

자동차 범퍼빔 경량화를 위한 레이저 빔 조사강화(II)

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

한국기계연구원 서정, 이제훈, 오상진
(주)성우하이텍 이문용, 이규현

I. 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, 플라스틱이 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 점용접으로 부착하여 강성을 향상시키고 있다. 그러나, 국부적으로 강판의 두께를 조절하여 보강재를 제거할 수 있다면, 무게의 감소 및 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 요구성능에 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, 범퍼빔의 두께가 일정한 기존 범퍼빔에 보강재를 사용하지 않고 강도와 강성이 요구되는 부위에 레이저 조사강화를 함으로써 경량화와 강성증가를 동시에 시도한 연구가 발표된바 있다.¹⁰⁻¹³⁾ 이들 연구에서는 범퍼빔의 강도를 국부적으로 상승시키기 위한 방법으로 재료표면에 집속된 빔을 이용하여 시편두께 전체를 용융하여 강화시켰다. 이들의 결과에서도 알 수 있듯이 변태면적이 강화에 매우 중요한 변수이나, 집속된 빔을 이용하기 때문에 변태면적이 비교적 적어 원하는 강도를 얻기 위해서 용입선을 3줄 이상 만들어야 했다. 용입선수에 따른 공정이 늘어는 단점이 있다. 본 논문에서는 레이저 조사강화법을 실물에 적용시켰으며, 1줄의 용입선으로도 변태면적을 넓히기 위하여 레이저빔을 defocusing하여 빔의 크기를 확대하여 재료를 강화하고자 하였다.

II. 실험방법

2.1 실험재료

실험에 사용된 재료는 자동차 부품업체에서 사용하는 자동차용 강판인 35kgf/mm²급 냉연강판과 60kgf/mm²급 냉연 고장력 강판으로 강판의 화학성분은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical composition of material(wt%)

material	thickness	C	Si	Mn	P	S
35kgf/mm ² grade steel	1.2 mm	0.023	-	0.15	0.08	0.009
60kgf/mm ² grade steel	1.4 mm	0.0827	0.0144	1.8423	0.0130	0.0037

2.2 실험 장치 및 방법

레이저 빔 조사 실험을 위하여 CO₂ 레이저를 사용하였다. CO₂ 레이저 발진기는 연속출력파(CW)이며, 정격출력 4kW의 횡여기방식(transverse flow type)으로서 빔모드는 multi-mode이다. 렌즈는 초점거리가 200mm인 것을 사용하였다.

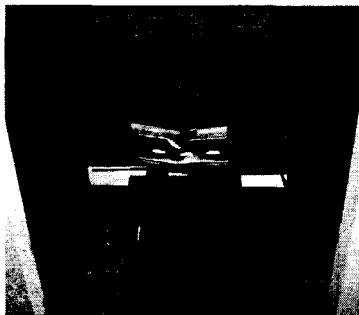


Photo 1 3-point bending testing machine

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

선행된 연구의 실험결과를 토대로 실제 사용되고 있는 자동차 범퍼에 레이저 조사강화 실험을 적용하여 보았다. 사용한 부품은 RR-BPRRAIL (CTR REINF제외, 35kgf/mm²급 냉연강판)로서, 현재 자동차에 실제로 적용하고 있는 부품이다. 실험조건으로 CO₂ 레이저 출력은 2.75kW, 조사 속도는 2.5m/min이며, 보호가스는 Ar-30ℓ/min이다. 레이저 조사 길이는 350mm로 하였다. 조사패턴은 Fig. 1과 같이 3가지 패턴을 형성하여 비교하였으며, 각각의 패턴에 대하여 2개씩 조사하여 정압축시험을 행했다.

