

롤 성형 공정에 의한 자동차용 범퍼빔 제조에 관한 연구

정동원#, 이문용*, 김광희**

A Study on the Production of the Back Beam for a Automotive Bumper by Roll Forming Process

Dong Won Jung#, Mun Yong Lee* and Kwang Heui Kim**

ABSTRACT

The back beam for a automotive bumper was roll formed to improve performance, reduce weight and save cost. For the back beams produced by conventional stamping and roll forming, the crashworthiness analyses were carried out by numerical simulation and real impact test. The characteristic properties and applicability of the roll formed back beam are discussed from the results of the analyses..

Key Words : Automotive Bumper (자동차용 범퍼), Roll Forming (롤 성형), Impact test (충돌 시험), Numerical simulation (수치해석)

기호설명

E = kinematic energy

m = mass

v = velocity

1. 서론

보다 효율적이고 경제적인 자동차를 개발하기 위한 끝없는 연구는 자동차 산업의 발전과 지속적인 성장을 추구하고 있으나 자동차의 안전성, 주행 편의성, 안락성 등 소비자의 욕구가 다양화 됨에 따라 각종 편의 장치의 추가로 인해 자동차의 중량이 증가하는 추세에 있다. 반면에 환경문제로 인한

자동차의 연비규제는 자동차의 경량화를 요구하고 있다. 따라서 자동차의 경량화를 만족하면서 자동차의 안전성과 효율성을 극대화 할 수 있는 대처 방안이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이에 따라 상호 상반된 요건을 만족시키면서 저비용, 고품질의 자동차를 개발하는 것이 자동차 산업의 생존 전략으로 부상하고 있다.

범퍼 시스템의 개선을 위해 우레탄(urethane)이나 엘라스토머(elastomer) 같은 엔지니어링 수지(engineering resins)나 알루미늄 합금 등이 적용된 바 있으나 제조공정 상의 문제, 제조원가 및 재활용 문제 등으로 효과적인 대응이 되지 못한 것도 사실이다. 이러한 관점에서 기존의 고장력강판을 이용한 범퍼 백빔(bumper back beam)은 각종 한계

접수일: 2002년 9월 18일; 게재승인일: 2003년 4월 9일

교신저자: 제주대학교 기계에너지생산공학부

Email: jdwcheju@cheju.ac.kr, Tel: (064) 754-3625

* (주)성우하이텍 기술연구소

** 부경대학교 기계공학부

들, 즉 과도한 중량, 한계 상황에 직면한 가격 경쟁력 그리고 안전을 추구하는 고객들의 요구에 직면하여 다른 활로를 모색하지 않을 수 없게 되었다. 기존의 고장력강판을 사용한 제품의 중량 저감을 위해서는 강판 소재의 두께 감소가 요구되었으며, 감소된 두께로 동일한 성능을 유지하기 위해서는 초고장력강판의 적용 필요성이 요구되었고, 또한 초고장력강판을 원하는 형상으로 성형하기 위해서는 새로운 성형기법이 요구되었다.

이러한 초고장력강판의 성형방법으로 기존의 프레스 가공법은 가공후의 탄성복원(springback) 등 여러 가지 후변형 문제로 인하여 원하는 형상의 성형이 매우 어려우며 따라서 평판 상태의 소재가 다 단계의 성형 롤(forming roll)들을 통과하면서 일련의 형상이 성형되는 롤 성형(roll forming)²⁻⁴ 기법이 새로운 성형기법으로 소개되어 점차 적용 범위를 넓혀가는 추세이다.

이에 본 연구에서는 범퍼 시스템의 개선을 위하여 실험용 롤 성형기(roll forming machine)를 제작하여 이 성형기에서 범퍼 백빔을 제작하고, 수치적 해석 및 실제 충돌 실험을 수행하여 기존의 프레스 성형에 의한 제품에 대한 해석 결과와의 상호 비교 검토를 통하여 기존의 프레스 성형법에 대비한 중량 및 성능 향상을 분석하고 아울러 새로운 범퍼 시스템에 대한 적용 가능성 및 그 특성을 고찰해보고자 한다.

