

자동차 범퍼빔 최적설계와 재료기술의 개발

이 상 제 · 정 동 원*

성우하이텍 기술연구소

*제주대학교 기계에너지생산공학부

Optimal Design for an Automobile Bumper beam and the Development for Material Technology

Sang-Je Lee and Dong-Won Jung*

Technical Institute, Sungwoo Hitech Co., Ltd.

**Faculty of Mechanical, Energy and Production Engineering, Cheju National University.*

Jeju-Do, 690-756, Korea

It is to be classified into friendly environment and safety problems, as a main technology development of the recent automotive industry. As these tendency, lots of automobile companies focus on a reduction of fuel expenses and strengthen of crash safety using high strength steel. In this study advanced technologies such as tailored blanks, aluminum extrusion and high strength steel forming applied to bumper beam will be described. As a result of impact analysis and actual impact test, a beam performance and a possibility for the mass production will be discussed.

Key words : tailored blanks, high strength steel, intrusion, deflection

서 론

오늘날 자동차관련 업계의 주요 관심사항은 환경친화성 문제와 차량 충돌안전 문제이다. 이를 위한 각 업체의 노력은 대체 재질의 개발과 새로운 차체 제작기술 및 조립기술을 개발하는데 집중되고 있다. 외국 선진 자동차업체 뿐만 아니라 국내에서도 차세대 자동차를 겨냥한 기술개발이 꾸준히 이뤄지고 있는 실정이다.

여러 가지 핵심기술 중 공통적으로 요구되는 사항은 차량의 재료개발과 경량화 기술이다. 대표적인 기술개발 사례로써 초경량 철강차체(ULSAB, Ultra-Light Steel Auto Body)의 개발을 들 수 있다. 이는

철강회사를 중심으로 연구가 진행되고 있으며, 고장력강의 적용과 이를 통한 두께감소로 경량화에 초점이 맞춰져 있다. 고장력강은 자체의 높은 강성을 가지고 있지만 일반 강종에 비해 스프링백이 크고 성형성도 많이 떨어지는 제약을 안고 있다. 따라서 고장력강판의 성형을 용이하게 하기 위해서는 고강도 고성형성 강종(TRIP강)을 개발함과 동시에 신공정 개발 - Tailored Blanking, Hydroforming 등에도 꾸준한 연구가 이뤄져야 한다.(김과 이, 2000; 허와 정, 200)

두께 또는 재질이 상이한 복수 소재를 이용하여 강성 및 성형성 등의 특성을 최적화하는 테일러 블랭크(이상 TB) 기술은 유럽이나 미국을 중심으로 일반화되어 있으며, 국내에서도 현재 일부 양산적용되고 있는 기술이다. 이 기술은 차체 부품을 제작하는 경우

에 있어서 중량감소 및 재료수율 향상, 금형수 감소 등의 비용절감 효과를 기대할 수 있다. 또한, 필요 부위에 대해서 국부적인 강도보강을 할 수 있기 때문에 차체강성과 충돌특성 향상 등의 성능개선 문제를 동시에 피할 수 있는 장점이 있다.(송 등, 2000)

차량 경량화 기술은 최적설계, 부품성능 극대화 및 경량재료 대체기술 등으로 분류될 수 있다. 경량화 재료에는 알루미늄, 플라스틱, 복합재료 등이 사용되고 있으며 특히 알루미늄은 합금의 형태로 주어졌을 때 경량특성 외에도 비강도·내식성·열전도성 등이 향상된다고 알려져 있다. 앞으로 대체 경량재료로써의 알루미늄은 기존의 자동차용 철강재료보다 우수하고 생산후의 재활용성이 높아 실제 차량 적용시 큰 기대효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.(강과 김, 2000)

이상과 같이 차량 설계시에 요구되는 충돌 안전성과 차량 경량화를 동시에 만족시키기 위해서는 새로운 생산공법 및 설계기술, 또한 이를 뒷받침하는 CAE 해석기술을 필요로 한다. 본 연구는 이러한 설계 및 생산기술 개발을 통하여 경량화와 충돌성능을 만족시킬 수 있는 범퍼빔을 개발하고, 실 제품에 적용해 봄으로써 그 효용가치를 판단해 보고자 한다.

