

레이저 응용 - 가공기술

황 경 현*

(*한국기계연구소 가공기술 실장)

1. 머리말

레이저를 이용한 가공기술은 특수가공기술(Non-traditional Machining Technology)의 하나로 光에너지에 의한 물리적인 가공 방법이다. 즉 전기적인 에너지가 고밀도의 빛에너지형태로 변환되어 가열, 용융, 승화 등에 의하여 가공이 이루어진다. 선진국의 경우를 보면 특수가공기술이 전체 가공에서 차지하는 비율은 10%내외이며 레이저 가공은 특수가공 중에서 극히 일부에 지나지 않아 현재 전체 가공공정중 차지하는 비중은 크지 않으나 레이저 가공이 갖고 있는 특성과 장점 때문에 장래에는 많이 이용될 것으로 예측된다.

현재 레이저를 이용한 재료가공기술은 기존 가공의 대체화 기술로서, 신소재를 가공할 수 있는 신제조 공정기술로서 역할을 담당하고 있다.

국내에도 80년대 후반부터 CO₂ 레이저 가공기를 중심으로 절단, 용접, 트리밍등의 공정에 이용되고 있다. 항공우주산업, 전자산업, 자동차산업 등이 발달함에 따라 정밀성과 유연성이 요구되며 또한 신소재의 개발과 응용범위가 확대됨에 따라 기존의 가공방법이 레이저를 이용한 가공방법으로 많이 대체되고 있으며, 또한 레이저 가공기를 생산하는 업체도 증가하고 있다. 그러나 레이저 가공에 이용되는 레이저 특성, 레이저 가공의 특징과 장단점, 레이저 가공의 응용범위의 한계성에 대한 정확한 정보와 자료가 없어 산업체에서 이 분야의 기술도입

과 시설투자에 어려움을 겪고 있다.

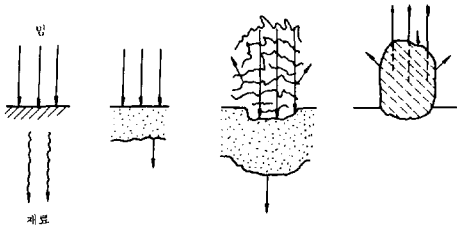
주로 산업체에서 이용될 수 있는 레이저와 레이저 가공기술을 중심으로 이러한 정보와 특성을 간단하게 소개하고자 한다.

2. 기술의 특징과 중요성

레이저 가공기술의 특성을 알기 위해서는 레이저 광의 특성과 빔(Beam)의 발생 원리를 살펴볼 필요성이 있으나 여기서는 원리대신에 어원만 소개한다.

레이저는 “유도방사에 의한 빛의 증폭(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)”의 줄임말이고 그 특성은 단색성(monochromacity), 직진성(directionality), 모드가 낮은 성질, 가간섭성(coherence)등이다. 이러한 성질을 이용하여 측정, 금속 및 비금속 가공, 의학, 군사, 정보, 홀로그래피(holography)등 여러 분야에서 응용되고 있다. 레이저 가공기술은 한마디로 열을 조절하는 기술로서 재료의 물리적, 화학적 또는 내부조직의 변화를 주는 방법이다. 따라서 레이저에 의한 가공은 熱源의 특성, 가공물질의 성질, 가공 공정변수, 가공기의 광학계특성에 따라 응용범위와 성능이 크게 좌우된다.

레이저를 이용한 가공기술개발은 이러한 특성과 변수들을 조절하는 기술이다. 또한 레이저의 에너지밀도가 증가됨에 따라 그림 1과 같이 금속표면에



(a)열전도 (b)용융 (c)증발 (d)플라즈마 발생.

