

## 자동차 생산공정에서의 레이저 응용

### Laser Applications in the Automobile Manufacturing Process

이 건 상  
K. S. Lee



이 건 상  
· 1958년 11월  
· 국민대학교  
기계자동차공학부  
· 레이저 가공 기술,  
설계방법론

#### 1. 서 론

모든 재료가공의 목적은 기계적, 열적 또는 전기적 에너지를 사용하여 공작물에 특정한 형상 또는 상태변화를 유도하는 데에 있다. 기계가공에서는 예리한 절단날을 사용하여 가공의 결과를 향상시킨다. 반면에 무딘 절단날을 사용하게 되면 큰 힘의 작용이 요구되어, 표면품질, 형상 및 치수 정확도를 낮추게 되는 결과를 초래한다. 이러한 사실은, 예를 들면 용접가공과 같은 열을 사용하는 재료가공에서도 마찬가지로 적용된다. 예를 들어 가스화염을 레이저빔과 비교해 보면 에너지원의 출력밀도(Power intensity)가 작을수록, 필요한 에너지의 양은 많아지는데, 그 이유는 용접가공에서 결합부위를 생성시키는데 필수적인 것보다 더 많은 양의 재료

를 가열시켜 용융상태에 이르게 하여야 하기 때문이다.

이러한 생각은 레이저빔과 같은 높은 출력 밀도를 가진 에너지원을 재료가공에 도입하려는 시도를 불러일으켰다. 최근 들어 레이저를 재료가공 분야에 응용하는 예가 점점 증가하고 있는데, 레이저를 도입하는 결정적인 이유는 레이저빔이 공간적, 시간적으로 높은 코히어런스(Coherence)를 가진 전자기파(Electromagnetic wave)라는 데에 있다. 이러한 특성 때문에 레이저는 매우 다양한 기술적 분야에서 응용될 수 있다. 또한 재료가공 분야에서 레이저를 공구로 사용할 때에는 높은 출력과 훌륭한 집적성을 가진 단색광을 생성시킬 수 있다는 특성이 결정적인 요인으로 작용한다.

초창기에 레이저가 용접용 공구로 사용되었을 때에는 주로 미세한 결합과제와 용접품질에 대한 높은 요구를 충족시키는 데에 유리한 정밀공학이나 전기공학 관련 기술에 응용되었다. 레이저빔의 평균출력이 증가함에 따라 자동차기술, 기계공학 및 다른 산업분야에서 점점 더 많은 응용분야를 갖게 되었다.

## 2. 본 론

### 2.1 재료가공에 사용되는 레이저의 종류 및 응용분야

#### ● 레이저의 종류

수 많은 레이저가 개발되어 있으나 지금까지는 단지 몇 종류만이 산업용으로 활용되고 있다. 현재 산업용으로 가장 자주 적용되고 있는 레이저와 그의 특성 및 적용분야를 표 1에 표시하였다. 여기에 표시된 적용분야는 이미 산업현장에서 활용되는 분야 중에서 몇 가지만을 나타낸 것이다. 예를 들면, He-Ne 레이저는 기계공학 분야에서 길이측정에, Nd : YAG 레이저는 정밀공학 분야에서 용접, 절단 및 드릴링에, 그리고 CO<sub>2</sub> 레이저와 Nd : YAG 레이저는 자동차공업 분야에서 절단 및 용접에 사용되고 있다.

#### ● 레이저 절단

레이저빔 절단의 한계성은 대략 재료두께 15mm로 제한되어 있다. 그 이유는 용융부위가 매우 좁아서 용융된 재료를 절단부에서 제거하는 데에 한계가 있기 때문이다. 레이저빔 절단은 다른 절단 방법과 비교하여 매우 적은 양의 에너지투입으로 작업하므로 절

단부의 간격이 매우 작고, 절단부위 직각도의 편차가 매우 작다는 데에 그 특징이 있다. 이에 따라 복잡한 절단형상을 매우 빠른 속도로, 그리고 적은 열변형으로 절단할 수 있다. 또한 일반적으로 절단 후에는 후가공이 거의 필요없이 다음 단계의 가공을 수행할 수 있다. 도달할 수 있는 절단속도는 재료의 종류 및 두께, 그리고 레이저빔의 출력에 따라 달라진다.

응용기술적인 측면에서 본다면 레이저 절단이 레이저 용접을 앞서고 있으며, 이는 경제적 및 품질적 관심사 때문이다. 레이저가 갖고 있는 높은 출력밀도 때문에 절단가공에서는 거의 문제가 발생하지 않는다. 따라서 도입된 레이저 시스템(주로 CO<sub>2</sub> 레이저와 Nd : YAG 레이저)의 대다수가 절단에 사용되고 있다. 아직까지 설비투자비가 높지만, 가공기술적인 이득(예를 들어 전단면의 후가공이나 부품의 교정작업을 줄일 수 있다)은 주목할 만하다.

레이저를 이용하여 절단 가능한 재료로는 철금속과 비철금속 뿐 아니라 유리, 세라믹, 플라스틱, 옷감 및 목재에 이르기까지 거의 모든 재료가 포함된다.

표 1 레이저의 종류 및 응용분야

레이저	출력(W)		파장[ $\mu\text{m}$ ]	응용분야
	cw	pulse		
CO <sub>2</sub> 레이저	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>4</sup>	10 <sup>8</sup>	10.6	기계 및 자동차공학 분야에서의 재료가공 : 절단, 용접, 표면경화, 도장, 합금
Nd : YAG 레이저	10 <sup>3</sup>	10 <sup>8</sup>	1.06	정밀 및 전자분야에서의 재료가공 : 용접, 드릴링, 마킹(Marking), 트리밍(Trimming) 기계 및 자동차공학 분야에서의 재료가공 : 절단, 용접, 표면경화
Diode 레이저	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>2</sup>	0.7~30	광학적 정보통신, 측정, 분석
Ar 레이저	5~100	10 <sup>4</sup>	0.35~0.5	인쇄기술, 광화학
He-Ne 레이저	10 <sup>-3</sup>	—	0.63	측정기술 : 길이측정, 위치 및 품질 관리

● 레이저 용접

압력용접 공정(예를 들어 저항용접)에서는 부가적인 힘이 필요한데 반하여, 레이저 용접에서는 단지 에너지의 투입만으로 작업이 가능하다. 가스나 아크용접에서는 높은 열손실이 발생하기 때문에 많은 에너지를 필요(낮은 효율)로 하게 된다. 이렇게 재료에 투입된 많은 열은 결국 큰 열응력과 재료의 변형을 발생시키게 되고, 균열의 발생으로까지 이어진다.

