

마그네슘 합금 판재를 이용한 차량용 후드의 설계 및 해석

신현우[#] · 유형조¹ · 여동훈² · 신경열² · 고윤석² · 최상운³ · 이성원³

Design and Analysis of Vehicle Hood using Magnesium Alloy Sheets

H. W. Shin, H. J. Yoo, D. H. Yeo, K. Y. Shin, Y. S. Koh, S. W. Choi, S. W. Lee

Abstract

To achieve the weight reduction of a vehicle, Magnesium alloys are widely used in automobile parts because of its lightweight characteristics. Magnesium alloys also have advantages in recycling, stiffness, NVH, heat protection. But Magnesium alloy parts are mainly manufactured by diecasting processes, their productivity was not so high compared to by sheet metal working.

We are developing vehicle hood using magnesium sheets. In this study we designed magnesium alloy hood which have equivalent mechanical characteristics to steel hood. Using finite element method we decided thickness of magnesium sheets under some design requirements and we changed the shape of hood inner panel and hinge reinforcements. Outer and inner panel thickness was 1.3mm, 1.5mm respectively. Panel dentibility analysis was performed to conform the new magnesium design by nonlinear FEM package. Formability and hemming of Magnesium sheets are the subjects for further study because they have poor stretchability compared to steel sheets.

Key Words : Magnesium sheet, 차량용 후드, FEM, stiffness, dentibility

1. 서 론

마그네슘 합금은 경량금속인 알루미늄 합금의 밀도보다 30% 작은 1.8g/cm^3 정도로 현재까지 개발된 합금 중에 최소의 밀도를 가지고 있다. 마그네슘 합금은 재활용이 용이하여 친 환경적이면서 강도와 강성, 진동, 충격, 소음, 전자파 차폐, 방열성 등이 우수하기 때문에, 항공, 자동차 산업 및 전자, IT 산업 등에 광범위하게 적용되고 있으며 그 수요는 더욱 증가하고 있다.

미국, 유럽, 일본 등의 선진국에서는 경량 및 기능소재로서 마그네슘 합금의 중요성을 인식하여 마그네슘 합금 관련 기술 개발을 위해 적극적인 투자와 활발한 연구를 진행하고 있다. 북미, 유럽에서 확산되고 있는 마그네슘 산업은 다이캐

스팅 공정을 중심으로 진행되어 왔으나 최근에는 다이캐스팅 보다 생산효율이 높은 판재 가공에도 많은 연구가 이루어지고 있다.

자동차 부품 중 마그네슘 판재로 가능한 부품은 매우 광범위하다. 차체의 외장품으로는 후드, 도어, 루프, 엔진 관련 부품으로는 오일 팬, 엔진 헤드 커버, 구조 부품으로는 범퍼 백 빔, 인스트루먼트 패널, 도어 서포트, 내장 부품으로는 시트 백 빔, 기타 휠 등이 마그네슘 판재로 제작될 수 있는 부품들이다. 실제로 독일 Volkswagen 자동차에서는 범퍼 빔, 도어 내측 패널, 후드, 웬더 등의 시제품을, 미국 GM 에서는 도어 내측 패널, 도어 보강 패널 등의 시제품을 마그네슘 판재로 제작하여 양산차에의 적용 가능성을 연구하고 있다 [1]~[3].

1. ㈜엠텍

2. GMDAT

3.(주)POSCO

두원공과대학, E-mail:hwshin@doowon.ac.kr

본 연구에서는 차량의 도어, 후드, 테일게이트, 트렁크 리드 등 차량의 외장품 중 후드를 선택하여 마그네슘 합금 판재로 개발하려고 한다. 후드를 선택한 이유는 승객 혹은 운전자가 직접 들어 올려야 하므로 중량에 대한 민감도가 도어나 트렁크 리드에 비하여 크고, 면적이 넓어 중량 감소의 효과가 크기 때문이다. 또한 도장에 있어서 마그네슘은 칠강재와는 다른 방식의 전착도장이 필요하기 때문에 별도로 도장할 수 있는 무빙 파트가 우선적인 연구 대상이 된다.