결과 및 고찰

TB 적용 범퍼빔 구성

자동차의 연비를 절감하고 성능을 향상시키기 위해서 차량구조의 경량화는 필수적이다. 이미 선진 자동차 업계에서는 경량화된 차체개발에 많은 노력을 기울여왔으며, 이와 관련된 기술개발도 함께 진행되어 왔다. TB 기술은 쉽게 말하자면 강도가 요구되는 부위에는 두께가 두껍거나 강도가 높은 재질을 사용하고, 강도가 크게 필요치 않는 부위는 얇은 재질을 사용하여 소재를 구성하는 기술이다. 따라서 강도유지를 위해 사용되는 보강부품을 삭제할 수 있으므로 경량화 및 부품수 감소가 가능하며, 소요 제작비를 동시에 줄일 수가 있다.

Fig. 1에 빔 구성모델을 나타내었다. 이 모델은 기존의 일체형 프레스 범퍼 빔에서 충격집중이 예상되는 정면부위를 보강하고자 두께가 다른 소재를 사용

한 것이다. 이종 소재 사이의 연결은 레이저용접을 적용했으며, 국내에서는 최초로 순수 국내기술로 개발한 레이저 용접시스템을 사용하여 성형 판재를 구성하였다.

기존의 빔 형상과 비교해 보았을 때 개발된 TB 적용 빔은 내부 보강부품을 줄여 부품수가 5개에서 2개로 감소했으며, 전체 빔 중량 또한 기존 제품보다 16.3% 정도 감량되는 효과를 얻을 수 있었다. 원가적인 측면에 있어서도 약 6.4%의 절감효과를 볼 수 있을 것으로 기대되며 이러한 외형적 요소 뿐만아니라 조립품질 향상 및 부분적 강성 증대 등 생산성 측면에서도 상당한 시너지 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

충돌해석에 의한 성능평가

모델링 작업을 통해서 TB 적용 범퍼빔의 형상을 구성해 보았다. 사용된 유한요소 모델은 총 15,715개의 절점과 15,480개의 요소들로 이루어져 있으며, 충격흡수재는 솔리드(solid) 요소로 그의 구성품은 3절점 및 4절점 셸(shell)요소로 구성하였다. 범퍼 시스템은 좌우 대칭 형상이므로 해석은 1/2모델만을 대상으로 하였다.

먼저, 진자와 범퍼시스템 중심이 닿는 Center Pendulum 해석이 진행되었다. 충격시 진자에 의한 직접마찰 또는 구성부품들 간의 상호영향을 고려하기 위해서 내부적으로 여러 가지 경계 및 접촉조건을 정의해 주었다. 예를들어 진자와 범퍼커버와의 표면마찰, 충격흡수재(E/ABS)와 범퍼빔, 그리고 차체와 연결되는 부위의 접촉현상을 감안해 경계조건을 설정하였다. 차량중량 1980 kg을 범퍼시스템 및 진자에 부여하고, 실제 시험속도보다 약간 높은 4.3 km/h의 초기속도를 진자 모든 절점에 적용시켰다. 진자의 이동시점부터 진행시간을 0.13초로 지정했을 때, 총 해석시간은 Digital 533 MHz Workstation에서 CPU time으로 약 6시간 42분이 소요되었다. 해석결과 범퍼빔의 형상은 중심부에서 약간의 함몰현상이 발생되었으며 이때의 응력을 측정해 본 결과, 약 414.2 MPa 정도 최대응력이 집중되는 것으로 관측되었다. Fig. 2는 최대 변형후 변형이 일어났던 부위가 점차 복원되면서 보이는 응력분포도를 나타낸다. 이를 통하여 빔의 영구변형과 충돌후 잔류응력을 측정해 볼 수 있다.

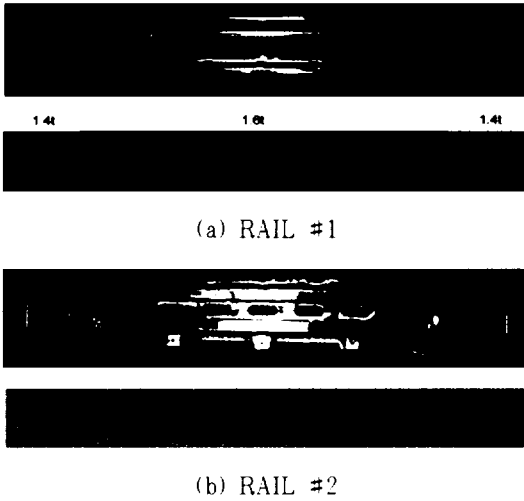


Fig. 1. Bumper beam applied TB.