그림 1. 레이저 빔과 재료와의 상호작용범재료

서 일어나는 현상이 변하게 되는데 에너지 밀도가 10^5w/cm^2 이하에서는 그림 1(a)와 같이 금속내부로 열전달만이 일어나게 된다. 10^5w/cm^2 정도가 되면 용융점에 도달되어 용융계면이 그림 1(b)와 같이 금속내부로 전달된다. $10^6 \sim 10^7 \text{w/cm}^2$ 정도가 되면 용융계면은 내부로 이동됨과 동시에 표면온도가 沸騰點 이상이 되어 그림 1(c)와 같이 재료의 증발이 시작되며, 그림 1(d)는 레이저 밀도가 더욱 증가되어 $2.5 \times 10^7 \text{w/cm}^2$ 이상이 되면 레이저 에너지가 이들 증발되는 물질에 흡수되어 원자를 이온화시켜 프라즈마를 발생시키는 것을 보여준다.

레이저에 의한 금속 및 비금속 가공의 장점 및 단점은 다음과 같다.

• 장점

- ① 고속가열가공을 하기 때문에 열변형층이 좁다. (0.6mm 미만)
- ② 光으로 가공하기 때문에 가공력이 매우 적으며 또한 가공으로 인한 재료의 변형이나 오염이 없다.
- ③ 레이저는 매우 단단하거나 취성이 많은 재료도 가공할 수 있다.
- ④ 공구와 치구가 비교적 간단하고 비접촉이므로 공구의 마모가 없다.
- ⑤ 열적성질이 잘 맞지 않은 금속들도 접합가능하고 용접시 용접봉이 필요없다.
- ⑥ 대기중에서 수행하므로 진공을 필요로 하지 않으며 분위기를 만드는 경우 제어하기 편리하다.
- ⑦ 복잡한 부품에 매우 복잡한 모양도 가공할 수 있으며 매우 미세한 용접도 가능하다.
- ⑧ 가공시 부품의 진동과 소음등이 없고 작업환경이 깨끗하다.

• 단점

- ① 투자비용과 작동비용이 많이 소요되는 고가공정이다.
- ② 비교적 새로운 기술이어서 위험성을 내포하고 있으며, 훈련된 인력이 부족하다.
- ③ 에너지 효율이 떨어지고 절단되는 두께와 천공되는 깊이에 제한을 받는다.
- ④ 레이저로 천공된 구멍의 크기와 절단면의 폭이 일정하지 못하고 약간의 테이퍼가 지므로 정밀성을 요하는 부품에는 마무리공정이 필요하다.
- ⑤ 반사율이 큰 재료의 절단과 드릴링이 용이하지 않다.

위에서 언급한 바와같이 레이저 가공은 여러가지 장점에도 불구하고 아직 해결해야 할 단점도 있어 기존의 가공방법이 경제적이고 제품의 질에 결함이 없으면 레이저에 의한 방법이 사용되기 힘들다. 그러나 열에민감한 재료로서 매우 적은 열변형 구간을 필요로 하는 경우, 다이아몬드 등 매우 단단하거나 취약한 재료의 천공등 통상적인 방법으로는 힘든 경우에는 레이저를 이용함이 바람직하다.

레이저에 의한 새로운 가공법을 도입함에는 기술적인 타당성 검토위에 경제적인 타당성, 장비 및 운전의 신뢰성등 여러가지 문제를 검토해야 한다. 특히 비교 및 경쟁되는 기술이 있을 때는 더욱 그러하다. 레이저의 공업적인 응용은 다음 세가지 범주중 하나에 속해야만 실용화가 가능하다. 첫째 기존의 가공방법에 비해 제품의 질과 가격면에서 경쟁력이 있어야 하고, 둘째 특장가공에서 레이저만이 가공이 가능한 경우이며, 마지막으로 레이저가 생산공정을 혁신함으로써 전체적인 생산비가 저렴해지는 경우에 가능하다. 그러나, 설계 제작에 있어서 유연성을 증가시키고 시제품을 만드는데 빠른 왕복 시간을 보장하여 주고 다이의 필요성을 감소시켜 多品種少量生産을 하는 경우에는 적용할 수 있다.

현재 산업 전분야에서 레이저 가공이 이용되고 있지만 가장 많이 이용되고 있는 자동차산업분야, 항공산업분야등의 예를 들어 활용 가능성 및 활용 현황을 소개하도록 한다.