자동차의 외장품은 차량의 상품성을 결정하는 중요한 요소 중의 하나이다. 도어, 후드, 루프, 테일게이트 혹은 트렁크 리드 등은 각 부품이 가져야 하는 기능을 충족시킬 뿐 아니라 적절한 강성, 강도를 만족해야 한다. 또한 패널이 끌려거리는 현상 즉 패널 장강성에 대한 해석도 매우 중요하다.

본 연구에서는 현재 칠강재로 되어있는 후드와 동등한 기계적 특성을 가진 마그네슘 합금 판재로 바꾸기 위하여 마그네슘 판재의 내, 외부 패널의 두께를 잠정적으로 결정하고, 보강재 및 내부 패널의 형상 변경을 통하여 좀 더 최적화된 설계안과 내, 외부 패널의 두께를 결정한다.

재설계된 후드에 대하여 각 부품마다 주어진 설계목표치에 도달하는가를 유한요소해석을 통해 검증하고 수정하여 최종적으로는 마그네슘 합금 판재 후드를 개발하는 것을 목표로 한다.

2. 본 론

2.1 후드 설계조건

본 연구에서는 마그네슘 판재의 적용가능성을 파악하기 위한 기본 모델로서 GM 대우자동차의 소형 모델을 선정하였다. 칠강재 판재를 기본으로 한 이 모델의 후드 설계데이터를 기초로 하여 마그네슘 판재로의 변경 가능성을 모색하고자 하였다.

후드의 설계에 있어서 기준은 다음과 같다.

a. 굽힘 강성 시험

Fig. 1 과 같이 Hinge 위치 고정 후 앞쪽 가운데 부분에 50~200N 하중 가한 후 굽힘 변위를 타차종과 상대비교 한다.

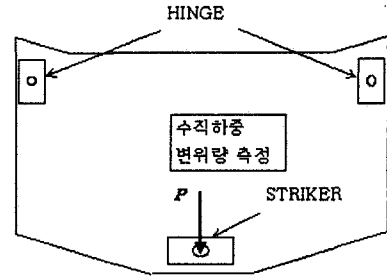


Fig 1. Schematic diagram of hood bending test.

b. 비틀림 강성 시험

Fig. 2에 보인 바와 같이 Hinge 및 좌(혹은 우)측 앞부분을 구속한 후 우측 앞부분에 100N의 하중 가한다.

Hood Torsional rigidity : 150Nm/deg 이상

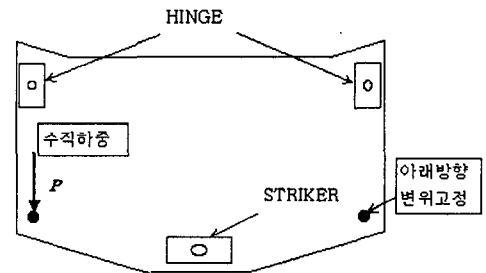


Fig. 2 Schematic diagram of hood torsion test.

c. 측면 강성 시험

Fig. 3에 보인 바와 같이 Hinge 고정 후 좌측에서 횡 방향으로 15kgf의 하중을 가하고 우측 점 위치의 횡 변위를 타차종과 상대비교 한다.

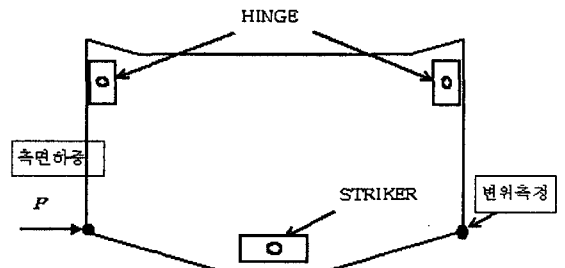


Fig. 3 Schematic diagram of hood lateral stiffness test.

d. 외판 강성 시험

힌지 및 스트라이커 부분을 고정하고 약할 것이라 판단되는 부분에 수직으로 하중을 가하여

다음은 기준으로 판단한다.

