

STEERING SYSTEM 지지계에 HYDROFORMING 적용시

형상 최적화 연구

서 정 범*, 김 봉 수
(현대자동차 차량개발팀)

Shape Optimization of the Steering Support System Using HYDROFORMING

Seo Jeong Beom, Kim Bong Soo
(Hyundai Motor Company, Vehicle Development & Analysis Team)

Hydroforming, the new production technology, has been used to manufacture many parts of vehicle in the recent auto industry. When Hydroforming is applied, it is possible to make parts simplification and flexible alteration of section shape in many advantages such as weight reduction, number of parts reduction or performance improvement. This research into shape optimization which reduces number of parts and weight maintaining performance was achieved. In this paper, the COWL CROSS BAR and MT'g BRKT parts of A car STEERING support SYSTEM was introduced by using Hydroforming.

Key Word : STEERING SYSTEM, HF(HYDROFORMING), SENSITIVITY, OPTIMIZATION

1. 서 론

최근 자동차 업계에서는 경량화가 자동차 생산에 필수적인 요구로 대두되고 있다. 이러한 요구와 더불어 소비자의 만족도를 높이기 위한 저진동, 저소음 차량에 대한 요구 또한 대두되고 있다. 그러나 이 두가지 요구는 일반적으로 서로 상반되는 경향이 있어 이를 동시에 만족 시키기는 매우 어려운 현실이다. 자동차 업계에서는 이러한 어려움을 극복하는 방안으로 TWB(Tailor Welded Blank), HF(Hydroforming : 이하 HF로 표기) 등의 새로운 제작 공법 및 HSS(High Strength Steel)와 같은 기 개발된 고장력 강판을 도입하여 문제를 해결하려하고 있다.

이 중 HF를 적용한 부품들이 증가하는 추세를 보이고 있는데 이는 HF으로 성형할 경우, 1) 구조 단순화 2) 최적형상 결정 가능 3) 구조 성능 향상 4) 저 비용 및 부품 수 감소 5) 성형 후 공정 감소 6) 치수 정밀도 향상 7) Scrap 감소 등의 장점이 있기 때문이다.

본 논문에서는 이러한 HF의 장점을 이용하여 경량화 및 진동 성능 향상을 이루고자 하였다. 그 대상으로 당사 A Car STEERING SYSTEM 지지계의 중요 부재인 COWL CROSS BAR와 MT'g BRKT를 선정하였고, 이들을 HF으로 설계하는 과정 중 그 형상의 최적화 과정을 기술하였다.

2. 본 론

2.1 A CAR STEERING SYSTEM

A CAR STEERING SYSTEM 을 살펴보면, 우선 차체 MT'g 방법은 Bolting 으로 10 군데에서 차체와 연결되고 있다.(Fig.1 참조) A CAR 이전의 차량들은 COWL CROSS BAR 가 BIW 에 용접되어 생산되었는데 그 후로 Module 화 개념이 도입되면서 차체에 의장 부품처럼 Bolting 으로 부착되게 되었다. Module 화는 STEERING SYSTEM 에 연결되는 부품을 모두 부착시킨 하나의 단체를 차체에 한번에 조립하는 것을 말한다. 이때의 장점은 공정수 및 원가절감을 할 수 있으며 관리가 간편하다는 것이며, 단점은 MT'g 조건이 진동성능을 저하시킨다는 것이다. Module 화 된 STEERING SYSTEM 과 그 이전의 STEERING SYSTEM 두 방식의 차체 부착조건 차이 및 성능 차이는 아래와 같다.

- Module 화 이전 방식

- 차체에 용접
- 용접 제한 요인이 적다.

- Module 화 방식 (Fig.1 참조)

- 차체에 Bolting
- Bolting 방향 및 방법에 제한 있음.
- Bolting 개수 제한 있음

- 진동 성능 비교

차체에 용접 > Module 화

위에 언급한 이유들 때문에 Module 화로 갈 경우 진동 성능 향상을 위해서는 중량 증가가 불가피하다. 결국 이러한 이유도 HF 적용의 필요성 중 하나이다.

