

<기술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2009.33.3.231

하이드로포밍을 이용한 대형차 앞차축 형상최적화에 관한 연구

장종민[†] · 김윤규^{*} · 허주행^{**} · 나상묵^{*}

(2008년 10월 15일 접수, 2009년 1월 23일 수정, 2009년 2월 19일 심사완료)

A Study on Rigid Front Axle Shape Optimization of a Commercial Vehicle by Hydforming Process

Jongmin Jang, Yungyu Kim, Joohaeng Hur and Sangmook Na

Key Words : Hydroforming (하이드로포밍), Front Rigid Axle(앞차축 액슬), Stress Contour (응력분포), Static Analysis(정적해석), Shpae Optimization,(형상최적화), Finite Element Analysis (유한요소해석)

Abstract

Recently, The Hydroforming technology has recognized general technique in manufacture industry. Especially automotive industry, It has applied to increase strength, and decrease weight, cost and part number. The rigid axle suspension type is widely used for truck and bus in commercial vehicles due to simplicity. To develop the hydroforming rigid axle, it is necessary to estimate of the characteristics of front suspension from the design process. In this study , the characteristics estimation of the hydroforming rigid axle is preformed using Finite Element Analysis and apply to shape optimization.

1. 서 론

과거에 자동차 산업은 차량의 성능에 중점을 두고 있었지만 최근의 자동차 산업은 환경문제에 따른 배기가스 규제 및 고유가에 맞추어 차량의 경량화가 대두되고 있다. 이러한 추세에 맞추어 현가장치도 경량화를 위해 하이드로포밍 부품개발, 최적화 설계기법 적용, 고강도 소재 적용 등의 신 기술을 적용하고 있다.

차축은 장치되어 있는 바퀴를 통해서 자동차의 중량을 지지하는 것이지만, 주행중에는 노면으로부터 충격적인 하중도 받으므로 그들의 하중에 충분히

견딜만한 강도와 강성이 필요하며,⁽¹⁾ 구조상으로는 좌우 바퀴를 1 개의 차축으로 연결한 차축식(Rigid axle)과 좌우의 바퀴가 각각 별개로 운동할 수 있도록 만든 분할 차축식(Divided axle)으로 나눌 수 있다.

차축식은 좌우의 바퀴가 1 개의 차축(Axle)에 연결되며 그 차축을 스프링을 거쳐서 차체에 장치하는 형식이며, 강도가 크고 구조가 간단하므로 Fig. 1 과 같이 대형 트럭이나 버스 등에 가장 많이 채용되고 있다.⁽²⁾



Fig. 1 Commercial Vehicle

[이 논문은 2008년도 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회 (2008. 6. 4.-5. 제주오리엔탈호텔) 발표논문임]

[†] 책임저자, 회원, 현대하이스코 기술연구소

E-mail : dsc501@hysco.com

TEL : (052)280-0328 FAX : (052)287-7800

* 현대하이스코 기술연구소

** 현대하이스코 울산공장

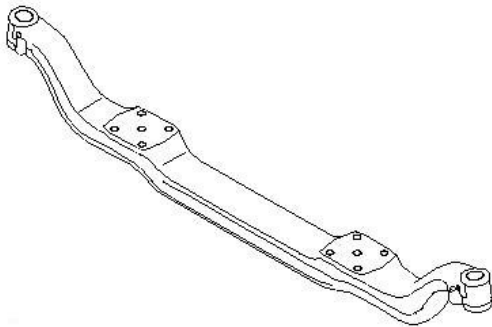


Fig. 2 Front rigid axle

자동차의 현가장치는 주행시 노면의 접지력을 유지하는 조종 안정성과 지면의 충격을 완화하는 승차감 기능을 할 수 있어야 한다.⁽⁶⁾

현가장치의 승차감과 조정 안정성에 대해서는 다양한 연구결과가 제시되어 대부분의 현가장치에 대한 동적 거동의 최적화를 위한 일반적인 설계방법이 제시 되었다.

앞차축은 일반적으로 Fig. 2와 같이 I형 단면형상을 가지게 되며 특수강을 형태단조하여 제작된다.

앞차축 액슬을 하이드로포밍 공법을 적용하게 되면 기존 단조품 대비 경량화가 가능하고 비용이 절감되는 장점이 있다.