- 저하중시(50N 이하) 강성 : 0.05 mm/N
- 200N 인가시 변형량(탄성+소성) : 15 mm 이하
- DENT 발생하중 : 200N 이상
- OIL CANNING 발생하중 : 150N 이상

2.2 마그네슘 합금 판재를 이용한 후드의 1차 두께 결정

기존의 철강재 후드를 대신하여 마그네슘 합금 후드를 개발하기 위해서는 기존 철강재 후드에 적용하고 있는 설계조건을 마그네슘 합금재 후드에도 적용시켜 철강재와 동등한 성능이 도출되도록 마그네슘 판재의 두께를 정하는 것이 연구의 1차 목표이다. 이를 위하여 현재 후드를 구성하고 있는 내, 외측 패널, 각종 보강장치, 힌지 등의 형상을 그대로 유지한 채 내, 외측 패널만 마그네슘 합금재로 변경하고 그 두께를 변화시켜가면서 철강재 후드의 성능에 가장 가까운 두께 조합을 찾는 작업을 수행하였다.

먼저 후드의 유한요소모델을 작성한 후 2.1 절에서 언급한 굽힘, 비틀림, 측면 강성과 고유진동수를 1차 해석 항목으로 선정하였다. 외판강성은 탄소성 해석으로 시간이 많이 소요되기 때문에 최종 두께결정 후 해석하기로 하였다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 후드모델은 내, 외측 패널, 스트라이커, 힌지, 보강재 등으로 구성되어 있으며 유한요소 모델로는 외측 패널 4832개 요소, 내측 패널 5033개 요소, 힌지 등 기타 2515개 요소로 총 12,380개의 쉘 요소, 11,894개의 절점으로 이루어져 있다. 모델링 시 헤밍 부분은 고정하였고 접착 부분은 탄성 스프링 요소로 처리하였다.

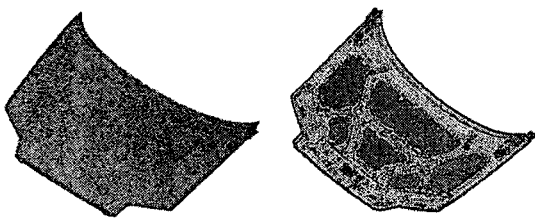


Fig. 4 Finite element model of hood.

마그네슘 합금재 내, 외판은 두께를 1.3mm 에서 0.2mm 간격으로 1.9mm 까지 각각 4 가지로 나누는 후, 4×4, 즉 16 가지 조합에 대하여 유한요소 해석을 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

a. 중량

내, 외측 패널, 힌지, 스트라이커, 보강재를 포함한 후드 전체의 중량은 철강재의 경우 11.03kg 이고 마그네슘 합금재를 이용하였을 때 내, 외측 패널의 두께에 따른 후드의 중량은 Table 1 과 같다. 어느 경우에도 기존의 철강재 후드보다 중량이 35%~53% 감소효과를 나타내고 있다.

Table 1. Mass of Magnesium hood (unit : kg)

Outer \ Inner	1.3t	1.5t	1.7t	1.9t
1.3t	5.21	5.60	5.98	6.36
1.5t	5.49	5.88	6.26	6.64
1.7t	5.77	6.16	6.54	6.92
1.9t	6.06	6.44	6.82	7.20

b. 고유진동수

Table 2에서 보는 바와 같이 내측 패널 1.3t, 외측 패널 1.9t 인 경우가 11.46Hz 로써 가장 작고 내측 패널이 1.9t, 외측 패널이 1.3t 인 경우가 가장 크다. 이것은 고유 진동수의 크기는 주로 내측 패널의 두께 혹은 형상에 의존한다는 것을 알 수 있다. 어느 경우에도 철강재 후드보다는 우수한 성능인 것으로 나타났다. 2 차 3 차 고유진동수도 마찬가지로 경향인 관계로 표에서는 생략하였다.