2. 모델링 및 수치해석

2.1 모델링

롤 성형 공정에 의해 제조할 범퍼 백빔의 모델링은 개발중인 승용차의 후방 범퍼(rear bumper)를 기준으로 하여 설계 프로그램인 CATIA를 이용하여 모델링하였으며, 동적거동해석 프로그램인 DYNA-3D를 이용하여 충돌해석을 수행하였다. 여기서 범퍼 백빔의 형상은 프레스 성형 제품의 초기 설계를 기준으로 길이 방향으로의 굽힘 반경의 대소 및 길이 방향에 수직인 단면에 강성을 주기 위한 형상(recession)이 존재하는지 여부, 그리고 범퍼 지지부의 소재의 두께 변경 등을 통하여 4가지 가능성 있는 모델을 만들었으며 그것을 Fig. 1에 나타내었는데 백빔 반경 및 단면형상에 따른 가능성 있는 모델을 선택하여 평가한 그림이다. 사용된 곡률반경은 3,500 mm, 5,500 mm인데 차량설계시 보편적으

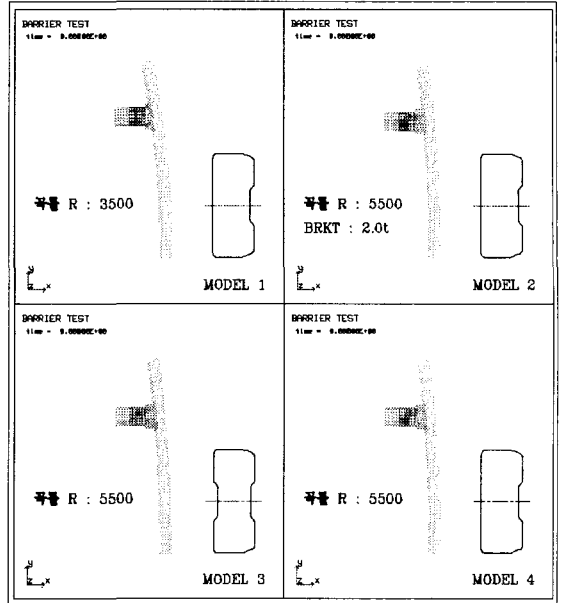


Fig. 1 Shape and mesh system (used in the numerical simulation) of the back beams to be roll formed

로 사용되는 치수로 굽힘반경의 대소에 의한 영향을 살피기 위하여 굽힘반경의 차이가 심한 경우를 선택하였다.

2.2 수치 해석 및 결과

범퍼 백빔의 특성상 해석 모델이 좌우 대칭이므로 그 절반의 모델에 대하여 동적거동해석 프로그램인 DYNA 3D를 이용하여 충돌해석을 수행하였으며, 차량의 충돌 시 생성되는 운동에너지가 모두 소진되는 상태까지의 변위, 응력(stress) 및 변형도(strain)를 구하였다. 이 때 운동에너지는 충돌 차량의 질량을 1900 kg, 속도를 2.5 MPH(4 km/h) 로 하여 다음의 식과 같이 구해진다.

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} (1900 \text{ kg}) (1.12 \text{ m/s})^2 = 1192 \text{ J} \quad (1)$$

따라서 절반의 모델이 흡수하여야 할 에너지는 596 J로 계산하여 적용하였다.

롤 성형 공정에 의해 생산할 범퍼 백빔의 특성을 고려하여 충돌해석을 실시한 부분은 범퍼의 성능 시험 항목 중에서 장벽충돌시험(barrier test)에

관한 충돌해석만 수행하였으며, 이 때 모델의 총 절점수와 요소수는 지지부를 포함하여 2500개 정도로 하였다. Fig. 2에 충돌해석시의 환경을 나타내었는데 충돌속도가 4.0km/h인 이유는, 국내 안전기준 제93조 (범퍼 충돌에 관한 법규)에 명시된 시험 조건에 따라 적용된 것이다.