용접에 사용되는 에너지원을 평가하는 기준의 하나로 단위면적 당 출력(출력밀도)을 들 수 있는데, 현재 레이저는 10<sup>6</sup>W/cm<sup>2</sup>의 한계가 주어져 있으나, 이것은 고출력의 레이저가 개발됨에 따라 점점 향상되고 있는 실정이다. 이에 반해 전통적인 용접에서는 그 한계가 지어져 있고, 더 이상의 향상을 기대할 수 없다. 그러나 레이저의 이러한 높은 출력밀도는 재료의 증발이라는 측면에서 용접 기술적인 한계를 지니고 있다.

레이저 용접의 또 다른 특징은 형성된 용융부의 기하학적 형상이다. 즉 용융부의 면적과 모재의 면적의 비가 용접공정을 평가하는 기준으로 작용될 수 있다. 그림 1에서는 다양한 용접방법에 의한 용접부위의 단면을 비교하고 있다. 레이저빔에 의한 용접부의 단면은 전자빔 용접과 플라즈마 용접의 사이에 존재하게 된다. 이때 깊이에 대한 폭의 관계(깊이 : 폭)를 보면, 레이저빔 용접의 경우 10 : 1, 전자빔의 경우에는 40 : 1에 이르고 있다. 레이저빔 용접에 의한 용융부의 면적은 전자빔 용접에 의한 경우보다 크지만, 전통적인 다른 용접방법에 비해 월등히 작은 용접부위를 나타내고 있으며, 특히 전자빔 용접의 경우에 필요한 진공실이 필요하지 않으므로 금속판재 가공에 대한 생산성에서 더욱 우수하다고 할 수 있다. 또한 용접 후의

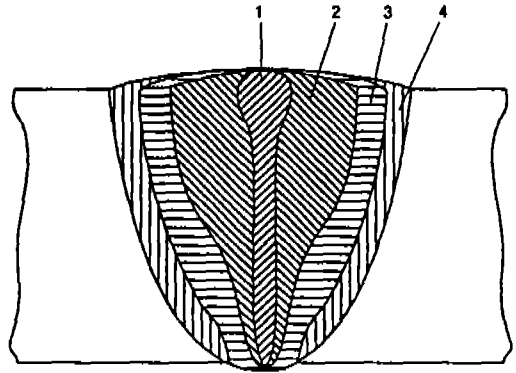


그림 1 용접부의 단면

- (1) 전자빔 용접, (2) 플라즈마 용접
- (3) MAG 용접, (4) WIG 용접

재료수축량은 아크용접에 비해 단지 10% 정도에 지나지 않는다.

레이저빔 용접의 이러한 특징은 일반 용접 방법에 비해 용접부의 필수적인 허용공차가 매우 작다는 것을 의미한다. 이에 따라 레이저빔 용접의 준비작업에는 더 많은 비용이 소요된다. 이러한 측면에서 용접부를 레이저빔 절단에 의해 준비하고, 이를 맞대어 용접하는 방법을 사용하고 있다. 레이저빔 용접 시의 용접부의 허용공차는 절대적인 값을 언급하기는 어려우나, 일반적으로 보아 대략 0.01~0.1mm라고 말할 수 있다.

용접속도는 일반용접의 경우에 0.2~1.0m/min인데 반해, 레이저빔 용접의 경우에는 수 m/min에 달하고 있다. 이의 한계는 용융부의 점성에 의존하게 되는데, 이론적으로 약 25m/min로 알려져 있다<sup>1)</sup>.

● 레이저 표면처리

레이저빔은 기하학적 뿐 아니라 출력면에서도 이상적인 조절이 가능하므로, 재료 표면층의 재료특성을 적절히 변화시킬 수 있다. 이때에 첨가물을 사용할 수도 있고, 사용하지 않을 수도 있다. 표면경화를 할 경우에

는 단지 레이저빔만을 사용하고, 합금층의 형성이나 도금을 할 경우에는 부가적인 첨가물(선 또는 분말 형태)을 사용하게 된다. 이러한 모든 표면처리에는 용접이나 절단에 비해 레이저빔의 출력이 낮은 것을 사용하게 된다.

#### ● 레이저 마킹(Marking)

공업적으로 생산된 제품이나 부품에는 이를 구별하기 위한 표시를 하게 된다. 공업적 표시에 대한 요구사항으로는 장시간 유지될 것, 좋은 품질일 것(즉 정보의 인식을 명확하게 할 수 있을 것), 재료를 손상시키지 않는 표시방법일 것, 높은 유연성을 가진 내용이나 형상에도 가능할 것, 가급적이면 on-line으로 정보를 재료에 표시할 것 및 비용면에서 유리할 것 등을 들 수 있다. 공업적으로 사용되는 표시방법에는 여러가지가 있으나, 레이저에 의한 표시방법의 특징으로는 재료표면을 열적(플라스틱 계통인 경우에는 photo chemical)으로 처리함, 비접촉식 임(즉 공구의 손실이 없음), 레이저빔의 변수를 조절하여 표시의 깊이를 조절할 수 있음 및 PC-Programming을 통하여 문자형상을 유연하게 조절할 수 있음 등을 들 수 있다.

레이저빔 마킹을 통하여 엔진블록에 엔진번호를 새긴다든지, 라디오나 조작용넬의 기호나 문자를 생성시킬 수 있다. 또한 다양한 색채를 나타낼 수 있는 기술도 개발되어 있다.

### 2.2 자동차생산에서 레이저빔에 의한 재료가공의 예

#### 2.2.1 부 품

##### ● 2 차원(2-D) 절단 및 드릴링

2 차원 절단과 관련하여서는 엔진 및 시제품 부품의 가공에서 그 예를 찾을 수 있다. 기술적인 측면에서는 일반적인 기계공업에서

볼 수 있는 것과 동일하다. 드릴링의 예는 엔진 부품에서 찾을 수 있는데, 특히 여기에는 수 많은 관(Pipe)들이 사용된다. 예를 들어 연료, 냉각액, 브레이크액, 기름 및 배기가스 등과 같은 다양한 유체나 기체가 통과하는 관을 가공하는 데에는 매우 많은 노동력이 필요하다. 이러한 관들에는 측면에 유체 및 기체가 통과할 수 있는 출입구가 만들어져야 한다.