Table 2. First natural frequencies of Magnesium hood (unit : Hz)

Outer \ Inner	1.3t	1.5t	1.7t	1.9t
1.3t	12.12	11.90	11.68	11.46
1.5t	12.73	12.53	12.33	12.12
1.7t	13.28	13.09	12.90	12.71
1.9t	13.76	13.59	13.41	13.23

c. 굽힘 강성

후드의 굽힘 강성은 후드 끝에 하중을 가했을 때 후드 앞부분의 처짐량으로 나타낸다. 처짐량이 작을수록 강성이 크다고 할 수 있으며 Table 3에 보는 바와 같이 외측 패널 두께 1.5t 이상, 내측

패널 두께 1.9t 일 때 철강재 후드와 유사한 성능을 보여주고 있다.

Table 3. Bending Stiffness of Magnesium hood (unit : mm)

Outer Inner	1.3t	1.5t	1.7t	1.9t
1.3t	6.281	6.047	5.860	5.705
1.5t	5.367	5.169	5.003	4.867
1.7t	4.676	4.500	4.358	4.235
1.9t	4.136	3.979	3.850	3.742

d. 비틀림 강성

비틀림 강성의 경우는 앞서의 다른 항목과는 달리 목표치가 상대 값이 아닌 절대 값으로 주어진다. 기준치는 150Nm/deg 이상 이므로 Table 4 에서 보는 바와 같이 어느 경우에도 이 조건을 상회한다. 그러나 철강재 후드의 경우에 상응하는 마그네슘 판재의 두께는 내측 패널 1.5t 이상, 외측 패널 1.9t 이다.

Table 4. Torsional rigidity of magnesium hood (unit : Nm/deg)

Outer Inner	1.3t	1.5t	1.7t	1.9t
1.3t	282.9	290.4	296.9	302.8
1.5t	314.2	322.5	329.7	336.1
1.7t	343.5	352.6	360.5	367.4
1.9t	370.9	380.9	389.4	396.8

e. 측면 강성

측면 강성의 경우 철강재와 동등한 마그네슘 판재의 두께 조합은 Table 5 에서 보는 바와 같이 내, 외측 패널 모두 1.9t 인 경우이다.

Table 5. Lateral stiffness of Magnesium hood(unit : mm)

Outer Inner	1.3t	1.5t	1.7t	1.9t
1.3t	1.018	0.981	0.950	0.923
1.5t	0.868	0.837	0.810	0.787
1.7t	0.755	0.728	0.706	0.685
1.9t	0.667	0.644	0.624	0.606

앞의 결과들을 정리하면 다음과 같다.

- 중량 : 두께조합별로 34.7% ~ 52.8%의 감소 효과.

과.

- 고유진동수 : 모든 마그네슘 판재의 두께 조합이 철강재 보다 우수하여 NVH 성능 향상이 기대됨.
- 굽힘 강성 : 외측 1.5t 이상, 내측 1.9t 일 때가 철강재에 근접.
- 비틀림 강성 : 외측 1.5t 이상, 내측 1.9t 일 때 철강재에 근접하나 설계기준치는 어느 경우에도 만족.
- 측면 강성 : 내측 1.9t, 외측 1.9t 일 때 철강재에 근접.

전반적으로 보아 내측 패널이 후드 전체 강성에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 형상을 변경하지 않고 철강재 후드 성능과의 차이가 10% 전후에서 마그네슘 판재를 적용할 경우에는 외측 패널 1.5 ~ 1.7t, 내측 패널은 1.9t 가 적당할 것으로 판단되었다.

2.3 내측 패널 및 보강재의 설계변경을 통한 두께 결정

2.2 절에서는 현재 설계를 변경하지 않고 후드의 내외 패널을 마그네슘 판재로 교체했을 경우 철강재 후드와 동등한 성능을 만족시키기 위한 마그네슘 판재의 두께를 결정하였다. 이 절에서는 마그네슘 판재의 두께조합을 내측 1.5t, 외측 1.3~1.5t 로 하고, 내측 패널, 보강재의 설계변경을 통하여 다시 한 번 앞 절의 해석과정을 통하여 철강재와 동등한 성능을 나타내는 최종적인 두께 조합을 도출하였다.

