

# 마그네슘 합금 오일팬 개발을 위한 동적 강성 및 주파수 응답 해석

신 현 우<sup>\*1)</sup> · 정 연 준<sup>2)</sup>

두원공과대학 메카트로닉스과<sup>1)</sup> · 현대자동차(주)<sup>2)</sup>

## Dynamic Stiffness and Frequency Response Analysis for the Development of Magnesium Oil Pans

Hyunwoo Shin<sup>\*1)</sup> · Yeonjun Chung<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechatronics, Doowon Technical University, Gyeonggi 456-718, Korea

<sup>2)</sup>Corporate Research & Development Division, Hyundai Kia Motors, 772-1 Jangdeok-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706 Korea

(Received 11 August 2008 / Accepted 17 October 2008)

**Abstract** : The oil pan is an important factor for the noise behavior of the engine system. In this paper a new Magnesium oil pan was designed and analyzed to replace the current Aluminium oil pan. Dynamic stiffness and sound pressure level of the newly designed Mg oil pan were compared with the Al oil pan using the finite element method. NVH characteristics of the Mg oil pan is slightly insufficient when we changed the material of the oil pan from Al to Mg without modifying the design. Some design modifications of the Mg oil pan resulted in equal or superior characteristics compared to the Al oil pan. New ribs were added to stiffen the structure of the Mg oil pan. Thickness of thin plate area was increased to reduce the radiated noise. Through the changes of shape, higher dynamic stiffness than the current Al oil pan were achieved. Results of frequency response analysis show that we can reduce the sound pressure level of the oil pan if we increase the thickness of the thin plate area. It is shown that the new Mg oil pan could reduce the weight of the engine system and improve NVH quality of an automobile.

**Key words** : Oil pan(오일팬), Magnesium(마그네슘), Dynamic stiffness(동적강성), FRF(주파수응답함수), FEM(유한요소법)

### 1. 서론

엔진 오일팬은 엔진 내부의 윤활을 돕는 오일을 저장하는 부품으로써 엔진 내부를 순환하는데 필요한 충분한 오일을 저장할 수 있는 용량이어야 하며, 순환되어 돌아오는 오일이 뜨겁기 때문에 오일의 열을 외부로 발산하는 냉각기능 및 엔진으로부터 발생하는 소음이 외부로 전달되지 않도록 소음을 차단하는 역할을 수행하는 매우 중요한 부품 중의 하나이다.

또한 차체가 기울어 졌을 때에도 충분한 오일을 확보할 수 있도록 셴프(sump)를 두며 급정거, 급선회 시 오일의 유동에 의한 오일 스트레이너 흡입구에 공기가 누출되면 오일펌프의 펌핑작용이 저하되므로 이를 방지하기 위해 칸막이(baffle)를 설치한 구조로 되어있다.

오일팬은 엔진에 엔진오일을 공급할 뿐 아니라 엔진과 변속기 사이를 연결하며 중량이 비교적 크고 엔진의 NVH 성능에 큰 영향을 미치는 부품이다. 엔진으로부터 발생하는 소음의 약 20%가 오일팬을 통해서 방출되기 때문에 오일팬의 NVH 특성은 전

\*Corresponding author, E-mail: hwshin@doowon.ac.kr

체 엔진의 NVH 성능에 커다란 영향을 미친다고 할 수 있다.<sup>1,2)</sup> 본 연구에서는 오일팬을 구성하는 재료 특성의 차이 및 설계 형상에 따른 강성 및 NVH 특성의 변화를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 수치해석적으로 파악하고자 한다. 현재 대부분의 엔진에 사용되고 있는 오일팬은 철강 혹은 알루미늄 합금으로 이루어져 있으며, 알루미늄 재질의 오일팬은 다이캐스팅 공정을 통해 제조되고 있다. 최근 마그네슘 합금을 이용한 오일팬의 개발<sup>3,4)</sup>과 적용이 선진 자동차 메이커로부터 시작되고 있으며 본 연구에서도 내열 마그네슘 합금을 이용하여 알루미늄 재질의 오일팬과 구조강도 및 NVH 측면에서 동등 또는 그 이상의 성능을 가진 오일팬을 개발하여 중량 저감 및 엔진 성능향상에 기여하고자 한다.

새로운 오일팬의 개발을 위하여 기존 알루미늄 합금 재질 및 마그네슘 합금 재질의 오일팬에 대하여 구조강도 및 NVH 특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 수행하여 비교하고 강성 및 NVH 특성의 성능 향상 방안을 제시한다. 만일 새로운 재질로 인한 구조강도 및 NVH 특성이 현재 사용되고 있는 부품에 미치지 못할 경우 적절한 설계변경을 통하여 새로운 형상의 오일팬을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인한다.

위와 같은 과정을 통하여 향후 오일팬 설계에 있어서 구조강도 및 NVH 특성을 해석하고 평가하는 방법을 확립하고, 그에 대응하는 초기 설계의 설계 변수들의 영향을 분석한다.