3. 레이저 가공 종류

레이저 에너지 밀도의 증가에 따라 재료 표면에서

그림 1과 같이 가열, 용융, 증발이 일어나고 이에 따라 열처리, 화학반응 같은 가열에 의한 공정, 용접, 표면합금 같은 용융에 의한 공정, 절단, 드릴링, 충격경화화 같은 증발에 의한 공정으로 분류할 수 있다. 이러한 가공 공정은 재래의 가공 방법을 대체할 수 있는 대체화 기법과 신제조 공정을 개발하는 방법으로 구분된다. 본 고에서는 주로 대체화 기술로서, 또한 주로 기계공학분야에서 이용되는 가공 기술로서의 레이저 가공기술을 설명코자 한다.

3.1 절단

레이저에 의한 절단은 용융에 의한 축출(ejection)과 증발에 의해 이루어진다. 보조가스를 사용함으로써 절단에 필요한 에너지를 줄일 수 있는데 산소를 이용하여 연강(mild steel)을 절단하는 경우 30%는 순수 레이저 빔에 의한 절단이고 70%는 산소와 철의 발화에 의한 절단이다. 레이저에 의한 절단은 5가지 방법에 의해 수행된다.

-증발절단: 증발온도 이상까지 가열하여 증발과 축출에 의해 수행되며 에너지 밀도는 10^8w/cm^2 정도가 필요하다. 용해절단의 10배 정도의 에너지가 필요하다.

-용해절단(fusion cutting): 용융상태로 만들어 보조가스를 사용함으로써 절단구간으로부터 용융물을 불어냄으로써 절단이 이루어진다. 보조가스 절단보다 2배 정도의 에너지가 필요하다.

-보조가스절단(reactive gas cutting): 레이저 빔이 재료를 발화(Kindling) 온도까지 가열시켜 보조가스에 의해 산화시킨후 이때 생성되는 발열반응의 열에 의해 산화물이 용융되고 보조가스로 용융된 산화물을 제거한다. 이 방법은 열응력 파괴 절단보다 10배 정도의 에너지가 필요하다.

-제어파괴절단(thermal stress cracking or controlled fracturing): 빔 에너지가 취성재료에 열응력을 발생시키고 어떤 방향으로 크랙을 유도하여 절단하는 방법이다.

-스크라이빙(scribing): 먼저 방법을 약간 변형시킨 것으로 기계적인 충격을 가하여 스크라이브된 선을 따라 절단이 된다.

다섯 가지 방법 중에서 용해절단과 보조가스 절단이 가장 많이 이용되는데 용해절단의 절단 역할은 다음과 같다.

- ① 레이저 빔이 공작물에 부딪혀 에너지의 일부는 반사되고 나머지는 흡수되어 적은 구멍을 만드는 증발이 이루어진다.
- ② 이 적은 구멍(keyhole)은 흑체(black body) 역할을 하여 에너지를 흡수한다. 이 구멍은 용융물벽으로 둘러 싸여져 있어 증발 분출물의 빠른 흐름에 의해 위치를 유지한다.
- ③ 용융물이 공작물로 파고들며 보조가스 제트로 용융물이나 드로스를 불어낸다.
- ④ 가공물이 slot를 남기며 움직이고 hole도 움직인다. 레이저 빔이 슬롯의 선단부위를 친다. 용융물의 흐름이 gas에 의해 없어진다.

-레이저 절단 변수: 주요 변수는 빔 에너지 밀도, 보조가스(압력, 속도 및 성분), 절단속도와 흡수율이다. 빔의 파장과 출력 특성(펄스 혹은 연속파)도 중요한 인자이다. 절단면의 평가기준으로는 절단폭, 절단 두께 표면조도, 드로스 생성여부, HAZ 등이다.