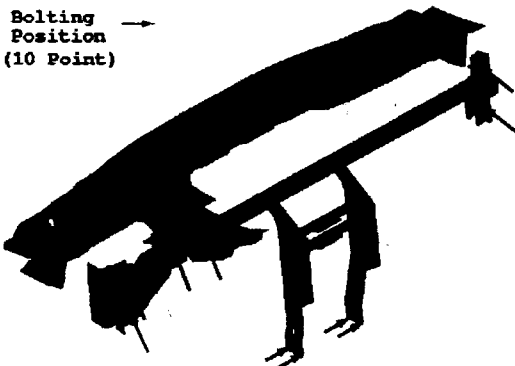


Fig. 1 A CAR STEERING SYSTEM 지지계 FE MODEL

2.2 형상 최적화 해석 진행 과정

HF 의 장점을 최대한 구현하기 위해서는 COWL CROSS BAR 의 최적형상을 구하는 일련의 해석이 필요하다. 이를 위해 여러가지 해석 TOOL 을 사용하여 최적화를 수행하였다. 그 과정은 아래 순서도와 같다.

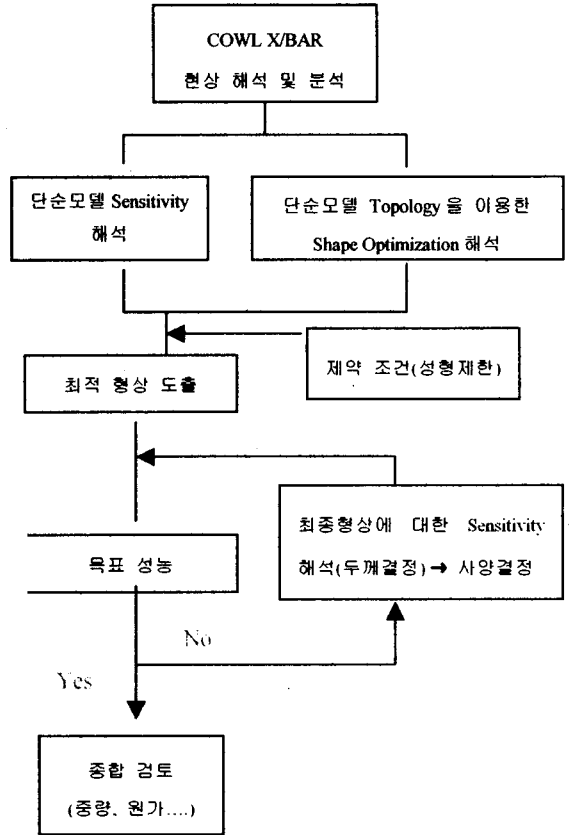


Fig. 2 형상 최적화 해석 순서도

2.3 HF 적용 COWL CROSS BAR 형상 최적화

2.3.1 COWL CROSS BAR 거동 분석

HF COWL CROSS BAR 의 동적거동을 살펴보기 위해 Fig. 3 과 같이 COWL CROSS BAR 와 MT'g BRKT 을 일체화 시킨 HF 초기 안을 적용한 모델을 구성하였다. HF 적용 STEERING SYSTEM 의 동적거동을 살펴보면 Fig.4 (a) 와 같이 STEERING WHEEL 이 상하로 움직이는 모우드가 첫번째로 발생한다. 이러한 움직임의 크기가 IDLE 시 커지면 운전자가 불쾌감을 느끼게 된다. IDLE 시에 엔진에서 STEERING SYSTEM 으로 들어오는 주파수는 보통 21.7Hz~25Hz

(650~750RPM)이며, STEERING SYSTEM 의 첫번째 주파수가 이 주파수 범위에 놓이게 되면 공진이 일어나 WHEEL 진동이 크게 된다. 이를 방지하기 위해서는 STEERING SYSTEM 의 첫번째 주파수를 일정 주파수 이상 되게 설계해야 한다. 또한 차체 첫번째 굽힘진동수가 IDLE 주파수 근처에 있기 때문에 이것도 또한 피해야 한다.