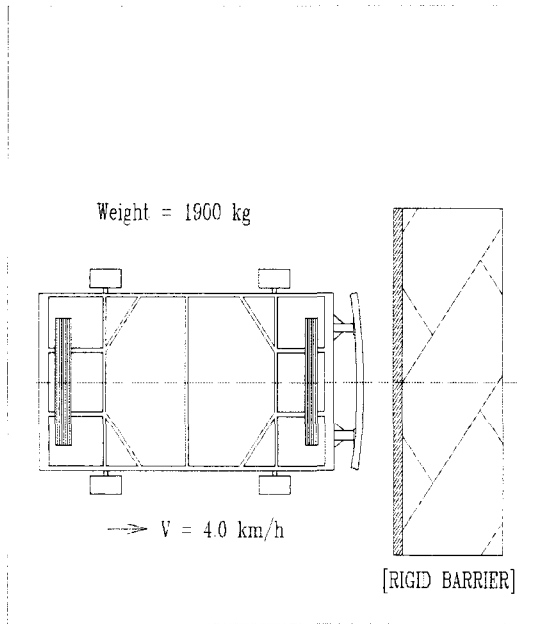


Fig. 2 Schematic diagram showing barrier test

프레스 성형에 의해 생산될 범퍼 백빔 및 롤 성형 공정에 의해 생산할 범퍼 백빔들에 대하여 DYNA 3D를 사용하여 해석하여 침입량(Intrusion), 최대 변형량(deflection), 최대 응력과 변형도 그리고 제품의 무게를 Table 1에 나타내었는데 변형량 방향은 X방향이고 응력은 Von Mises Stress, 변형율은 Effective Plastic Strain을 나타내고 있다. 여기서 롤 성형에 의한 제품(model 2)이 프레스 제품에 비하여 중량이 14% 정도 감소하였음에도 불구하고 동일한 수준의 성능을 가짐을 알 수 있다. 프레스 제품의 변형형상 및 응력분포를 Fig. 3에 나타내고 있는데 프레스성형 백빔의 응력분포로서 0L~400L 부위까지 전면적으로 응력이 집중되고 있으며, Stay부에도 충격전달에 의한 변형이 보이고 있다. 롤 성형에 의한 제품(model 2)의 변형형상 및 응력분포를 Fig. 4에 나타내었는데 롤포밍성형 백빔의 경우, 0L~100L 부위까지 상대적으로 응력분포 범

Table 1 Results of numerical simulation of impact test

Items	Press	Roll forming				Remarks
		Radius 3500	Radius 5500			
		MODEL 1	MODEL 2	MODEL 3	MODEL 4	
Intrusion (mm)	51.2	60.3	51.8	61.5	58.7	Spec:83
Max deflection (mm)	32.4	41.3	32.3	36.5	34.2	Spec:34
Max stress (MPa)	752.1	1066	608.1	1024	1022	
Max strain(g)	12.1	8.1	8.11	6.96	10.8	
Weight (kg)	9.81	7.88	8.39	8.11	8.02	

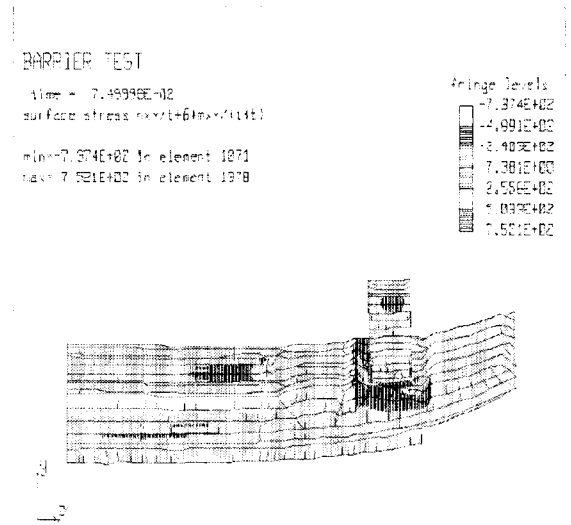


Fig. 3 Deformed shape and stress distribution of the back beam produced by stamping

위가 적음을 볼 수 있는데, 자체 강성에 의해 백빔에서 견디는 하중이 크기 때문일 것으로 판단된다. 프레스 제품의 변위량 선도를 Fig. 5에, 롤 성형에 의한 제품(Model 2)의 변위량 선도를 Fig. 6에 각각 나타내었는데 Fig. 5와 Fig. 6은 모두 시간에

대한 변위량(Displacement)을 나타낸 그림이다. 모델링된 절점중에서 관심이 있는 부분을 택하여 그

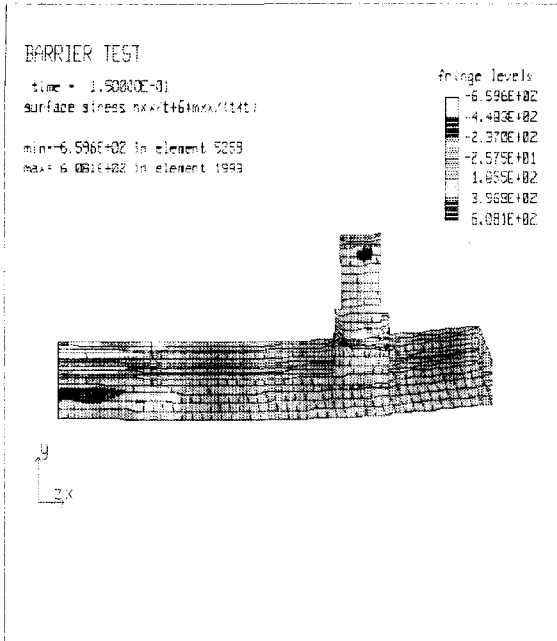


Fig. 4 Deformed shape and stress distribution of the back beam to be roll-formed (model 2)