3.2 드릴링

레이저 빔의 세기에 따라 조사된 빔은 공작물에 여러가지 방법으로 작용한다. 레이저빔을 연속적으로 조사하면 용융점까지 온도가 상승하고 용해 선단이 재료속으로 전파되어간다. 표면온도가 증발온도까지 상승하면 증발선단이 재료속으로 움직이기 시작하고 용융물층의 두께를 감소시킨다. 그럼에도 불구하고 빠른 증발이 일어나면 두께가 Rykalin과 Uglov에 의해 평가된 얇은 유막에 의해 증발표면이 앞서간다. 증발선단에 의해 발생된 구멍이 깊어지면 조사된 빔은 좀더 효과적으로 받아들여지고 모든 면이 얇은 유막으로 덮히게 된다. 증발하는 증기와 이 막사이의 상호작용은 flushing 역할을 만들게 되고 그 근처 유체가 구멍밖으로 휩쓸리게 되어 수직 드릴링의 경우 구멍 밑바닥에 유체가 남아 있지 않게 되어 구멍이 형성된다. 재료의 제거율은 빔 밀도와 시간, 펄스레이저인 경우에 순간적인 출력 형태에 따라 변한다. 드릴링 역학은 펄스 지속시간과 밀도에 따라 증발에서 용해로 조절된다.

-중요한 공정변수

주요 공정변수로는 출력, 파장, 작용시간, 광학기계, 빔 직경, 빔 퍼짐점에 관련된 cavity optics, 공작물의 열특성, 펄스레이저인 경우 펄스폭과 반복

를 등이다. 가공 판단기준으로는 구멍직경, 구멍깊이, 구멍형태, 종횡비, 재구조층, 표면상태와 재료 제거율 등이다.

3.3 용접

레이저에 의한 용접은 전자 빔 용접과 비슷한데 'key hole'에 의해 에너지가 전달된다.

이러한 key hole은 출력밀도가 공작물의 증발을 발생시키는데 충분한 경우에 발생하는 것으로 구멍 재빨리 가열되고 또한 매우 빨리 냉각되어 전도에 의한 자가 켄칭(self quenching)에 의하여 마르텐 사이트 조직이 된다.

레이저 가열 중 열전달은 역 Bremsstrahlung 효과에 의해 얻어진다. 즉 레이저 빔의 양자와 공작물의 자유전자와의 작용에 의한다.

레이저 가열에 의한 열처리를 하기 위해서는 다음의 3가지 조건을 만족시켜야 한다.

① 온도는 경화되는데 필요한 오스테나이트 구간에 잘 도달해야 한다.

② 가열과 냉각사이클 사이에서 공작물은 탄소 확산을 위해 오스테나이트 온도에서 오랫동안 머물러야 한다.

③ 자가켄칭(self-quenching)에 의한 냉각률이 '임계켄칭률' 조건을 만족시키기 위하여 충분한 질량이 되어야 한다. 보통의 열처리 방법과 레이저 열처리 방법은 다음과 같은 점에서 차이가 난다.

① 레이저의 급속가열과 냉각은 저탄소강의 경화를 비교적 쉽게 할 수 있는데 통상적인 방법보다는 탄소강과 합금강의 경화성의 차이가 크게 부각되지 않는다.

② 보통의 통상적인 열처리방법보다도 더 높은 경도를 얻을 수 있는데 국부적이고 급속한 가열 냉각에 의한 비정상적으로 높은 구속 조건하에서 마르텐사이트가 형성되기 때문이다.

구상화탄화물이나 그라파이트를 포함하고 퍼얼라이트 비율이 낮은 주물과 같이 확산(diffusion)시간이 긴 금속은 레이저 열처리에 적합하지 않다.

이것은 탄소를 확산하는데 필요한 긴 확산시간이 레이저 작동변수를 제한시켜 레이저가 갖고 있는 본래의 장점을 잃어버리기 때문이다. 그렇지만 그라파이트와 퍼얼라이트 비율이 높은 주물은 열처리를 할 수 있는데 퍼얼라이트변태는 경화 공정에서

큰 역할을 한다.

열전달과 질량전달은 레이저 열처리 공정에서 결정적인 역할을 한다. 이러한 두 가지 현상은 출력밀도와 작용시간과 같은 공정변수에 의해 영향을 받는다.

