

# 자동차용 강판의 CO<sub>2</sub> 레이저 빔 조사 강화

서 정, 이제훈, 김정오, 오상진, 조원석\*, 이두환\*, 신철수\*

한국기계연구원 레이저기술연구그룹

\*현대·기아 연구개발본부

## Strengthening of Steel Sheets for Automobile by CO<sub>2</sub> Laser Beam Irradiation

Jeong Suh, Jae-Hoon Lee, Jeong-O Kim, Sang-Jin Oh,

Won-Suk Cho\*, Doo-Hwan Lee\*, Chirl-Soo Shin\*

Korea Institute of Machinery & Materials, Yusung, Taejon 305-600, Korea

\*R&D Division for Hyundai Motor Company & Kia Motors Corporation 772-1 Changduk-Ri,  
Mamyang-Myn, Whasung-Gun, Kyunggi-Do 445-850, Korea

### Abstract

The laser strengthening of 35kgf/mm<sup>2</sup> and 60kgf/mm<sup>2</sup> grade steel sheets is investigated by using CO<sub>2</sub> laser beam irradiation. The increase of tensile strength is dominated by the number of fully penetrated melting line. Also, the optimal laser input energy(hardness) and the number of melting line(melting width) are important variables for laser strengthening. Local strengthening by laser beam may be effective for the weight reduction of components where the tailored welded blank can not be applied.

Key Words : CO<sub>2</sub> laser beam irradiation, strengthening, weight reduction

### 1. 서 론

자동차용 철강소재의 경량화의 관점에서 테일러드 용접 블랭크(TWB, Tailored Welded

Blank)적용이 증가하는 추세에 있으며, 고강도강판 테일러드 블랭크 적용기술이 연구되어짐에 따라 강판의 고강도화가 진행되고 있다. 그러나 강판이 고강도화가 될수록 프레스 성형성이 저하되

어 복잡형상 및 정밀성형이 필요한 부품에 적용하기에는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 도요다 자동차에서는 프레스 성형한 부품을 고주파 유도 경화(Induction Hardening)하여 부품의 강도를 향상시키는 방법을 Front Pillar Inner, Front Floor Cross, Center Pillar Reinforcement 등에 적용하였다<sup>1)</sup>. 고주파 유도 경화기술을 이용한 강화법에서는 경화영역이 크므로 강도 향상효과가 높으나, Straightening Quench 기술(또는 장치)로 열변형을 방지해야 하며, 수냉장치를 별도로 갖추어야 한다. 또한, 표면처리강판, 복잡한 형상에는 적용하기가 매우 불리하다고 할 수 있다.

한편, 레이저 경화(Laser Hardening)기술은 고주파 유도 경화기술에 비해 적은 입열량을 사용하여 부품변형을 최소화시킬 수 있으며, 자체냉각으로 수냉장치가 필요하지 않은 청정공정이며, 재현성이 우수하고 3차원 복잡형상에 적용가능하다. 레이저 경화법은 금속 표면 근방의 온도를 변태점과 용융점 사이의 온도로 가열하여 자체냉각(self-quenching)작용으로 표면층만을 경화시키며, 레이저 빔에 의한 표면경화 깊이는 금속 재료의 합금합량과 합금원소 종류에 따라 2mm 정도 가능하나, 일반적으로 0.5mm 내외이다. 자동차 강판은 2mm이내의 박판이기 때문에 레이저 경화법으로 표면의 경도만을 향상시키는 것 보다는 용융비드(Molten bead)를 형성하여 용

융면적을 크게 하는 것이 경도의 향상효과는 적으나, 강도향상에는 매우 효과적이며, 이를 레이저 빔 조사 강화(Laser Irradiation Hardening or Strengthening)기술이라고 하고 도요다 자동차에서는 인장강도 45kgf/mm<sup>2</sup>급 강판을 Front Side Member 적용한 결과가 보고되고 있다<sup>2,3)</sup>. 따라서, 본 논문에서는 국내 자동차용 강판을 사용하여 레이저 빔 조사강화 효과를 분석하였다.

## 2. 실험방법

실험에 사용된 재료는 자동차용으로 사용되는 강판인 35kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연강판(두께 1.2mm)과 60kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연고장력강판(두께 1.4mm)으로서 각 재료의 화학성분은 Table 1과 같다.