이러한 구멍을 기계가공에 의해 작업할 경우의 문제점으로는 관내부에 형성되는 거스머리(Burr)의 제거와 드릴의 수명을 들 수 있다. 예를 들어 관의 지름이 12에서 28mm이고, 관의 두께는 1.0에서 1.5mm이며, 가공해야 하는 구멍의 지름은 1에서 12mm인데, 이러한 구멍을 18개까지 가공해야 한다. 이에 대한 대체방안으로 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용하여 구멍을 가공하는 것인데, 이는 기술적으로 경제적으로 장점을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 레이저를 사용하여 구멍을 가공할 경우에 발생하는 문제점으로는 용융체의 제거와 용접가스에 의해 밀려나오는 고온의 용융체에 의해 관내부가 지지분하게 되는 것이다. 이에 대한 해결방안의 하나로는 찬 물을 관내부에 흐르게 하여, 밀려나오는 용융체가 냉각되어 씻겨나가도록 하는 것을 들 수 있다. 이러한 방법으로 구멍의 모서리에 거스머리가 없으며, 용융체에 의하여 관내부가 지지분하게 되지 않으므로 후작업이 전혀 필요없게 된다<sup>2)</sup>.

##### ● 캠축 및 크랭크축

승용차나 소형 트럭의 경우에 사용되는 주조 캠축은 주조 시에 캠 부를 질화 처리하여 내마모성을 높일 수 있다. 캠축에 대한 부하가 큰 디젤 엔진 등에서는 강의 단조 소재를 사용하여 생산된 단조 캠축을 사용한다. 단조법에서는 공정 도중에 캠부나 저널부에 표

면경화처리하여야 한다. 이렇게 캠부의 표면을 표면경화처리하여 내마모성과 내피로성을 향상시킬 수 있는데, 레이저빔을 이용하여 가열, 냉각시키게 되면, 담금질에 의한 변형이 극히 작고 후처리가 필요없다는 장점이 있다<sup>3)</sup>.

예를 들어 주조 캠축(예를 들어 구상흑연을 포함한 펄라이트 주철)을 표면경화처리하면 경도가 높고 내마모성이 매우 큰 표면을 생성시킬 수 있다. 또한 층상 회주철로 된 주조 캠축을 표면경화처리하여 800HV 0.1 이상의 경도를 가진 표면을 생성시켰다<sup>4)</sup>.

현대적 자동차 엔진의 크랭크축은 무게의 감소를 위하여 점점 더 가볍고 가늘어지고 있는 추세이다. 평균 압력과 회전수를 증가시켜 엔진의 출력을 증가시키기 때문에 부하는 더욱 증가하고 있다. 전체적으로 보아 크랭크축은 높은 반복 굽힘강도를 지녀야 하는데, 이것은 손상된 부분을 연삭에 의해 수리, 보수한 후에도 보장되어야 한다. 그림 2에서는 4기통 디젤엔진의 경화처리되어야 할 크랭크축의 부위를 나타내고 있다. 특히 개별적인 수리, 보수작업을 수행하는 경우에는 Induction 경화방법을 사용할 수 없는데, 그 이유는 각각의 축과 연삭정도에 따른 개별적

인 전극이 필요하며, 그것의 기하학적 형상과 공정변수는 실험적으로 구해야 하기 때문이다. 화염에 의한 경화방법은 목적하는 부분만을 선택적으로 수행할 수 없어 적용할 수 없다. 또한 질화처리에 의한 방법은 전체적으로 경화처리를 하여 반복 굽힘강도의 향상이 일어나지만, 이것이 설계자의 요구와 정확히 맞다고 보장할 수 없으므로 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 크랭크축에 대한 개별적인 수리, 보수를 수행하는 경우에 레이저빔에 의한 선택적인 표면처리방법은 특히 장점을 갖게 된다<sup>5)</sup>.

● 엔진 밸브

엔진의 고 출력화, 저 연비화에 대응하여 엔진의 구조는 DOHC, 4밸브가 주류로 되어 있고, 4기통에서 6, 8기통으로 다기통화가 진전되고 있다. 이러한 경향을 생산 측면에서 보면 자동차 1대당의 밸브 사용수가 2배 이상으로 되고, 고 생산성이 요구되는 것과 함께 고 출력화에 따른 밸브의 열부하 증가로 밸브 표면의 장기적 신뢰성 확보를 위하여 흡, 배기 밸브 모두 살 올림하는 것이 증가되고 있다. 또한 보다 높은 출력과 보다 낮은 연비를 목표로 현재 밸브의 경량화가 연구되고 있다<sup>6)</sup>.

자동차 엔진용 밸브의 살 올림 방법은 가스 살 올림법과 플라즈마 살 올림법이 주를 이루고 있으나, 생산성이 높은 레이저 살 올림법도 최근 들어 실용화되고 있다<sup>7)</sup>.

앞서 언급한 엔진용 밸브에 대한 요구사항을 만족시키기 위하여 일반적으로 Stellite(Cobalt base alloy)을 이용한 내마모성 보호막을 만들어 붙인다. 이를 위하여 레이저 기술과 Induction 기술을 병행한 기술이 개발되어 새로운 가능성을 제공하고 있다(그림 3). 레이저 빔을 사용하여 필요한 만큼의 열을 공급함으로써 살 올림용 재료의 양을 적게 유지

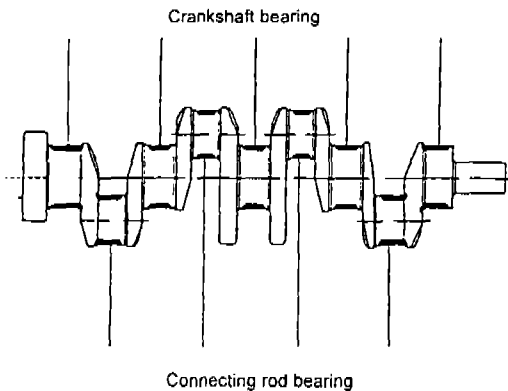


그림 2 4기통 디젤엔진의 크랭크축

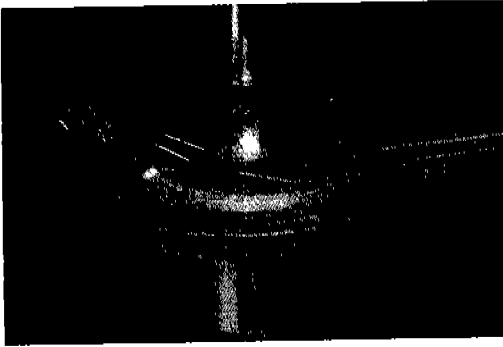


그림 3 약 0.5 mm의 두께의 살 올림을 행하는 레이저-Induction 기술을 사용하면, 다른 기술과 비교하여 50% 이상의 재료를 절약할 수 있다