- 열처리 변수

주요 독립변수로는 조사된 빔 출력, 빔 직경, 흡수율, 열처리 속도 등이며 가공물의 열적 특성도 주요 인자이다. 종속변수로는 경화깊이, HAZ의 형(crater)에 있는 증기에 의해 발생하는 압력은 hole의 벽을 따라 위로 용융금속물을 움직이게 한다. 이 hole은 흑체역학을 하는데 열을 재료 내부로 분산시키게 할 뿐만 아니라 레이저 빔의 흡수를 도와 준다. 반면에 대부분의 통상적인 용접공정에서는 열이 재료의 표면에 모여져서 전도에 의해 내부로 전달된다. 레이저 용접 중 에너지와 재료의 흐름조건은 Klemens에 의해 이론적으로 연구되었다. 연속적으로 발생하는 증기가 cavity안에 머물러 있을려고 하는 유체의 흐름을 방해하고 표면장력은 cavity를 없애려고 한다. 빔이 들어오는 곳에 cavity로부터 나오는 재료의 흐름이 있다. 빔이 움직이면 이러한 'key hole'은 정상상태를 이룬다. 즉 용융구간을 가진 cavity가 빔 전진속도에 의해 형성된 속도로 앞으로 움직인다. 반면에 증발에 의해 손실된 재료는 고형화된 용융물에서 합몰형태로 공작물의 기공이나 내부 변형으로서 혹은 이 두개를 합친 것으로 나타난다.

충분한 증기가 정상상태를 유지시킨다는 조건에 의해 정상상태를 유지시키기 위한 최소 전진속도를 결정시킨다. 빔의 작용에 의해 결정된 속도에서 cavity가 고체와 유체를 통과하는 동안 재료는 cavity의 앞에 있는 영역에서 뒤에 있는 영역으로 연속적으로 움직여야 한다.

이러한 사실은 Sickman과 Morijin등에 의해 실험적으로 확인되었다.

- 용접변수

주요한 레이저 용접공정변수는 다음과 같다.

- (1) 조사된 레이저 출력 (2) 빔 직경
- (3) 흡수율 (4) 용접속도

이외에도 용접설계, 쉬일딩 가스, 버트 용접의 간극크기와 촛점거리 등도 주요한 인자들이다. 용접의 평가기준으로는 (1)용접깊이 (2)미세조직과 금

속학적 특성 등이다.

용접깊이는 레이저 빔의 밀도와 직접 관련이 있으며 조사된 빔과 빔 직경의 함수이다. 일반적으로 일정한 빔 직경에서 빔 출력이 증가하면 용접깊이가 증가한다.

3.4 열처리

철 합금은 레이저 열처리에 적당한 재료들이다. 얇은 층이 레이저에 의해 오스테나이트 온도까지 상, 열처리된 부분의 금속학적 특성 등이다.

4. 활용현황 및 전망

4.1 활용 현황

1992년 세계적으로 레이저 가공기의 판매 금액은 14억 달러 정도이며 판매된 CO₂레이저 가공기는 3425대, YAG레이저는 2250대, excimer레이저는 100대정도 판매되었다. 이러한 레이저로 절단 31.6%, 마킹 20.8%, 용접 18.8%, 트리밍 13.7%, 천공 3.5%, 표면처리 1.9%, 기타 9.7%로 사용하고 있다. 금속절단의 사용이 조금씩 줄어들어 있으며 비금속의 절단은 늘고 있다. 특히 YAG레이저를 이용한 절단이 증가하고 있으며 자동차 산업에서 광섬유를 이용한 로봇 절단 시스템이 등장하고 있다. 용접은 현재 레이저 응용분야에서 세번째로 많이 사용되고 있지만 90년대에는 큰 증가율을 보일 것으로 예상된다. 특히 자동차 조립공장에서 종래의 스팟 용접을 대체하는 공정으로 많이 활용되고 있으며 이를 위해 고출력 YAG레이저가 개발되고 있다. 국내의 경우에는 150여개의 고출력 레이저가 도입되면 산업체에는 절단, 용접, 열처리 순으로 활용도가 높으며 또 발전 방향도 이와 비슷하다.