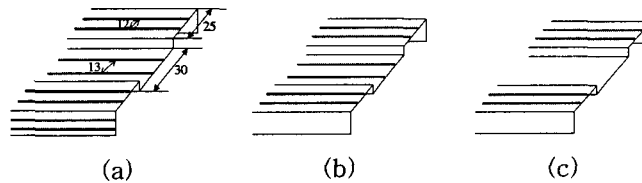


Fig. 1 Irradiation pattern type

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



Photo 2 CO₂ laser and specimens

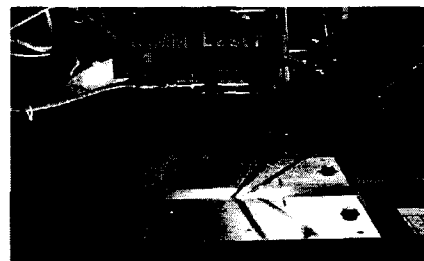


Photo 3 Experimental arrangement for CO₂ laser conduction bead on plate welding

위의 실험까지는 용접헤드를 이용한 focused beam으로 조사강화를 하였다. 이후의 실험은 변태면적을 넓히기 위한 실험하였다. 이는 focused beam의 변태면적이 적어 여러 줄의 용입선을 형성하여 작업

공정이 길어지므로 용입선수를 줄이고 변태면적을 넓히고자 하였다.

실험은 먼저 재료에 변태면적을 넓히기 위하여 빔을 defocusing (spot size = 약 10×10mm) 하여 조사를 하였다. 그러나 CO₂ laser 빔의 재료에 대한 흡수율이 매우 낮음으로 인하여 1.0m/min 이상의 속도에선 재료와 거의 반응을 하지 않아서 레이저빔의 흡수율을 높이기 위한 방법으로 시편표면에 에어졸 블랙 페인트로 페인팅 한 후 건조하여 사용하였다. 레이저 출력은 3.1과 3.5kW로 변화를 주었고, 이동 속도는 1.0~1.6m/min으로 변화를 주었다. 레이저빔의 초점은 시편으로부터 약 -50mm defocusing 하여 레이저빔의 크기를 넓혔다. 또한 용입선 형성 후에 재료의 냉각효과를 돕기 위하여 액화 CO₂ 가스(-78℃)와 건조된 공기를 불어 주었다. CO₂ 가스(1.5kgf/cm²~2.8kgf/cm²)와 건조된 공기는 지름이 10mm인 동파이프에 의해 용접후면에 불어주었다. Photo 4는 용접헤드의 defocusing beam을 이용하여 변태면적 확대 실험을 보여주고 있다.

강화실험의 결과를 알아보기 위하여 인장시험과 경도시험을 하였고, 모재 및 용입부의 미세조직을 관찰하였다. 그리고 자동차용 부품에 적용하므로 충격시험을 하여야 하나, 시험편이 판상으로 충격시험이 용이하지 않아 굽힘시험으로 대체하였다. 인장시험은 각 조건별 3개 이상의 시험편의 실험결과를 평균하여 구하였다. 경도측정은 마이크로 비커스 경도계를 이용하였으며, 빔 조사부의 미세조직은 금속광학현미경으로 관찰하였다.

focusing beam과 defocusing beam으로 강화시켜 각각의 변태된 면적을 비교하여 강화효과를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 실부품으로의 적용

선행된 실험의 결과를 토대로 하여 실제 사용하고 있는 범퍼에 레이저 조사강화를 적용해 보았다. 비교를 위하여 양산품에 대하여도 같이 시험을 했다. Fig. 2에 시간에 따른 하중의 변화를 나타내었다. 최고 하중은 양산품(4.47ton), laser2(4.38ton)로 거의 비슷하게 나타났다. 이것은 양산품에 사용된 보강재를 생략하고도 거의 비슷한 하중을 나타냄으로써 무게를 경량화 하면서 강성을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

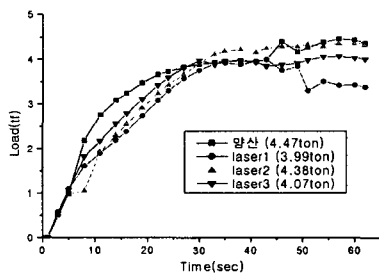


Fig. 2 Load-time curves of bump specimens with various patterns

Table 2 Experimental results obtained from press testing

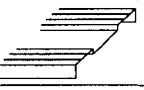

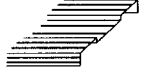
구 분		Max. load (ton)	Stroke (mm)
양산품		4.47	54.1
LASER 강화 (CTR 삭제)	1 	3.99	38.5
	2 	4.38	49.2
	3 	4.07	50.6

Photo 5에 정압축시험후의 시험편을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 양산품은 범퍼 뒷면에서 꺾임현상이 발생하였다. 그러나 laser 강화품은 앞뒷면 모두에서 꺾임현상이 발생하지 않았다.