강도확보는 차량 전체에도 적용되지만 앞차축 액슬의 강도를 확보하는 문제 또한 중요하다. 앞차축 액슬의 단면형상은 설계초기에 결정하여야 하여야 하므로 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다. 단면형상에 대해 응력분포가 양호한 구조설계가 이루어질 수 있는 체계적인 접근이 필요하다. 이외에도 앞차축 액슬을 보강하는 보 강재(Reinforcement)의 형상 등이 있다.⁽³⁾

본 논문에서는 앞차축 액슬 프로파일을 하이드로포밍 공법을 이용하여 튜브형으로 적용하여 전체적인 프로파일의 형상에 대한 설계인자를 두고 최적설계를 구성하였다.

형상에 대한 경향을 강도해석(Static Analysis)을 하여 취약부와 응력 집중을 최소화 하는 방향으로 설계를 한 후 성형해석을 하여 제작가능성에 대해 평가하였다.

2. 앞차축 액슬의 설계 및 해석

2.1 앞차축 액슬의 개념설계

현재 대부분 대형차량의 앞차축 액슬은 특수강을 형태단조한 I형 단면 형상을 가지고 있다.

본 논문에서는 하이드로포밍 공법을 이용하여 기존의 단조품 앞차축 액슬형상을 비교하여 강도를 만족시키면서 중량을 감소시키는 튜브형 앞차축 액슬을 설계하였다.

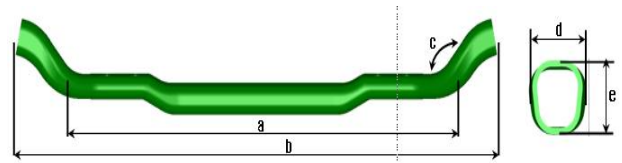


Fig. 3 The section of front rigid axle

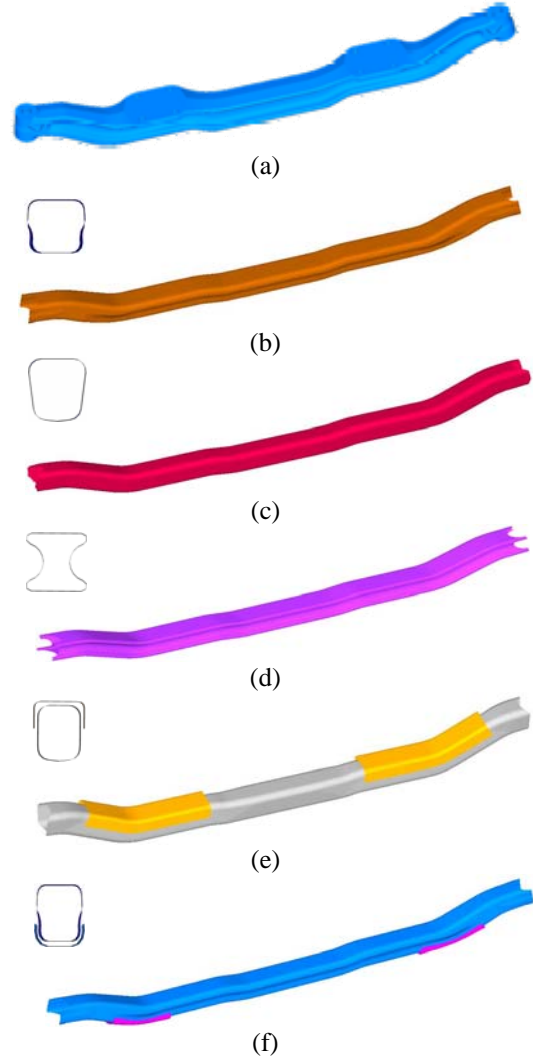


Fig. 4 Shape of front rigid axle

먼저 튜블러 액슬의 강성과 밀접한 연관성을 갖는 단면의 형상을 변경하여 Fig. 3 과 같이 최적설계를 하였다. 단면형상에 따른 강성은 d,e 와 밀접한 관련이 있으며 단면 형상길이인 a, 액슬각도 c 에 의해 영향을 미친다.

단면 형상에 영향을 주는 인자를 바탕으로 튜브 형태의 앞차축 액슬을 다음과 같이 모델링 하였다.

Fig. 4에서 앞차축 액슬형태는 (a)의 기존 단조 형상을 기준으로 하여 단면형상 길이 a 와 각도 c 는 동일하게 하고 (b), (c), (d)는 단면형상에 변화를 주었고 (e)는 상단에 보강재를 (f)는 하단에 보강재를 추가하였다.