4.2 활용 예

4.2.1 자동차 산업

현재 가장 많이 이용되고 있으며 활용 증가율이 높은 산업분야이다. 표 1은 자동차 산업에서 레이저 가공이 어느 부분에 어떤 공정으로 활용되고 있는가를 보여주고 있다.

모터와 점화장치 같은 일반 부품 생산에 가장 널리 레이저 가공이 이용되고 있으며, 공정별로 볼때는 나라마다 차이는 있지만 용접, 절단, 열처리, 스

표 1. 자동차 부품 제조 공정에서 레이저 가공 이용도

위 치	활 용 도(%)
일 반 부 품	46
엔 진	29
샤 시	15
트 랑 스 미 셴	11
스 티 어 링	6
기 타	4
계	100

공 정	활 용 도(%)
용 접	38
절 단 / 천 공	24
스 크 라이 빙	20
열 처 리	18
계	100

크라이빙 등이 많이 이용되고 있다.

(1) 용접

레이저 용접은 자동차 산업에 있어서 가장 광범위하게 활용되고 있으며 빠르면서도 정확하고 신뢰성이 있는 것으로 입증되었다. 현재 레이저 용접이 응용되고 있는 부품은 에어백, 에어 컨디셔너, 카뷰레터, 연료필터, 연료 인젝터, 연료탱크, 기어, 히터모터, 스티어링 컬럼 자켓, 밸브 리프트, 스파크 플러그 등과 같이 매우 다양하다.

5mm이하의 침투깊이를 요하는 공정에서는 레이저가 전자빔을 대신하고 있다. 미국의 주요 자동차 제조회사들은 이전까지 전자빔을 이용하여 접합해 온 구동 전달장치를 레이저로 용접하기 위하여 수 kW급 레이저 가공기를 설치하였다. 구동전달기와 같은 응용에서는 정확한 빔의 위치와 최소 열해곡(변형)이 레이저 용접을 선택하는 이유이며, 휠 부품과 전기모터 축중의 응용에서는 제조 공정의 단순화와 생산성의 증대가 레이저 용접의 주요 잇점을 작용된다. 스파크플러그를 용접하는데 사용되는 10J/pulse Nd:YAG레이저로 부터 에어 컨디셔너 컴프레서 폴리를 용접하는데 사용되는 10kW CO₂레이저에 이르기까지 다양한 출력의 레이저들이 용접공정에 이용되고 있다.

(2) 절단

레이저 절단은 금속, 세라믹, 플라스틱, 비닐, 고무, 복합재에 이르기까지 다양한 재료에 대해서 매우 효과적인 공정이다. 절단 속도는 일반적으로 매우 빠르며 절단 형상에도 거의 제한이 없다. 설계 변화에 대응하는 유연성과 복잡한 형상을 절단하는 능력을 가진 레이저 가공기는 프로토타입 개발에 있어서 블랭킹 다이의 역할을 대신함으로써 경비절감 효과를 가져온다.

또한 glass-filled polyester가 바다 파넬로 사용되는데 400W급 레이저로 25mm/s속도로 절단하면 좋은 면을 얻을 수 있다. Dash panel의 여러위치에 여러가지 구멍을 자동으로 절단하거나 선루프를 절단하는 경우 레이저가 이용된다.

바다 파넬, 문짝, 박판 엔진 가스켓, 배기시스템 부품, 발화 코일, 램프 하우징의 플라스틱 부품외의 많은 부분의 프로토타입 제작에 레이저 절단시스템이 이용되고 있다.

(3) 드릴링

레이저를 이용한 천공 공정과 구멍 절단 공정의 차이는 빔의 이동이 없다는 것이다. 라이플 보어 캄 샤프트의 오일 축경 구멍 가공에 이용되며 이 공정은 큰 구멍의 바닥에 작은 구멍을 가공하는 것으로서 일반적인 드릴링 또는 펀칭으로 매우 곤란한데 레이저를 이용하면 0.1초만에 가공이 되며 구멍의 직경은 0.76mm, 깊이는 1.65mm로서 직경의 허용오차는 ±0.12mm이다.