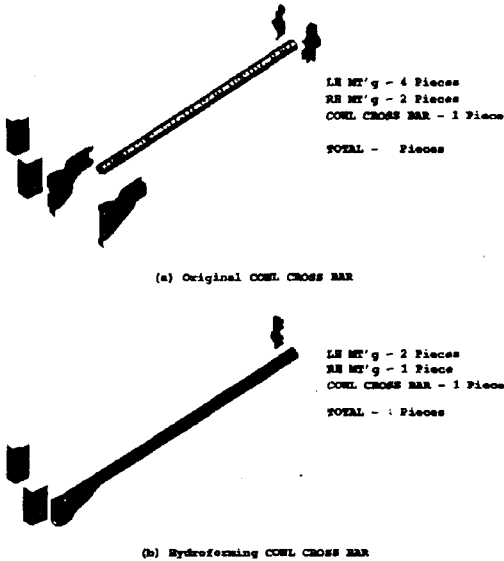
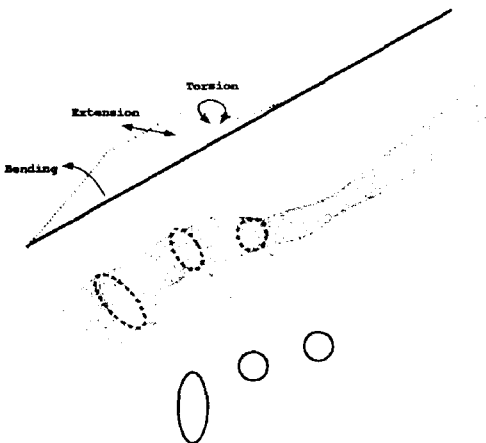


Fig. 3 HF COWL CROSS BAR 초기안



(a) STEERING WHEEL Vertical Modeshape & COWL CROSS BAR Deformed Shape



(b) COWL CROSS BAR 단면변화 양상

Fig. 4 COWL CROSS BAR 변형 양상

STEERING SYSTEM 첫번째 주파수에서의 COWL CROSS BAR 의 거동을 살펴보면 Fig.4(a), (b)와 같다. Fig.4 (b)를 보면 COWL CROSS BAR 의 움직임은 3부분으로 대별되고 있음을 알 수 있다.

- LH MT'g 부 ~ CTR PLT 끝단
→ 굽힘이 많이 발생.
- CTR PLT 부분
→ 단면의 찌그러짐 발생.
- CTR PLT 끝단 ~ CTR SUPPORT BRKT
→ 비틀림이 많이 발생.

이러한 결과로 볼 때 COWL CROSS BAR 의 단면은 각 부분별로 변형되는 양상에 따라 결정되어야 함을 알 수 있다.

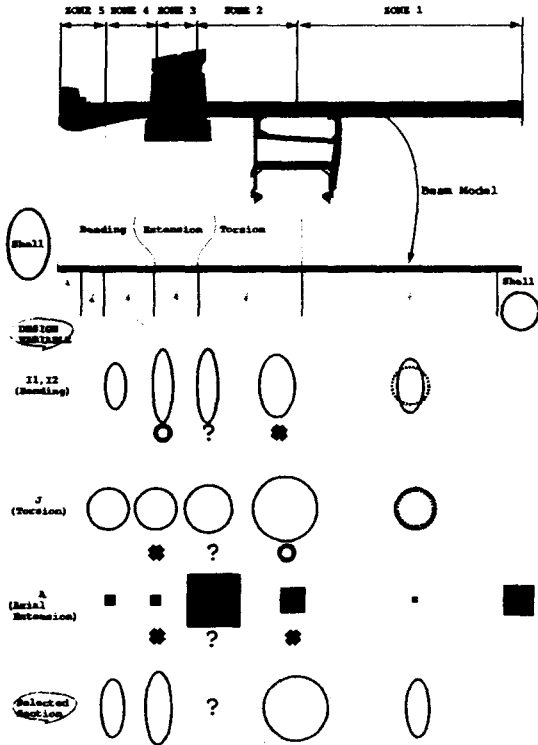
2.3.2 BEAM 모델을 통한 단면 결정

COWL CROSS BAR 변형양상에 적합한 단면을 구하기 위하여 Fig.5 와 같이 COWL CROSS BAR 를 BEAM 으로 간략화 하여 Sensitivity 해석을 수행하였다. 이 때 BEAM 을 5 개 부분(ZONE1~5)으로 모델링 하였고, Sensitivity 해석을 위한 변수들은 아래와 같이 선정하였다.

