

레이저 용접의 특성과 응용  
Characteristic and Applications of Laser Welding  
〔 1 〕

대우중공업 나 덕 주

머 리 말

최근 레이저 가공에 대한 관심이나 인식이 높아지고 재료가공분야에서 급속한 기술 혁신이 추진되고 있다.

여러 종류의 재료 가공 분야중 용접분야의 기술발전은 용접을 할 때 사용되는 열원의 발전에 크게 영향을 받아 왔다. 현재 공업적으로 용접에 이용되고 있는 가장 발전된 열원으로는 레이저 빛과 전자 빛이 있으나, 전자 빛 용접은 작업 환경과 피용접물의 조건에 제한이 있으므로 레이저 빛 용접에 비하여 불리하다.<sup>1)</sup> 레이저 용접은 1960년대 전자 부품의 용접에 적용된 이후 기술적으로 상업적으로 미약하던 레이저 용접 응용과 1971년 Brown과 Banas에 의해 수kw급 CO<sub>2</sub>레이저로 심층 침투 용접이 발표된 이후 크게 증가하였다.<sup>2)</sup> 레이저 빛의 특성을 이용하여 전자 빔만으로 할 수 있었던 특수 정밀 용접을 해야하는 용접하기 어려운 재료의 용접에 레이저 빛을 이용하는 많은 실험이 행해져 오고 있다.

여기서는 레이저 용접의 특징, 용접 품질에 영향을 미치는 각 변수들, 레이저 용접의 응용사례에 대하여 개설하고자 한다.

레이저 용접의 특징

레이저 빛과 같은 고 에너지 밀도 열원을 용접 열원으로 사용하는 용접에서 Keyhole 효과는 매우 중요하다. Keyhole은 충분히 높은 에너지 밀도의 빛이 재료에 조사되면 재료의 증발을 일으키게 되며, 이 증발에 의해 생긴 압력이 용융된 재료를 hole벽을 따라 위쪽으로 유동시키게 될때 생성된다. 이 Keyhole은 축체로서 거동하게 되어 재료 깊어 열을 분포시킵과 동시에 레이저 빔의 흡수를 좋게 한다. Fig 1. 에서 알 수 있듯이 Keyhole은 벽면의 연속적인 증발에 의해 생긴 개스 혹은 증기로 가득 채워지고 고실에

둘러싸인 액상에 의해 둘러싸이게 된다.<sup>3)</sup>

Keyhole 주위에 있는 용융 유체의 표면 장력과 유동은 Keyhole을 붕괴시키려는 경향이 있지만, 조사되는 빔에 의해 연속으로 생성되는 증기는 Keyhole을 유지하려는 경향이 있다. 즉, Keyhole 내에서 연속으로 생성되는 증기는 용융 유체의 Keyhole을 벗어나려는 유동을 유발하는 압력을 제공한다. Fig 2. 에서 알 수 있듯이 용융 유체는 Keyhole의 전단부에서 아래로 이동하고 다시 밑에서 후단으로 연속적으로 유동하게 된다.<sup>4)</sup> 이 때 전단부에서 생성되는 용융 유체는 벽면의 증발에 의한 극렬한 구동력과 가파른 벽면에 의해 가속화 되게 되며, 이 과정에서 Ke-

whole 뒤에 표면 부근에 큰 와류가 생긴다. 이와 같은 Keyhole 주위의 유동은 레이저 빔의 이동 중에 Keyhole이 정상 상태를 유지하게 한다.

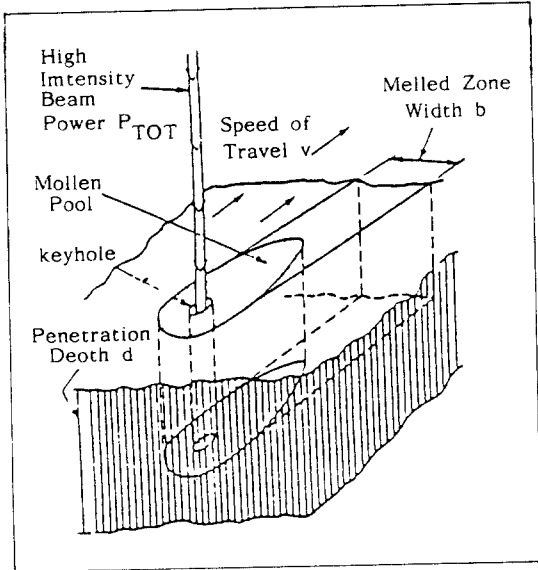


Fig. 1. Penetration weld geometry (Swifhook and Cjick (1973))

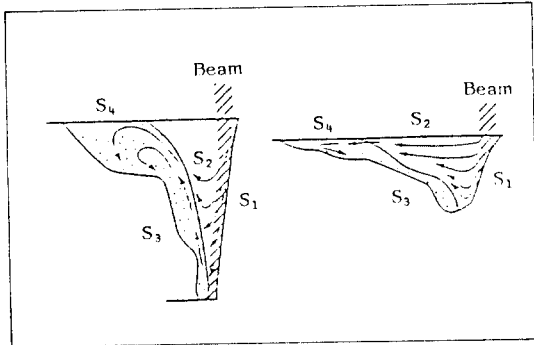


Fig. 2. The weld cavity and movement of the melt (Arata and Miyamoto 1978)

