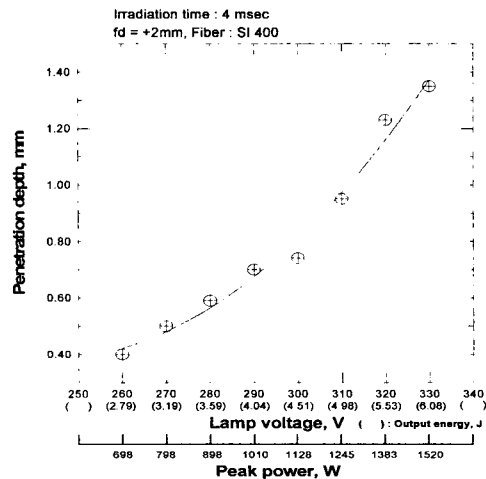


Fig. 5 Effect of beam output energy on penetration depth of weld zone

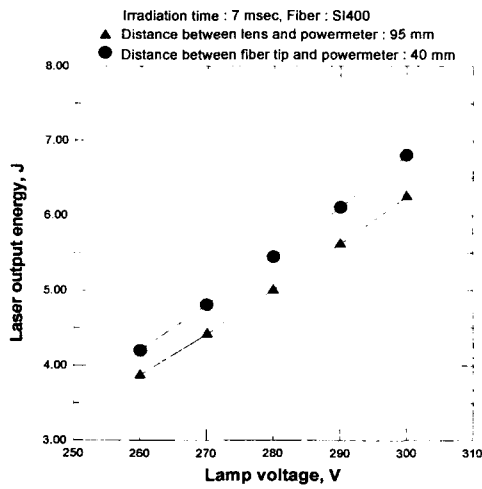


Fig. 6 Beam energy loss of condensing optic unit

External view	Position	Welding condition	Laser beam energy (AVG)	Protecting glass+loss of spattered-particles	Loss of spattered-particles
	①	A	7.95	1.05J, 11.7%	3.5%
		B	5.28	0.76J, 12.6%	4.5%
		C	1.80	0.22J, 10.9%	4.0%
	②	A	7.59	1.41J, 15.7%	7.5%
		B	5.06	0.98J, 16.2%	8.1%
		C	1.69	0.33J, 16.3%	9.4%
Protecting glass	Welding condition	A: 15ms, 365V, 8.99J B: 15ms, 327V, 6.04J C: 15ms, 267V, 2.02J			

Fig. 7 Beam energy loss due to spattered-particles stucked to protecting glass of optic lens

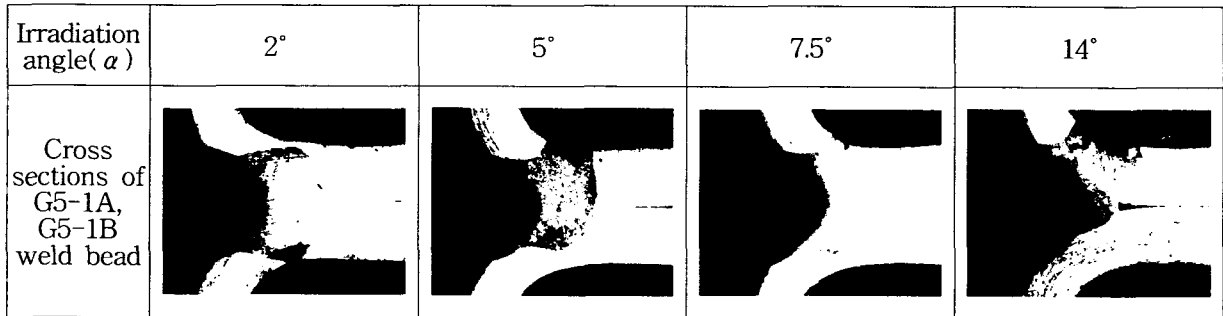


Fig. 8 Cross sections of spot laser weld beads produced in air, showing effect of beam irradiation angle on penetration shape. (260V, 10ms, powermeter: 5.19J, SI400,  $f_d=0$ , WD:56mm)

Irradiation angle ( $\alpha$ )	Front side bead	Real side bead	Cross section
5°			
	318V, 10ms, 12J		
5°			
	346V, 10ms, 16J		

Fig. 9 Comparison of the cross sections of weld bead formed during laser spot welding of G5-1A, G5-1B electrode (Irradiation angle,  $\alpha=5^\circ$ )