- 해석 TOOL - Nastran Sensitivity, SOL200
- 초기단면 - 원
- Design Variable
 - I1, I2 (Bending Stiffness 와 비례)
 - J (Torsion Stiffness 와 비례)
 - A (단면적, Axial Stiffness 와 비례)
- Object - 첫번째 주파수 A Hz

위와 같이 해석하여 나온 결과를 초기값과 비교하여 Fig.5 에 나타내었다. 우선 Bending 강성에 연관되는 I1, I2 값 결과를 보면 초기의 형태인 원에서 타원형으로 변화했으며 ZONE 3, 4 가 Bending 강성에 민감한 것을 알 수 있다. 다음으로 Torsion 강성에 연관되는 J 값의 결과를 보면 ZONE 2 에서 가장 민감한 것으로 나타났으며, 이는 앞에서 분석한대로 ZONE 2 에 비틀림이 주로 작용함을 알 수 있다. 마지막으로 Axial 강성에 연관되는 A 값 결과를 보면 ZONE 3 에서 민감함을 알 수 있다. 이상과 같은 결과를 종합하여 볼 때 COWL CROSS BAR 의 단면형

상은 변형 형태를 보고 판단한 것이 타당하며 각각에 적합한 단면 형상은 아래와 같음



을 알 수 있다.(Fig.5 참조)

Fig. 5 Sensitivity 해석을 통한 단면 결정

- ZONE 1
 - 타원형 단면
- ZONE 2
 - 원단면, 다른 부분에 비해 Torsion 이 지배적임.
- ZONE 3
 - ?, 3 가지 값이 모두 크므로 적절한 단면형태를 판별할 수 없다.
- ZONE 4
 - 타원형 단면, 다른 부분에 비해 Bending 이 지배적임.
- ZONE 5
 - 타원형 단면

ZONE 3 의 경우 앞에서 본 변형 양상 (Fig.4 참조)을 살펴보면 단면이 찌그러지는 형상이므로 BEAM 모델로써 재현하는데 한계가 있고 또한 위의 결과에서도 단면형상을 알 수 없으므로 다른 해석 TOOL 을 이용하여 단면형상을 결정하여야 한다.

2.3.3 Topology 를 이용한 ZONE 3 단면 결정

ZONE 3 의 단면형상을 결정하기 위하여 Topology 를 이용한 Shape Optimization TOOL 을 사용하였고, 아래와 같은 방법으로 간략화하여 해석하였다.

- Concept 모델 구성 → Solid 사각튜브
- 실 조건과 비슷한 모델 구성이 어렵기 때문에 고유 모드 Topology 해석 불가
 - 정적 Topology 해석 이용
- 정적 하중과 Boundary 설정(Fig.6 참조)

ZONE 3 부위의 동적거동에 유사한 힘 및 경계조건을 아래와 같이 설정하여 Topology 를 이용한 Optimization 해석을 수행하였다.

◆ CASE 1

ZONE 3 뒷부분은 Plate 가 붙잡고 있는데 이 부분은 완전히 구속되는 것과 완전히 자유로운 것의 혼합된 형태이므로 우선 병진만 구속하고 회전에 대하여 구속하지 않았다. ZONE 3 앞 부분에 WHEEL 이 작용하는 힘은 WHEEL 의 MT'g 구조상 일정 각도를 유지하므로 이 방향으로 작용하게 하였다. 그러므로 이 힘 성분은 수평 방향으로 잡아당기는 힘과 수직으로 누르므로 발생하는 모멘트로 구성된다.

