

자동차 범퍼빔 경량화를 위한 레이저 빔 조사 강화(I)

Laser Beam Irradiation Strengthening for Weight Reduction of Automobile Bumper Beam (I)

서정*, 이제훈*, 오상진*, 이문용**, 이규현**
Jeong Suh, Jae-Hoon Lee, Sang-Jin Oh, Moon-Yong Lee, Gyu-Hyun Lee

ABSTRACT

The CO₂ laser beam irradiation strengthening of 35kgf/mm² grade steel sheet is investigated to reduce the weight of bumper beam. The increase of tensile strength is dominated by the number of fully penetrated melting lines. The optimal laser irradiation pattern is obtained by 3-point bending test of hat-type specimens. Laser should be irradiated not only on the center specimen densely in the width direction, but also on the edge densely in the longitudinal direction. Local laser strengthening may be effective for the weight reduction of automobile bumper beam.

주요기술용어 : CO₂ laser beam irradiation(CO₂ 레이저 빔 조사), Strengthening(강화), Weight reduction (경량화), Bumper beam(범퍼빔)

1. 서론

자동차의 안전성, 주행편의성, 안락성 등 소비자의 욕구가 다양화됨에 따라 전장부품, 안전 및 편의장비의 장착으로 인해 자동차 중량이 증가하는 추세에 있다. 반면에 전세계적인 환경규제와 각국 정부의 연비규제로 차량경량화에 의한 연비개선이 중요한 과제로 부각되고 있다.^{1,2)}

일반적으로 자동차 범퍼의 구조는 범퍼커버, 충격흡수재, 범퍼빔, 차체 연결부로 구성되어 있다. 여기서, 범퍼빔은 대형 강도부품으로 범퍼빔의 경량화는 자동차 전체의 경량화에 큰 효과가 있다.³⁾ 범퍼빔 재료로서는 강판, 알루미늄, 플라

스틱이 이용되고 있으며,^{2,6)} 알루미늄은 경량화 소재로서 적합하나 강판과 동등 수준의 강도를 가지기 위해서는 다이캐스팅과 같은 고급의 가공기술이 필요하기 때문에 원가상승이 불가피하다. 따라서, 고장력강판을 사용함으로써 범퍼빔의 경량화를 추구하는 연구도 진행되고 있으므로^{3,4)} 향후, 강판 범퍼빔과 알루미늄 범퍼빔의 경쟁이 치열할 것으로 예상된다.

기존의 강판 범퍼의 구조에서 범퍼빔은 두께가 일정한 판재를 성형하여 제작하기 때문에 국부적으로 편중되는 강성요구부에는 보강재를 저항 점용점으로 부착하여 강성을 향상시키고 있다. 그러나, 국부적으로 강판의 두께를 조절하여 보강재를 제거할 수 있다면, 무게의 감소 및

* 회원, 한국기계연구원

** 회원, (주)성우하이텍 기술연구소

생산 비용의 절감이 가능해질 수 있다. 즉, 두께 또는 재질이 다른 강판을 일체화된 형태로서 용접(TWB)한 후 성형을 하는 것이 생산성 및 정밀도 향상을 위해서 유효한 방법으로 알려져 있으며,^{7,8)} 강도, 강성, 내부식성 등의 각 부분의 요구 성능에 따라 판 두께, 재질 등의 변경요구 조건에 대응할 수 있으므로 재료에 대한 제품의 비율이 증가되며, 생산공정을 줄일 수 있다.

최근에 자동차 범퍼빔의 경량화 및 원가 절감을 위하여 기존 범퍼빔의 저항 점용접 구조를 레이저 용접블랭크 구조로 대체한 연구결과가 있다.⁹⁾ 그러나 이러한 방법은 용접을 한 후 롤성형을 하기 때문에 용접부의 건전성이 요구되며, 고장력강판 사용시 정밀성형이 어려워진다.

따라서, 본 논문에서는 범퍼빔의 두께가 일정한 기존 범퍼빔에 보강재를 사용하지 않고 강도와 강성이 요구되는 부위에 레이저 조사강화를 함으로써 경량화와 강성증가를 동시에 시도하였다. 또한 실제 범퍼에 대해 정압축시험을 하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

실험에 사용된 재료는 자동차 부품업체에서 사용하는 자동차용 강판인 35kgf/mm²급 냉연강판(일명: SPRC35R)이며, P첨가 고용강화형 강판으로 두께는 1.2mm이다. 강판의 화학성분은 Table 1과 같다.