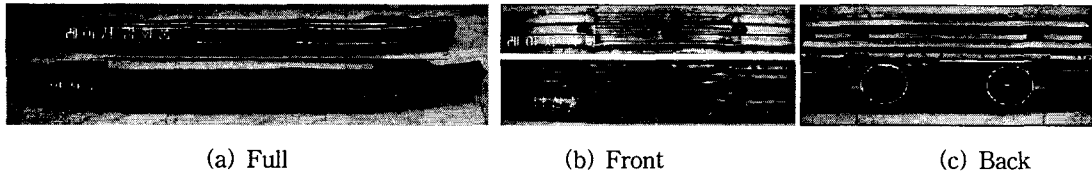


Photo 5 Specimens after press testing

3.2 defocusing beam을 이용한 강화

변태폭은 Photo 6에서 보는 바와 같이 focusing beam 보다는 defocusing beam이 더 큼을 알 수 있다. focusing beam의 변태 폭은 약 2.5mm이고 defocusing beam은 약 8.1~10.4mm이다. 그러므로 변태폭은 defocusing beam을 사용할 때 약 3~4배 증가한 것을 알 수 있다.

열영향부에 해당되는 부분은 결정립이 미세화되었고, 용융변태된 부분의 조직은 대부분이 미세 페라이트로 되어 있으며, 일부에 마르텐사이트 변태가 일어난 것으로 보인다.

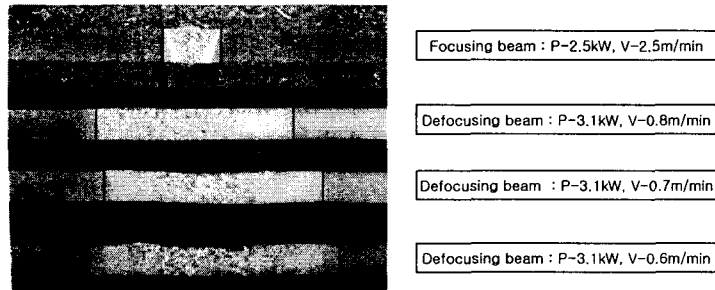


Photo 6 Comparative of transformed width

Fig. 4의 (a)는 집속된 레이저빔을, (b)는 defocusing beam이용한 경우의 경도분포이다. (a)의 최고 경도값은 397.3Hv이며 용융부의 경도값도 평균 350Hv 이상이다. 반면 (b)의 최고 경도값은 279.1Hv이며 용융부의 평균 경도값은 250Hv 이상이다. (b)에서 알 수 있듯이 같은 출력과 속도에서 탄산가스로 냉각한 것보다 건조된 공기로 냉각한 경우에 전체적으로 경도값이 높게 나타났다. 이것은 건조된 공기의 경우가 탄산가스보다 더 큰 압력으로 시편을 냉각했기 때문으로 사료된다. (c)는 (b)의 경우에 있어서 시편의 용융부 중앙부를 수직으로 0.1mm씩 측정된 것이다. 여기서도 알 수 있듯이 탄산가스로 냉각한 경우에는 시편의 윗부분에서 경도가 높았다가 밑면으로 갈수록 경도가 하락함을 알 수 있다. 반면 강한 압력의 건조된 공기로 냉각한 경우에는 시편 윗부분보다는 아랫부분으로 갈수록 오히려 약간 상승하였으며 시편 두께방향으로 경도값이 거의 일정함을 알 수 있다.