해석된 결과는 주어진 하중에 따른 각 부분의 밀도로 표시되며 밀도가 낮은 부위들은 제거하여도 됨을 나타낸다. 위의 결과를 일정 밀도 이상을 지닌 부분만 표시하면 Fig.6 과 같으며 ZONE 3 끝단의 단면은 원에 가까운 단면이 된다. 이 결과에서 ZONE 3 부분이 모두 없어진 것은 이 부분이 전체적으로 회전을 하였기 때문이다. 여기서 CASE 1 과 같은 하중은 주로 회전에 대한 하중이 주가 됨을 알 수 있다.

◆ CASE 2

이번에는 ZONE 3 뒷부분을 완전히 구속시키고 힘은 CASE 1 과 동일하게 주었다. 그 결과 Fig.6 에서 보는 것 처럼 ZONE 3 부분만이 남게 되는데 이는 주로 잡아당기는 힘이 작용함을 나타내는 것이다. 이 때의 ZONE 3 단면을 살펴보면 CASE 1 과 다르게 두꺼운 말발굽 형태가 됨을 알 수 있다.

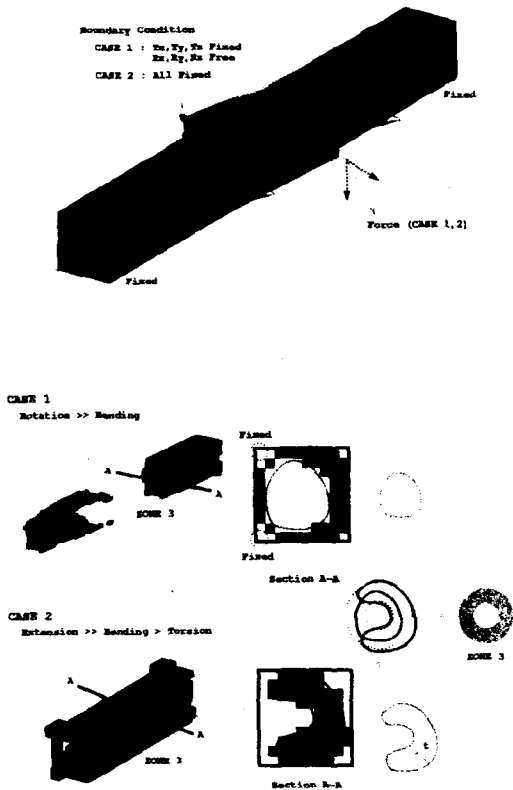


Fig. 6 Topology 를 이용한 단면 결정

위의 두 결과를 합하여 보면 ZONE 3 에 적합한 단면은 두꺼운 원단면임을 알 수 있었다.

2.3.4 HF 성형성 검토

위에서 얻은 단면을 정리하여 보면 아래와 같으며, 이러한 단면이 성형 가능한가를 살펴보았다.

- ZONE 1 - 타원형 단면
- ZONE 2 - 원단면
- ZONE 3 - 두꺼운 원단면
- ZONE 4 - 타원형 단면
- ZONE 5 - 타원형 단면

위와 같은 단면을 성형하기 위해서는 다음과 같은 제약조건이 있다. 우선 첫번째로 HF 확관률(최대 40%) 제한에 의해서 ZONE 3 원단면의 크기에 따라 ZONE 5의 타원단면 크기가 제한을 받는다. 두번째로 LH 부의 2점 Bolting을 위해 최소 B mm 이상 Bolt 사이 간격이 확보되어야 한다. 이 두 조건을 만족시키기 위해서는 ZONE 5 영역의 타원의 높이는 최대 C mm 가 되며, 폭은 D mm 가 된다. 또한 ZONE 3의 원단면은 직경

E mm 이상이 되어야 한다.(Fig.7 참조) 이 조건만 만족되면 HF 성형에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

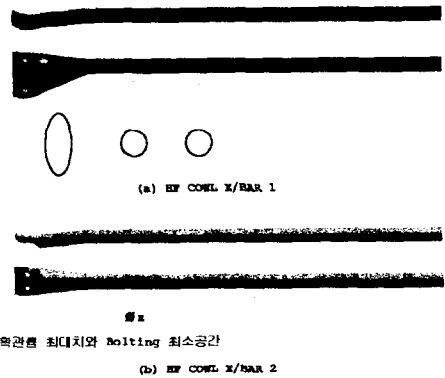


Fig. 7 HF 성형제한에 따른 형상변경

2.3.5 HF COWL CROSS BAR 최적 두께 결정

HF 성형 가능한 단면을 2.3.4 에서 확정하였고 이를 가지고 목표성능을 만족시키는 두께를 결정하기 위하여 Nastran Sensitivity를 이용하여 각 부분의 최적 두께를 결정하였다.