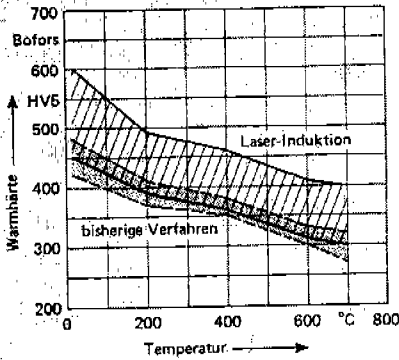


그림 4 레이저-Induction 기술과 종래의 방법에 의하여 살 올림을 한 부위의경도 비교

할 수 있다. 또한 이러한 방법으로 얻어진 살 올림층은 우수한 경도를 나타내고 있다(그림 4). 이 방법의 또 다른 장점은 다양한 요구조건에 따른 밸브 표면층에서의 고유응력 상태를 조절할 수 있다는 것이다. 몇몇 회사(Sulzer AG, Amysa-Yverdon S. A.)에서는 공동으로 개발한 방법을 사용하여 훨씬 얇은 살 올림층을 가진 밸브를 생산하였다. 이 방법에서 CO<sub>2</sub> 레이저빔을 정밀하게 조절하면 살 올림층을 거의 최종 형상에 가깝게 생산할 수 있어 후가공이 매우 단축된다<sup>8)</sup>.

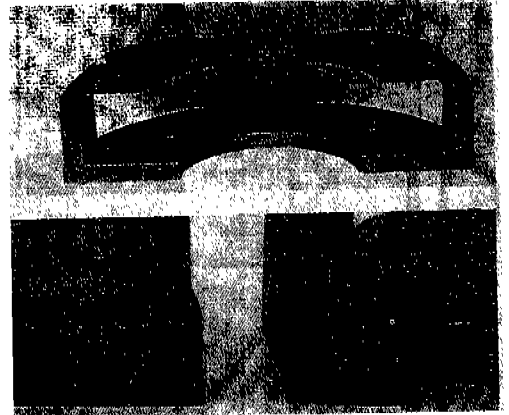


그림 5 레이저빔으로 용접된 5단 변속기의 Planet carrier, Mercedes Benz(위의 그림은 완성된 부품을 표시하며, 아래의 왼쪽 그림은 레이저빔 용접에 의한 부품으로 오른쪽 그림의 MAG-용접에 의한 부품과 비교하고 있다)

● 자동변속기

자동변속기는 지금까지 MAG-용접에 의해 생산되었으나, 그림 5에서는 레이저 용접에 의한 것을 보여주고 있다. 레이저를 사용함으로써 세정 및 고정작업이 근본적으로 감소되었다. 또한 이렇게 레이저빔에 의해 용접된 부품은 훨씬 높은 강도를 갖게 되는 장점을 지니고 있다. 여기서는 냉간가공된 판재조각을 편평한 판과 결합시킨다. 재료의 두께는 4.5mm에서 5mm이다. 그림에서 보는 바와 같이 MAG-용접에 의한 경우와 비교하여 보면, 재료의 열 영향부가 훨씬 감소하였다. 따라서 기하학적인 변형이 작아져서 수작업에 의한 고정장치가 더 이상 필요하지 않게 되었으며, 용접기의 고정장치에 의해 발생하는 수고가 감소하게 되었다. 그 외에도 용접 시 발생하는 Spatter의 제거를 위한 후작업의 수고가 적어지게 되었다. 또한 재료의 벽두께 전체를 용접결합시킬 수 있으므로, 완성된 부품의 강도와 강성이 훨씬 높아

지게 되었다. 이에 사용된 레이저는 4.5kW의 출력을 갖고 있으며, 용접속도는 2.0m/min이며, 보호가스로는 아르곤을 사용하였다.<sup>9)</sup>

2.2.2 차 체

● 3 차원(3-D) 절단

점점 짧아지고 있는 제품의 수명주기와 소비자 측의 특수한 사양에 대한 요구가 증가함에 따라, 차체생산에 대한 유연성이 점점 더 중요해지고 있는 실정이다. 예를 들어 ABS 전자장치, Airbag, Trailer coupling, 안테나, 자동차 전화기, 도난방지용 경보장치, 뒷유리창 닦개, 냉방장치, Roof rail, Spoiler, Taximeter, 중앙잠금장치 등의 특수사양을 위해서는 차체에 부가적인 구멍들을 마련하여야 한다. 또한 시제품을 생산하기 위해서는 작업의 높은 기하학적 유연성을 유지하여야 하는데, 기존의 절단 또는 스탬핑 장비로는 이러한 작업을 효율적으로 수행할 수 없다. 앞서 언급한 모든 작업은 3 차원 절단 작업으로 분류할 수 있는데, 이를 성공적으로 수행할 수 있는, 그리고 거의 경쟁상대가 없는 가공방법이 레이저빔에 의한 절단이다.

만족할만한 절단 품질을 얻기 위해서는 각각의 부품에 대한 작업을 Teach-In으로 프로그래밍하여야 하는데, 이러한 수고를 감소시킬 수 있는 방법은 3D-Geometry에 기초한 CAD/CAM 작업을 수행하는 것이다. 이러한 방법으로 필요한 작업 정밀도를 유지할 수 있으며, 또한 레이저가 갖고 있는 다양성으로 인해 다양한 작업(용접, 절단, 표면경화 등)을 동시에 수행할 수 있어서 매우 생산성이 높은 작업을 수행할 수 있다. 그림 6에서는 아연 도금된 차체 강판의 3D-절단 작업을 보여주고 있다<sup>10)</sup>.

