

Nd:YAG Laser을 이용한 테일러 튜브제조 및 범퍼빔 개발

오상진*, 이문용*, 김종섭*, 정태현*, 서 정**, 정동원***

* (주)성우하이텍 기술연구소, ** 한국기계연구원 레이저응용시스템그룹,

*** 제주대학교 기계·에너지·생산공학부, 첨단기술연구소

요약

오늘날 오토메이커는 차체 경량화, 제작비용의 절감, 차체 안전도강화 측면에서 보다 향상된 기술수준을 확보하기 위하여 새로운 자동차 소재 및 가공기술 개발에 집중적인 노력을 기울이고 있다. 이러한 기술의 하나로 최근 자동차산업에서 주목되는 액압성형기술은 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있으며, 샤시부품 및 차체부품에 점차 확대 적용되고 있는 추세이다. 따라서, 액압성형을 이용한 자동차 차체 부품인 범퍼빔을 제조하기 위한 조관 및 용접기술과 액압성형 범퍼빔 개발 및 대차 충돌시험을 하였다. 본 연구에서는 액압성형과 관련된 주변 기술들을 동시에 진행하기 위하여 액압성형 부품을 실차에 맞도록 설계하고, 충돌해석 등을 통하여 튜브의 두께를 결정하였으며, 기존 양산중인 범퍼빔을 기본 모델로 하여 이와 비교해 보았을 때, 구조성능이 동등이상이며, 경량화된 범퍼빔을 개발목표로 하여 레이저용접 냉간고장력 튜브를 개발하였다.

1. 서론

오늘날 전세계 자동차 관련 회사는 차체 경량화, 제작비용의 절감, 차체 안전도강화 측면에서 보다 향상된 기술수준을 확보하기 위하여 새로운 자동차 소재 및 가공기술 개발에 집중적인 노력을 기울이고 있다. 이러한 기술의 하나로 최근 자동차산업에서 주목되는 액압성형기술은 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있으며, 샤시부품 및 차체부품에 점차 확대 적용되고 있는 추세이다. 현재 일반적인 자동차 차체부품은 2.3mm이하의 냉간압연 고장력강판을 이용한 프레스성형, 롤포밍 등의 성형공법이 적용되고 있지만 향후에는 액압성형기술이 확대 적용될 전망이다. 그러나 액압성형기술을 적용하기 위한 원소재인 튜브는 열간압연 소재로 가공되어 상용시판되고 있지만, 차체부품에 필요한 박육대경의 냉간 고장력 튜브는 개발이 시급하게 요구되고 있다. 따라서 액압성형을 이용한 자동차 차체 부품인 범퍼빔을 제조하기 위한 조관 및 용접기술과 액압

성형 범퍼빔 개발 및 대차 충돌시험을 하였다. 본 연구에서는 액압성형과 관련된 주변 기술들을 동시에 진행하기 위하여 액압성형 부품을 실차에 맞도록 설계하고, 충돌해석 등을 통하여 튜브의 두께를 결정하였으며, 기존 양산중인 범퍼빔을 기본 모델로 하여 이와 비교해 보았을 때, 구조성능이 동등 이상이며, 경량화된 범퍼빔을 개발 목표로 하여 레이저용접 냉간고장력 튜브를 개발하였다.

II. 레이저 용접 테일러 튜브 제조

2.1 테일러 블랭크 제조

테일러 블랭크 제조에 있어서 블랭크 배열은 1.4t+1.6t+1.4t로 하였으며 튜브의 직경은 $\Phi 105.4$ 로 하여 블랭크를 제작하였으며 Nd:YAG 레이저 용접을 하였다. 용접조건은 출력 3.5kW, 속도 4.8m/min 초점은 표면으로 하였으며 보호 가스는 사용하지 않았다. 사용된 블랭크 재질은 60kgf/mm² 냉간고장력 강판으로 강판의 화학성분 및 기계적 성질을

Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of material(wt%)

Material	Thickness	C	Si	Mn	P	S
60kgf/mm ² 급	1.4mm 1.6mm	0.08	0.47	1.42	0.02	0.008

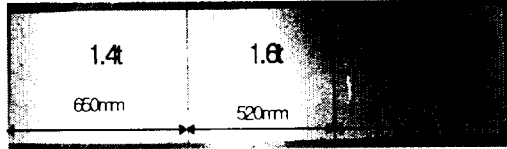


Fig. 1. Blank for tailor tube welded for Nd:YAG leisure.