설계변경 내역은 다음과 같이 이루어졌다. 먼저 엔진 룸 내의 Layout Package 를 검토하여 타 부품과 간섭이 없는 공간을 확보하고, 1 차 해석을 통해 나타난 응력 집중부 즉, 내측 패널의 Side Frame 부위를 보강하고, Hinge 보강재를 확대하여 전체적인 강성을 키우는 방향으로 설계변경을 시도하였다. 설계변경 내역은 Fig. 5 에 나타내었다.

2 차 해석은 다음의 6 가지 모델을 대상으로 하여 앞 절의 해석을 다시 한 번 수행하였다.

- Original Steel Model
- Mg1519 : Original Model(OTR 1.5t, INR 1.9t)
- Mg1515 : Original Model(OTR 1.5t, INR 1.5t)







	Reinforcement Hinge Hood	Panel Hood Inner	Changed Area
Original			
Modified			

Fig 5. Changing point of hood inner and hinge.

- Mod1515 : Modified Model(OTR 1.5t, INR 1.5t)
- Mod1515R : Modified Model(OTR 1.5t, INR 1.5t) with Modified Hinge Reinforcement
- Mod1315R : Modified Model(OTR 1.3t, INR 1.5t) with Modified Hinge Reinforcement

a. 고유진동수

Mg1515 모델의 경우 1 차 고유진동수 12.5Hz, 2 차 고유진동수 33.6Hz 인데 반하여 이 모델을 설계 변경한 Mod1515R 모델은 1 차 14.1 Hz, 2 차 35.5Hz로 개선되었으며 Fig. 6, 7에 나타내었다.

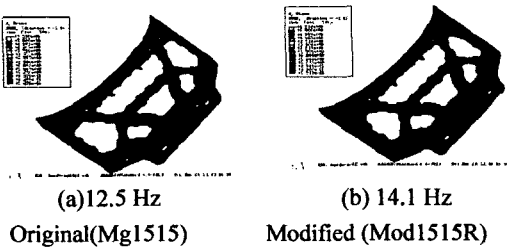


Fig.6 First natural frequencies and modes.

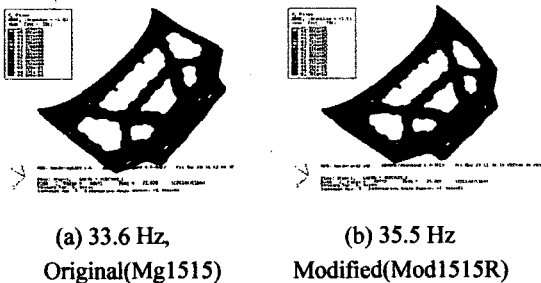


Fig.7 Second natural frequencies and modes.

b. 굽힘 강성

Mg1515 모델에 비하여 내측 패널과 보강재의 설계변경을 수행한 Mod1515R 모델은 굽힘 하중에 대한 처짐량이 5.17mm로부터 3.91mm로 감소되었다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 설계변경을 통하여 후드 힌지 쪽의 응력이 설계변경을 통하여 다소 완화되었음을 알 수 있다.

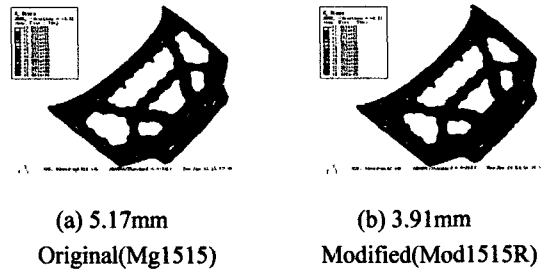


Fig. 8 Stress distribution under bending load.

c. 비틀림 강성

Fig. 9에 보는 바와 같이 Mg1515 모델에 비하여 내측 패널과 보강재의 설계변경을 수행한 Mod1515R 모델은 비틀림 하중에 대한 강성이 323Nm/deg로부터 353Nm/deg로 증가하였다.