일반적인 제품생산에서와 마찬가지로 자동

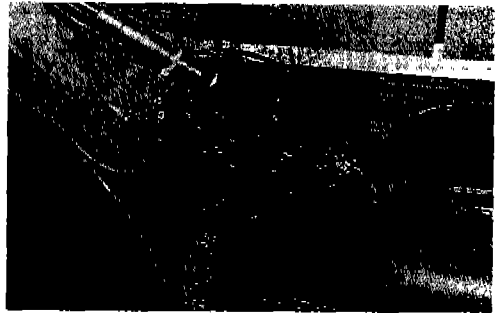


그림 6 아연 도금된 차체 강판의 3D-절단 작업



그림 7 레이저 시스템을 활용하면 Lot size가 10개인 경우의 시제품 생산에서 단지 33시간이면 생산할 수 있다

차 생산에서도 특히 시제품 생산에 많은 시간과 노력이 소모된다. 그런데 CNC-레이저빔 전달장치를 갖춘 레이저시스템을 사용할 경우에는 Lot size가 5개 이상이 되면 이미 경제적으로 작업할 수 있다. 트렁크 리드(그림 7)를 생산할 경우를 예로 들어 보면, 1개를 수작업으로 생산할 경우에는 21시간이 걸리며, CNC-빔 유도장치를 갖춘 레이저를 사용하면 29시간이 소비된다. 그러나 10개를 생산할 경우를 생각하면, 수작업에 의하면 192시간이 소모되는 것이 레이저를 사용할 경우에는 단지 33시간이면 충분하다. 이렇게 시간절약을 할 수 있는 근본적인 원인은 CNC-Program에 있다. 그것은 단지 16시간이면 작성될 수 있다. 수작업으로 각각의 3-D 부품을 절단하면 그렇게 많은 시간이 소요되던

것이, 레이저 시스템을 활용하면 각 부품 당 단지 16분이면 가공할 수 있다<sup>11)</sup>.

● 루프와 메인 보디의 용접

자동차 조립과정에서는 루프(roof)를 리어 펜더(rear fender)와 용접하게 되는 데, 이때 발생한 용접부는 도장 후에 시각적으로 분리된 부품으로 보여서는 안된다. 종래의 WIG 용접에 의한 루프와 메인 보디의 결합에서는 공작물에 많은 열이 전달되므로, 많은 변형이 발생하므로 수작업에 의한 후가공이 필수적이었다. 예를 들어 이러한 방법으로 용접된 공작물에서는, 용접에 사용된 시간이 5%, 형상개선을 위한 시간이 77%, 그리고 용접부의 오버랩(overlap)을 연삭에 의하여 제거하는 데 드는 시간이 18%에 달하였다. 그러나 레이저빔에 의한 용접을 도입하면 후가공에 사용되는 시간의 75%까지 절감할 수 있다. 레이저빔 용접(맞대기 용접의 경우)을 성공적으로 수행하기 위한 전제조건은 용접부의 간격이 0.2mm 이하로 유지되어야 한다는 것이다. 전통적인 전단 방법에 의하면 이러한 간격은 유지될 수 없다. 따라서 용접할 공작물을 우선 레이저빔에 의하여 절단하여 이러한 조건을 만족시킨 후에 레이저빔 용접을 수행하는 방법을 사용한다.

그림 8에서는 독일 Mercedes Benz사에서 1991년 개발하여 S-Class 승용차에 적용시킨 예를 보여주고 있다. 앞서 설명한 바와 같

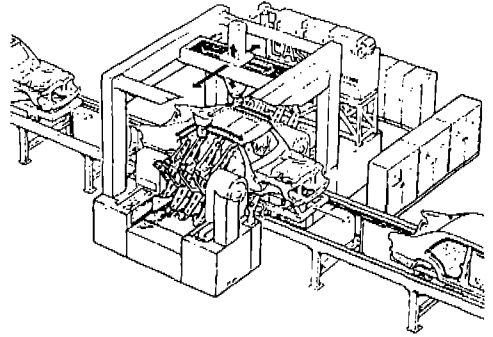


그림 9 메인 보디는 작업장으로 이송되어 한 쪽 당 14개의 유압식 고정장치에 의해 고정된다

이 루프와 리어 펜더를 결합시키기 위해, 우선 레이저 절단을 하고, 절단된 부위를 레이저 용접하는 방법을 사용하고 있다. 이때 레이저 작업헤드는 두 개의 모듈로 구성되어, 절단헤드와 용접헤드를 회전시키며 작업을 수행할 수 있다. 이때 사용된 레이저는 절단에는 1.7kW cw-레이저가 4m/min의 속도로 작업을 하며, 용접에는 2.5kW cw-레이저가 2.8m/min의 속도로 작업한다. 용접부의 형상으로는 I홈 맞대기 용접을 사용하였다<sup>12)</sup>.

이렇게 루프와 리어 펜더가 결합되고 나면, 루프를 보디 사이드의 루프 레일과 결합시키는 용접공정을 수행하게 된다. 그림 9에서 보이는 것과 같이 화살표 방향을 따라

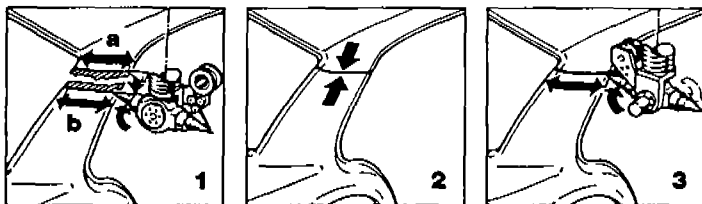


그림 8 (1) 우선 레이저의 절단헤드는 루프와 리어 펜더가 결합될 부위를 절단한다  
 (2) 절단된 모서리는 정확히 맞대어 진다  
 (3) 레이저의 용접헤드에 의해 시임(SEAM) 용접된다.



용접하게 되는 데, 이때 전체적으로 1.8m의 용접 길이가 형성된다. 종래에는 점용접에 의하여 생산하였는데, 여기서는 전과 마찬가지로 후에 발생할 수 있는 수리를 위해서 용접 비드를 8mm의 길이 단위로 생성시켰다. 이때 용접에 사용된 레이저는 5kW CO<sub>2</sub>-레이저인데, 레이저빔의 전달에는 5축 포르탈 시스템을 사용하였다. 또한 용접부의 형상은 겹치기 용접을 이용하였다.