2.2 튜브 성형 방법

기존의 일반적인 튜브제조공정인 ERW공정으로 는 제작이 불가능한 고장력 박육대경의 튜브개발에 필요한 기초연구로써, 60kgf/mm² 고장력강을 다단 롤포밍, 3롤 밴딩 성형공법에 의한 성형연구를 수행하였고, 2롤 밴딩 성형공법을 부분 적용하여 다 단 롤포밍 및 3롤 밴딩과 비교하였다. (두께: 1.4mm, 직경: 105.4mm, 길이: 1.795mm)

Fig. 2에서는 다단 롤포밍 성형장치에서는 튜브의 완벽한 정성형을 위하여 성형 롤간의 성형 플로 우(flow)를 검토하여 연신을 소모를 최소화하면서 edge면을 완벽하게 성형하기 위한 연구를 수행하였 다. 먼저 edge면을 튜브 형상 이상으로 성형한 후 성형 플로우에 따라 중앙부와는 반대방향으로 퍼지 면서 튜브형상을 완성하도록 하였다.



Fig. 2. Multistage role correction of forming device.

Fig. 3에서는 3-Roll Tube Form'g M/C는 stretch coil을 이용하여 edge면의 정성형을 확보하였으며

테일러 블랭크이므로 각각의 블랭크에 다른 하중이 전달되도록 stretch coil을 세구간으로 분할하여 제 작하였다. 본 장비는 stretch coil의 장력과 상부롤 의 하중을 조절함으로써 $\phi 75 \sim \phi 110$ 까지 제작이 가 능하다. stretch coil의 재질을 변경하면 60kgf/mm²급 이상의 튜브 제조도 가능할 것으로 판단된다.



Fig. 3. 3-Roll Tube Form'g M/C.

Fig. 4에서의 그림 Form'g M/C는 stretch coil을 이용하여 edge면의 정성형을 확보하였으며 테일러 블랭크이므로 각각의 블랭크에 다른 하중이 전달되 도록 stretch coil을 세구간으로 분할하여 제작하였 다. 본 장비는 stretch coil의 장력과 상부롤의 하중 을 조절함으로써 $\phi 75 \sim \phi 110$ 까지 제작이 가능하다. stretch coil의 재질을 변경하면 60kgf/mm²급 이상의 튜브 제조도 가능할 것으로 판단된다.



Fig. 4. Tailor tube that is court official by 3-Roll Tube Form'g M/C.

2.3 테일러 튜브 레이저 용접

레이저용접에 사용된 Nd:YAG 레이저 발전기는 연속 출력파이며, 정격출력 4KW이며 빔은 광파이버 로 전송되고 용접헤드는 로봇에 장착되어 로봇에 의 해 용접을 시행하였다. 테일러 튜브 용접조건은 레 이저 출력은 4KW, 초점 위치는 튜브 표면, 용접 속도는 3.4m/min, 보호가스는 사용하지 않았다. 테일러 튜브 용접 지그는 $\phi 105.4$ mm 전용지그를 사용하였으며 튜브가 이송하고 용접헤드가 고정되는 타입을 사

용하였다. 테일러블랭크 용접부와 테일러 튜브 용접부 모두 용접부에는 결합이 발생하지 않았으며 스페터도 발생하지 않아 미려한 용접 비드를 얻을 수 있었다. Fig. 5는 테일러 튜브의 용접하는 그림이다.