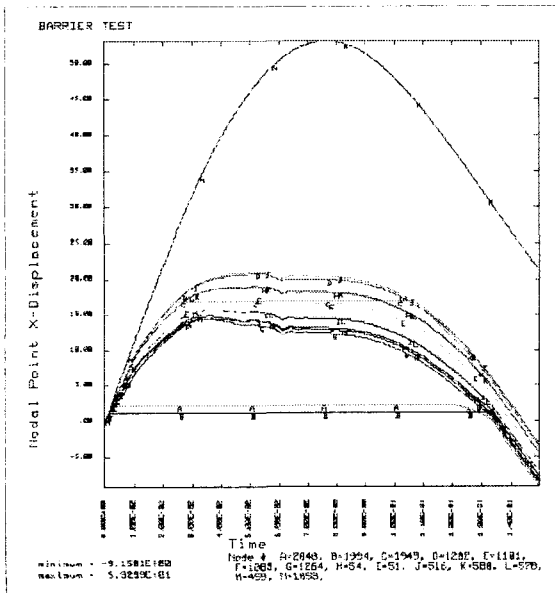


Fig. 5 Time-displacement curves of the back beam produced by stamping

절점에서의 시간에 대한 X-방향으로의 변위량을 표현하였다. 범퍼 최선단에서 밀려들어간 거리를 침입량(Intrusion), 백빔만을 놓고 보았을 때 밀려들어간 거리를 최대 변형량(deflection)으로 표현된다.

이들을 비교해 보면, 프레스 제품 및 롤 성형에 의한 제품 모두가 안정적인 변위시에 나타나는 완만한 곡선형태를 이루지 못하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 차량의 충돌시 운동에너지가 흡수되는 과정에서 그 에너지의 전위가 완만하지 못하고 국부적으로 발생하여 심한 변형을 유발하는 것으로 보인다. 이것은 범퍼를 지지해주는 지주(stay) 사이의 거리가 비교적 멀기 때문에 나타나는 것으로 판단된다. 또한 각 지점간의 간격이 넓게 나타나는 것은 범퍼 백빔의 각 지점의 변위량이 많이 발생하는 것으로 판단되는데 롤 성형에 의한 제품에 다소 많이 나타남을 볼 수 있다. 그러나 이것은 범퍼 백빔을 차량에 고정시켜 주고 있는 지주 부분의 형상 변경을 통해 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 지주 지지 부분의 형상 변경을 적용한 원형(prototype)에 대한 실제 대차시험에서는 이러한 현상이 발생하지 않음을 확인하였다.

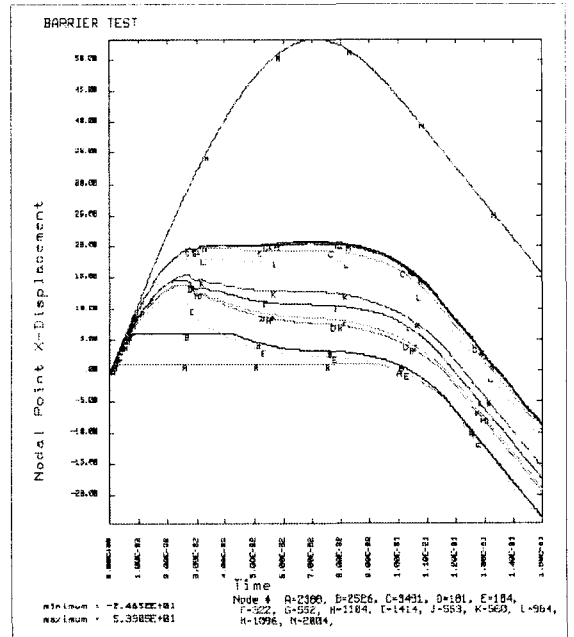


Fig. 6 Time-displacement curves of the back beam to be roll-formed (Model 2)