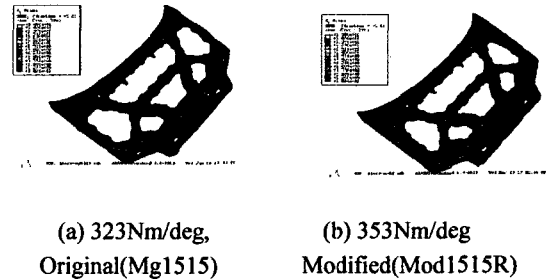


Fig. 9 Stress distribution under torsional load.

d. 측면 강성

Mg1515 모델에 비하여 내측 패널과 보강재의 설계변경을 수행한 Mod1515R 모델은 측면 하중에 대한 변형량이 0.837mm로부터 0.631mm로 감소하였음을 Fig. 10에서 볼 수 있다.

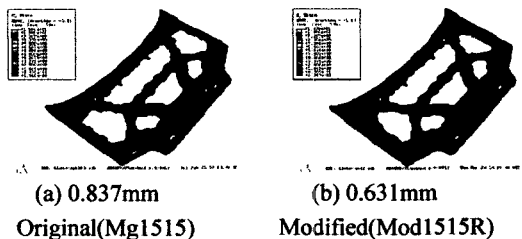


Fig. 10 Stress distribution under lateral load.

Table 6 2차 해석에 대한 결과분석

	Steel	Mg 1519	Mg 1515	Mod 1515	Mod 1515R	Mod 1315R
Mass	100	58	53	54	56	52
1-st Natural frequency	100	131	120	124	136	138
Bending stiffness	100	97	66	81	99	95
Torsional stiffness	100	97	82	88	89	87
Lateral stiffness	100	93	60	92	95	91

Table 6 은 철강재 모델의 중량, 고유진동수 등의 항목의 성능 값을 100 으로 했을 때 마그네슘 모델의 조합별 성능 값을 상대적으로 나타낸 것이다. Table 6 에서 보면 중량은 모델별로 철강재 대비 40~50%의 중량 감소효과가 있으며, 고유진동수는 모든 경우 철강재 대비 20~35% 성능이 향상되었다. 굽힘 강성에 있어서는 내측 패널만 변경할 때보다 힌지 보강재 변경을 동반할 때 강성 증대의 효과가 크며 철강재대비 95~99%의 성능을 나타낸다. 비틀림 강성은 철강재 대비 90% 정도의 성능을 나타내나 설계기준치는 어느 경우에도 만족한다. 측면강성의 경우는 내측 패널의 변경효과가 크나 보강재의 영향은 적고, 내측 패널 형상 변경 시 철강재 대비 91~95%의 성능을 보여주고 있다.

위와 같은 결과를 종합하면 내측 패널의 설계를 변경하고 힌지 보강재를 변경하는 조건에서 마그네슘 판재의 두께는 외측 1.3mm, 내측 1.5mm 가 적절하다고 판단된다.

2.4 외판 강성 해석을 통한 검증

앞 절에서는 후드의 전체적인 강도 및 강성을 기준으로 철강재 판재를 마그네슘 판재로 대신할

경우의 판 두께를 선정하였다. 그러나 자동차의 도어, 후드, 루프 등의 외판은 국부적인 하중에 의해 풀링거리거나 영구변형이 남아서는 안 된다는 조건도 만족시켜야 한다. 이것은 자동차의 상품성에 큰 영향을 미치는 인자로 알려져 있다.

후드 외판에 임의의 몇 개의 지점을 선택하고 이 지점에서 하중을 가했다가 제하를 한 후 어느 정도의 영구변형이 남아있는가를 ABAQUS 를 이용하여 해석하고 시험결과와 비교하여 보았다.

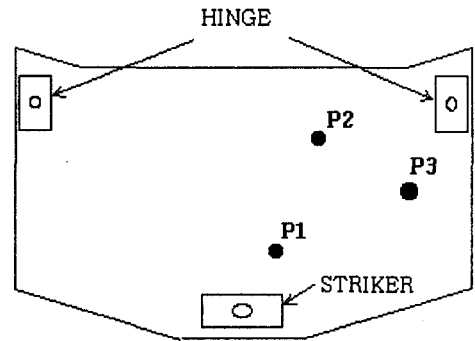


Fig. 11 Loading point for the panel stiffness

Fig. 11 과 같이 이 시험은 후드 외판 표면에서 약할 것이라 판단되는 위치에 지름 10mm 의 원판을 이용하여 외판의 수직방향으로 400N 의 하중을 가했다가 하중을 제거한 후 변형의 정도를 파악하는 것이다.