Table 1 Material property

	E(N/mm ²)	v	D (sec ² /mm ⁴)
Steel	2.1e+05	0.3	7.9e-09

Table 2 Stress result of rigid axle

	Max Von Mises Stress (Mpa)					
	A	B	C	D	E	F
Top	878	7151	3341	6465	2914	6504
Bottom	868	4054	1841	822	1610	3073

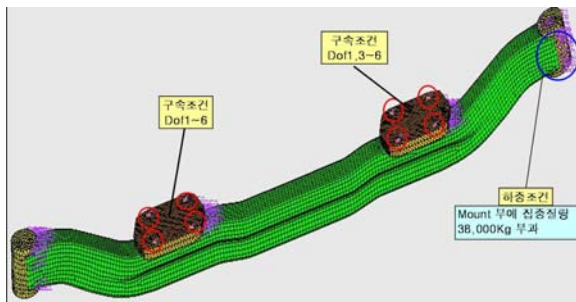


Fig. 5 Finite element model

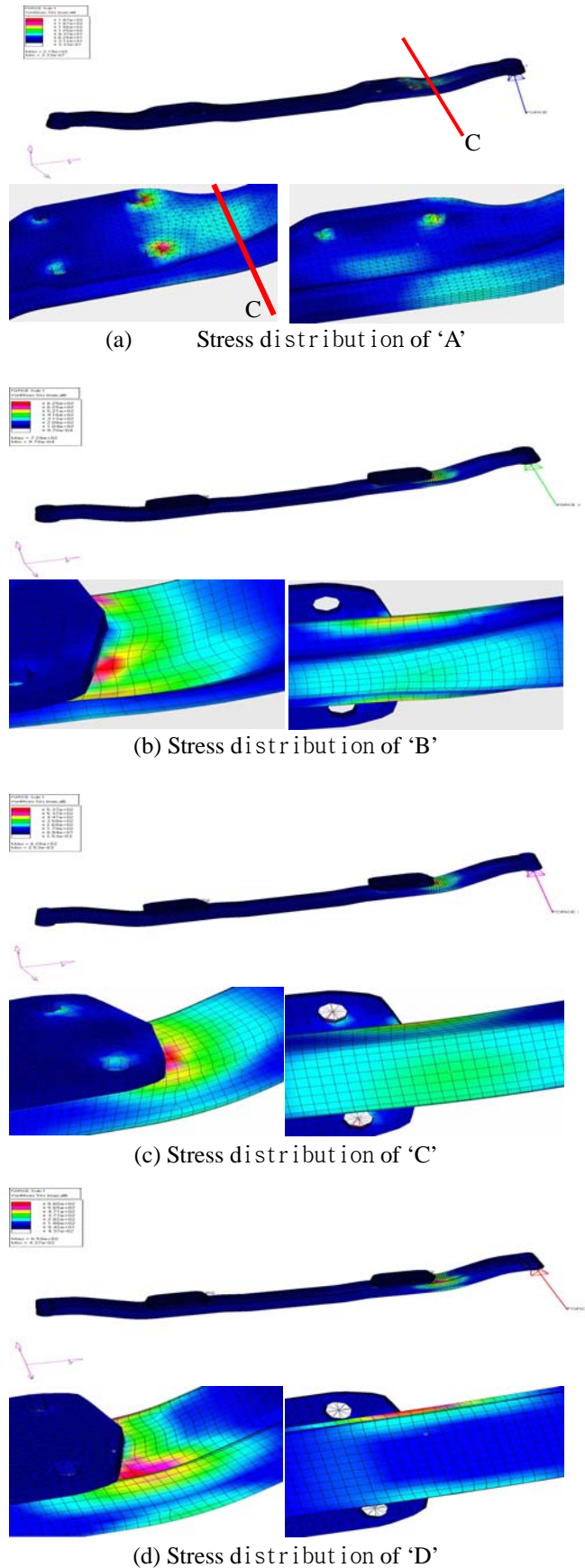
2.2 앞차축 액슬 유한요소 해석

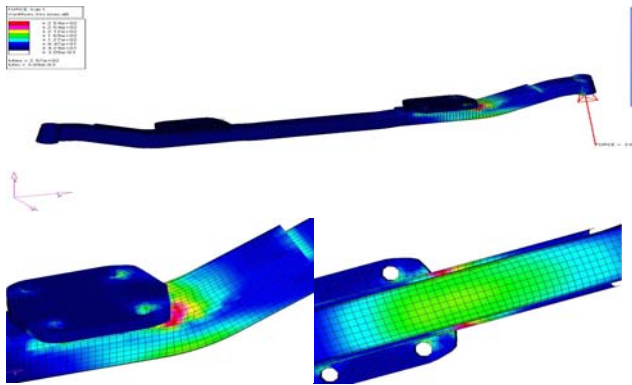
앞차축 액슬 설계에 필요한 해석기술은 차량의 거동을 예측하기 위한 차량 동역학 해석이 필요하다. 이를 근거로 부품에 각각 적용하는 하중조건을 결정하여 부품에서 응력과 변형에 대한 구조해석을 수행한다. 각 부품에 작용하는 하중조건은 동역학 해석에 의해 부품에 작용하는 하중을 얻었다.