(4) 표면경화

레이저를 이용한 표면 경화는 빔의 흡수에 의한 표면의 가열만이 요구되는 공정이므로 기본적으로 아주 간단한 공정이다. 자동차 제조 회사들은 주로 철과 강의 경화에 관심을 갖고 있으며, 이들 재료에서의 빔 흡수율은 표면 다듬질 정도에 강력히 의존하므로 표면을 거칠게 하거나 흡수율이 높은 재료를 얇게 코팅함으로써 흡수율을 증가시킨다. Valve guide를 400W의 CO₂ 레이저로 4.2mm/s속도를 유지시키는 경우 용융이 발생되지 않으면서 깊이 0.25mm의 경화층을 얻을 수 있다. 피스톤 링 구르브의 경우 0.25mm 두께의 경화층을 750W의 CO₂ 레이저로 2분 정도에 표면경화가 가능하였으며 이때 표면조도는 25μm이하로 후처리가 필요없으며 크랭크 샤프트의 경우 현재까지는 유도경화가 많이 이용되었지만 레이저를 이용하면 20% 정도의 제조 원가를 절감할 수 있다.

4.2.2 항공산업

F-14A의 수평 stablizer용 티타늄 스플라이스 판을 절단하는데 종래에는 연삭, 화학 블랭킹을 하였으나 레이저를 이용하면 공정이 단축되고 원가가 30% 이상 절약된다. 또한 날개 스트링거도 종래에는 밴드 소잉에 의해 제작하면 120분 정도 시간이 소요되었으나 레이저를 이용하여 절단하면 5분 정도로 절약된다. 이외에도 Stiffner, Nacelle skin 등의 절단에도 레이저가 이용되고 있다. 대형 항공기의 경우 가스 터빈 엔진은 연소실 8,000개, 터빈 20,000개, 터빈 노즐 42,000개, 총 70,000개의 공기 냉각 구멍을 만들어야 한다. 종래에는 EDM이나 ECM에 의해 천공되어 왔으나 형상의 복잡성, 단가, 제조시간등 여러면에서 레이저가 장점을 보유하고 있어 많이 이용되고 있다. (도표 2 참조)

4.2.3 기타산업에의 응용

300W급 YAG 레이저를 이용하여 원자로의 분해 수리에 이용되며 원자로원료 재처리용 파이프 혹은 누수되는 증기 발전기 튜브 같은 원자로 부품의 절단이나 용접에 이용된다. 최초에는 CO₂ 레이저가 이용되었지만 현재는 YAG 레이저가 많이 이용된다. 다품종 소량생산에 이용되는 적층식 간이 금형이 레이저에 의해 제작되는데 금형 수명은 10,000~20,000회 정도이고 보통금형에 비해 제작시간은 1/4 제조단가는 1/3 정도로 절감된다. 석재 및 목

표 2. 항공기 엔진부품 천공 기술 비교

	EDM	ECM	ECD	레이저
최 소				
직경(mm)	0.3	0.75	0.5	0.1
테이퍼(mm)	0.005	0.025	0.001	0.01
재용고층(μm)	25	-	-	40
입사각(degree)	20	-	15	15
표면조도	6	2	6	20
최 대				
깊이/직경비	25	20	250	200
복잡한 형상	yes	yes	no	yes
동시천공	yes	yes	yes	no
공구복잡성	high	high	high	low

재용 원형 톱날은 경도를 높이고 내마모성을 향상시키기 위해 텅에 다이아몬드나 텅스텐 카바이드를 접합하게 되는데 종래의 방법인 브레이징에 의하면 고속 건식 절단의 경우 텅이 떨어져 나가게 된다. 레이저를 이용하면 접합강도가 증가하고 깨끗한 용접면을 얻을 수 있다.

4.3 레이저 가공의 한계

레이저 가공은 초기 투자비용이 많이 들고 유지 및 보수비가 많이 소요되는 단점 이외에도 기술적인 한계성을 갖고 있다. 우선 대부분의 금속은 레이저 빔의 흡수율이 낮기 때문에 열처리 공정에서 흡수제를 사용해야 하며 정확한 두께의 흡수제가 도포되지 않으면 국부적인 가열에 의한 용융이나 뒤튐림이 발생하고 공정이 끝난후 제거에 많은 노력이 필요하다. 구리, 알루미늄 등의 재료는 CO₂ 레이저의 경우 빛 흡수가 아주 낮기 때문에 절단, 드릴링 등에도 어려움이 있다.