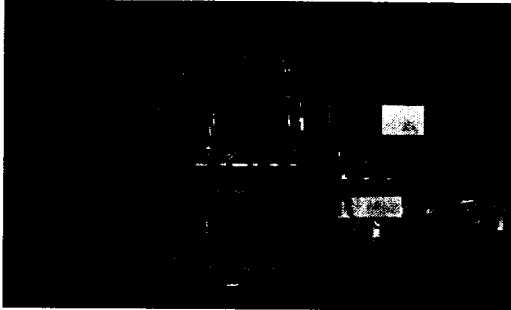


Fig. 5. Tailor tube welding scene.

III. 일체화성형용 범퍼빔 개발

3.1 테일러 튜브 범퍼빔 설계

충돌해석을 통하여 충돌성능을 발휘할 수 있도록 범퍼빔의 단면과 형상 그리고 테일러블랭크의 두께를 고려하여 범퍼빔을 설계하였다. Fig. 6에서는 중앙부위를 직선화하여 충돌 시 충돌에너지가 국부적으로 집중되는 것을 방지하였으며, 범퍼빔의 무게는 5.2kg으로 기존 범퍼빔보다 경량화시켰다.

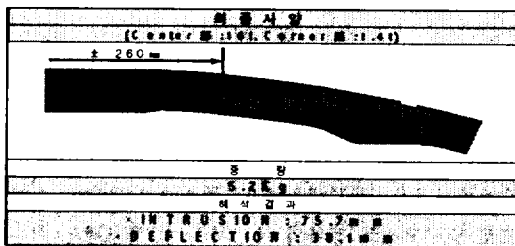


Fig. 6. Bumper beam for collision analysis.

3.2 테일러 튜브의 일체화 성형

일체화 성형에 사용된 장비는 2500ton 유압프레스이며 테일러 튜브의 일체화성형을 위하여 전용금형을 Fig. 7과 같이 제작하였다. Fig. 8은 펀치를 보여주고 있다. 성형조건은 금형 내에 테일러 튜브를 삽입한 후 펀치로 실링한 다음 초기내압을 100bar

로 유지하고 상부금형을 하강시켜 하부금형과 결합시키고 눈금압력을 700bar까지 올려서 성형을 하였다. 성형결과는 모재의 연신한계로 인하여 모재부가 파단되는 경우와 레이저 용접부에서 파단되는 경우, 그리고 양호하게 성형이 된 경우로 나뉘었다. 먼저 용접부 파단의 경우에는 용접이 불량인 튜브를 재

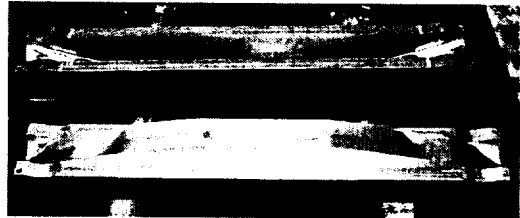


Fig. 7. Manufactured all correction of forming metallic pattern.

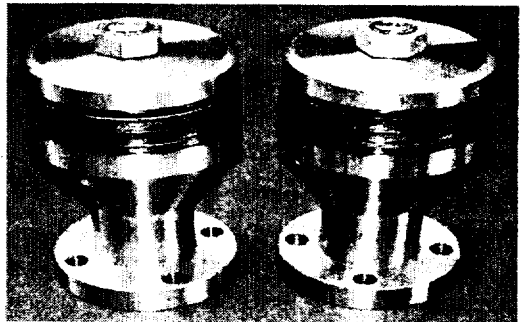


Fig. 8. Metallic pattern punch.



Fig. 9. Unification correction of forming bumper beam.

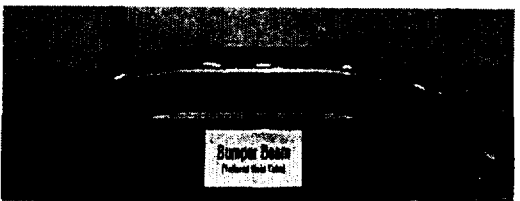


Fig. 10. Unification correction of forming tailor bumper beam.