## 2. 오일팬 1차 분석

### 2.1 오일팬의 유한요소 모델

Fig. 1에 오일팬 upper의 실제 사진을 나타내었다. 본 과제에서 대상으로 하고 있는 오일팬의 부품은 upper 부분이나 강성 및 NVH 해석을 위해서는 전체 오일팬의 유한요소 모델의 작성이 필요하다. 철강 재료로 되어있는 오일팬 lower 부분은 두께가 일정한 판으로 이루어져 있기 때문에 쉘 모델로 모델링하였고, 알루미늄 혹은 마그네슘 합금으로 이루어진 오일팬 upper 부분은 두께가 두꺼울 뿐만 아니라 위치와 형상에 따른 두께 변화도 심하기 때문에 쉘로 모델링하기 어려우므로 입체요소로 모델링하였다.

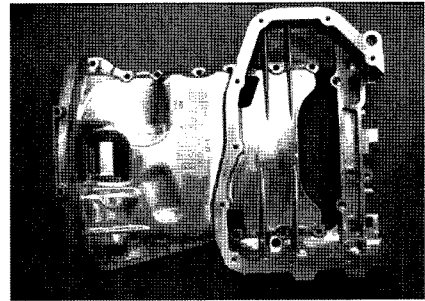


Fig. 1 Photo of oil pan upper from bottom view

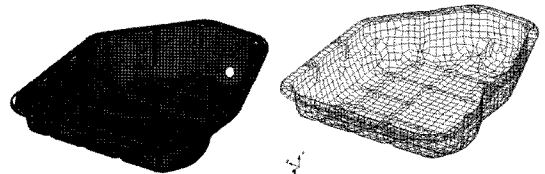


Fig. 2 Shape and finite element model of oil pan lower

Fig. 2에 오일팬 lower 형상과 해석을 위한 유한요소 모델을 나타내었다. 유한요소 모델은 1,987개의 절점과 2,090개의 쉘 요소로 이루어져 있다.

Fig. 3에 오일팬 upper 부품의 형상과 유한요소 모델을 나타내었다. 그림의 오른쪽으로는 트랜스미션과 연결되며, 위쪽으로는 엔진에 체결되는 구조로 되어있다. 유한요소 모델은 45,517개의 절점과 24,355개의 입체요소(10 node tetrahedron solid element)로 나타내었다. 두께가 일정한 판재를 성형하여 제작한 오일팬 lower에 비하여 오일팬 upper는 두께가 일정치 않고 형상도 복잡하여 쉘 요소로는 표현하기 어려우므로 입체요소를 사용하였으며 10절점 입체요소를 사용함으로써 요소 및 절점수가 많아졌다.

Fig. 4에 오일팬 upper 와 오일팬 lower 의 결합된 유한요소 모델을 나타내었다. 오일팬 upper와 오일팬 lower의 연결 부분은 강체요소를 이용하여 고정



Fig. 3 Shape and finite element model of oil pan upper

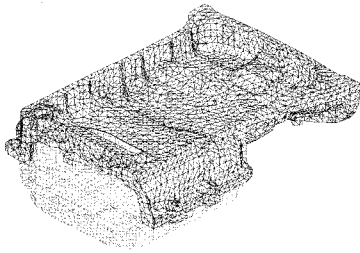


Fig. 4 Combined model of oil pan upper and lower

하였다. 유한요소 모델에는 총 47,414 절점과 입체, 쉘, 강체요소를 합쳐서 총 26,473 요소가 모델링에 사용되었다.

### 2.2 오일팬의 고유모우드 해석

오일팬은 엔진에 결합되어 있는 부품이므로 엔진에서 전달되는 진동을 받고, 엔진으로부터 방사되는 소음을 막아주는 역할을 하기 때문에 정적 강성보다는 동적 강성이 매우 중요하다고 여겨진다. 이에 따라 부품의 동적 강성을 나타내주는 고유진동수의 크기와 모우드 형상이 오일팬의 성능에 커다란 영향을 주는 인자 중의 하나로 판단된다.

본 연구에서는 오일팬 upper와 오일팬 lower가 엔진에 결합된 경우, 오일팬 upper만 엔진에 결합된 경우 그리고 오일팬 upper만 분리하여 자유로운 상태의 경우의 3가지에 대하여 해석하였다. 또한 오일팬 upper의 재질이 알루미늄 합금인 경우와 마그네슘 합금인 경우에 대하여 같은 유한요소 모델에 물성치만 변화하여 비교, 해석하였다. 재질은 알루미늄의 경우 A380, 마그네슘의 경우는 MRI153으로 각각 해당하는 기계적 특성치를 입력하였다. Table 1에 해석에 사용된 재료의 물성치를 나타내었다.

해석은 선형/비선형 유한요소해석 상용 소프트웨어인 ABAQUS Ver. 6.7을 사용하였다. 사용된 모듈은 Implicit 선형해석 모듈이며, 사용된 PC의 CPU는 Intel Core2 DUO 2.2GHz이다.

Table 1 Material properties of oil pan parts

	Material	Young's modulus(MPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Oil pan upper	Al-Alloy	73,000	0.33	2,770
	Mg-Alloy	45,000	0.35	1,800
Oil pan lower	Steel	210,000	0.3	7,850

### 2.2.1 오일팬 upper와 오일팬 lower가 엔진에 결합된 경우

오일팬 upper 와 오일팬 lower 가 결합되어 엔진에 고정된 경우에는 Fig. 5와 같이 모델링 하였고, 엔진에 연결되는 부분과 트랜스미션에 결합되는 부분 및 다른 부품으로 연결되는 부분은 그림의 검은 색으로 표시된 것과 같이 경계조건을 부여하여 변위가 발생하지 않도록 하였다.