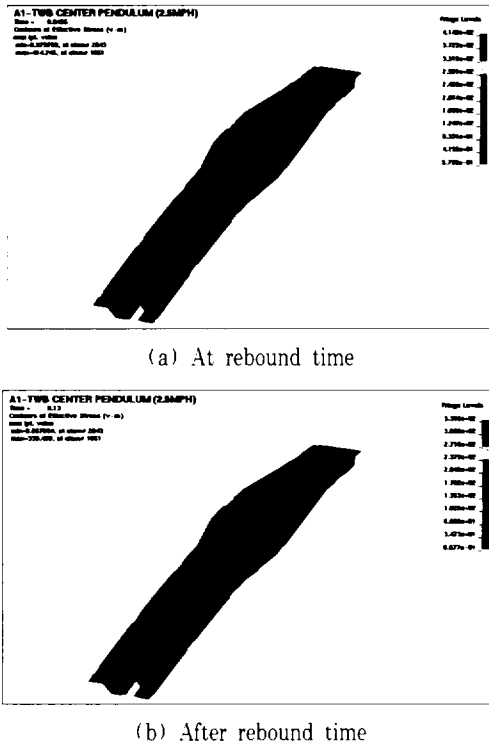


Fig. 2. Distribution of stress.

Fig. 3은 시간에 따른 빔의 X축 방향 변위량을 나타낸 곡선이다. 빔의 중심부쪽 절점을 A, 차량중심부중 임의의 점을 B, 그리고 진자의 한 절점을 C로 정의하였다. 약 0.05 sec시점에서 B-C간 간격이 제일

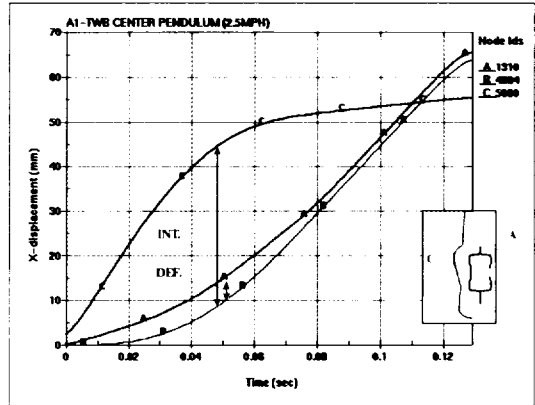


Fig. 3. Time vs. displacement curve.

크게 보이며 그때의 거리는 36.7 mm. A-B간 거리는 5.5 mm로 측정되었다.

여기서, B-C 사이의 거리는 범퍼시스템의 가장 끝단이 충격에 의해서 안쪽으로 밀려들어간 거리를 의미하는데, 이것을 흔히 밀림량(Intrusion)으로 표현한다. 그리고 A-B간 거리는 범퍼빔의 끝단에서부터 변형된 거리를 의미하며, 변형량(Deflection)이라 표현한다.

고장력강판 적용 범퍼빔 구성

고안전·초경량 차체에 대한 관심이 높아지면서 이에 대한 적합한 성능요건을 만족시킬 수 있는 재료의 요구가 늘어나고 있다. 이러한 추세에 따라 예전의 차체 Body에 대부분 적용되던 철강재료는 점진적으로 감소하고 있는 반면, 탄소합유량 및 합금원소를 첨가한 일반강재에 비해 강도를 한층 증대시킨 고장력강판이 그 대체 재료로서 사용이 증대되고 있다. 최근에는 강도를 높임과 동시에 성형성을 고려한 신소재 강판도 개발되고 있기 때문에 그 적용범위가 점점 확대될 전망이다.

지금까지 개발되어 양산에 적용하고 있는 고장력강판의 종류는 인장강도 35~80 kgf/mm²급이 대부분을 차지하고 있으며 강도를 요하는 주요 부재에 적용되고 있다. 하지만 높은 강도의 측면에도 불구하고 고장력강판의 차량적용에 최대 걸림돌은 낮은 성형성으로 인한 성형 불안정이라 할 수 있다. 특히 인장강도 80 kgf/mm²급 또는 100 kgf/mm²급 강판을 적용하기 위해서는 일반 프레스공법으로는 성형이 대단히 어려운 실정

이다. 따라서 본 연구에서는 롤포밍(Roll Forming)공법을 이용하여 성형을 유도해보고, 범퍼빔을 제작해서 그 성능을 평가해 보고자 한다.