● Pressure Roller Device를 이용한 루프와 메인 보디의 용접

스웨덴의 Volvo 자동차 회사에서는 이미 1988년에 6kW CO<sub>2</sub> 레이저 시스템을 갖추고, 레이저빔 용접에 대한 연구를 시작하여, 1991년에는 Volvo 850 계열의 생산에 레이저빔 용접을 적용하였다. 여기서는 루프와 차체를 용접(겹치기 용접)하는 기술을 확보하는 것이 목적이었다. 금속박판을 용접할 때에 발생하는 가장 큰 문제 중의 하나는 박판 사이의 간격을 최소화하는 것이었다. 자동차에 사용되는 스탬핑된 모든 강판들은 부품의 기하학적 형상과 관련하여 어느 정도의 편차를 갖고 있다. 레이저빔 용접에서는 레이저 용접헤드와 판재 사이의 간격이 0.2mm를 초과하여서는 안된다. 일반적으로 사용되는 고정구들은 단지 하나의 부품에만 한정되었으며 부품의 주기가 짧기 때문에, 가격이 고가이고 무거우며, 작업장에서 변형시키기가 어렵다<sup>13)</sup>.

따라서 여러 가지의 용접작업에 유연하게 대처할 수 있으며, 재료의 치수편차에도 불구하고 우수한 작업품질에 도달하기 위해서는 용접 시스템의 개발이 필요하게 되었다. 결합부의 어느 위치에서도 0.2mm 이하의 간격을 얻기 위해서 오토바이의 앞쪽 현가장치의 원리와 유사한 용접용 헤드를 개발하게 되었다. 그림 10에서는 Pressure Roller De-

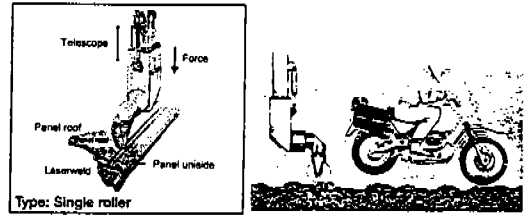


그림 10 Telescopic Pressure Roller Device (PRD)를 장착한 용접헤드의 원리

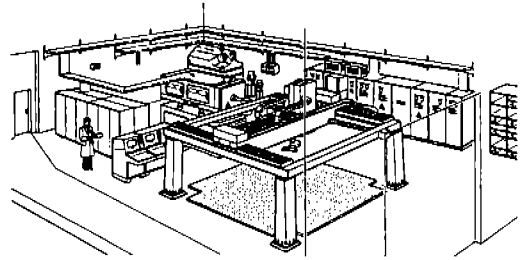


그림 11 레이저빔 용접 셀(Cell)의 구성

vice라 불리우는 이러한 특수한 장치의 원리를 보여주고 있다. 이 기술을 적용하면 Z-축 방향으로로는 로봇의 경로를 대략적으로 프로그램하여도 용접이 가능하였다. 최대 보상이 가능한 Z-축 방향의 거리는 ±50mm이며, 롤러의 압력은 조절할 수 있는데, 루프를 용접할 때에는 약 300 N의 압력을 사용하였다.

이러한 방법을 사용하면 용접하고자 하는 실제 위치와 프로그램된 로봇의 경로와의 차이를 무시하고 루프의 형상을 따라 용접을 수행할 수 있으며, 공작물에 대한 최적의 위치를 항상 유지할 수 있다.

그림 11에서는 레이저빔 용접 실험을 수행하기 위한 작업 셀(Cell)을 보여주고 있는데, 실제 차를 실험할 수 있는 크기로 구성되어 있다. 루프 판별은 우선 차체와 4점에서 점용접을 통하여 임시 고정되고, 앞서 언급한 Pressure Roller Device를 사용하여 용접을 수행하였다. 속도 30l/min으로 보호가스(He)

을 분사하면서, 길이 약 1,400mm 또는 2,300mm의 용접을 실험하였다. 용접속도는 약 5.5m/min이다. 현재는 3교대 근무를 하면서 하루에 680대의 자동차를 생산하고 있다. 이러한 방법을 통해 루프를 용접할 경우에 도달할 수 있는 이득으로는 플랜지 폭의 감소, 재료의 절약, 무게의 감소, 새로운 설계의 가능성, 용접부위의 변형 감소, 더욱 안정되고 개선된 몸체 공차, 플랜지의 후처리(연삭 등) 불필요 및 향상된 인장강도와 피로강도 등을 들 수 있다.

● Laser-Welded Tailored Blanks를 이용한 차체 판넬의 생산

Tailored blanks는 각각의 판재를 레이저 또는 mash seam 용접에 의해 조립하여 유기적으로 배열된 판넬을 의미한다. 즉 동일한 또는 상이한 두께와 강도의 조합, 그리고 도금되지 않은 냉연 강판과 표면처리된 재료의 조합도 가능하다. 또한 용접 에너지 원으로 레이저빔을 사용하지 않더라도 이와 같은 이름으로 불리울 수 있다.

Tailored blanks에 대한 기술적 개발은 처음에 독일에서 이루어졌으나, 그 이름은 미국에서 유래되었다. 1987년 독일 Thyssen Stahl의 R & D 매니저인 Dr. Schneider가 이 내용을 미국에서 customized sheets라는 명칭으로 소개한 것을, 그들은 Schneider's blanks라고 부르다가 후에 tailored blanks라는 명칭으로 바꾸어 부르게 되었다.

아래에서는 일본 Toyota 자동차 회사의 개발 사례를 소개한다<sup>14)</sup>. 일반적으로 차체는 300개 이상의 크고 작은 판넬을 스탬핑하여, 3000개 이상의 점용접을 통하여 생산된다. 차체 판넬 생산에는 전통적으로 분리화 방법이 사용되었다. 즉 개별적으로 절단된 다양한 차체 판넬의 부분에 사용되는 몇 개의 작은 판넬들을 조립하여 각각의 차체 판넬이

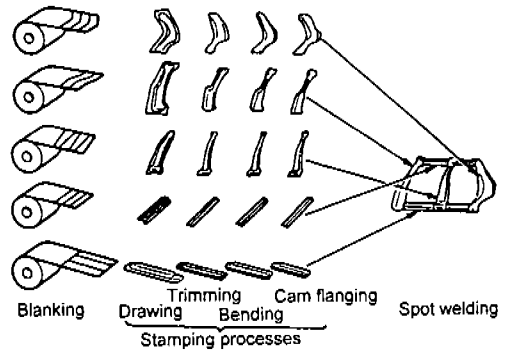


그림 12 분리화 공정을 사용한 차체 판넬의 생산과정

완성된다(그림 12). 이 방법에는 두 가지 장점이 존재하는데, 그 하나는 차체의 각 부분의 요구에 맞는 서로 다른 재료와 두께를 가진 판넬을 사용할 수 있다는 것이다. 다른 하나는 생산 원가에 비하여 높은 재료 활용이 가능하다는 것이다. 그러나 스탬핑된 수 많은 작은 판넬들을 점용접에 의해 결합시켜야 하기 때문에, 이 방법은 하나의 커다란 차체 판넬을 생산하기 위해서 엄청나게 많은 스탬핑 및 용접공정을 포함하게 되어, 많은 수의 프레스 금형, 프레스기 및 용접장비를 필요로 하게 된다. 이것은 결국 모델이 바뀔 때마다 높은 초기투자가 있어야 하며, 차체 정밀도를 유지하기 위한 어려움 및 막대한 man-hour에 기인한 생산 준비작업에 대한 높은 부하를 의미하게 된다.