2.2 실험 장치 및 방법

레이저 빔 조사 실험을 위하여 CO₂ 레이저를 사용하였다. CO₂ 레이저 발전기는 연속 출력과이며, 정격출력 4kW의 횡여기방식(transverse flow type)으로서 빔모드는 multi-mode이다. 실험은 먼저 강판에 레이저 조사강화 기초실험을

Table 1 Chemical composition of material(wt%)

Material	Thickness	C	Si	Mn	P	S
35kgf/mm ² grade steel	1.2mm	0.023	-	0.15	0.08	0.009

하여 최적의 조사조건(선행된 연구결과^{10~11)}에 의함)을 도출한 후 hat-type 시험편에 적용하고, 최종적으로 실제 사용되고 있는 범퍼빔에 적용을 해보았다. 기초실험에서 레이저 출력은 2~2.5kW, 초점 위치는 강판 표면, 빔 조사 속도는 2.5~4m/min, 보호가스는 Ar을 사용하였으며, 보호가스의 유량은 40 l/min으로 하였다. 레이저 빔 조사선의 간격은 5mm이며, 인장시험은 각 조건별 3개 이상의 시험편의 실험결과를 평균하여 구하였다. 경도측정을 위하여 마이크로 비커스 경도계를 이용하였으며, 빔 조사부의 미세조직은 금속광학현미경과 SEM으로 관찰하였다.

굽힘 실험을 위하여 Fig. 1과 같이 hat-type 부품(bracket용)을 선정하였으며, 외부 패널에 레이저빔을 일정한 패턴으로 조사한 후 내부 패널과 저항 점용접으로 조립하여 3-point 굽힘실험(span : 120mm)을 행하였다.

Photo. 1은 hat-type 시험편을 stroke 5m/min으로 굽힘실험하는 장면을 나타내고 있다. 3-point 굽힘 시험조건으로 span은 120mm이다. 굽힘시험 장치는 Schimadzu사 Autograph를 사용하였다.

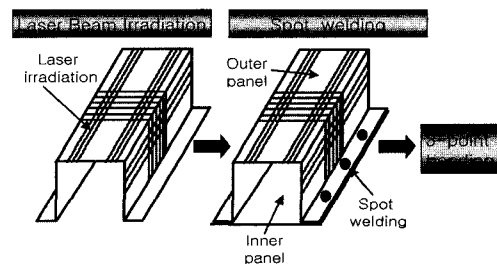


Fig. 1 3-point bending process

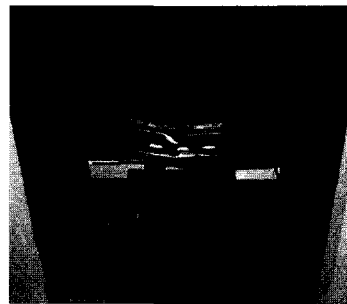


Photo. 1 3-point bending testing machine

실험결과를 토대로 실제 사용되고 있는 자동차 범퍼에 레이저 조사강화 실험을 적용하여 보았다. 사용한 부품은 RR-BPRRAIL(CTR REINF 제외)로서, 현재 자동차에 실제로 적용하고 있는 부품이다. 실험조건으로 CO₂ 레이저 출력은 2.75kW, 조사 속도는 2.5m/min이며, 보호가스는 Ar-30 l/min이다. 레이저 조사 길이는 350mm로 하였다. 조사패턴은 Fig. 2와 같이 3가지 패턴을 형성하여 비교하였으며, 각각의 패턴에 대하여 2개씩 조사하여 정압축시험을 행했다.

정압축시험장치는 U.T.M(25ton)이며, 시험조건은 Max load-20ton, Speed-50mm/sec이다. Photo. 2와 3은 사용한 레이저 장치와 레이저로 조사강화된 시험편, 그리고 정압축시험장치를 보여준다.