본 연구에서는 인장강도 100 kgf/mm²급 강판의 적용을 대상으로 했으며 설계 단계에서 parametric study에 의해 빔의 최적 단면형상을 결정하였다. 소재물성 및 롤러 각 단의 굽힘각에 따라 롤포밍 시스템을 구성하고, 이로부터 제작된 빔 형상은 Fig. 4와 같다.



Fig. 4. Bumper beam using high strength steel.

충돌해석에 의한 성능평가

충돌해석을 통하여 최적의 단면형상을 찾아내고 성능만족 여부를 평가하였다. 유한요소 모델링된 각 단품의 형상과 시험조건을 Fig. 5에 나타내었다. 5.2 km/h의 차량속도로 고정벽에 부딪히는 고정벽 시험을 수행한 결과, 범퍼빔 중심부에서 V자형의 홈과 함께 빔이 함몰되는 현상을 보였다. 이는 곡률진 빔형상이 양쪽 Stay부에 지지되어 있기 때문에 일정한도 이상의 힘을 받게된다면 그 중앙에서 모든 충격력이 집중될 것으로 예상된다. Fig. 6은 이러한 빔의 형상을 시간에 따른 응력분포로써 나타낸 그림이다. Rebound 시점 이후에도 중앙의 V형 홈은 그대로 남아 영구변형을 일으킬 것으로 보인다.

실제 테스트에서도 빔의 중앙에 함몰에 의한 V자형 변형이 발생됨을 볼 수 있다. Table 1의 실험결과와 비교해 볼 때, 변형된 양상 및 결과값이 해석치와 매우 유사하다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1. Collision test data

Item	Anlalysis data	test data
Intrusion (mm)	68.7	69.0
Deflection (mm)	58.4	66.0

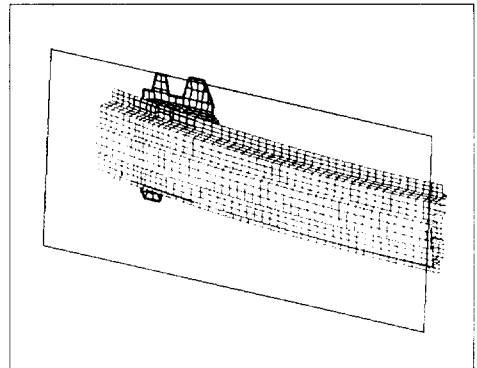
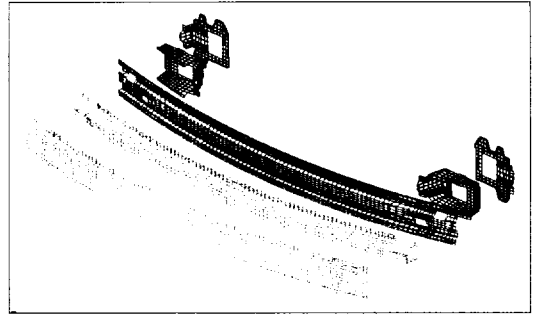
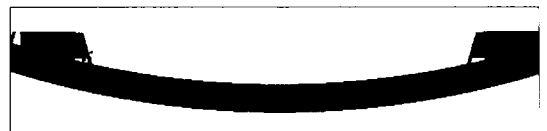
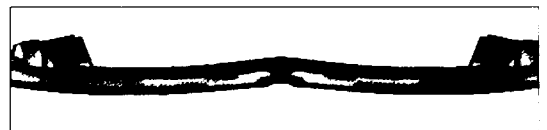


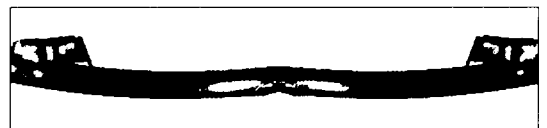
Fig. 5. FEM modeling shape.



t = 0sec



t = 0.04sec



t = 0.13sec

Fig. 6. Deformation shape according to the time.