3. 롤 성형에 의한 범퍼 백빔의 제작

수치해석 결과에서 가장 좋은 성능을 나타내는 Model 2를 롤 성형 공정으로 제작하였다. 롤 성형에서 성형 단(pass) 수를 너무 작게 하면 무리한 변형이 생겨 제품에 결함이 발생할 수 있고, 반대로 성형 단 수를 너무 크게 하면 성형기 제작비 및 롤 가공비 등이 상승하므로 적절한 성형 단수를 결정하여야 하며 각 단 사이에서 변형이 과도하게 생기지 않도록 하여야 한다. 편평한 소재로부터 최종 단면형상까지 점진적으로 변형되어 가는 각 단계에서의 단면형상을 겹쳐 그린 것을 플라워(flower)라 하는데, 결함이 없는 제품을 경제적으로 생산할 수 있도록 AutoCAD를 이용하여 수작업으로 설계된 플라워를 Fig. 7에 나타내었다. 각 굽힘부에서의 중립면의 위치와 스프링백의 정확한 값은 실제 공정에서 측정하여 보상해 주어야 하지만, 각 굽힘부에서는 일반적인 굽힘 가공의 경우와 같이 변형한다고 가정하여 중립면의 위치(2.5) 및 스프링백(5.6)은 참고문헌의 자료와 이론을 이용하였다. 이 플라워를 바탕으로 성형롤들을 설계하고 제작하였다. Fig. 8에 실험용 롤 성형기의 사진을 Fig. 9에 이 실험용 롤 성형기에서 제작된 범퍼 백빔 원형의 사진을 나타내었다.

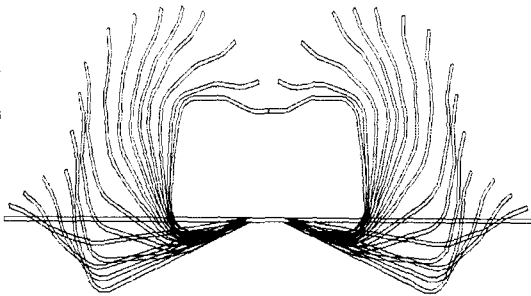


Fig. 7 Flower of the back beam(Model 2)

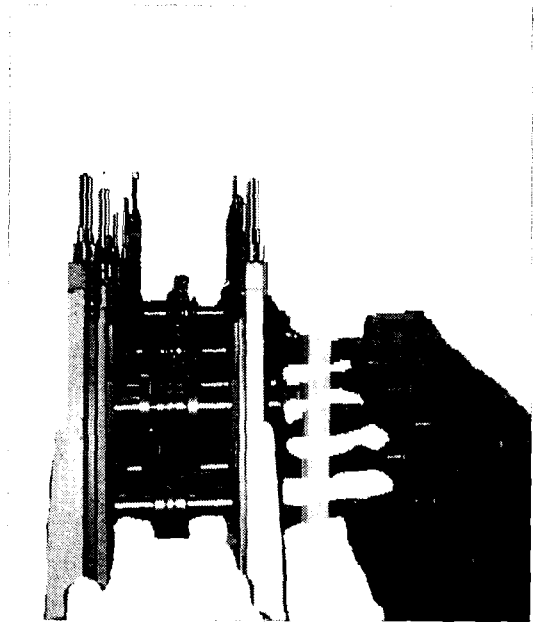


Fig. 8 Experimental five-stand roll forming machine

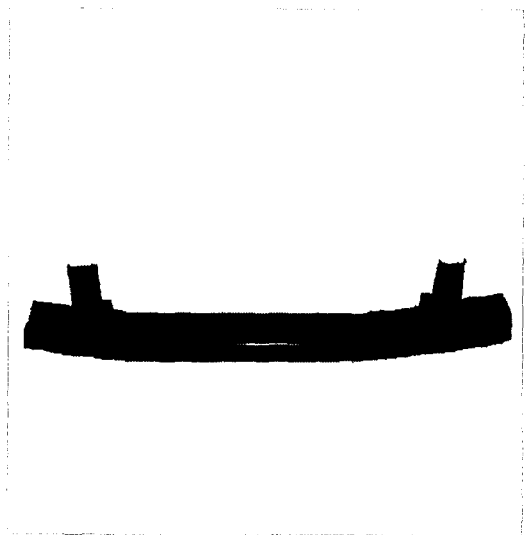


Fig. 9 Prototype of roll formed bumper back beam

3.1 대차충돌시험

대차충돌시험은 범퍼 백빔 원형을 대차에 장착시키고 수치해석시와 동일한 조건으로 즉, 충돌질량(대차무게)은 1900 kg, 속도는 2.5 MPH(4 km/h)로