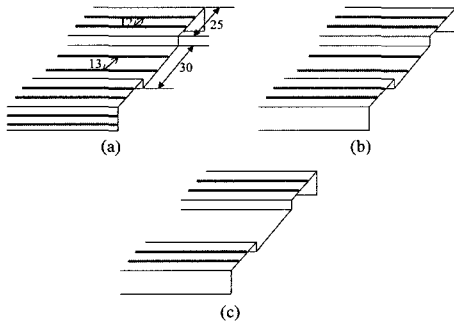


Fig. 2 Irradiation pattern type

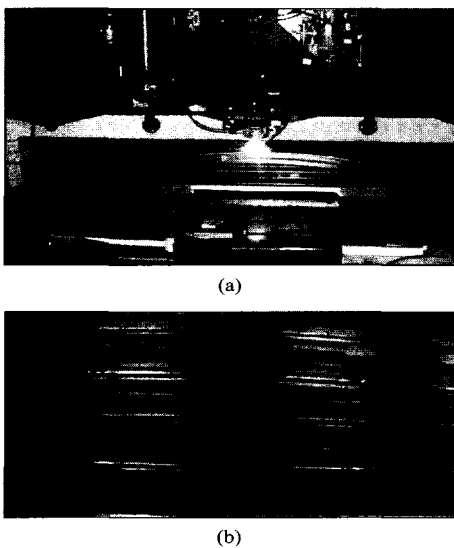


Photo. 2 CO₂ laser and specimen

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세 조직 관찰

일반적으로 레이저 표면경화법에서는 마르텐사이트(martensite) 변태 경화 조직을 형성하여 경도를 향상시키게 되나, 본 논문에 사용된 재료의 두께는 1.2mm로 박판이기 때문에 표면만을 경화키는 것보다는 용융이 되더라도 시편두께까지 용융면적을 크게 하여 강도의 향상에 목적을 두었다. 보통 극저탄소강에서는 마르텐사이트(martensite) 변태가 일어나기 어렵지만 레이저 용접은 냉각속도가 매우 빠르기 때문에 일부에서 마르텐사이트(martensite) 변태가 일어난다는 보고가 있다.¹²⁻¹⁴⁾ Photo. 4에서 보는 바와 같이 모

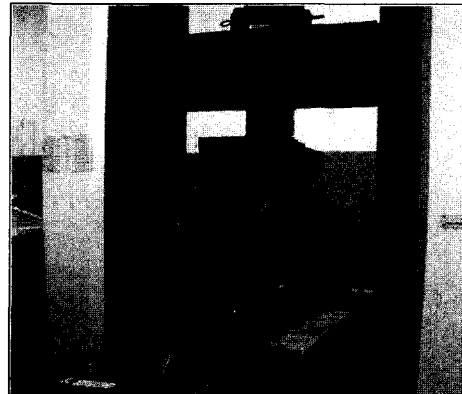


Photo. 3 Universal testing machine

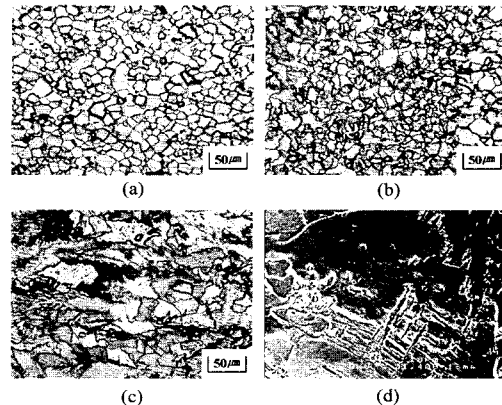


Photo. 4 Micrograph of cross-section 35kgf/mm² grade steel plate (a) base (b) HAZ (c) melting (d) SEM Microstructure of melted zone

제조적은 거의 순철에 가까운 조직을 나타내고 있고, HAZ부에서는 결정립이 미세해졌으며 용융부는 용접조직과 유사한 조직을 보여준다. Photo. 4(d)는 용융부의 SEM사진이며, 페라이트(ferrite)결정립 이의 일부에서 배나이트(bainite) 변태가 일어난 것을 관찰할 수 있다.