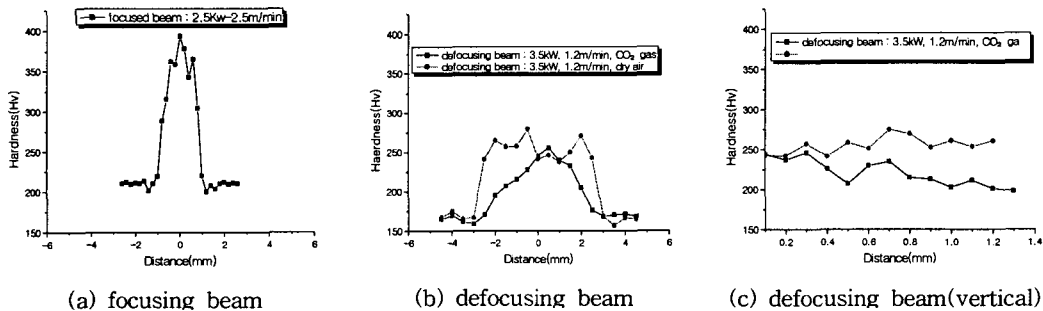


Fig. 4 Hardness distribution of focusing beam and defocusing beam specimens

Fig. 5 (a)에서 보는 바와 같이 속도가 빠를수록 인장강도는 감소한다. 이는 속도가 빨라지므로 인해 열영양이 재료에 충분히 전달되지 못함에 기인한 것으로 사료된다. (b)는 냉각가스로 탄산가스를 사용하면서 가스압력을 변화시켰을 때 경도 변화이다. 속도가 1.0과 1.2m/min일 때, 탄산가스의 압력

이 1.5kgf/cm²일 때 보다 2.6과 2.8kgf/cm² 일 때가 인장강도가 높다. (c)는 초점위치에 따른 경도변화를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 -25mm일 때 보다 -50mm일 때가 인장강도가 높다. 이는 다른 조건이 일정할 때 레이저빔이 재료와 반응하는 면적이 클수록 재료의 변태 면적이 커지므로 인장강도가 높게 나타나는 것으로 추정된다. (d)는 집속빔과 defocusing beam의 경우를 비교한 것이다. 완전용입선 1줄의 경우 인장강도 상승률이 6.1%, 2줄인 경우 11.1%, 3줄인 경우 15.9%인데 defocusing beam 1줄의 경우 12.9%이다.