실시하였다. 충돌후 변형된 모습은 프레스 제품의 경우 중앙 부분의 변형이 심하게 나타나고 백빔의 지지 부분(stay mounting)에 변형이 집중되는 것을 볼 수 있었으며, 롤 성형에 의한 제품의 경우는 중앙 부분이 더욱 심하게 변형되어 V자형으로 깊이 들어간 모습을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 수치 해석에서의 결과와 매우 유사한 경향을 보이고 있다. Table 2에 대차충돌시험 결과를 나타내었다. 침입량에 있어서 수치해석의 결과와 차이가 많이 나타나는 것은 범퍼 시스템을 조립하는 과정에서 백빔, 발포제(foam) 및 패시아(fascia)의 밀착상태가 양호하지 못한 것으로 인해 발생한 것으로 판단된다. 충돌 시험 후 프레스 제품의 변형된 모습을 Fig.10에, 롤 성형에 의한 제품의 변형된 모습을 Fig. 11에 각각 나타내었다.

Table 2 Results of real impact test

Items	Real Impact Test		Simulation Results		Remarks
	Press	R/forming	Press	R/forming	
Intrusion	59	64	51.2	51.8	
Deflection	31	37	32.4	32.3	
Weight(kg)	8.375	7.38	9.65	7.95	

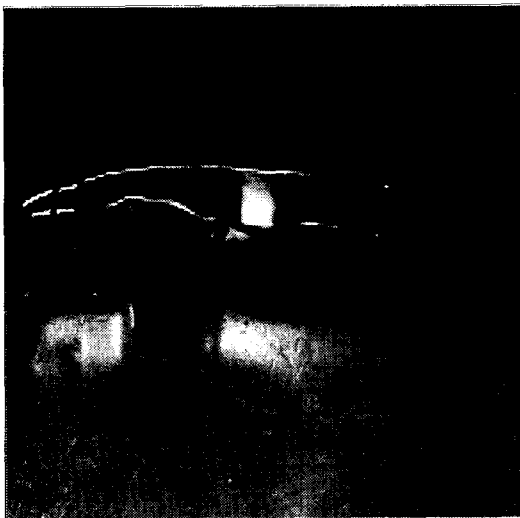


Fig. 10 Deformed shape of stamped back beam after real impact test

4. 초고장력 강판의 적용

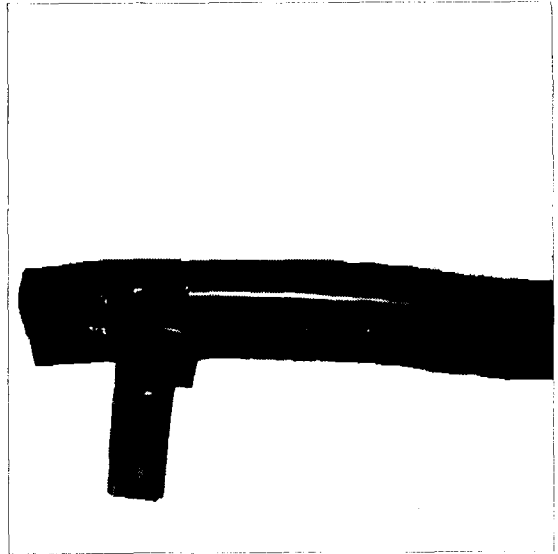


Fig. 11 Deformed shape of roll-formed back beam after real impact test

이상에서 살펴 본 바와 같이 현재 프레스 공정에서 사용중인 범퍼 백빔 소재(인장강도 60 kgf/mm²)를 사용하여 롤 성형공정으로 생산한 범퍼 백빔은 성능 대비 중량면에서 큰 효과는 볼 수 없었다. 이에 보다 인장강도가 큰 강판을 사용하여 롤 성형공정으로 범퍼 백빔을 생산할 경우의 중량 감소효과를 알아보았다. 인장강도가 큰 강판을 사용하여 롤 성형 공정으로 생산할 범퍼 백빔은 현재 개발 예정인 승용차의 전방 범퍼를 기준으로 설계 프로그램 CATIA를 이용하여 설계하였다. 인장강도가 각각 80 kgf/mm², 100 kgf/mm²인 강판을 사용하여 롤 성형으로 제조할 형상을 Fig. 12에 나타내었는데 강성을 더 높이기 위하여 초고장력 강판을 사용한 백빔을 구성해 본 것이다. Fig. 12(a)는 인장강도 80kgf/mm², 두께 1.2t, Fig. 12(b)는 인장강도 100kgf/mm², 두께 1.0t 재질을 사용하여 구성하였다.