알루미늄 적용 범퍼빔 구성

자동차 기술개발의 목표인 고안전 및 고성능 차량, 승차감과 편리성을 고려한 차량의 개발은 급격한 차

량 무게의 증가를 초래하게 되었다. 따라서 우선적으로 해결해야 될 당면과제는 전체 차량중량의 20~30%를 차지하는 차체 중량을 최소화시켜야 한다는 것이다. 이와 관련하여 경량재질로의 대체 및 새로운 가공 조립기술의 개발 등이 그 대안으로 검토되고 있는 가운데 앞서 소개된 고장력강판 이외에 알루미늄 재질을 이용한 경량화가 큰 주목을 받고 있다.

알루미늄 합금재료는 일반 강판에 비해 낮은 밀도를 가지고 있는 반면, 강도가 큰 특성이 있으므로 자동차산업에서도 그 효용 가치가 높을 것으로 평가되고 있다. 예를 들어, 차체 제작시 알루미늄 재질을 이용하게 되면 기존 강판과 비교하여 동일한 강성조건을 만족시킬 때, 약 30% 이상의 경량화가 가능하다고 보고되고 있다.(허 등, 2001)

본 연구에서는 알루미늄 소재를 이용하여 범퍼빔을 구성해 보고, 해석 및 실제 차량 테스트를 통해 그 적용 가능성을 검토해 보았다. Fig. 7은 차량구조에 대한 최적단면을 설정하여 압출성형의 형태로 제작된 빔 형상을 보여주고 있다. 빔의 전면부 두께를 높임으로써 충돌시에 전달되는 충격을 초기에 완화시키고자 하였으며, 압출성형의 장점을 살려 빔 안쪽에 보강 리브를 추가하는 것으로 차체 강성을 높일 수 있도록 설계하였다.

충돌해석에 의한 성능평가

설계된 제품 형상에 따라 충돌해석을 위한 모델링을 구성하였으며, 시험항목인 고정벽 테스트에 맞는 해석조건을 부여하였다.

빔이 고정벽에 충돌해서 rebound 되는데 걸리는 시간은 0.08초로 측정되었다. 빔의 곡률형상 및 알루미늄 재질특성에 따라 다소 높은 수치를 보였는데, rebound time이 길수록 빔에서 흡수되는 에너지량이 많아지고 빔 자체 강성이 약할 경우에는 함몰·좌굴·비틀림 등 변형을 일으킬 우려가 높다.

Fig. 8은 해석결과로 나타난 빔의 응력분포와 실제 차량테스트 후 나타난 실험결과를 비교한 그림이다. 실제 충돌시 빔의 상태는 중앙부위에 약간의 함몰현상이 나타났고, Stay 체결부위에 충격력에 따른 변형 흔적이 남아있었다. 해석결과에서는 빔의 함몰은 나타나지 않았지만 중심부를 기준으로 충격부위에 높은



Fig. 7. Bumper beam using aluminum.

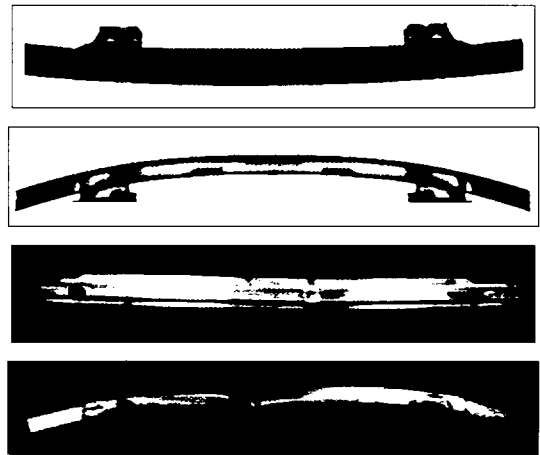


Fig. 8. Comparison of analysis data between experiment data.

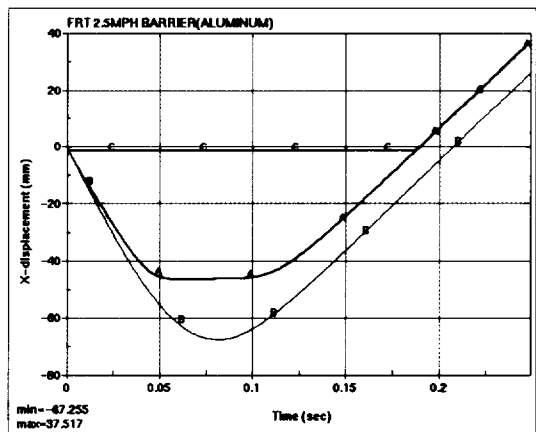


Fig. 9. X-direction displacement curve according to the time.