용접한 경우에 파단이 일어났고, 모재에서 파단이 발생한 것은 같은 모재라도 국부적으로 결합이 있는 곳 또는 설계상 r값이 작은 곳에서 파단이 일어난 것으로 판단된다. 완성된 범퍼빔의 중량은 5.0kg으로 경량화가 10.7%이루어 졌다. Fig. 9, 10에서와 같은 결과들이 나왔다.

IV. 범퍼빔 충돌시험

4.1 대차 충돌시험(Pendulum Test)

개발한 범퍼빔의 충돌능력이 충돌해석결과를 만족하는지 확인하기 위하여 대차 충돌시험을 실시하였다. 충돌시험 조건은 대차중량 : 1.360kg, 충격높이 : 20, 충돌속도 : 5.18MPH이다. 시험결과 center pendulum 시험 후 범퍼빔의 중앙부에 과도한 접힘 현상이 발생하였다. offset 시험 후 접힘 현상이 더욱 심해졌으며 conner 시험 후 stay부가 함몰되었다. 그 결과 INTRUSION은 89mm로 법규값(INT:80mm)과 충돌해석값(INT:75.7mm) 보다 높게 나타났으며, DEFLECTION은 54mm로 법규는 만족하나 충돌해석결과보다는 높게 나타났다(DEF:100mm<38.1mm). 이 같은 결과를 토대로 범퍼빔의 충돌성능을 만족시키기 위해서는 튜브의 강성증가 및 단면구조의 변화가 요구된다고 사료된다. 따라서 60kgf/mm급 1.6t의 소재에서 80kgf/mm급 1.8t의 소재로 강성과 두께를 증가시킨 테일러튜브를 제작 중에 있으며 또한 제작된 80kgf/mm급 일체화성형 테일러 범퍼빔의 충돌

시험을 계획하고 있다. Fig. 11은 테일러 범퍼빔의 충돌시험을 하기 위한 실험장치이다.

V. 결론

본 연구에서는 자동차 차체 부품인 범퍼빔을 일체화 성형하여 경량화 시키고자 노력하였으며 그 결과 테일러 블랭크를 Nd:YAG 레이저와 로봇을 이용하여 용접하였고, 튜브의 에지면 정성형을 위해 stretch coil을 이용한 3roll tube forming M/C을 이용하여 조판을 하여 Nd:YAG 레이저와 로봇을 이용하여 용접한 테일러 튜브를 개발하였다. 용접조건은 출력 3.5~4.0kW, 용접속도는 3.4~4.8m/min, 초점은 강판 및 튜브의 표면에 유지하였고 보호가스는 사용하지 않았다.

일체성형용 전용 금형을 제작하고 2500ton의 유압프레스를 이용하여 700bar의 압력으로 테일러 튜브를 성형하였으며 개발된 테일러 범퍼빔의 충돌시험을 실시하였다. 그 결과 INTRUSION과 DEFLECTION은 법규와 충돌해석 값을 벗어났다. 이는 범퍼빔의 경우 길이방향의 수직방향을 충돌시험을 함으로 강성, 두께를 증가시키고 내면의 단면형상을 보완시킬 필요가 있음을 알았다. 현재 80kgf/mm급 테일러 튜브의 개발을 진행중이며 향후 80kgf/mm급 일체화성형 테일러 범퍼빔 개발 및 충돌시험을 계획하고 있다.

후 기

본 연구는 (주)성우하이텍 기술연구소와 한국기계연구원 레이저용융시스템그룹에서 21C 프론티어 연구개발사업인 "차세대소재성형기술개발사업"의 일환으로 냉연고장력 강판의 레이저 용접 튜브제조 기술 개발 및 일체화 성형부품을 개발하고 있으며, 본 논문의 내용은 그 동안 연구를 통하여 확보한 연구결과를 정리한 것이다.