Fig. 12의 백빔에 대하여 5 MPH의 속도로 충돌할 경우를 DYNA-3D를 사용하여 해석하여 얻은 침입량(intrusion), 최대 변형량(deflection), 최대 응력과 변형도 그리고 제품의 무게를 Table 3에, 변형형상 및 응력분포를 Fig. 13에 각각 나타내었다.

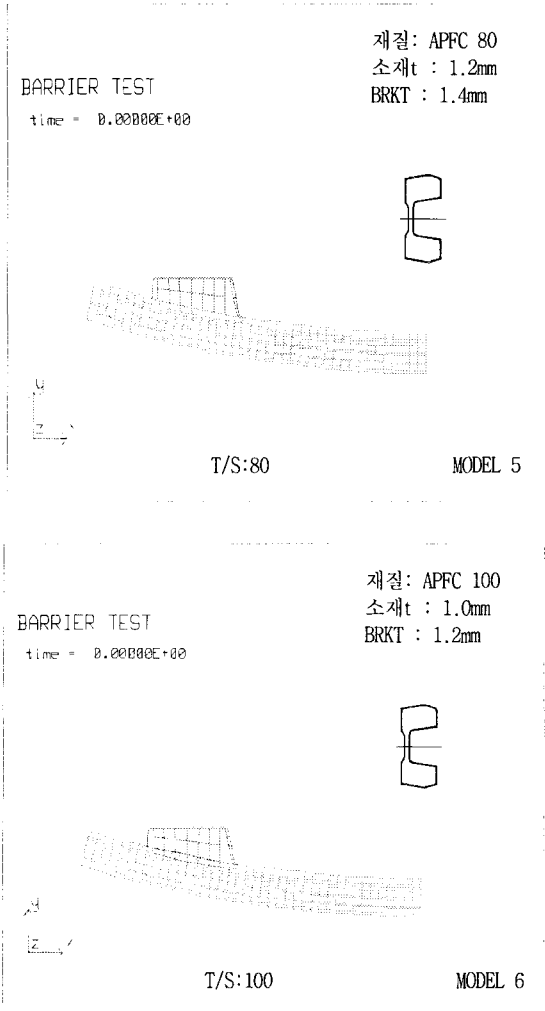


Fig. 12 Shape of back beams to be roll formed from high strength steels

Fig. 13은 초고장력강판을 이용한 MODEL 5와 MODEL 6에 대한 충돌해석 결과치를 나타낸 그림이다. MODEL 6의 경우, 인장강도 100 kgf/mm²를 사용하면서 두께를 1.0t로 낮췄을 때, 밀림량 및 변형정도에서 약간 불리한 점이 나타났다. 그러나 성능상에 큰 문제가 없으며, 중량면에 있어서 약 17% 정도 감소할 수 있기 때문에 초고장력강판을 적용할 수 있는 장점을 충분히 가지고 있다고 판단된다. Table 1과 Table 3의 결과를 통해 볼 수 있듯이 동일한 성능의 프레스 제품에 비하여 롤 성형에 의한 백빔의 중량이 월등히 감소하는 것을 볼 수 있다.

Table 3 Results of numerical simulation of impact test

Items	Roll forming		Remarks
	MODEL 5 1.2t	MODEL 6 1.0t	
Intrusion(mm)	68	69	
Max deflection(mm)	24	35	
Max stress(MPa)	1405	1641	
Max strain(%)	99.7	119.4	
Weight	6.04	5.05	β:8.7