하이드로포밍이 적용되는 액슬부는 기본적으로 10mm Shell 요소를 사용하였고 마운팅 및 부쉬는 Tetra 요소를 사용하였다. 용접요소또한 Shell 요소를 사용하였고 하중이 적용되는 마운팅부는 Y 축 병진 자유도를 제외하고 하중이 적용되지 않는 부는 X,Y,Z 병진 및 회전 자유도를 구속하였다.

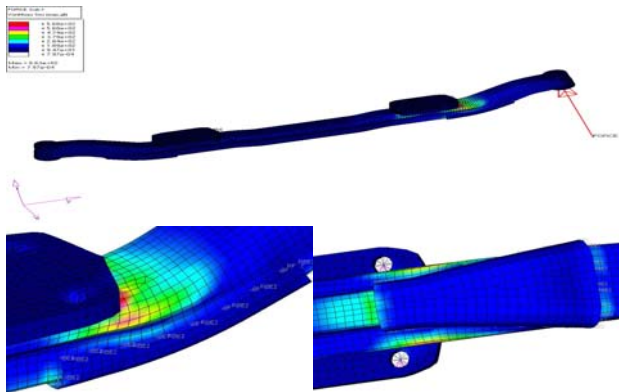
2.2.1 정적(Static Analysis)해석

차량의 거동을 예측하기 위한 차량 동역학 해석을 이용하여 반력을 구한 것을 이용하여 하중조건을 적용하였다. 여러 Case 에 하중을 받는 조건을 찾아 Von Mises Stress 를 구하였다.





(e) Stress distribution of 'E'

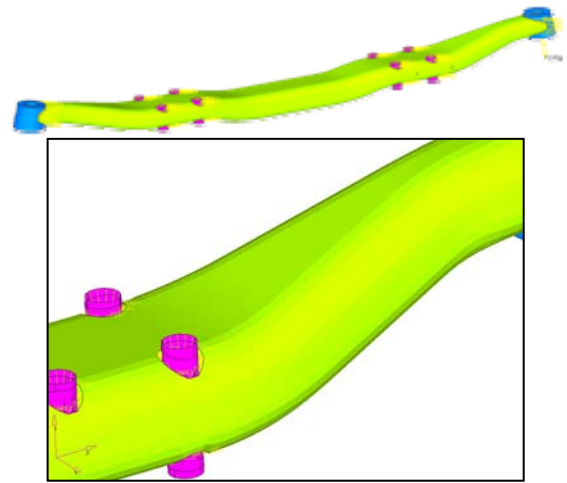


(f) Stress distribution of 'F'

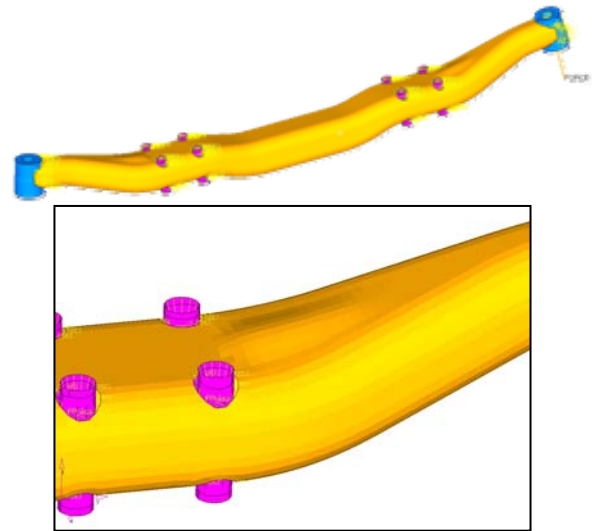
Fig. 6 Stress distribution in rigid axle

다음 그림은 응력분포를 나타내는 그림으로 좌측은 액슬의상단부 분포를 우측은 액슬의 하단부 분포를 나타내고 있다.