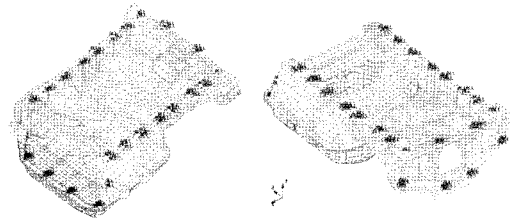


Fig. 5 Fixed points to engine and transmission

Table 2에 오일팬 전체가 엔진에 고정된 상태의 고유모우드 해석 결과를 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 오일팬 upper의 재질이 알루미늄이든 마그네슘이든 관계없이 거의 고유진동수가 동일하다는 것을 알 수 있다. 이것은 오일팬 lower와 upper가 결합된 상태에서는 1~3차 고유모우드 및 진동수는 오일팬 lower 쪽에서 발생한다는 것을 나타내고 있다. 그 이유는 오일팬 lower가 두께 1.2t의 강철제 판으로 제작되었고 바닥이 편평하고 넓은 형상으로 설계되었기 때문에 중량이 무겁고 두께가 얇아 상대적으로 강성이 떨어져서 전체 부품의 고유진동수를 낮추는 역할 한 것이라 판단된다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 고유 모우드는 모두 오일팬 lower의 바닥판에서 1~3 차 모우드가 나타남을 알 수 있다. 따라서 오일팬 전체가 엔진에 고정된 상태의 해석에서는 오일팬 upper의 재질이 알루미늄이든 마그네슘이든 관계없이 거의 동일한 동강성 특성을 나타낸다고 할 수 있다.

Table 2 Natural frequencies in case oil pan upper and lower fixed to engine

	Al	Mg	Mg to Al %
1st mode(Hz)	376.6	376.2	99.8%
2nd mode(Hz)	685.9	684.8	99.8%
3rd mode(Hz)	844.7	843.1	99.8%

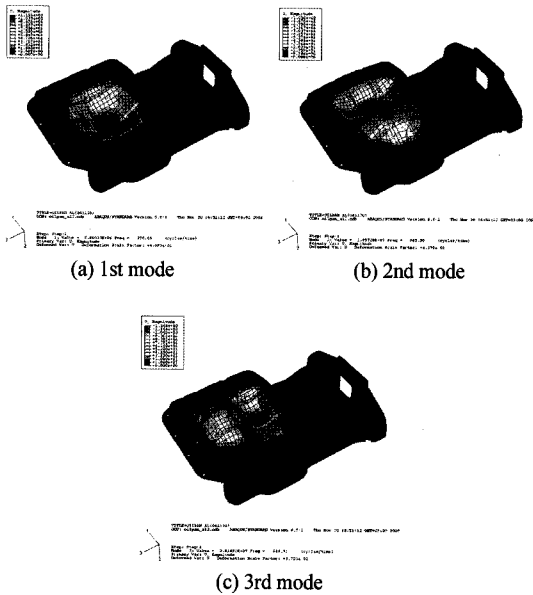


Fig. 6 Mode shapes of oil pan fixed to engine

2.2.2 오일팬 upper만 엔진에 결합된 경우

오일팬 upper만 엔진에 결합되어 있는 경우의 고유진동수 해석 결과를 Table 3에 나타내었다. 설계 변경 없이 오일팬 upper 형상을 그대로 이용하고 재료만 알루미늄에서 마그네슘으로 바꾸었을 경우 첫 번째 고유진동수는 알루미늄 1237.6Hz에서 마그네슘 1209.4Hz로 약 2.3% 저하되었고, 두 번째 고유진동수는 1392.5Hz에서 1359.3Hz로 2.4%, 세 번째 고유진동수는 1663Hz에서 1622.0 Hz로 2.5% 각각 저하되는 것을 알 수 있다.

Fig. 7에 오일팬 upper만 엔진에 고정된 상태에서의 고유모우드 형상을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 엔진에 고정된 부품의 주변부는 변형이 발생하기 힘들고 비교적 얇은 가운데 부분만 변형이 일어나기 쉽다는 것을 알 수 있다. 1~3차 모우드 모두 오일팬 upper의 내부의 얇은 부분에서 발생하며 1차 고유진동수를 높이기 위해서는 오일팬 upper 내부의 강성을 보강하는 방안이 추진되어야 한다. 오

Table 3 Natural frequencies in case only oil pan upper fixed to engine

	Al	Mg	Mg to Al (%)
1st mode(Hz)	1237.6	1209.4	97.7%
2nd mode(Hz)	1392.5	1359.3	97.6%
3rd mode(Hz)	1663.0	1622.0	97.5%