레이저 빔 조사 실험을 위하여 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용하였다. 레이저 출력은 2~2.5kW, 빔 조사 속도는 2.5~4m/min로 하였으며, 보호가스는 Ar을 사용하고 레이저 빔은 강판표면에 집속하도록 하였다. 강판에 레이저 빔 조사를 한 후 인장시험편을 Photo. 1과 같이 JIS 5호 규격으로 채취하였다. 인장시험은 각 조건별 3개 이상의 시험편의 실험결과를 평균하여 구하였다. 경도측정을 위하여 마이크로 비커스 경도계를 이용하였으며 빔 조사부의 미세조직은 금속광학현미경으로 관찰하였다.

Table 1 Chemical composition of materials(wt%)

materials	thickness	C	Si	Mn	P	S	remark
35kgf/mm <sup>2</sup> grade steel	1.2mm	0.023	-	0.15	0.08	0.009	supplied data
60kgf/mm <sup>2</sup> grade steel	1.4mm	0.09	0.52	1.75	0.02	0.003	

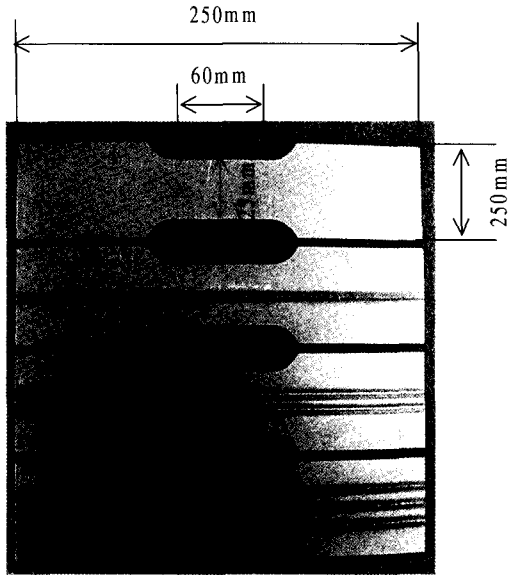
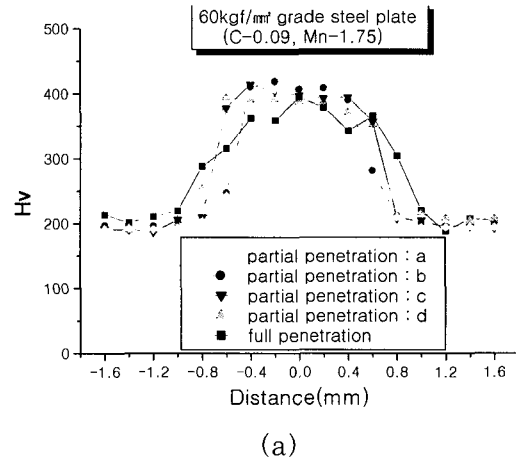


Photo. 1 Tensile specimens

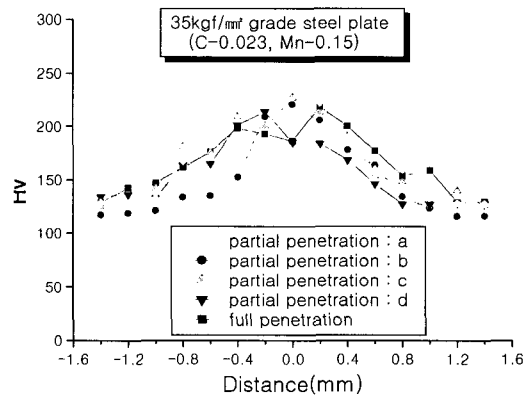
### 3. 실험결과 및 고찰

Photo. 2는 60kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연고장력강판의 레이저 빔 조사부 단면을 나타내고 있으며, (a)는 완전용입상태, (b)는 부분용입상태를 보여주는 예이며, 경도분포를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 부분용입의 경우 a에서 d로 갈수록 용입깊이가 깊어짐을 의미하고 있으며, 완전용입된 상태로 가면 최대 경도값이 부분용입에 비해 감소함을 알 수 있다. 60kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연고장력강판의 용입부의 최대경도값은 부분용입의 경우 436Hv이며, 완전용입의 경우 394Hv로 나타났다. 35kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연강판의 용입부의 최대경도값은 부분용입의 경우 246Hv이며, 완전용입의 경우 219Hv로 나타났다. 또한, 완전용입된 강판의 모재 대비 경도 상승률은 60kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연고장력강판의 경우 89%(ΔHv=180)이고, 35kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연강판의 경우 63%(ΔHv=77)임을 보여 주고 있다. 60kgf/mm<sup>2</sup>급 강판과 35kgf/mm<sup>2</sup>급 강판의 두 재료에서 완전용입의 경우, 강판 아래까지 열적 효과를 얻기 위해 빔조사속도를 감소시켰으며, 이로 인해 입열량(레이저출력/빔조사속도) 증가에 따라 냉각효과가

떨어지게 되어 경도가 부분용입에 비해 낮아지게 됨을 예측할 수 있다.



