

자동차용 강판의 CO₂ 레이저 빔 조사 강화

CO₂ Laser Beam Irradiation Strengthening of Steel Sheets for Automobile

한국기계연구원 레이저기술연구그룹

서 정, 이제훈,

김정오, 오상진*

현대·기아 연구개발본부

조원석, 이두환

신철수

I. 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 저하되어 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. 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 금속재료의 합금합량과 합금원소 종류에 따라 2mm정도 가능하나, 일반적으로 0.5mm 내외이다. 자동차 강판은 2mm이내의 박판이기 때문에 레이저 경화법으로 표면의 경도만을 향상시키는 것보다는 용융비드(Molten bead)를 형성하여 용융면적을 크게 하는 것이 경도의 향상 효과는 적으나, 강도향상에는 매우 효과적임이 보고되고 있으며, 이를 레이저 빔 조사 강화(Laser Irradiation Hardening or Strengthening)기술이라고 하고 도요다 자동차에서는 인장강도 45kgf/mm² 급 강판을 Front Side Member 적용한 결과가 보고되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 국내 자동차용 강판을 사용하여 레이저 빔 조사강화 효과를 분석하고자 하였다.

II. 실험방법

실험에 사용된 재료는 자동차용으로 사용되는 강판인 35kgf/mm²급 냉연강판(두께 1.2mm), 60kgf/mm²급 냉연고장력강판(두께1.4mm)으로서 각 재료의 화학 성분을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of materials(wt%)

materials	thickness	C	Si	Mn	P	S
35kgf/mm ² 급(SPRC 35R)	1.2 mm	0.06	0.026	0.66	0.033	0.006
60kgf/mm ² 급(SPFC 590)	1.4 mm	0.08	0.47	1.42	0.02	0.008

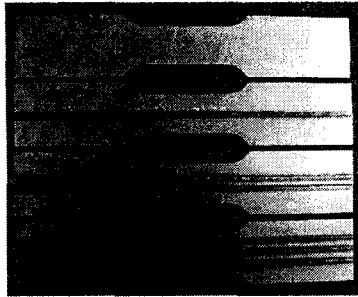
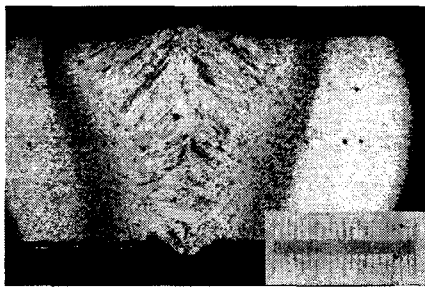


Photo. 1 인장시험편의 종류

레이저 빔 조사 실험을 위하여 CO₂ 레이저 출력은 2~2.5kW, 빔 조사 속도는 2.5~4m/min, 보호가스는 Ar을 사용하였으며 레이저 빔은 강판표면에 집속하였다. 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.

III. 실험결과 및 고찰

Photo. 2의 (a)는 완전용입상태, (b)는 부분용입상태를 보여주는 예이다. 경도분포를 나타내는 Fig. 1에서 부분용입1에서 부분용입4로 갈수록 용입깊이가 깊어져 완전용입된 상태로 가면 최대 경도값이 감소함을 알 수 있다. 60kgf/mm²급 냉연고장력강판의 용입부의 최대경도값은 부분용입의 경우 436Hv이며, 완전용입의 경우 394Hv로 나타났다. 35kgf/mm²급 냉연강판의 용입부의 최대경도값은 부분용입의 경우 246Hv이며, 완전용입의 경우 219Hv로 나타났다. 또한, 완전용입된 강판의 모재 대비 경도 상승률은 60kgf/mm²급 냉연고장력강판의 경우 89%(ΔHv=180)이고, 35kgf/mm²급 냉연강판의 경우 63%(ΔHv=77)임을 보여주고 있다.

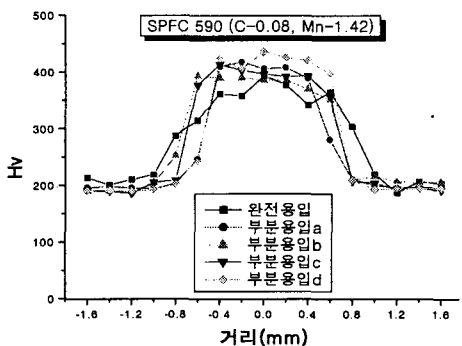


(a)

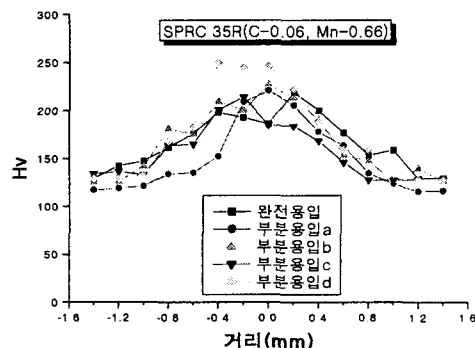


(b)