응력이 걸리고 있으며, 양쪽 Stay에서도 힘의 집중현상이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 시간에 따른 X-방향 변위곡선이다. Table. 2와 같이 실제 테스트 결과 측정된 변위량에 거의 근

접한 결과를 나타내었다.

Table 2. Collision test data

Item	Anlaysia data	Experiment data
Intrusion (mm)	66.2	61.0
Deflection (mm)	21.2	22.0

결론 및 향후과제

본 연구에서는 차세대 자동차를 겨냥한 핵심기술인 차량의 재료개발과 경량화 기술에 대해서 살펴보았다. 선행 기술을 이용하여 자동차 범퍼빔에 적용시켜 보았고, 충돌해석을 통한 사전검토 및 실제 차량테스트를 통하여 그 적용 가능성을 검증해 보았다. 이로부터 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1. 순수 국내기술로 개발된 레이저용접 시스템을 이용하여 TB 소재를 구성하였다. 자동차 범퍼빔에 적용한 결과, 기존 일체형 빔에 비해서 부품수 및 중량은 감소되었지만 성능면에서는 거의 동등한 수준의 결과를 나타내었다. 따라서 TB 적용 빔은 차량중량 및 원가절감 측면을 고려할 때 앞으로 시장 경쟁에서 훨씬 유리한 위치에 설 수 있을 것으로 기대된다.
2. 차체강도 향상과 중량감소에 의한 연비저감을 목적으로 고장력강판에 대한 개발 및 적용이 확대되고 있다. 본 연구에서는 인장강도 100 kgf/mm²급 고장력강판을 이용하여 범퍼빔 구성에 적용시켜 보았다. 그 결과, 충돌성능 향상 및 두께감소에 의한 경량화 약 13%의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.
3. 차세대 자동차를 위한 경량화 소재로서 알루미늄 사용량이 점차 증가되고 있다. 본 연구에서는 해석을 통한 최적단면을 설정하고 압출성형으로써 알루미늄 범퍼빔을 구성하였다. 기존 철강재료의

성능과 동등한 수준임을 전제할 때, 약 40% 정도의 경량화가 가능할 것으로 보인다.

4. 이상과 같이 차세대 자동차를 겨냥한 재료기술의 개발 및 적용에 관해서 살펴보았다. 실제 적용 결과 모두 기존 제품에 비하여 중량 및 성능면에서 보다 향상된 결과를 보였다. 하지만, 제품 생산시에 나타나는 성형성문제 및 스프링백 예측기술, 재료수급율과 리사이클 처리기술 등에 대한 연구는 아직 미흡하므로 이에 대한 기술개발이 향후 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

김종하·이경남. 2000. Tailored Blank Intensive 고안 전 초경량 철강차체. 제7회 G7 차세대자동차기술논문집. pp. 342-347.

허승진·정영섭. 2000. 초경량 철강차체의 전후방 충돌에너지 흡수부재 최적화 설계. 제7회 G7 차세대자동차기술논문집. pp. 361-366.

송세일·최성진·임종순·신정규·박경진. 2000. Tailored Blank 기술을 적용한 고강도 경량도어 최적화 설계. 제7회 G7 차세대자동차기술논문집. pp. 354-360.

강희·김준수. 2000. Aluminum Space Frame 적용 초경량 차체 개발. 제7회 G7 차세대자동차기술논문집. pp. 367-373.

허승진·윤병동·김현영·김진국. 2001. 알루미늄 초경량차체의 충격에너지 흡수부재 설계 및 해석(Ⅱ). 제8회 G7 차세대자동차기술논문집. pp. 295-302.

LSTC. 1999. LS-DYNA Keyword User's Manual.

Kinsey, B., Zhihong Liu, and Jian Cao. 1999. New Apparatus and Method for Forming TailorWelded Blanks. SAE.

Kinsey, B., Nan Song, and Jian Cao. 1999. Analysis of Clamping Mechanism for Tailor Welded Blank Forming. SAE.