기존 단조품 대비 파이프 형태의 액슬은 응력이 상당히 증가함을 알 수 있다. 특히 대부분의 응력집중 부위는 변곡지역 c 부분부터 응력집중이 나타나고 있음을 알 수 있다. 중공상태의 I 형 단면의 경우는 돌출된 말단부에 응력이 집중되었다. 응력을 분산할 수 있는 하단부보다는 상단부에 보강재를 추가하였을 경우 응력이 감소하였다. 또한 마운트와 액슬이 연결되는 연결부에 응력집중이 발생함을 알 수 있다. 이는 주로 액슬이 벤딩을 받아 발생하는 것을 알 수 있고 보강재를 추가하는 경우 E,F 보강재가 접촉되는 부분부터 응력집중이 발생함을 알 수 있다. 이는 단조품 대비 액슬의 곡면과 마운트 용접단면이 협소하여 응력집중이 과다 발생함을 알 수 있고 액슬형상 (Axle Shape)을 변경하여 응력을 감소할 필요가 있다.



(a) Hydroforming Rigid Axle Model



(b) Hydroforming Axle Bead Model

Fig. 7 Shape of Hydroforming Axle

3 하이드로포밍 액슬 설계 및 해석

3.1 하이드로포밍 액슬 개념설계

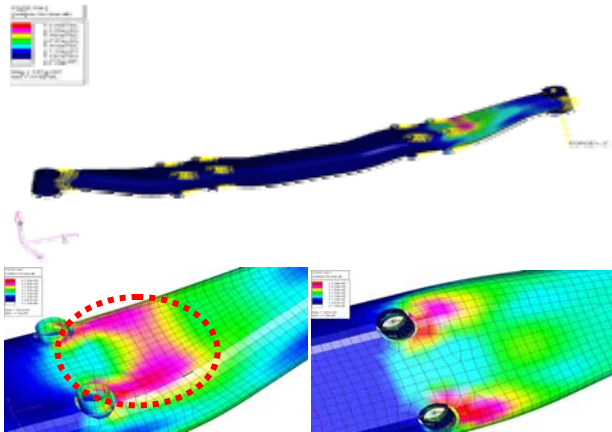
단면형상에 따른 액슬의 강도해석을 한 결과를 이용하여 마운트에 응력집중을 감소하기 위해 마운 대신에 액슬에 관통너트를 삽입하였고 관통너트의 단면 확보를 위해 기존 액슬의 파이프 사이즈 대비 사이즈를 확장시켰다. 이외 부가적으로 액슬의 응력분산을 위해 변곡지역 c 에 비드형상을 추가하여 비드를 추가한 하이드로포밍 모델을 비교하였다.

3.2 하이드로포밍 액슬 정적해석(Static Analysis)

하이드로포밍 액슬부는 기존 액슬 유한요소모델링과 동일하게 기본적으로 10mm Shell 요소를 사용하였고 마운팅 및 부쉬는 Tetra 요소를 사용하였다. 용접요소

Table 3 Stress result of hydroforming rigid axle

		Hydroforming Max Stress (Mpa)
Non-Bead	Top	1299
	Bottom	1687
Add-Bead	Top	852
	Bottom	1068



(a) Hydroforming rigid axle stress distribution

(b) Hydroforming axle bead stress distribution

Fig. 8 Stress contour in hydroforming axle

또한 shell 요소를 사용하였고 하중이 적용되는 마운팅부는 1,3,4,5,6 자유도를 하중이 적용되지 않는 부는 1,2,3,4,5,6 자유도를 구속하였다. 물성치는 Steel 외 용접물성을 추가로 부여하였다 하중 또한 동일한 하중을 적용하였다.

비드에 관계없이 액슬의 응력분포 (Stress Distribution)는 관통볼트부터 부쉬부까지 나타나 있으며 하단부도 유사한 응력분포의 형태를 보였다.