Photo. 2 60kgf/mm²급 강판의 용입 상태 (a) 완전용입, (b)부분용입



(a) 60kgf/mm²급 냉연고장력강판



(b) 35kgf/mm²급 냉연강판

Fig. 1 용입 정도에 따른 경도 분포

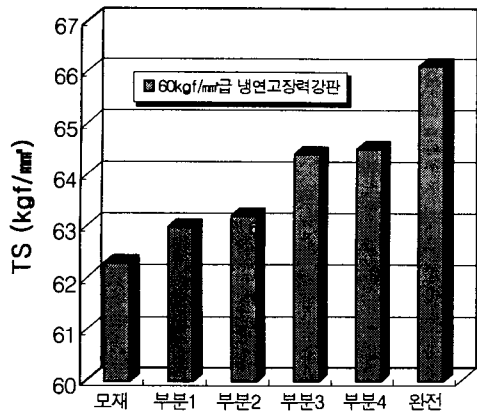


Fig. 2 60kgf/mm²급 냉연 고장력강판의 용입정도에 따른 인장강도의 변화

경도가 상승하였다. Fig. 2에서는 완전용입이 된 경우에 인장강도가 가장 높음을 알 수 있으며, 완전용입을 하여 용입면적을 증가시키면 Fig. 1에서와 같이 경도향상효과는 적으나, 인장강도의 증가(강화)에는 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 2의 결과로부터 부분용입에 비해 완전용입의 경우가 인장강도가 크므로 완전용입상태의 용입선의 증가에 따른 인장강도의 변화를 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/mm²급 강판에서 3줄 용입선의 경우 15.9%($\Delta TS=9.9\text{kgf/mm}^2$)로 인장강도가 증가하였으며, 35kgf/mm²급 강판에서는 3줄 용입선의 경우 18.9%($\Delta TS=7.6\text{kgf/mm}^2$) 인장강도가 증가함을 알 수 있다.

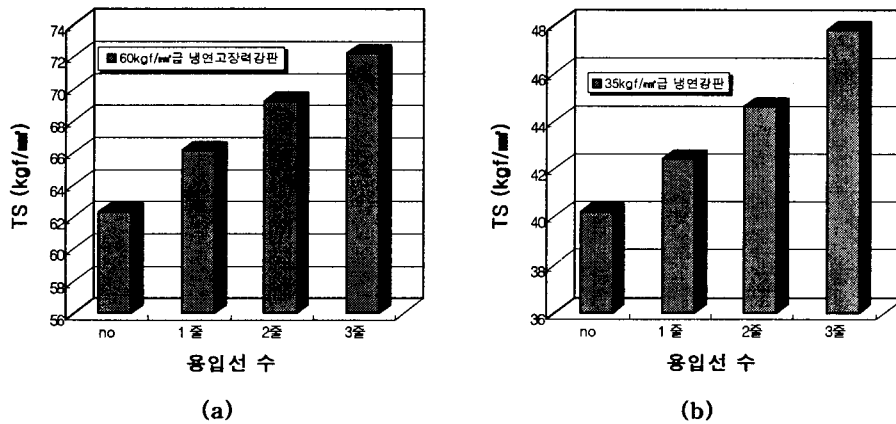


Fig. 3 용입선 증가에 따른 인장강도의 변화
(a) 60kgf/mm²급 냉연고장력강판, (b) 35kgf/mm²급 냉연강판

용입면적을 증가시키기 위해 입열량을 증가시키는 방법과 완전용입선 수를 증가시키는 방법이 있다. Fig. 4는 60kgf/mm²급 강판의 3줄 용입에 있어서 완전용입조건인 레이저 출력 2.5kW, 빔조사속도 2.5m/min에서 빔조사속도를 감소시켜 용입면적을 증가시킨 결과를 나타내고 있다. 입열량이 증가할수록 경도는 감소하고 용입면적은 증가하는 양면적인 현상이 나타나며, 입열량이 과하면 경도하락으로 인한 영향이 크게 되어 인장강도가 오히려 감소하는 현

을 보인다. 따라서, 60kgf/mm²급 강판의 3줄용입의 경우, 레이저 출력 2kW, 빔조사속도 1/min에서 인장강도의 최대 증가율은 18%(62.3kgf/mm² → 73.5kgf/mm²)을 얻을 수 있다. Fig. 4 결과로부터 레이저 출력 2kW, 빔조사속도 1m/min 과 1.5m/min로 완전용입선을 5줄까지 가시켰을 경우의 인장강도를 Fig. 5에 나타내었다. 두 경우의 빔조사속도에 따른 차이는 거 없었으며, 5줄 완전용입선의 경우, 60kgf/mm²급 강판의 인장강도는 163kgf/mm² 상승 4.3kgf/mm² → 80.3kgf/mm²)하여 25% 강화됨을 알 수 있다.