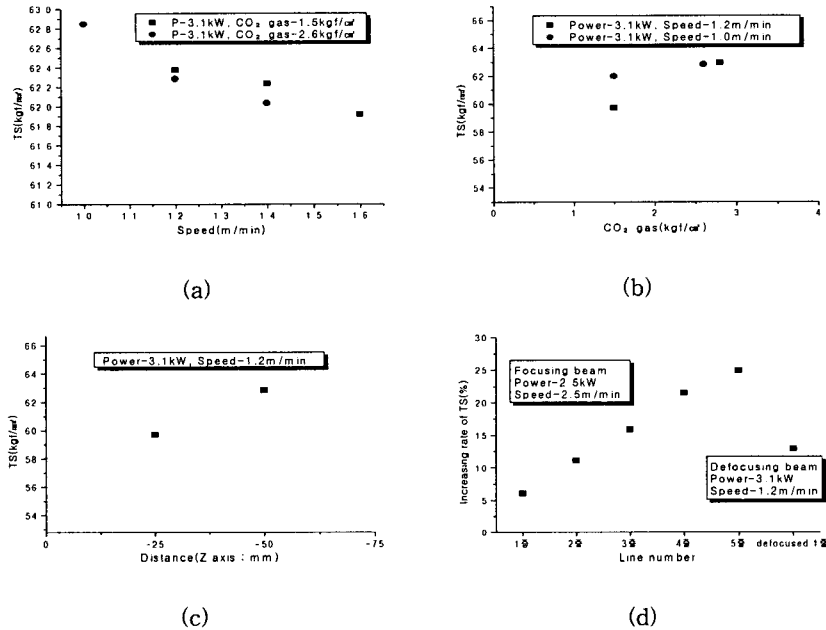


Fig. 5 Comparative of tensile strength

레이저 조사 강화부품을 자동차에 적용하기 위해서는 충격시험을 해야 하나, 강판의 경우 불가능하여 정적 최대굽힘강도 P_{max-s}를 측정하였다.(일반적으로 충격하중 P_{max-d} = 1.2 × P_{max-s}의 관계를 가정) 인장강도 상승률 13% (60kgf/mm² → 67.72kgf/mm²)에 비해 굽힘하중의 효과는 37.6% (94.5kgf → 130kgf)로 효과적임을 알 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 CO₂ laser를 사용하여 35kgf/mm²급 냉연강판과 60kgf/mm²급 냉연 고장력 강판의 focusing beam과 defocusing빔에 대한 강화효과를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 실제 범퍼(35kgf/mm²급 냉연강판)에 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.

2) 60kgf/mm²급 냉연 고장력 강판의 변태면적을 넓히기 위해서 레이저빔을 defocusing 하여 집속빔의 변태면적에 약 3~4배의 변태면적을 확보할 수 있었다. 이때 레이저빔의 흡수율을 증가시키기 위하여 재료의 표면에 블랙 페인팅 처리를 하였다.

3) 경도는 강한 압력의 건조된 공기를 사용한 경우에 전체적인 경도가 상승하였고 시편두께 방향으로도 경도값이 균일함을 알았다. 인장강도는 속도가 느릴수록, 냉각가스의 압력이 높을수록 빔폭이 넓을수록 크게 나타났다. 굽힘하중의 효과는 약 38%로 인장강도 상승률(약 13%)에 비해 효과적이었다.

V. 향후 연구 계획

- 1) 다이오드 레이저를 사용하여 조사강화 실험-CO₂ 레이저 조사강화 실험과 비교 분석.
(CO₂ 레이저의 문제점인 빔 흡수율을 높일수 있다.)
- 2) 실제 범퍼에 최적의 조사강화 조건으로 변태강화-굽힘실험 및 대차에 적용하여 충격실험

VI. 참고문헌

- 1) 광규섭, "자동차 경량화의 현황과 전망," 자동차경제 pp. 24-29. 1997.10.28
- 2) P.A. Allen, D.W. McCullough and S.A. Tan, "Extruded Aluminum Bumper System," SAE, 940159, 1994.
- 3) T. Mori, H. Hamano, K. Suzuki, A. Yoshitake, Y. Hashimoto and 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 and K. Suzuki, "Structural Performance and Weight Reduction of Steel, Aluminum and Stampable Sheet for Bumper Beams," SAE, 940757, 1994.
- 5) R. Eller and M. A. Kirsch, "Material Substitution Trends 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, "이종두께 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 범퍼빔 경량화를 위한 레이저 용접 블랭크의 적용" 자동차공학회논문집, 제7권 제2호, 1999.
- 10) 서정, 이제훈, 김정오, 오상진, 조원석, 이두환, 신철수, 이문용, 이규현, "자동차용 35kgf/mm²급 강판의 레이저 강화" 대한용접학회지, Vol.20, No.1, pp. 34-40, 2002.
- 11) 서정, 이제훈, 김정오, 오상진, 조원석, 이두환, 신철수 "자동차용 강판의 CO₂ 레이저 빔 조사 강화" 한국레이저가공학회지 Vol.4, No.2, pp. 21-28, 2001.
- 12) 서정, 이제훈, 김정오, 오상진, 조원석, 이두환, 신철수, "자동차용 강판의 레이저 빔 조사 강화" 한국자동차공학회 2001년도 추계학술대회 논문집 pp.948-954
- 13) 서정, 이제훈, 오상진, 이문용, 이규현, "자동차 범퍼빔 경량화를 위한 레이저빔 조사 강화 (I)" 한국자동차공학회논문집 Vol.10, No.5, pp. 228-234, 2002.