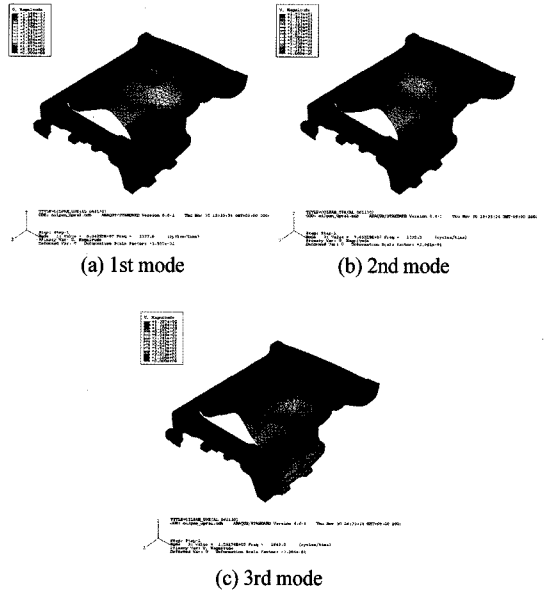


Fig. 7 Mode shapes of only oil pan upper fixed to engine

일팬 upper의 강성을 키우기 위해서는 내부의 두께를 키우거나, 리브를 추가하거나 주변의 리브를 좀 더 중앙부로 확장시키는 등의 설계변경이 필요하다고 판단된다.

2.2.3 오일팬 upper만 분리하여 자유로운 경우

오일팬 upper만을 엔진이나 트랜스미션에 고정하지 않고 분리하여 자유로운 상태(free-free)에서의 모우드 해석을 수행하여 Table 4에 나타내었다. Table 4에 나타낸 바와 같이 1차 고유진동수는 알루미늄 198Hz, 마그네슘 193Hz로써 엔진에 고정했을 때 보다 매우 작은 수치를 나타내고 있으며 마그네슘 재료의 오일팬 upper가 알루미늄 재료 오일팬 upper보다 약 2.5% 적은 고유진동수를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 2차 고유진동수는 알루미늄 재질이 602Hz, 마그네슘 재질이 587Hz로 계산되었다. 현대자동차의 시험 결과에 의하면 알루미늄의 경우 620Hz로 해석 결과보다 약 3% 크게 나타남을 알 수 있고, 마그네슘의 경우 566.5Hz(두 가지 마그네슘 합금의 시험 결과의 평균치)로써 해석 결과보다 약 3.5% 작은 수치를 보여주고 있다. 시험 및 해석 결과가 ±4% 이내이므로 비교적 잘 일치한다고 할 수 있다.

Fig. 8에 고유 모우드 형상을 나타내었다. 그림에

Table 4 Natural frequencies in case oil pan upper is free

	Al	Mg	Shape
1st mode(Hz)	198	193	Twisting
2nd mode(Hz)	602 (620)	587 (564, 569)	Bending (Longitudinal)
3rd mode(Hz)	770	750	Bending(lateral)

※ The numbers in the bracket is test results of HMC.

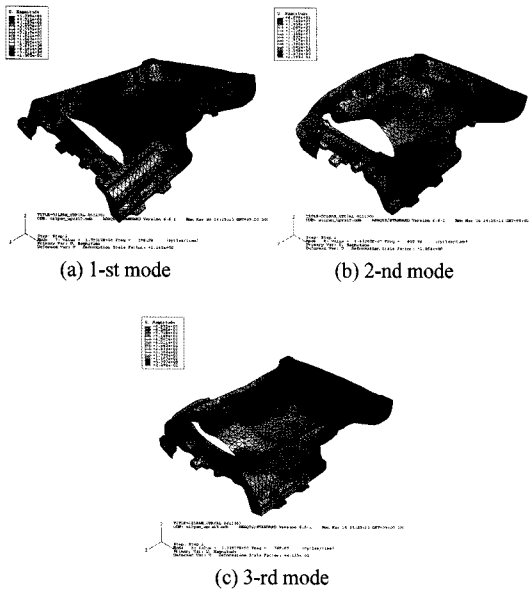


Fig. 8 Mode shapes of oil pan upper on free-free condition

서 보는 바와 같이 첫째 모우드는 전체가 비틀리는 비틀림 모우드이고, 둘째 및 셋째 모우드는 각각 장축, 단축에 대한 굽힘 모우드이다. 이것은 오일팬 upper의 주변부를 고정하지 않았기 때문에 발생하는 모우드 형태임을 알 수 있다.

어느 경우에도 알루미늄 재질의 오일팬을 설계 변경 없이 같은 형상으로 재질만 마그네슘으로 바꾸었을 경우에는 약 2.5~3.0%의 고유진동수 저하가 발생한다. 이것은 마그네슘의 탄성계수가 45000MPa로 알루미늄의 탄성계수 73000MPa에 비하여 상당히 떨어짐에도 불구하고 밀도는 1.8g/cc로 알루미늄 2.77g/cc의 약 2/3이 되기 때문에  $\sqrt{k/m}$  ( $k$ : stiffness,  $m$ : mass)로 나타나는 고유진동수 식에서  $k$ 가 낮아도 밀도의 차이로 인하여  $m$ 이 적기 때문에 전체 고유진동수 값은 알루미늄에 비해 많이 저하되지 않는다는 것을 나타내고 있다.