3.2 경도분포

Photo. 4의 각각의 단면에서의 경도값이 Fig. 3에 나타나 있다. 경도는 비드(bead) 표면에서 0.35mm깊이에서 0.2mm간격으로 측정하였다. Fig. 3의 경도분포를 살펴보면, 용입부의 경도는 모재보다 증가되었음을 알 수 있다. 이러한 경화는 레이저빔 용입시의 급속가열 급속냉각으로 인하여 용입부의 결정립이 미세화되고, 높은 경도를 갖는 상(phase)이 용입부에 형성되었음을 말해 준다. 그 외에 용입시 재료의 일부분만이 용융과 응고를 거치면서 수축과 팽창에 따른 잔류응력 또한 경도상승의 원인으로 작용할 수 있다.

완전용입된 상태로 가면 최대 경도값이 부분용입에 비해 감소함을 알 수 있다. 용입부의 최대 경도값은 부분용입의 경우 246Hv이며, 완전용입의 경우 219Hv로 나타났다. 또한, 완전용입된 강판의 모재 대비 경도 상승률은 63%($\Delta Hv=77$)임을 보여 주고 있다. 완전용입의 경우, 강판 아래까지 열적효과를 얻기 위해 빔조사속도를 감소시켰으며, 이로 인해 입열량 {레이저출력(P)}

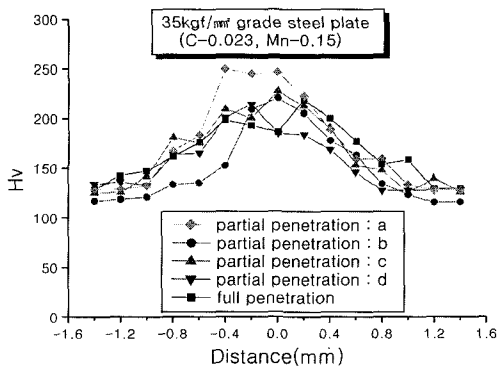


Fig. 3 Hardness distribution of partial and full penetration specimens

빔조사속도(V)} 증가에 따라 냉각효과가 떨어지게 되어 경도가 부분용입에 비해 낮아지게 됨을 알 수 있다. 또한 Fig. 2에서 용융부와 HAZ부, 그리고 모재부의 경계가 확실하지 못하나, 이는 재료의 화학성분중 열처리효과에 영향을 주는 원소인 C와 Mn의 함량이 매우 적기 때문이며, 이로 인해 용융부와 모재 사이의 온도 구배가 크지 않았기 때문이라고 할 수 있다.

3.3 인장강도

레이저를 조사한 후 강도의 증가와 더불어 취성이 증가하여 그에 따른 영향이 우려되었으나, 본 실험에서는 응력 및 취성 증가에 따른 변형 및 균열, 그리고 파괴현상은 나타나지 않았다. 이는 부품 전체를 강화한 것이 아니고 부품의 크기에 비해 매우 적은 면적을 강화하였기에 어느 정도 응력은 증가하겠지만 나머지 부분을 모재 부분이 지탱하고 있기 때문이라 생각된다.

이전의 실험 결과로부터 부분용입에 비해 완전용입의 경우가 인장강도가 크므로 완전용입 상태의 용입선의 증가에 따른 인장강도의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 가로축의 0, 1, 2, 3의 숫자는 용입선 수를 나타낸다. 용입선 수가 증가함에 따라 인장강도값이 증가함을 알 수 있다. 35kgf/mm²급 냉연강판에서 용입면적률이 6.2%일 때 ΔTS 는 2.2kgf/mm²(5.5% 상승)이고, 면적률이 12.5%일 때 ΔTS 는 4.4kgf/mm²(10.7% 상승)이고, 면적률이 18.7%일 때 ΔTS 는 7.6kgf/mm²(18.9% 상승)이었다.

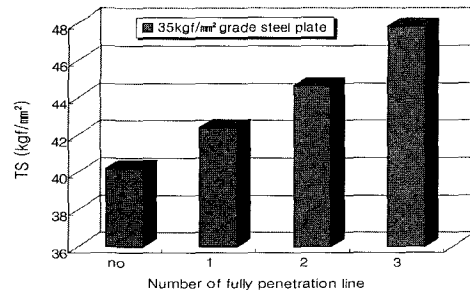


Fig. 4 Variation of tensile strength along the number of fully penetrated line

Table 2 Experimental results obtained from Fig. 6

No. of specimen	M (no pattern)	Increasing order of max. load					
		L3	L4	L2	L1	L5	L6
Max. load (kgf)	1160	1275	1297.5	1337.5	1355	1376.25	1505
Increasing rate of load(%)	0	9.9	11.85	15.3	16.8	18.64	29.7
Decreasing of load after max. load point	small	small	large	small	large	small	large