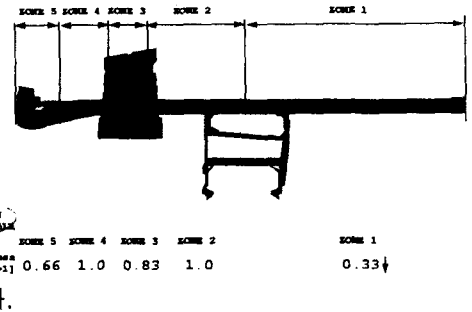


Fig. 8 Sensitivity 해석을 통한 두께 결정

그 결과는 Fig.8 과 같으며 ZONE 1의 경우 기여하는 바가 아주 작음을 알 수 있었다. 이 결과에 따라 ZONE 2의 두께가 결정되면 확관에 의해 ZONE 5의 두께가 작아지므로 ZONE 2,5 및 확관에 따른 수축률도 같이 고려하여 두께를 결정하여야 한다.

2.3.6 최종 HF COWL CROSS BAR 종합 검토

위와 같은 과정을 거쳐서 다음과 같은 형상이 결정되었다.

- 단면형상 - Fig.9 참조

● BAR 직경 E mm, 두께 Ft

BAR 를 두개로 나누어서 중량 감소시킴.(RH 부 BAR 는 기여도가 아주 작으므로 HF 으로 성형하지 않는다-원단면, 마찰용접 적용)

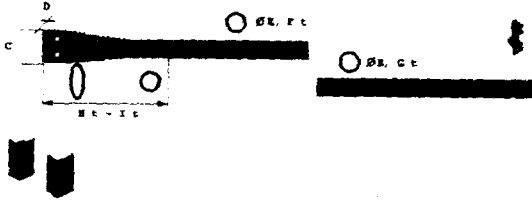


Fig. 9 HF 을 적용한 최적 COWL CROSS BAR

	기존 구조	HF 적용 구조	비고
성능 [첫번째 WHEEL 주파수]	A Hz	A Hz	동일
중량	5.101 Kg	3.633 Kg	1.468 Kg 감소
부품수	7 개	5 개	2개 부품 감소

표 1. HF 적용시 성능 및 중량 비교

위와 같이 제작하였을 때의 성능 및 중량, 부품 수는 Fig.9 와 같다. Fig. 9 을 보면 HF 를 적용함으로써 같은 성능을 발휘하면서 부품 수 절감 및 중량감소를 달성하였음을 알 수 있다.

3. 결 론

위와 같은 COWL CROSS BAR 의 최적화 과정을 통한 HF 적용에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- A. STEERING SYSTEM 성능에 큰 영향을 미치는 COWL CROSS BAR 의 동적 거동을 파악하였다.
- B. Nastran Sensitivity, Topology 을 이용한 Shape Optimization 등의 해석 TOOL 을 이용하여 COWL CROSS BAR 의 최적형을 구하였다.
- C. COWL CROSS BAR 에 Hydroforming 을 적용하여 동일 성능을 나타내면서 중량 감소 및 부품 수를 줄이는 개념설계를 이루었다.

4. 참고 문헌

1. MSC, "Design Sensitivity and Optimization User's Guide"
2. Quint Co., "OPTISHAPE User's Manual"
3. 서정범, "A Car STEERING SYSTEM 동강성 검토 및 설계방향 제시", 현대자동차 보고서
4. 서정범, "Hydroforming 적용시 Cowl X-Bar 형상 최적화 연구", 현대자동차보고서
5. 조홍수, 박동호, 서정범, 이주엽, 권희상. "신생산 공법을 적용한 고안전 경량 차체 개발", 자동차기술 Vol.12 1999년