(a)



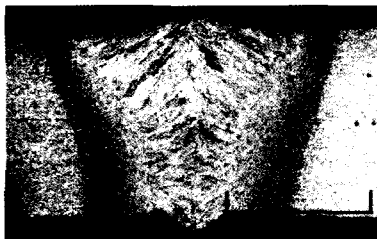
(b)

Fig. 1 Hardness distribution of partial/full penetration specimens

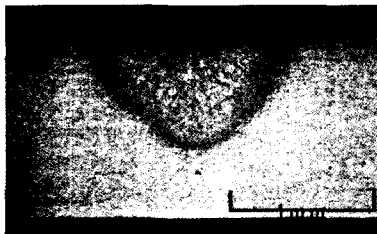
- (a) 60kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate,
- (b) 35kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate

60kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연고장력강판의 모재조직은 Photo. 3에서 보는 바와 같이 페라이트(ferrite) base에 약간의 퍼얼라이트(pearlite)가 형성되었으며, 냉간압연된 조직을 보여준다. HAZ(Heat Affected Zone)부는 결정립이 미세해졌고 용융부는 전형적인 용접조직을 보여준다. 용접비드를 중심으로 주조조직이 표면 비드의 정점을 향하여 형성되었다. 용융부는 위드만스테텐(Widmansstätten)

조직을 형성하고 있다. 35kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연강판의 모재조직은 Photo. 4와 같이 거의 순철에 가까운 조직을 나타내고 있고, HAZ부는 결정립이 미세해졌으며 용융부는 결정립이 조대해졌다. 일반적으로 레이저 표면경화법에서는 마르텐사이트(martensite) 변태 경화 조직을 형성하여 경도를 향상시키게 되나, 60kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연고장력강판의 완전용입부에서는 입열량이 크게 되어 용융도 수반하게 되어 대부분의 페라이트(ferrite)와 약간의 마르텐사이트(martensite), 베이나이트(beinite) 조직을 갖게 됨을 알 수 있다. 일반적으로 극저탄소강에서는 마르텐사이트(martensite) 변태가 일어나기 어렵지만 레이저 용접은 냉각속도가 매우 빠르기 때문에 일부에서 마르텐사이트(martensite) 변태가 일어난다고 보고되어진다. Photo. 5는 용융부의 SEM 사진을 나타낸 것이다. (a)-60kgf/mm<sup>2</sup>급의 경우는 마르텐사이트(martensite) 변태가 일어난 것을 알 수 있고, (b)-35kgf/mm<sup>2</sup>급의 경우는 페라이트(ferrite) 결정립 사이의 일부에서 베이나이트(bainite) 변태가 일어난 것으로 판단된다.

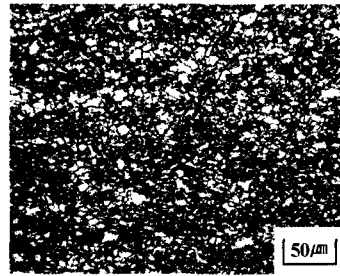


(a)

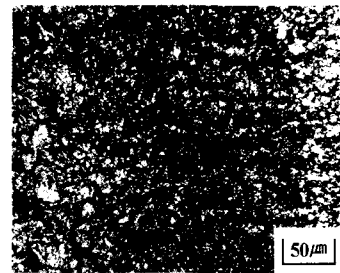


(b)

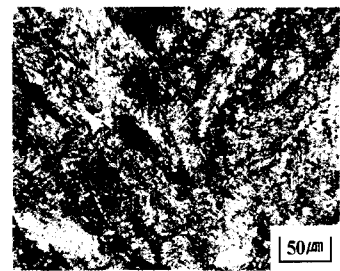
Photo. 2 Cross section of 60kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate after laser beam irradiation  
(a) full penetration, (b) partial penetration



(a)