분포된 그림에서 좌측은 액슬의 상단부를 우측은 하단부의 분포를 나타낸 것이다. 단순 하이드로포밍

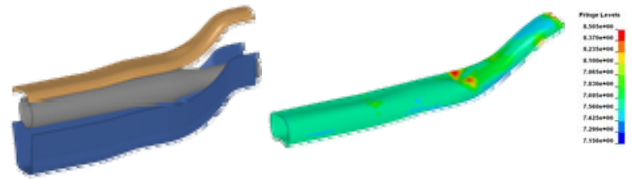


Fig. 9 Pre-forming cavity and thinning

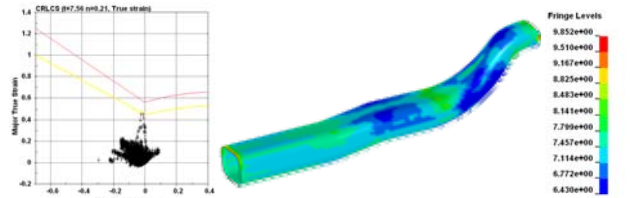


Fig. 10 FLD and Thinning Contour

모델의 경우는 상단부는 볼트용접부를 중심으로 액슬이 꺾이는 부분까지 응력이 집중됨을 알 수 있었고 비드가 추가된 모델의 경우는 볼트용접부 외에 비드 주위로 응력이 분산함을 알 수 있었고 액슬특성상 하단부에 응력이 다소 높게 나타났으나 기존 하이드로포밍 형상대비 상당한 응력감소가 됨을 알 수 있다.

4 하이드로포밍 성형해석

4.1 프리포밍 과정 (Pre-Forming Process)

프리포밍 과정은 벤딩된 튜브를 하이드로포밍 금형안에 잘 안착시킬 수 있도록, 그리고 하이드로포밍 공정시 내압이 증가되어 확관이 될 때 내압이 골고루 잘 분포될 수 있도록 튜브에 가형상을 주는 과정이다. 프리포밍은 제품의 최종형상에 따라 공정삭제가 가능도 하나 (벤딩→하이드로포밍) 앞차축 액슬의 경우 도피현상들이 많이 있기 때문에 프리포밍 과정이 불가피 하다. Fig.9 는 앞차축 액슬(Front Rigid Axle)의 프리포밍 금형형상과 시뮬레이션 후의 두께감소율을 나타내며, 8.5%의 두께감소를 나타내고 있다.

4.2 하이드로포밍 과정 (Hydroforming Process)

앞차축 액슬의 하이드로포밍 공정은 다음과 같은 과정을 통해 진행된다.

- 1) 하이드로포밍 금형안에 공정품 안착
- 2) 다이 클로징 (Die - Closing)
- 3) 액시얼 피딩 (Axial Feeding) 및 내압증대
- 4) 캘리브레이션

Fig. 10 은 FLD (Forming Limit Diagram)와 하이드로

포밍 후의 두께분포를 나타내며 FLD 에서 보듯이 성형성은 양호한 것으로 판단되고 최소두께는 약 9.81%의 두께감소를 보인다.

5 결 론

본 연구에서는 하이드로포밍 공법으로 대형차 앞차축 액슬의 최적화 설계를 위하여 액슬 형상과 보강재를 이용한 설계에 관해 고찰하였다.

(1) 단조품의 앞차축 액슬을 기준으로 하이드로포밍을 고려한 파이프 액슬 형상 및 보강재를 이용한 설계를 비교 평가하였다.

(2) 액슬의 강도해석시 액슬 단면 형상에 따라 응력집중 변화를 확인하였다.

(3) 단순 하이드로포밍 형상보다 제품의 특성을 고려한 비드형상의 변화로 응력감소를 확인하였다.

위의 결론으로 상단부에 비드형상을 부여한 하이드로포밍 액슬을 설계 및 제작하였다.

참고문헌

- (1) Reimpell, J. and Stoll, H., 1995, "The Automotive Chassis; Engineering Principles," SAE, pp.45~54.
- (2) Stephen H. Crandall and Norman C. Dahl, 1981, "An Introduction to the Mechanics of Solid," McGraw-Hill, pp. 428~430.
- (3) Jin-Gon Kim, Yong-Kuk Park, 2004, "Stress Analysis of Large Commercial Vehicle Frames with Bolted Joints," KOSME., pp.577~586.
- (4) Kyung-Soo Jin, Hyo-Sub Kim , 2007, "Development on NVH of Hydroforming Engine Cradle," KSNVE, pp. 1~6.
- (5) Technical Hand Book on Vehicles, 1996, KSAE, pp. 335~337.
- (6) Jung-Pyo En, Chang-Sun Shin, 2003, "Vehicle Structure Learning," Dong-Sin Book, pp. 145~147.
- (7) MSC.NASTRAN Version 69 Basic Dynamic Analysis User's Guide 2005.