## 2.3 오일팬의 주파수 응답 해석

### 2.3.1 해석 조건

엔진의 연소소음은 커넥팅 로드, 크랭크 샤프트 등의 기계부품을 통해 전달되는 소음과 실린더 헤드, 블록, 오일팬 등을 통해 방사되는 방사소음으로 나눌 수 있다. 소음 중 1000Hz 이하의 주파수 영역은 기계부품을 통해 전달되는 경우가 지배적이거나, 1000Hz를 넘는 주파수 영역은 기계적인 전달 및 방사소음의 복합적인 요인에 의해 발생한다.

엔진 블록, 오일팬 등이 전달하는 방사소음은 주파수가 증가함에 따라 감소하기 때문에 공진 주파수의 증가와 더불어 공진에 의한 진폭을 줄이면 방사소음을 효과적으로 저감시킬 수 있다.<sup>2)</sup> 따라서 공진시의 진폭 즉 음압의 저감이 전체 NVH 특성 개선에 있어서 중요한 목표 중의 하나이다.

주파수 응답 해석(Frequency Response Analysis)이란 엔진의 회전과 같이 주기적인 가진에 대한 구조적 응답을 계산하는 방법으로서, 어떤 물체에 대하여 각각 다른 주파수 대역의 하중 혹은 변위를 steady-state 상태로 여러 방향에서 가진하여 대상 물체의 변위, 속도, 가속도, 음압 등 구조적인 응답을 파악하는 것이다.

음압레벨(sound pressure level)은 다음과 같이 정의된다.

$$dB = 10 \log_{10} \left( \frac{P^2}{P_{ref}^2} \right) = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}}$$

여기서  $P_{ref}$ :  $20 \times 10^{-6}$  Pa

$P$ : 측정하고자 하는 음의 압력

본 연구에서는 알루미늄과 마그네슘으로 제작된 오일팬 upper에 엔진 상하방향으로 1~2500 Hz의 주파수로 단위 가속도를 준 후 몇 개의 지점에서 가속도를 알루미늄과 마그네슘 재료별로 비교하여 분석하였다. 4기통 직렬 엔진의 주진동 방향이 상하 방향이므로 상하방향만을 분석하였으나 V형 엔진의 경우는 상하 방향뿐만 아니라 좌우 방향의 분석도 필요하다.

어느 지점에서 측정된 가속도는 진동가속도레벨(Vibration Acceleration Level)로 나타내면 다음과 같다.

$$VAL = 20 \log \frac{a}{a_0} (dB)$$

a: 측정대상 진동의 가속도 실효치(m/s<sup>2</sup>)

a<sub>0</sub>: 진동가속도 레벨의 기준치(m/s<sup>2</sup>)

컴퓨터 시뮬레이션에는 모우드 해석과 동일한 소프트웨어인 ABAQUS를 사용하였으며, Fig. 9에 오일팬의 모델과 주파수 측정점들을 나타내었다. 가장자리의 엔진과 연결되고 있는 고정점들을 제외하고, 두께가 얇고 진동이 심하게 발생할 수 있는 6개의 점들을 임의로 선정하여 해석 대상으로 하였다. 주파수 응답 해석을 수행함에 있어 공진점에서 진폭이 극대화 되는 것을 방지하기 위하여 일반적인 금속에서 사용되고 있는 material damping 1% 부여하였다.

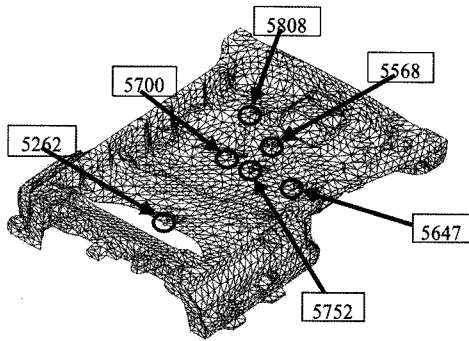


Fig. 9 FE model and measuring points of FRF analysis

### 2.3.2 해석 결과

오일팬의 재질을 알루미늄과 마그네슘 합금 두 종류로 나누어 주파수 응답해석을 수행하였고 이 두가지 재료에 대하여 비교하여 그림으로 나타내었다.

Fig. 10에 6개의 측정점 중 하나의 측정점에서 주파수 대 음압을 나타내었는데 다른 측정점에서의 그래프는 3-2절에서 설계변경 모델의 결과와 함께 나타나 있다. 보는 바와 같이 측정점에서 마그네슘 재질의 오일팬과 알루미늄 재질의 오일팬의 파형이 유사하게 나타나고 있으며, 마그네슘 재질의 오일팬의 공진점이 알루미늄 재질의 오일팬에 비하여 다소 앞에 나타난다는 것 이외에 음압의 차이는 크지 않다고 할 수 있다. 그러나 현재 양산하고 있