레이저 가공변수에 대한 정확한 최적 조건을 알지 못하면 우수한 가공면을 갖지 못하게 된다. 특히 레이저 가공은 근본적으로 열에 의해 가공이 이루어지며 최적 가공 조건이 취해지지 않은 경우에는 열변형층이 더욱 커져 열에 의한 크랙발생 가능성이 높아진다.

CO₂ 레이저를 이용하는 경우 1mm 두께의 연강을 절단하는 경우 최상의 표면조도는 5~10 μ m 정도이며 특별한 공정이 적용되는 경우에도 1 μ m 이하로 되기는 힘들다. 절단폭은 CO₂ 레이저의 경우 1mm 두께의 연강의 경우 250 μ m 정도이며 위치 정밀도의 한계성을 의미한다.

특히 천공의 경우 나타나는 경사와 dragon tooth 현상등은 높은 깊이/직경 비를 요구하는 경우에 적용이 곤란하며 재 응고등에 의해 표면층의 재질이 변하게 되어 정밀도 면에서 EDM이나 ECM 등에 떨어진다.

일반적인 열처리의 경우 화염경화나 유도경화에 비해 효율이 떨어지기 때문에 불리하다. 또한 복잡한 삼차원적인 형상 제품의 경우 빔을 전달하기 힘들기 때문에 Nd-YAG와 같이 광 섬유를 사용하는 경우를 제외하고는 빔 전달에도 문제가 있다. 레이저 가공은 마킹등을 제외하고는 그루브 형상의 제품을 가공하기에 적당하지 못하며 취성재료의 가

공도 열응력 때문에 역시 제한을 받는다.

4.4 앞으로의 전망

앞으로 레이저 가공기술 발전추이는 속단하기 힘들지만 레이저 가공기술의 문제점과 한계성을 극복하고 장점을 극대화하는 방향이 될 것이다. 고출력 레이저가 개발되고 CO₂ 레이저와 YAG 레이저의 고출력화를 따른 이용도가 증가할 것으로 기대된다. 미세가공을 위해 엑사이머 레이저 가공이 사용되고 최적조건하에서 가공을 하기 위해 광학장치, 빔전달 시스템, 노즐의 성능이 향상될 것이며 제어 시스템이 빔 발전장치, 전달장치, 가공테이블을 통제하게 될 것이다. 이미 개발된 레이저 가공용 expert system이 개선되어 FMS나 IMS와 연결된 cell로 구성될 것이다. 특히 박판의 삼차원 가공을 위해 5축 가공기와 연결되거나 로봇과 결합된 시스템이 점점 활용도가 높아질 것으로 전망된다.

5. 맺 음 말

레이저를 이용한 가공기술은 모든 산업분야에서 대체기술로서 혹은 신공정으로서 개발되고 실용화되고 있다. 아직까지 선진국에서도 레이저 가공이 전체 공정중 큰 비중을 차지하지 못하고 있으며 국내에서는 임가공 단계에 머물고 있으나 레이저 가공기 생산 및 판매증가율이 지난 80년대 초부터 계속적으로 증가하고 있어 21세기에는 광산업의 발전과 더불어 큰 진전이 있을 것으로 전망된다. 그러나 현재의 기술로는 많은 한계점이 있으며 또한 레이저에 의해 모든 가공을 손쉽게 할 수 있을 것이라는 환상을 가져서는 곤란하다.



황경현(黃璟玧)

1952년 7월 23일생. 1976년 서울대 공대 기계공학과 졸업. 1978년 한국 과학원 기계공학과 졸업(석사). 1983년 North Carolina State Univ, 기계공학과 졸업. 1986년 Ohio State Univ, 기계공학과 졸업(공학). 현재 한국기계연구원 가공기술실장 책임연구원.