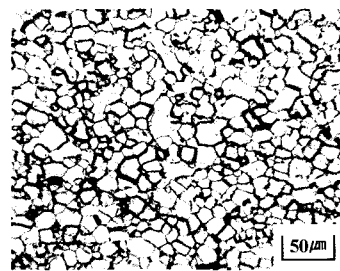
(b)



(c)

Photo. 3 Micrograph of cross-section 60kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate

(a) base (b) HAZ (c) melting



(a)

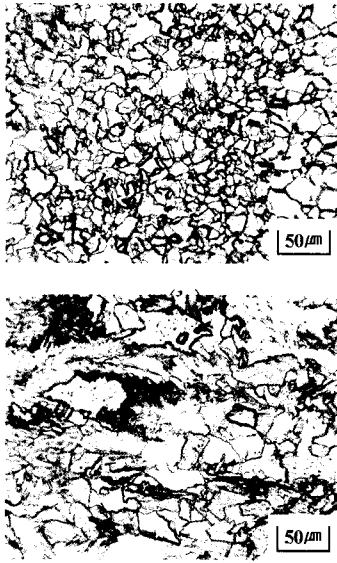
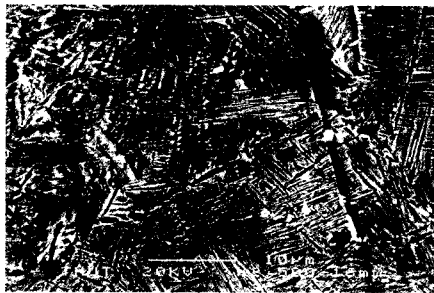


Photo. 4 Micrograph of cross-section 35kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate  
(a) base (b) HAZ (c) melting



(a)



(b)

Photo. 5 SEM Microstructure of melted zone  
(a) 60kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate,  
(b) 35kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate

Fig. 2는 60kgf/mm<sup>2</sup>급 냉연고장력강판에서 1줄의 부분 또는 완전 용입선이 있는 경우의 인장강도를 나타내고 있다. 완전용입의 경우에 인장강도가 가장 높음을 알 수 있으며, 완전용입하여 용입면적을 증가시키면 Fig. 1에서와 같이 경도 향상 효과는 적으나, 인장강도의 증가(강화)에는 효과적임을 알 수 있다.

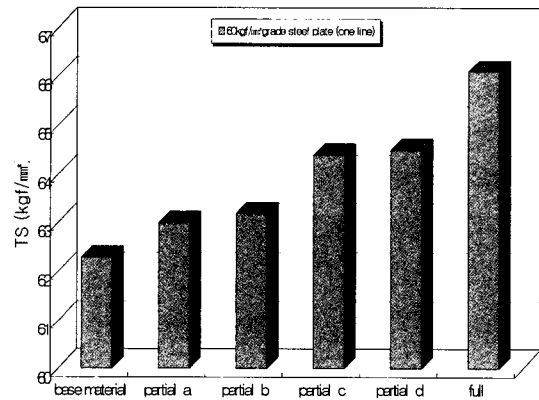
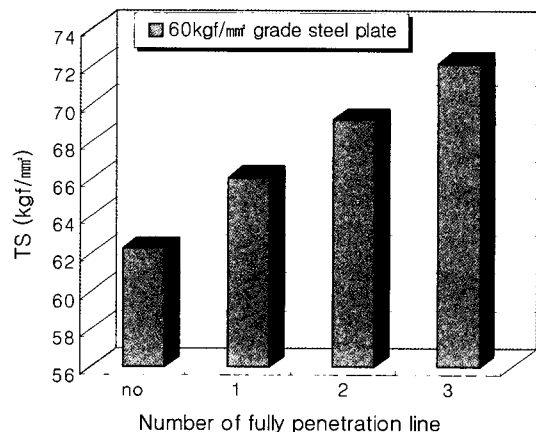


Fig. 2 Tensile strengths of 60kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate at partial or full penetration



(a)