후드 패널 강성시험 결과를 Table 7 에 나타내었다. 표에서 E+P 는 탄성과 소성변형을 포함한 변위의 크기를 나타낸 것이고 P 는 하중을 제거한 후의 영구변형 변위를 나타낸 것이다. Table 7 에서 보는 바와 같이 해석 결과 마그네슘 판재의 경우가 철강재 판재보다 전체 변형량이나 영구 변형량이 적다는 것을 알 수 있다.

Table 7 Simulation results of outer panel stiffness(unit : mm)

mat	Steel			Mg		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
E+P	7.89	9.56	10.76	6.20	8.85	10.04
P	0.45	0.48	0.16	0.18	0.05	0.11

3. 결 론

본 연구에서는 차량의 경량화를 위하여 현재 철강 재료로 되어있는 외장 부품 중 후드를 대상으로, 동등한 기계적 특성을 가진 마그네슘 합금 판재로 변경하는 작업의 일부를 GM 대우자동차의 소형 모델을 대상으로 수행하였다.

먼저 일반적인 후드가 가져야 하는 기계적 성능에 부합하도록 마그네슘 판재의 내, 외부 패널의 두께를 잠정적으로 결정하고, 보강재 및 내부 패널의 형상 변경을 통하여 좀 더 최적화된 설계 안과 내, 외부 패널의 두께를 결정하였다.

1 차 해석에서는 현재의 형상을 변경하지 않고 철강재 판재를 마그네슘 판재로 바꾼 후 마그네슘 판재의 두께만을 변화시켜 철강재 후드의 성능에 상당하는 판재 두께조합을 찾는 것이다. 해석 결과 후드 외측 패널의 두께 1.5mm, 내측 패널 1.9mm 가 철강재 후드에 상당하는 것으로 판단되었다.

2 차 해석에서는 내측 패널의 형상을 강성을 향상시키는 방향으로 변경하고, 힌지 보강재의 형상 변경 및 크기 확대를 통하여 좀 더 얇은 두께로도 목표로 하는 성능에 도달할 수 있도록 하였다. 해석 결과 내측 패널의 형상과 힌지 보강재의 형상을 변경했을 때, 외측 패널의 두께는 1.3mm, 내측 패널은 1.5mm 로도 철강재 후드의 90%이상

의 성능을 보유하고 있음을 보였다. 또한 결정된 형상과 두께를 적용하여 외판 강성해석을 실시하였을 때 철강재 패널 보다 dentibility 에서 더욱 우수하다는 것을 해석적으로 보였다.

철강재 판재를 마그네슘 판재로 대체했을 경우, 실제로 실차에 적용하기 위해서는 용접이나 도장에서의 문제, 연신율의 차이에 의한 판재 가공 시 터짐이나 미성형이 발생하는 성형성 문제, 두께가 두꺼워짐으로 인하여 최소 굽힘 반경이 커지는 것을 포함한 헤밍 가공 공정 문제 등이 향후 해결해야 할 과제이며 이에 대한 연구가 더욱 심도 있게 이루어져야 할 것이다. 이러한 문제들이 해결되면 마그네슘 판재는 자동차의 모든 외장품은 물론 엔진 부품 및 구조재로도 광범위하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Terje Kr. Aune, Hakon Westengen and Thomas Ruden , 1993, Mechanical properties of energy absorbing magnesium alloys, SAE Paper No. 930418.
- [2] Terje Kr. Aune, Hakon Westengen and Thomas Ruden, 1993, Mechanical properties of energy absorbing magnesium alloys, SAE Paper No. 930418
- [3] Arun Kumar, Eric Nelson and Tim Hubbert, 2004, Development of a structural Magnesium instrument panel, SAE2004-01-1486