3.4 hat-type 시편의 굽힘시험

앞의 Fig. 1의 굽힘시험용 hat-type 시편제작 공정에 따라 시편의 외부 패널에 여러 가지 패턴을 형성시킨 예가 Fig. 5에 나타나 있다. hat-type 시편은 bracket 부품으로 35kgf/mm²급 냉연강판으로 되어 있다. Photo. 4의 레이저 빔 조사된 외부 패널과 내부 패널은 저항접용접으로 조립하였다.

Fig. 6은 여러 패턴 형상을 갖는 hat-type 시편을 stroke 5m/min으로 굽힘실험한 결과를 나타내고 있다. L1~L6은 Fig. 5에서의 번호를 의미하며, M은 패턴이 없는 모재(표준)시편을 나타내고 있다. Fig. 6의 결과는 Table 2에 정리되어 있다.

Fig. 6과 Table 2로부터 최대하중과 이후의 하중강하 현상을 비교해 보면, 먼저 폭방향으로 용입선을 형성한 L1과 L2를 비교해 보면, 최대하중

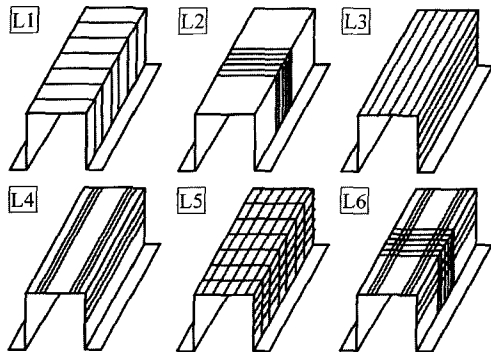


Fig. 5 Various laser irradiated patterns in out panel of hat-type specimen

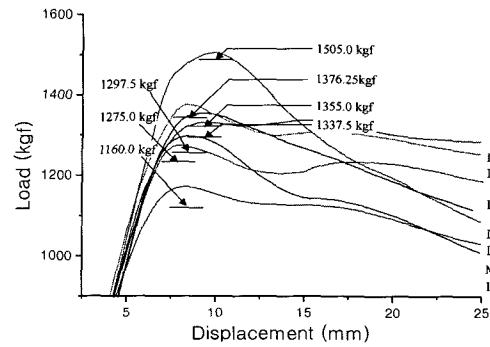


Fig. 6 Load-displacement curves of hat-type specimens with various patterns

은 균일하게 분포된 L1이 높게 나타나지만 최대 하중 이후의 하중은 급격하게 하락하고 있다. 반면 L2는 최대하중은 다소 낮으나 하중강하는 매우 서서히 일어나서 변형이 약 12mm 이상이면 오히려 하중이 L1보다 높게 된다. 그리고 길이방향으로 용입선을 형성한 L3과 L4를 비교하면 최대하중은 용입선이 hat-type 시험편의 모서리 부분에 밀집된 L4가 길이방향으로 균일하게 분포된 L3보다 높게 나타나지만, 하중강하는 L4가 급격하게 일어나서 변형이 약 12mm 이상 되면 L3보다 하중이 낮게 나타난다. 길이방향과 폭방향을 혼합한 형태의 L5(L1과 L3의 혼합)와 L6(L2와 L4의 혼합)을 비교하면 최대하중은 L6이 L5보다 훨씬 높게 나타나지만, 하중 강하가 급격히 나타나서 변형이 약 15mm 이상이 되면 오히려 L5보