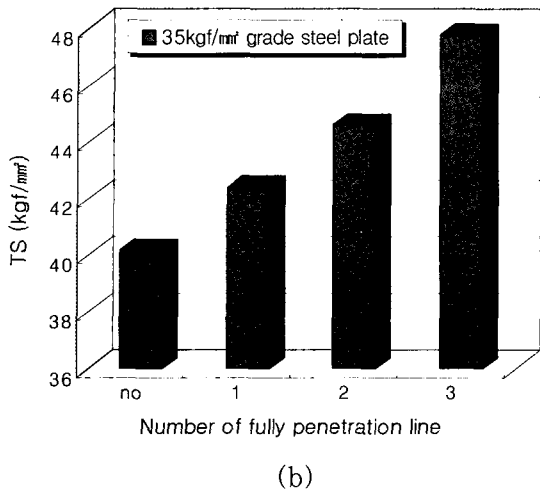


Fig.3 Variation of tensile strength along the number of fully penetrated line  
 (a) 60kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate,  
 (b) 35kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate

Fig. 2의 결과로부터 부분용입에 비해 완전용입의 경우가 인장강도가 크므로, 완전용입조건으로 용입선을 증가시켜 이에 따른 인장강도의 변

화를 알아보았으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 가로축의 0, 1, 2, 3의 숫자는 용입선 수를 나타낸다. 용입선 수가 증가(용입면적을 증가)함에 따라 인장강도값이 증가함을 알 수 있다. 60kgf/mm<sup>2</sup>급 강판에서 3줄 용입선의 경우 15.9%( $\Delta TS=9.9\text{kgf/mm}^2$ )로 인장강도가 증가하였으며, 35kgf/mm<sup>2</sup>급 강판에서는 3줄 용입선의 경우 18.9%( $\Delta TS=7.6\text{kgf/mm}^2$ ) 인장강도가 증가함을 알 수 있다.

용입면적을 증가시키기 위해 입열량을 증가시키는 방법과 완전용입선 수를 증가시키는 방법이 있다. Fig. 4는 60kgf/mm<sup>2</sup>급 강판의 3줄 용입에 있어서 완전용입 조건(레이저 출력 2.5kW, 빔 조사속도 2.5m/min)보다 빔 조사속도를 감소시켜 용입면적율(용융부+HAZ부 면적/인장시험편의 표점부 단면적의 비율)을 증가시킨 결과를 나타내고 있다. 입열량이 증가할수록 경도는 감소하고 용입면적율은 증가하는 양면적인 현상이 나타나며, 입열량이 과하면 경도하락의 영향이 크게