이러한 문제를 해결할 수 있는 방법의 하나는 작은 판넬들을 사용하는 대신 집적화된 커다란 차체 판넬을 사용하여 스탬핑 및 용접공정의 수를 줄이는 것이다. 그러나 다양한 재료와 두께를 가진 판넬들을 하나의 커다란 판넬로 집적화하는 것은 쉬운 일이 아니다. 즉 하나의 커다란 판넬을 스탬핑한다면(그림 13), 차체의 다양한 부분에서 요구되는 강도, 강성 및 내부식성 등과 같은 특성

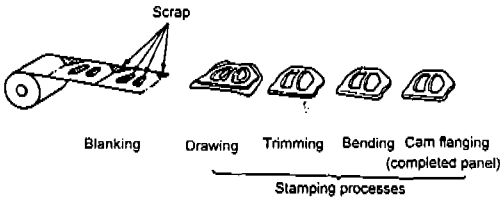


그림 13 집적화 공정(하나의 커다란 판넬)을 사용한 차체 판넬의 생산과정

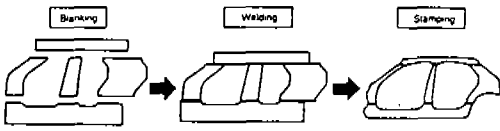


그림 14 용접된 강판들을 사용한 집적화 공정의 개념도

들 모두를 동시에 만족시키기란 어려운 일이다. 또한 차체 판넬의 주를 이루고 있는 강판 재료의 활용을 낮추는 결과가 발생하므로, 결과적으로 부가적인 비용이 증가하게 된다. 즉 높은 재료 활용도를 가진 전통적인 판넬들을 집적화시키게 되면 재료 활용이 감소하게 되어 결국은 비용의 증가가 발생할 수도 있다. 이러한 요소들이 집적화된 차체 판넬의 생산을 방해하게 된다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 다수의 다양한 재료와 두께를 가진 판넬들을 재료 활용도의 감소없이 집적화할 수 있는 새로운 차체 판넬 시스템의 개발이 필요하다. 판넬 제조공정에서의 생산성과 차체 정밀도는 다수의 작은 판넬들을 하나의 커다란 판넬로 집적화시키면 매우 효과적으로 개선될 수 있을 것이다. 이와 같은 상황에서 개발된 기술이 Laser-Welded Tailored Blank 기술인데, 여기서는 작은 크기로 절단된 몇 개의 강판을 레이저빔 용접을 통하여 하나의 커다란 강판으로 만들고, 이를 다시 스탬핑하여 집적화된 차체 판넬로 생산하는 것이다(그림

Process	Objective	High material yield	Integration of sheets of different materials and thickness	High quality	High productivity
		Blanking	High accuracy and high yield blanking technology		
Laser welding			Laser weld line position fixing technology High accuracy and high speed butt positioning technology Welding monitoring technology Operation assurance technology		
Stamping			Laser butt welding technology of thin steel sheets Press die material and optimizing technology		
Logistics					advanced automatic logistic system

그림 15 레이저빔 용접을 사용하여 집적화된 차체 판넬 생산 시스템과 관련된 목표 및 기본적 기술

14).

레이저빔 용접을 사용하여 집적화된 차체 판넬 생산 시스템은 3가지 생산공정을 포함하고 있다(그림 15). 즉 강판 롤러로부터 판재를 절단하는 블랭킹 공정, 절단된 판재들을 결합시키는 레이저빔 용접 공정, 집적화된 판재를 차체 판넬로 성형하는 스탬핑 공정 및 각각의 공정에 대한 생산관리와 판넬의 저장 및 운반을 담당하는 논리적 시스템이 그것이다. 그리고 이러한 생산 시스템의 목표는 높은 재료 활용도, 상이한 재료 및 두께를 가진 판넬들의 집적화, 고품질의 차체 및 높은 생산성이다.

서로 다른 재료 및 두께의 판넬을 집적화하여 생산하는 이러한 방법을 통하여 차체 판넬의 수를 감소시켰고, 차체의 품질을 개선하였으며, 비용을 절감시킬 수 있었다. 동일한 재료를 사용하여 내부와 외부의 판넬을 제작한 경우와, 상이한 재료 및 두께를 가진

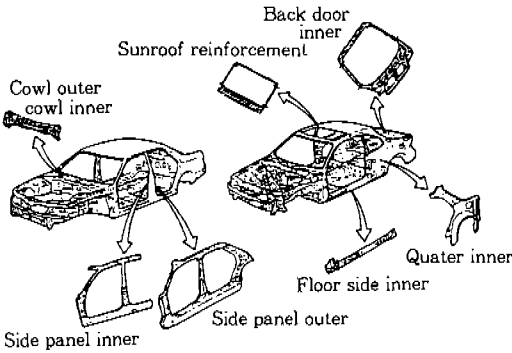


그림 16 두 가지 집적화 방법에 의해 생산된 차체 판넬의 비교

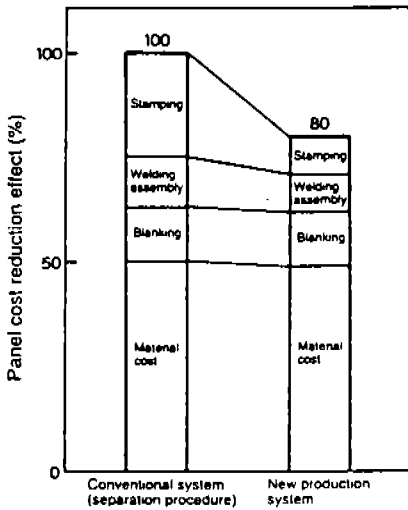


그림 17 판넬 생산비용 절감 효과

판넬을 집적화시켜 생산한 경우를 비교하여 보면, 차체 판넬의 수가 격감하는 것을 알 수 있는데, 약 20% 정도의 감소를 보이고 있다 (그림 16).