다 낮게 된다. 따라서 최대 굽힘 하중은 길이방향(L3<L4), 폭방향(L2<L1), 혼합형태(L5<L6)순으로 높다는 것을 알 수 있다. 즉, L4와 L2의 혼합형태인 L6 패턴의 경우에 최대 굽힘하중을 나타내며, 패턴이 없는 M에 비해 약 30% 최대하중 증가율을 보인다. 또한, 최대하중에 도달한 후 하중강하 형태는 L4와 유사하다. 길이 방향으로의 용입선은 하중이 집중되는 시편 모서리부에 조밀하게 형성하는 것이 적절함을 알 수 있다. 따라서 L3 보다는 L4가 적절함을 알 수 있다. 폭 방향으로의 용입선은 시편 폭방향으로 조밀하게 형성하는 것이 바람직하게 생각되었으나, 실험결과 전체에 넓게 분포시키는 것이 더 좋은 결과를 나타내었다. 이는 span이 120mm로서 L2의 경우, 상대적으로 span길이가 길어서 굽힘시험시의 하부 벤딩지그의 지지 위치가 용입선부의 외부에 존재했기 때문에 모재쪽의 영향을 많이 받은 결과로 해석된다. 그러나, L2가 L4와 조합된 L6의 경우에는 최대하중 상승에 기인하며, 이때에는 하부 벤딩지그의 위치가 무관하게 되며 L4와 L2의 조합인 L6가 가장 적절한 방법임을 알 수 있다.

Table 2의 결과에서 레이저빔 조사방향을 살펴보면, 용입선이 길이방향으로 형성된 경우보다는 폭방향으로 형성된 경우에 더 높은 하중값을 나타내었고, 이들을 혼합한 경우에 가장 높은 하중값을 나타내었다. 일반적으로 충격하중 P_{max-d} 와 정적굽힘하중 P_{max-s} 의 관계는 $P_{max-d}=1.2 \times P_{max-s}$ 이므로 정적굽힘강도가 크면 충격하중에도 강하다고 볼 수 있다.

또한 3point 굽힘시험 후 최종 시편의 파단은 일어나지 않았으며, 모든 시험편은 U 또는 V자 모양의 변형이 outer panel에 나타났다. 그리고 inner panel은 약간의 변형이 발생했으나, 점용접 부분은 파단되지 않았다.

3.5 실부품으로의 적용

실제 사용하고 있는 범퍼에 레이저 조사강화를 적용해 보았다. 비교를 위하여 양산품에 대하

여도 같이 시험을 했다. Fig. 7에 시간에 따른 하중의 변화를 나타내었다. 최고하중은 양산품(4.47ton), laser2(4.38ton)로 거의 비슷하게 나타났다. 이것은 양산품에 사용된 보강재를 생략하고도 거의 비슷한 하중을 나타냄으로써 무게를 경량화하면서 강성을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

Photo. 5에 정압축시험후의 시험편을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 양산품은 범퍼

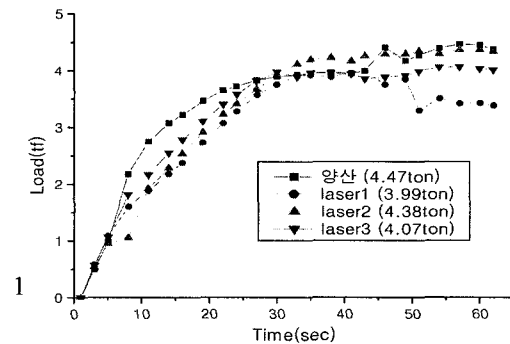


Fig. 7 Load-time curves of bump specimens with various patterns

Table 3 Experimental results obtained from press testing

구 분		Max. load (ton)	Stroke (mm)
양 산 품		4.47	54.1
LASER 강화 (CTR 삭제)	1	3.99	38.5
	2	4.38	49.2
	3	4.07	50.6

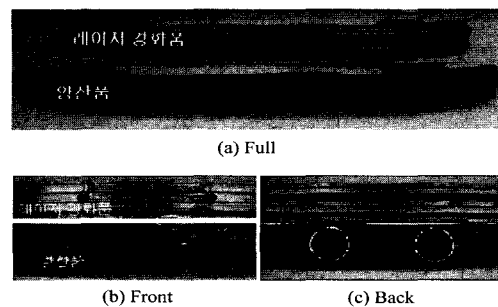


Photo. 5 Specimens after press testing

뒷면에서 꺾임현상이 발생하였다. 그러나 laser 강화품은 앞뒷면 모두에서 꺾임현상이 발생하지 않았다.

4. 결 론

본 논문에서는 CO₂ laser를 사용하여 35kgf/mm²급 자동차 강판의 강화효과를 분석하였으며, hat-type 시험편과 실제 자동차 범퍼에 레이저 조사강화 효과를 분석하였으며 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 레이저 용입의 특징인 매우 빠른 냉각속도에 의한 급냉 조직에 의해 모재보다 경도가 상승하였고, 이러한 조직을 갖는 용입면적의 증가로 인하여 즉, 완전용입선수가 증가함으로써 강화 효과가 큼을 알 수 있었다.