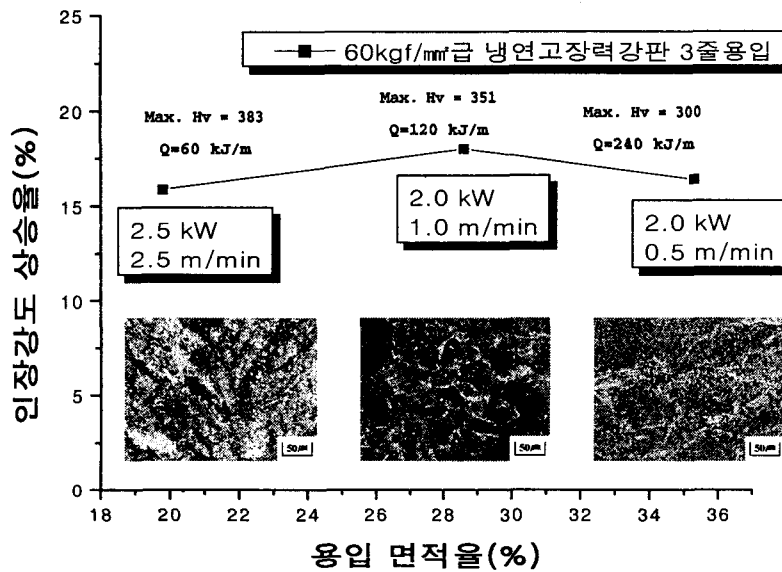


Fig. 4 입열량 증가에 따른 인장강도 상승률

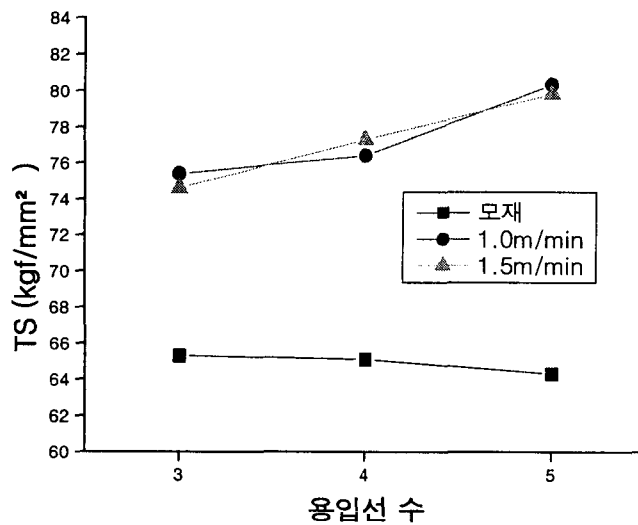


Fig. 5 60kgf/mm²급 냉연고장력강판의 완전용입선 증가에 따른 인장강도

레이저 조사 강화부품을 자동차에 적용하기 위해서는 충격시험을 해야 하나, 강판의 경우 불가능하여 정적 최대굽힘강도 $P_{max \cdot s}$ 를 측정하였다.(일반적으로 충격하중 $P_{max \cdot d} = 1.2 \times P_{max \cdot s}$ 의 관계를 가짐) 인장강도 상승률 16% (62.3kgf/mm² → 73.5kgf/mm²)에 비해 굽힘하중의 효과는 38% (94.5 kgf → 130kgf) 로 효과적임을 알 수 있었다.

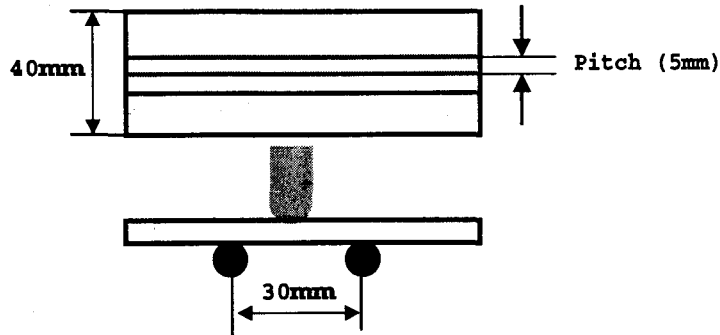


Fig. 6 굽힘시험방법

IV. 결 론

본 연구에서는 CO₂ laser를 사용하여 30kgf/mm²과 60kgf/mm²급 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) 광규섭, 자동차경제, pp. 24~29, 1997. 10. 18.
- 2) K. Tamada et al, 19th IDDRG Biennial Congress (Eger, 10~14, June 1996) p.47-54.
- 3) M. Shibata et al, SAE Paper 980550, 1998.
- 4) 北村 充ら, 自動車技術會學術講演前刷集 951 pp.97-100 (1995-5).