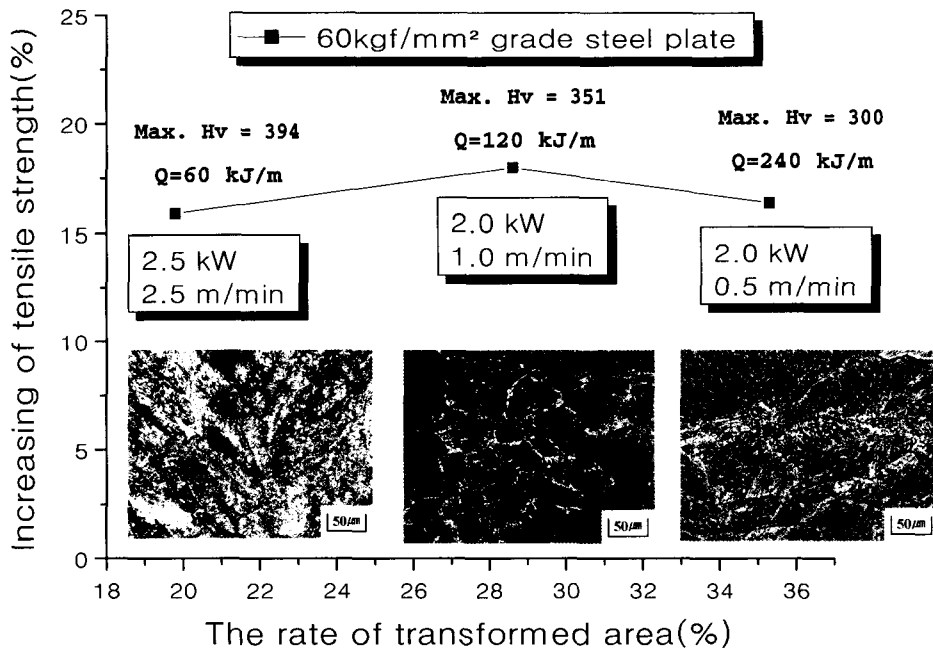


Fig. 4 Increase of tensile strength along the increase of heat-input

되어 인장강도가 오히려 감소하는 현상을 보인다. 따라서, 60kgf/mm<sup>2</sup>급 강판의 3줄용입의 경우, 레이저 출력 2.0kW, 빔 조사 속도 1.0m/min에서 인장강도의 최대 증가율 18%(62.3kgf/mm<sup>2</sup> → 73.5kgf/mm<sup>2</sup>)을 얻을 수 있었다. Fig. 4의 결과로부터 레이저 출력 2kW, 빔 조사 속도 1.0m/min과 1.5m/min로 완전용입선을 5줄까지 증가시켰을 경우의 인장강도를 Fig. 5에 나타내었다. 두 경우의 빔 조사 속도에 따른 차이는 거의 없었으며, 5줄 완전용입선의 경우, 60kgf/mm<sup>2</sup>급 강판의 인장강도는 16kgf/mm<sup>2</sup> 상승(64.3kgf/mm<sup>2</sup>→80.3kgf/mm<sup>2</sup>) 하여 25% 강화됨을 알 수 있다.

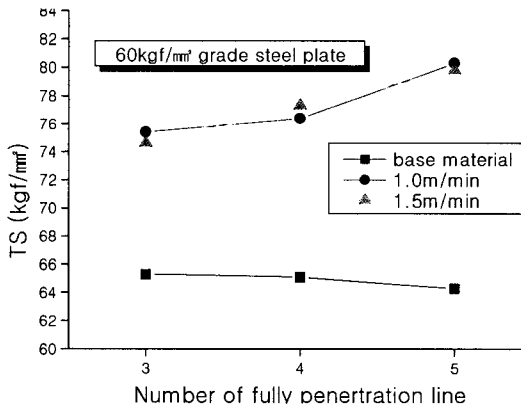


Fig. 5 Tensile strength of 60kgf/mm<sup>2</sup> grade steel plate along the increase of fully penetrated lines

레이저 조사 강화부품을 자동차에 적용하기 위해서는 충격시험을 해야 하나, 강판의 경우 불가능하여 정적 최대굽힘강도 P<sub>max-s</sub>를 측정하였다. (일반적으로 충격하중 P<sub>max-d</sub>=1.2 × P<sub>max-s</sub>의 관계를 가짐) 60kgf/mm<sup>2</sup>급 강판을 완전용입조건(레이저 출력 2.5kW, 빔조사속도 2.5m/min)으로 3줄(간격 5mm) 용입시킨 시험편과 레이저빔을 조사시키지 않은 시험편을 Fig 6과 같은 원리로 시험하였다. 이때의 최대하중값으로 굽힘하중을 나타내었다. 굽힘시험은 인장강

도 상승률 16% (62.3kgf/mm<sup>2</sup> → 72.2kgf/mm<sup>2</sup>)에 비해 굽힘하중의 효과는 24% (94.5 kgf → 116kgf)로 효과적임을 알 수 있었다.

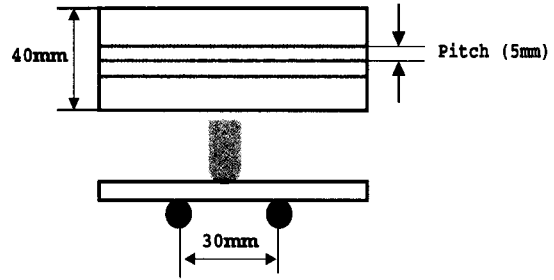


Fig. 6 Bending test condition

#### 4. 결 론

본 논문에서는 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용하여 35kgf/mm<sup>2</sup>과 60kgf/mm<sup>2</sup>급 자동차 강판의 강화효과를 분석하였으며 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- (1) 부분용입에 비해 완전 용입의 경우가 강화효과가 큼을 알 수 있었으며, 완전 용입선의 수가 증가할수록 용입면적을 및 인장강도가 증가함을 알 수 있었다.
- (2) 과도한 입열량은 용입면적율은 증가시키나 경도하락의 영향이 크게 되어 오히려 강도를 감소시키게 되므로 적절한 입열량 제어(경도)와 용입선수(용입폭)가 중요한 변수임을 알 수 있었다.
- (3) 국부적인 레이저 조사 강화기술은 테일러드 용접 블랭크의 적용이 어려운 자동차 부품의 경량화에 매우 효과적으로 적용될 수 있음을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. M. Shibata et al, SAE Paper 980550, 1998.
2. K. Tamada et al, 19th IDDRG Biennial Congress (Eger, 10~14, June 1996) p.47-54.
3. 北村 充ら, 自動車技術會學術講演前刷集 951 pp.97-100 (1995-5).