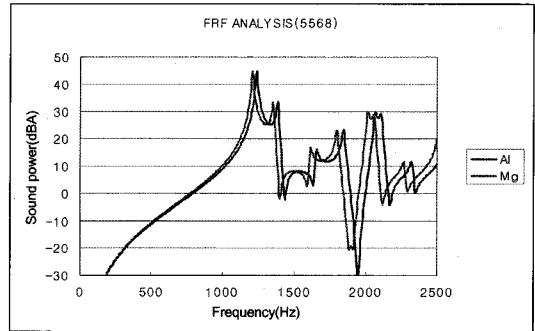


Fig. 10 Comparison of sound pressure at measuring points

는 부품을 바꾸기 위해서는 새 부품의 성능이 현재 부품보다 조금이라도 떨어지면 안 된다는 설계측의 입장을 고려하지 않으면 안 된다. 따라서 마그네슘 오일팬의 동강성을 보장하고 음압 특성을 높이는 방향으로 설계를 변경하면 알루미늄 오일팬과 동등 또는 그 이상의 NVH 특성을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 재질변경으로 인한 중량 절감의 효과를 동시에 얻을 수 있어 양산 부품으로의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

## 3. 성능향상을 위한 설계변경

### 3.1 설계변경 내용

본 연구에서는 오일팬의 성능을 현 알루미늄제 부품보다 높이는 것을 목표로 하고 있으므로 마그네슘 재질의 오일팬의 설계변경을 수행하였다. Fig. 11에 1차 설계변경 내용을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 전반적으로 오일팬의 강성을 높이기 위하여 8 개소에 신규 Rib을 추가하였고 기존 Rib의 높이를 확대하였다.

다음에 기술하겠지만 1차 설계변경을 하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과, 동강성은 향상되어 공진주파수는 증가하였으나 음압은 그다지 감소하지 않았다. 따라서 Fig. 12에서와 같이 2차 설계 변경에서는 오일팬의 음압 감소를 목적으로 중앙 plate 두께를 3mm에서 3.5mm로 증대하였고 변속기 연결 부위에 Rib 2개를 삭제하고 4개로 증가시켜 변속기 방향에서의 굽힘, 비틀림 등 정적 강도를 향상시킴을 하였다. 두께를 증대시키면 소음 특성 개선에는 효과가 있으나 중량이 증가함으로 동강성 즉 고

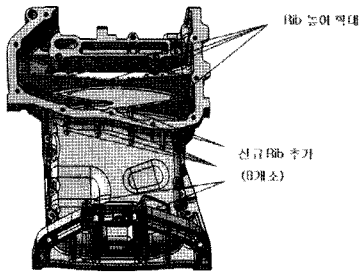


Fig. 11 Details of 1st design change

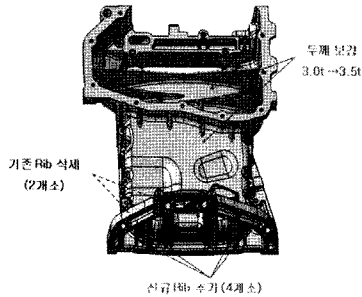


Fig. 12 Details of 2nd design change

유진동수는 다소 감소할 수 있다. 그러나 둘레의 지지부에 비해 plate 부분의 중량이 그다지 크지 않으므로 두께 증대로 인한 중량 증가는 적은 편이다.

최초 알루미늄 오일팬의 중량은 3.5kg이고 설계 변경 없이 재질만 마그네슘으로 변경한 1차 해석 시에는 2.27kg, 2차 설계변경 후 2.52kg으로 설계변경에 의한 중량 증가는 0.25kg에 불과하다.

### 3.2 설계변경된 오일팬의 동강성 해석

먼저 아무런 구속 조건이 없는 상태(free-free)에서의 고유 모드 해석 결과를 Table 5에 나타내었다.

첫 번째 설계변경 후 해석 결과를 보면 첫 번째 모드의 고유진동수가 증가했음을 알 수 있고 특히 두 번째 모드 고유진동수의 큰 증가는 배플 부위의 기존 Rib를 확대시킴으로써 두 번째 모드 형상이 바뀌었기 때문인 것으로 사료된다.

설계변경 후의 결과를 보면 첫 번째 고유진동수는 알루미늄과는 동등하며 최초 마그네슘 모델 보다는 2.6% 향상된 것이며, 두 번째 고유진동수는 모드 형상의 변화로 인하여 알루미늄 보다는 6.3% 증가하였고 마그네슘 초기 모델 보다는 9.0% 증가한 것이다. 세 번째 고유진동수는 알루미늄 보다는 0.4%

Table 5 Natural frequencies of oil pan upper(free-free)

	Al	Mg	Mg <sub>1</sub>	Mg <sub>2</sub>	% to Mg	% to Al
1st mode(Hz)	198	193	200	198	2.6% ↑	0.0%
2nd mode(Hz)	602	587	636	640	9.0% ↑	6.3% ↑
3rd mode(Hz)	770	750	772	767	2.3% ↑	0.4% ↓

Table 6 Natural frequencies of oilpan upper((fixed to ENG & T/M)

	Al	Mg	Mg <sub>1</sub>	Mg <sub>2</sub>	% to Mg	% to Al
1st mode(Hz)	1238	1209	1228	1239	2.5% ↑	0.1% ↑
2nd mode(Hz)	1393	1359	1506	1500	10.4% ↑	7.7% ↑
3rd mode(Hz)	1663	1622	1653	1632	0.6% ↑	1.9% ↓

감소하였지만 최초 마그네슘 모델 보다는 2.3% 증가함을 나타내고 있다.