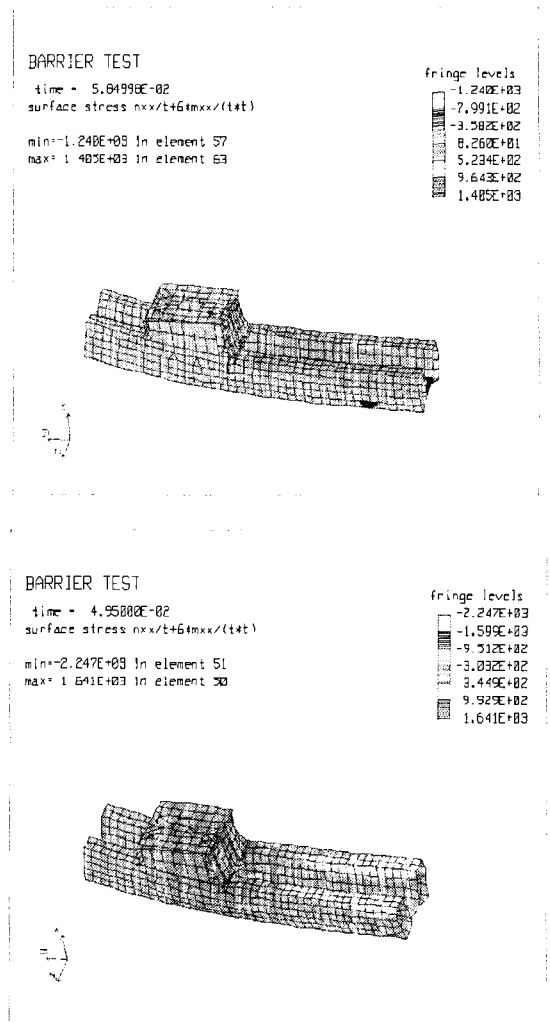


Fig. 13 Predicted deformed shape and stress distribution of the back beam to be roll-formed from high strength steels

5. 결론

각각 프레스 공정 및 롤 성형 공정에 의해 생산되는 범퍼 백빔들에 대한 성능 대비 중량 비교를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

가) 개발 예정인 승용차의 범퍼에 대한 수치 해석 및 충돌 시험

- (1) 롤 성형 공정에 의해 생산된 범퍼 백빔은 중앙 부위에 깊은 홈이 생기는 불안정한 변형이 발생하였다.
- (2) 프레스 공정에 의해 생산된 범퍼 백빔에 있어서는 범퍼 지지부에 심한 변형이 생기고 중앙 부위에 다소 심한 변형이 발생하였다.
- (3) 수치 해석 및 대차 충돌 시험의 결과로부터 프레스 제품 및 롤 성형 제품이 거의 동일한 성능을 갖는 것으로 판단되며, 따라서 롤 성형 제품이 성능 대 중량면에서 보다 효과적이라는 것을 알 수 있었으며 그 적용 가능성을 확인 할 수 있었다.

나) 초고장력 강판의 적용

- (1) 초고장력강판을 적용한 롤 성형 공정에 의해 생산된 범퍼 백빔에 있어서도 중앙 부위에 변형이 많이 발생하였으나 고장력강판을 적용한 경우보다 중앙부위에 깊은 홈이 패이는 불안정한 변형은 감소되었다. 이것은 범퍼 지지부의 브라킷(bracket)의 형상을 보강한 결과로 판단된다.
- (2) Table 3에서 볼 수 있듯이 중량이 월등히 감소함을 알 수 있다.

이상의 결과에서 롤 성형 공정에 의해 생산된 범퍼 백빔의 중앙 부위에 깊은 홈이 생기는 불안정한 변형이 발생하지 않도록 하는 방안을 모색하여 적용함으로써 보다 우수한 성능의 범퍼 시스템에 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다. 또한 우수한 성능과 저중량 및 저원가의 범퍼 시스템을 개발하기 위하여 보다 안정적인 변형이 생기도록 하는 단면형상 및 초고장력강판의 적용에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

이 논문은 2003년도 제주대학교발전기금 청봉 학술연구기금의 지원에 의해서 연구되었음.

참고문헌

1. Jung, D. W., Yang, D. Y., "Step-wise combined implicit/explicit finite element simulation of autobody stamping processes," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 86-98, 1996.
2. Jung, D. W., Yang, D. Y., "The sectional analysis of auto-body panel stamping process and three-dimensional shape composition," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 14, No. 9, pp. 101-107, 1997.
3. Jung, D. W., Lee, S. J., "The influence of the number of drawbead on blank forming analysis," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 193-200, 2000.
4. Jeon, H. S., "Energy Saving Technology of Korean Passenger Cars," The Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 14, No. 2, pp. 5-26, 1992.
5. Society of Manufacturing Engineers, "Tool and Manufacturing Engineers Handbook," 4th ed., Vol.2-Forming, Chap. 8, 1984.
6. Halmos, G. T., "High-Production Roll Forming," Society of Manufacturing Engineers, 1983.
7. 木内學, Roll 成形, 日本塑性加工學會, 1983.
8. 日本塑性加工學會, プレス加工便覽, 丸善, 1975.
9. Eary, D. F. and Reed, E. A., Techniques of Press-working Sheet Metal, 2nd ed., Prentice-Hall, 1974.