2) hat-type 시험편의 굽힘시험으로부터 가장 적절한 패턴을 얻을 수 있었다. 즉, 길이방향으로는 모서리 부분에 밀집된 형태(L4), 폭방향으로는 균일하게 분포된 형태(L1)가 높은 굽힘 하중 값을 나타내었고, 최고의 굽힘 하중 값을 나타낸 것은 길이방향으로는 모서리 부분에 밀집된 형태(L4)와 폭방향으로는 중심부에 밀집된 형태(L2)의 혼합상태(L6)가 가장 높은 굽힘 하중 값을 나타내었다.

3) 실제 범퍼에 레이저 조사강화 효과를 적용한 결과 레이저 강화품이 양산품과 최고 하중값이 비슷했으며, 양산품에 비하여 정압축시험 후 꺾임현상이 발생하지 않았다. 따라서 보강재를 삭제하여 경량화가 가능함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 광규섭, "자동차 경량화의 현황과 전망," 자동차경제, pp.24-29, 1997.
- 2) P. A. Allen, D. W. McCullough, S. A. Tan, "Extruded Aluminum Bumper System," SAE 940159, 1994.
- 3) T. Mori, H. Hamano, K. Suzuki, A. Yoshitake, Y. Hashimoto, K. Iwase, "Application of Ultra-high Strength Steel Sheets to Bumper Beams," NKK 技報 No.151, pp.17-21, 1995.
- 4) T. Mori, H. Hamano, K. Suzuki, "Structural Performance and Weight Reduction of Steel, Aluminum and Stampable Sheet for Bumper Beams," SAE 940757, 1994.
- 5) R. Eller, M. A. Kirsch, "Material Substitution Yields in Global Automobile Bumper System," SAE 880459, 1988.
- 6) 김명훈, 김상하, 하성규, "차량용 범퍼의 설계 및 구조해석," 한국자동차공학회 1997년도 추계학술대회 논문집, pp.1019-1024, 1997.
- 7) 서정, 한유희, 김정오, 이영신, "이중두께 강판의 CO₂ 레이저 용접 및 성형성," 대한용접학회지, Vol.14, No.1, pp.45-54, 1996.
- 8) 서정, 한유희, "자동차 산업에서의 레이저 용접," 대한용접학회지, Vol.12, No.2, pp.49-63, 1994.
- 9) 서정, 한유희, 김정오, 이문용, 이광현, 김태일, "자동차 범퍼범 경량화를 위한 레이저 용접블랭크의 적용," 자동차공학회논문집, 제7권 제2호, 1999.
- 10) 서정, 이제훈, 김정오, 오상진, 조원석, 이두환, 신철수, "자동차용 강판의 CO₂ 레이저 범 조사강화," 한국레이저가공학회지, Vol. 4, No.2, pp.21-28, 2001.
- 11) 서정, 이제훈, 김정오, 오상진, 조원석, 이두환, 신철수, 이문용, 이규현, "자동차용 35kgf/mm²급 강판의 CO₂ 레이저 강화," 대한용접학회지, Vol.20, No.1, pp.34-40, 2002.
- 12) Jong-Hyun Suh, To-Hoon Kim, Byung-Kil Yu, Kyoung-Don Lee, "A Study of Tailored Blank Welding between Mild Steel and Zn-coated Steel Sheets by CO₂ Laser Beam," Journal of Korean Society of Laser Processing(KSLP), Vol.1, No.1, pp.4-10, 1998.
- 13) Chang-Sun Hwang, To-Hoon Kim, Byung-Kil Yu, Kyoung-Don Lee, "A Study on Tailored Blank Welding between dissimilar materials and different thickness sheets by CO₂ Laser Beam," Journal of Korean Society of Laser Processing(KSLP), Vol.2, No.3, pp.42-51, 1999.
- 14) B. G. Chung, S. Y. Yoo, I. S. Park, C. H. Lee, "Effects of Shielding Gas Type on CO₂ Laser Welding," Journal of Korean Society of Laser Processing(KSLP), Vol.1, No.1, pp.30-38, 1998.