두 번째로 오일팬이 엔진과 트랜스미션에 장착되어 있는 상태에서의 고유치 해석을 수행하였으며 Table 6에 해석 결과를 나타내었다.

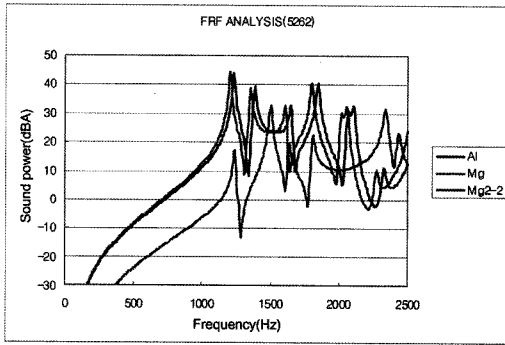
Table 6에서 보는 바와 같이 고정상태에서의 고유진동수의 전반적인 경향은 구속이 없는 자유상태의 해석 결과와 대체로 유사하다. 2차예의 설계변경을 거치면서 오일팬의 고유진동수는 최초 마그네슘 설계 대비 0.6%~10.4% 상승하였고, 기존 알루미늄 재질의 오일팬 보다 첫 번째 고유진동수는 0.1% 향상, 두 번째 고유진동수는 7.7% 향상, 세 번째 고유진동수는 1.9% 저하로 나타났다. 세 번째 모드의 고유진동수는 주파수가 높으므로 보통 주행상태에서의 소음에 대한 기여도가 그다지 크지는 않을 것으로 판단되므로 1.9%저하되어도 심각한 영향이 있으리라 생각되지 않는다.

### 3.3 설계변경된 오일팬의 주파수응답 해석

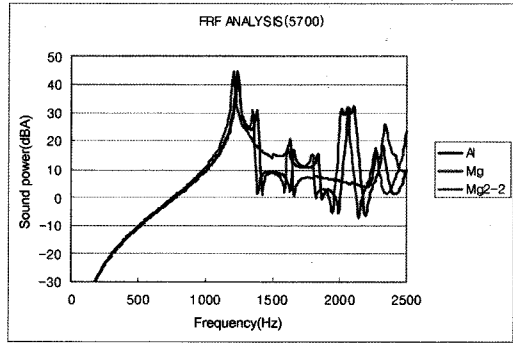
설계변경된 오일팬의 NVH 특성 해석 방법은 2.3.1에서 기술한 바와 같다. 측정 위치는 설계변경 전과 같은 부분을 설정하였다.

각 측정점에서의 주파수 대 음압을 Fig. 13에 나타내었다. 알루미늄 재질의 기존 부품, 마그네슘 재질의 초기 모델 및 마그네슘 2차 설계변경의 3가지로 나누어 주파수 응답해석을 수행하였고 이 세 가지 재료에 대하여 비교하여 그림으로 나타내었다.

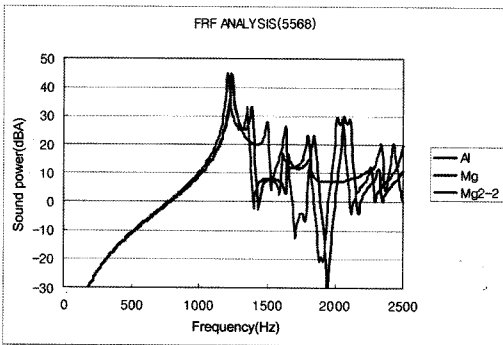
Fig. 13에서 보는 바와 같이 어느 측정점에서도 마그네슘 재질의 초기 모델과 알루미늄 재질의 오일팬