차체의 품질 측면에서는 두 가지의 개선 효과가 있었는데, 하나는 차체 조립의 정밀도이다. 이러한 방법으로 생산된 차체 조립 정밀도에 대한 표준편차는 일반적인 방법에 의한 것보다 절반 정도 줄어들었다. 다른 하

나는 차체의 강성이 증가되었고, 무게는 감소하였다. 예를 들어 측면 내부 판넬의 경우, 판넬의 강성은 일반적인 방법에 의한 것과 동일하면서도 두께는 반으로 줄어들었고 무게는 약 1.3kg 가벼워졌다.

기계 감가상각비, 인건비 및 동력비를 포함하는 스탬핑 비용은 판넬의 수가 감소하였으므로, 이러한 방법을 사용한 결과 매우 감소하였다는 것을 알 수 있었다. 이 비용과 다른 비용을 포함하여 전체 비용을 계산하면 약 20% 정도의 원가절감 효과에 도달할 수 있었다(그림 17).

### 3. 결 론

자동차 분야의 세계적인 경쟁현황을 보면, 생산품들은 그의 기능과 품질면에서 점점 더 가까이 접근하고 있는 실정이다. 이러한 생산품들은 누구에게나 공개되어 있다. 새로운 개발내용은 새로운 생산품이 시장에 나오게 되면 외부로 드러나게 되며, 경쟁을 통하여 서로 배워나가게 된다. 그러나 주목할 만한 차이는 생산품의 생산원가에서 나타나게 된다.

그렇다면 우리 생산품의 가격을 감소시키기 위해서 우리가 활용할 수 있는 자원은 무엇인가?

비용절감은 조직적인 분야에서의 변화에 크게 기인한다는 것은 틀림 없지만, 다른 한편으로는 생산방법의 변화(예를 들면 레이저를 이용한 재료가공기술을 지능적으로 도입하는 것)에서도 찾을 수 있다. 이렇게 매우 적절히 적용할 수 있는 생산방법은 경쟁력 우위를 보장해주는 원가 절감효과를 가져올 수 있다.

레이저기술의 응용을 재료가공의 최적화된 방안이라는 측면에서만 생각할 것이 아니라,

현재 침체되어있는 우리의 모든 산업분야와 관련지어 고려해 보아야 할 것이다. 자동차 업계의 후진성은 우선 독자적 설계수준이 미흡하다는 데에 그 원인이 있다고 볼 수 있는데, 이것은 장시간에 걸친 연구, 개발이 필요하며, 현재 우리가 할 수 있는 것은 생산분야에서의 비용절감이라고 할 수 있다. 이를 위해서는 특히 공작기계 및 그 관련분야의 활성화 또는 기술력향상이다. 자동차업계에서는 생산기술을 개선하기 위해 새로운 기술에 도전할 필요가 있다. 이를 위해서는 또한 공작기계 및 공구의 개발이 뒤따라야 하며, 이것은 결국 공작기계분야의 활성화를 가져오게 될 것이다.

본 기사에서 언급한 바와 같이 레이저를 이용한 다양한 생산기술의 개발을 통하여 생산원가를 절감시키고, 품질을 향상시킬 수 있는 예를 볼 수 있었다. 레이저를 이용한 재료가공을 고려할 때, 레이저의 개발만이 중요한 것이 아니고, 생산 시스템을 구성하는 다양한 주변기기의 개발이 함께 필요하다는 것을 인식하여야 한다.

우리나라의 자동차 생산업계는 한국의 산업계를 주도하는 견인차 역할을 한다고 하여도 과언이 아니다. 결국 자동차 업계에서 새로운 기술을 적용하려 하고, 관련 산업계에 새로운 기술개발에 대한 자극을 줄 때에만 우리의 산업이 전반적으로 활성화되는 훌륭한 연결고리가 형성될 것이다.

레이저는 다른 수많은 공구와 마찬가지로 하나의 새로운 공구에 불과하다. 앞으로도 새로운 공구 또는 공작기계가 얼마든지 탄생할 수 있는 것이다. 기존의 기술에 안주하지 말고 항상 새로운 기술의 창출에 앞장서며, 새로운 기술을 적용하는 실험정신을 가질 때에만 다가오는 21세기가 불안하지 않을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. N.N. : Lehrgangsmaterial, Fachkraft für die Materialbearbeitung durch Laserstrahl, Festkörper Laser Institut Berlin GmbH, 1993.
2. Dr.-Ing, E.h. W. Kirmse : Anwendung der Lasertechnik im Automobilbau, 4<sup>th</sup> Conference on Laser Treatment of Materials "Eclat 92", pp419~432.
3. N.N. : 자동차기술 핸드북 4, pp.206~207, 사단법인 한국자동차공학회.
4. N.N. : Lohnarbeit für Kraftfahrzeuge, Laser-Praxis, Jun. 1989, L 17.
5. A. Gebhardt : Härten von Kurbelwellen, Lasertechnik in Nordrhein-Westfalen, Symposium, Oct. 1989, pp.22-1~22-14
6. N.N. : 자동차기술 핸드북 4, p.207, 사단법인 한국자동차공학회.
7. N.N. : 자동차기술 핸드북 4, p.208, 사단법인 한국자동차공학회.
8. N.N. : Beschichtung von "Laser Valves", Laser-Praxis, Oct. 1990, LS 88.
9. L. von Trotha : Technologie nicht nur für die Zukunft, Laser-Praxis, Sep. 1992, LS 86~90.
10. K.Mann;P.Scher;J.Schmid : Der Laser für alle Fälle, Laser-Praxis, Sep. 1992, LS 96~98.
11. L. Bakowsky;D. Schnee : 3D-Laserschneiden ohne zu warten, Laser-Praxis, Sep. 1992, LS 103~105.
12. N.N. : Laser-Schweißen im Karosseriebau, Laser Magazin 3/92, pp22~24.
13. J.K. Larsson : The Introduction of Roof

Laser Welding in Car Production and the Development of a New Fixation Technique, Laser Assisted Net shape Engineering, Proceedings of the LANE94, Vol. I, eds. : M. Geiger, F. Vollersten, Meisenbach Bamberg 1994, pp.115~123.

14. T.Iwai;K. Sadamura;F. Natsumi : Integrated Automotive Panel Production System using Laser Welding, Laser Assisted Net shape Engineering, Proceedings of the LANE'94, Vol.I, eds. : M.Geiger, F.Vollersten, Meisenbach Bamberg 1994, pp.135~144.