참고문헌

박관흠, 조홍수(2000), "Hydroforming Intensive 고

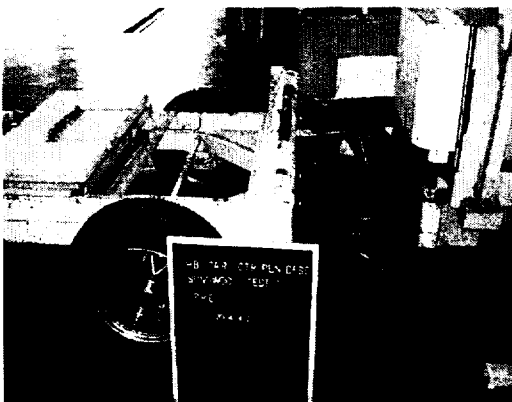


Fig. 11. pendulum test.

- 안전 초경량 철강차체”, 제9회 G7 차세대 자동차 기술논문집, pp.233-241.
- 허승진, 정영섭(2000), “초경량 철강차체의 전후방 충돌 에너지 흡수부재 최적화 설계”, 제7회 G7 차세대 자동차기술논문집, pp.361-366.
- 김영석외3(2000), “관재 액압 성형성 평가기술개발 II”, 제9회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.242-257.
- K. Ishihara, K. Kubota(1997), “Tailored blank welding of vibration damping steel”.Proceedings IBEC'97, pp.92-96.
- 강혁, 김준수(2000), “Aluminum Space Frame 적용 초경량 차체 개발”, 제7회 G7 차세대자동차 기술논문집, pp.367-373.
- J.H.Park, T.H.Kim(1999), “Tailored blank welding between low carbon steel sheet and STS 304 stainless steel by CO₂ laser beam”, Metals and materials. Vol. 5, No. 1, pp.55-62
- Brad Kinsey, Zhihong Liu, and Jian Cao(1999), “New Apparatus and Method for Forming Tailor Welded Blanks. SAE.
- J.H. Suh, T.H.Kim, B.K.Yu, K.D.Lee(1998), “A study of tailored blank welding between mild steel sheet and Zn-coated steel sheet by CO₂ laser beam” Metals and materials. Vol. 4, No. 2, pp. 157-163.
- Brad Kinsey, Nan Song, and Jian Cao(1999), “Analysis of Clamping Mechanism for Tailor Welded Blank Forming. SAE.
- 허승진외 3(2000), “알루미늄 초경량차체의 충격에너지 흡수부재 설계 및 해석(II)”, 제8회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.295-302.
- LSTC, LS-DYNA(1999), Keyword User's Manual.
- Tomas Forsman(2001), “Laser Welding of Tailored Blanks” ICALEO.
- M. Ono, K. Nakada, and S. Kosuge(1992), “An Investigation on CO₂ Laser-Induced Plasma. 日本溶接學會 論文集, Vol. 10, No. 2 pp.239-245.

Development of Tailor Tube and Bumper Beam by Nd:YAG Laser

Sang-Jin Oh*, Moon-Yong Lee*, Jong-Sub Kim*,
Tae-Hyun Jung*, Jung Seo**, Dong-Won Jung***

**Technical Institute Sung Woo Hitech*

***Korea Institute of Machinery & Materials, Laser Application System Group*

****Faculty of Mechanical, Energy & Production eng. Research Institute of Advanced Technology,
Cheju Nat'l Univ.*

Abstract. Today auto-makers are curtailment for auto-body weight-reduction, production cost, is inclining intensive effort in new car site and processing skill development to secure skill level that improve more than skill theretofore in side auto-body stability strengthening. Hydro-forming technology observed in automobile industry the latest by one of these skill is trend that research and development are gone abuzz, and are expanding gradually to chassis parts and auto-body parts. Therefore, tested tube mill and welding skill and Hydro-forming technology to developed bumper beam and disparity collision to make bumper beam that is auto-body parts that use Hydro-forming technology. This is paper, Designing to meet Hydro-forming parts to actuality dimension to progress surrounding skills involved with Hydro-forming simultaneously, Deciding thickness of tube through collision analysis et..., structure performances more than equality and do weight-reduction bumper inserting a piece of cloth to make fit tighter by development target and developed laser welding chill stomach hardship tension tube when compared with this because do bumper beam by basis model in existing mass production.

Key Words : Auto-body weight-reduction(차체 경량화), Hydro-forming technology(액압성형기술), bumper beam(범퍼빔)