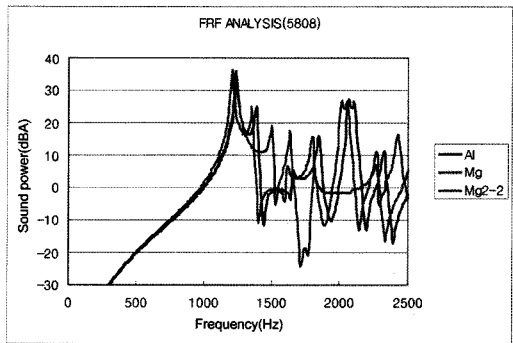
(a) Node 5568



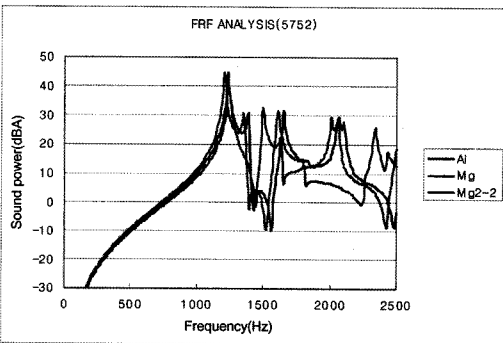
(d) Node 5700



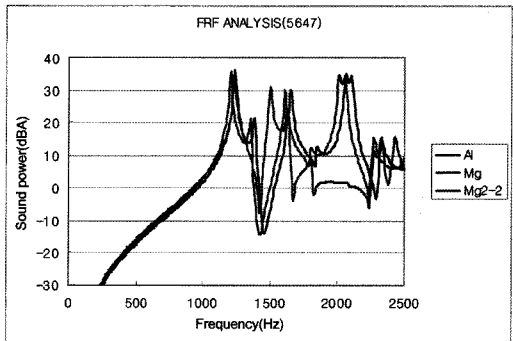
(b) Node 5262



(e) Node 5752



(c) Node 5647



(f) Node 5808

Fig. 13 Comparison of sound pressure at each measuring points

의 파형이 유사하게 나타나고 있으며, 마그네슘 재질의 오일팬의 공진점이 알루미늄 재질의 오일팬에 비하여 다소 앞에 나타난다는 것 이외에 음압의 차이는 크지 않다고 할 수 있다. 그러나 마그네슘 2차 설계변경 모델의 경우는 형상 및 두께의 변화에 따라 파형 자체가 달라졌는데, 대체적으로 각 측정점에서 음압 수준이 낮아졌을 뿐 아니라 공진점의 위

치도 오른쪽으로 이동한 것으로 보아 NVH 특성이 향상되었음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 오일팬을 구성하는 재료특성의 차이 및 설계 형상에 따른 강성 및 NVH 특성의 변화를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 수치해석적으로 파악



하였다.

1차 해석에서는 현재 사용되고 있는 오일팬 재질인 알루미늄 합금을 기본으로 하여 형상의 변경 없이 오일팬 재질만 마그네슘 합금으로 변경되었을 때 강성 및 NVH 특성에 어떤 차이가 발생하는가를 파악하여 보았다.

1차 해석 결과 오일팬의 upper 및 lower가 엔진에 고정되어 있는 상태에서는 현재 사용하고 있는 알루미늄 오일팬 upper를 마그네슘 합금 재질로 변경하여도 동강성 및 NVH 특성이 크게 저하하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 그러나 오일팬 upper만 엔진에 고정되어 있는 경우 동강성은 알루미늄에 비해 마그네슘 재질의 합금을 사용한 오일팬이 약 2.5% 저하함을 나타내고 있고, 주파수 응답해석에서도 각 주파수 대역별로 음압의 차이가 나타나지 않음을 보였다.

시험결과와 비교해보면 오일팬 upper만 단독으로 고유진동수 시험을 수행하였을 때 2차 고유진동수의 크기는 해석과 시험의 차이가 3%로 나타났다.

2차 해석에서는 1차 해석 결과를 바탕으로 마그네슘 재질의 오일팬의 설계 변경을 시도하고 해석 결과를 바탕으로 재설계하는 과정을 거쳐 최종적으로 기존의 알루미늄 재질의 오일팬에 비하여 동등 이상의 성능을 가진 오일팬을 설계하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 오일팬의 성능 향상을 위하여 기존 Rib를 확대하고 신규 Rib를 설치하고 소음이 방사될 수 있는 얇은 부분의 두께를 증대시킴으로서 기존 부품 이상의 성능을 가진 마그네슘 합금 오일팬을 개발하였다.
- 2) 설계 변경된 오일팬에 대하여 모우드 해석을 통한 동강성 해석을 수행하였다. 해석 결과 구속이 없는(free-free) 상태와 엔진에 부착된 상태에서 최초 마그네슘 재질 설계안에 비해 2.5 ~ 10% 향상, 기존 알루미늄 오일팬에 비해서는 0 ~ 7% 향상된 결과를 나타내었다.
- 3) 주파수 응답해석 결과 2차 설계 변경한 모델의 음압 수준은 마그네슘 최초 모델 및 기존 알루미늄

합금 모델에 비하여 0 ~ 2.5dB 낮고 최초 공진점의 주파수가 높아져 소음, 진동 저감에 유리할 것으로 예상된다.

본 연구에서 행한 해석 과정 및 방법은 향후 새로운 오일팬의 개발에 지침이 될 수 있으며, 앞으로는 초기 설계부터 오일팬의 정적 강성 해석, 모우드 해석을 통한 동적 강성 해석, NVH 특성 파악을 위한 주파수 응답해석을 수행하여 그 결과를 설계에 적용시키면 금형 제작 및 생산 및 설계과정에서의 시간 및 자원을 절약하여 원가절감에 기여할 수 있으리라 생각된다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업의 과제로 이루어졌으며 이에 감사의 말씀을 드립니다.

## References

- 1) D. Kim and I. Han, "Analyze the Noise Characteristic of Narrow Frequency for High-Density Polyurethane Coating to Lower On the Oil-Pan," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.781-787, 2007.
- 2) C. Choi, M. Suh and Y. Kim, "The Analysis of NVH Characteristics of 4-Cylinder Diesel Engine Block by Adapting Balancing Shaft," Transactions of KSAE, Vol.8, No.5, pp.129-137, 2000.
- 3) W. Sebastian, K. Droder and S. Schumann, S "Properties and Processing of Magnesium Wrought Products for Automotive Applications," Conference Paper at Magnesium Alloys and Their Applications, Munich, Germany, 2000.
- 4) P. Vert, X. Niu, E. Aghion, A. Stickler and W. Zaton, "Comparative Evaluation of Automotive Oil Pans Fabricated by Creep Resistant Magnesium Alloy and Aluminum Alloy," SAE 2004-01-0658, 2004.