레이저 빔을 용접 열원으로 사용하게 되면 일반적인 용접방법 (torch용접, arc용접, 저항용접 등)에 비하여 다음과 같은 장점이 있다. 즉, 레이저 빔은 관성이 없으므로 고속 용접시에 빠른 멈춤이나 시작이 가능하며, 용접하기가 어려운 재료(티타늄, 석영 등)와 이종 금속사이의 용접도 할 수 있으며, 고밀도 에너지 원이므로 용융부와 열영향부가 매우 좁아 정교한 용접도 할

수 있으며, 피용접물과 직접적인 접촉이 없으므로 용접부의 오염이 문제가 되지 않으며, 용접부의 덧살붙임이 작아 용접부가 미려하며, 전자 빔의 용접방법과 달리 진공이 필요없이 공기 중에서도 사용이 가능하고 작업 부품과 관련된 어진 자기장에 영향을 받지 않을 뿐 아니라 작업 부품과 반응을 할 때에 X-선이 발생하지 않는다.

### 레이저 용접 변수

레이저 용접의 원리는 레이저 빔을 광학렌즈로 집속시킴으로써 얻어지는 고밀도의 에너지를 피용접물에 조사하여 피용접물의 온도를 용융점 이상으로 상승시켜서 용접을 하는 것으로 레이저 빔의 특성이 매우 중요하다.

레이저 빔 mode는 렌즈에 의하여 집속되어지는 빔의 직경과 에너지 밀도를 결정하는 중요한 변수이다. 레이저 빔의 특성적인 공간적인 형태는 Transverse mode로 분류하여 TEM $_{mn}$ ( $m, n$ 는 정수)로 표시하며, TEM은 Transverse Electro Magnetic의 약자이다.<sup>5)</sup> 빔 mode가 TEM $_{00}$  mode (Gaussian 분포)에 접근되어질수록 렌즈에 의하여 집속되어지는 빔의 직경이 작아져서 보다 높은 에너지 밀도를 얻을 수 있으며, 집속 심도 (depth of focus)가 깊어져서 초점의 조절이 용이함으로 레이저 빔을 광학적으로 다루기가 용이하다. 반면에 높은 차수 (order)의 mode (non-Gaussian 분포)를 가지는 레이저 빔을 렌즈로 집속시켜서 원하는 초점의 크기를 얻으려면 집속길이 (focal length)가 짧은 렌즈를 사용하여야 한다.

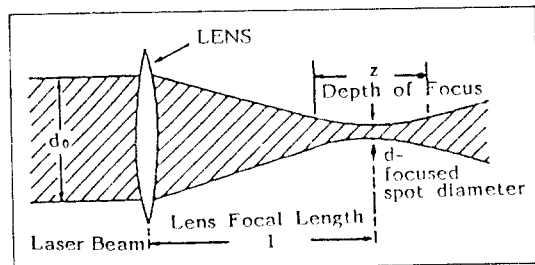


Fig. 3. Focusing a Gaussian Beam With a Simple Lens.

Fig. 3. 은 Gaussian분포를 가지는 레이저 빔이 렌즈에 의하여 집속되어진 상태를 나타낸다.

렌즈로 입사되는 빔의 직경을 Gaussian 분포의 강도가 중앙값의  $1/e^2$ 로 정의되는 지점을 직경으로 하면 집속되어진 빔의 직경은 다음과 같다.

$$d_0 = \frac{4f\lambda}{\pi d_0}$$

여기서  $f$  : 렌즈의 집속거리  
 $d_0$  : 레이저 빔의 직경  
 $\lambda$  : 레이저 빔의 파장

윗 식은 임의의 레이저 빔의 파장에 대하여, 렌즈로 입사되는 빔의 직경을 expander로 증가시키면 렌즈의  $f$ -number ( $f/d_0$ )를 감소시킬 수 있어서 집속되어지는 초점의 크기를 감소시킬 수가 있어 고밀도의 에너지 빔을 얻을 수 있음을 나타낸다.

Gaussian분포의 최대강도, 즉 중앙 값은 다음과 같다.

$$I_0 = \frac{2P_0}{\pi(d/2)^2}$$

여기서  $P_0$  : 렌즈에 입사되는 빔의 에너지  
 $d$  : 렌즈 집속되어지는 빔의 초점

렌즈에 의하여 집속되어지는 빔의 집속심도는 초점 위치를 조절할 때의 정밀도를 결정하므로 레이저를 이용하는 재료 가공에 매우 중요하다. 렌즈에 의하여 집속되어지는 빔의 집속심도는 다음과 같다.

$$Z = \pm \frac{0.32\pi a^2}{\lambda} \approx \pm \frac{a^2}{\lambda}$$

여기서  $a$  : 집속되어지는 초점의 반경

윗 식은 동일한 초점 크기에 대하여 레이저 빔의 파장이 짧은 것을 사용하는 것이 집속심도가 깊어지는 것을 나타낸다.