

시험적 방법에 의한 경승용차 기어 래틀 소음 개선

°조영호* · 김인동** · 이병로** · 이학철***

Improvement of Gear Rattle Noise of a Small Car by Experimental Approach

Y. H. Cho*, I. D. Kim**, B. R. Lee**, H. C. Lee***

ABSTRACT

Experimental approach was investigated to improve gear rattle noise of a small car. During the development of a small car serious problem occurred inside the transmission gear units. The transmission was a carried over system from a less powered predecessor. Several components of suspicion were investigated, and applied to reduce rattle noise. In general, backlash, the assembly gaps, and the clutch disk rattle induce gear rattle noise. Above mentioned improvements were applied to reduce the noise, but still problem remained. Meanwhile, the temperature inside the gearbox was reported to be unusually high and the life of transmission oil quality deteriorated drastically. Temperature increment caused the large gap between the bearing outer diameter and the transmission housing. Large gap made the gear shaft assembly move intermittently and impact each other. The tighter control of the assembly gap allowed the rotating shafts smoothly and reduced the gear rattle noise even in the high temperature range.

1. 서론

경승용차를 개발함에 있어 소음 문제만큼 어려운 작업은 없다. 원가 문제로 인하여 흡차음재 뿐만 아니라, 중량부재의 사용이 제한되므로, 일반적으로 고려되는 고전적인 방법에 제약이 많기 마련이다. D사에서 경승용차를 개발하는 마지막 단계에서 기어 래틀 소음이 문제시 되었고, 짧은 기간 동안에 문제점을 개선해야 했다.

문제가 되었던 부품은 기존에 생산 판매되고 있

던 경승용차 용 부품을 그대로 적용시킨 것으로, 출력이 약 20% 향상된 신 모델에서의 사용에는 다소 무리가 예상되었다. 이런 이유로 개발이 진행되면서도 주로 내구성능 향상에만 초점이 맞춰져 있었고, 기존 차량에서 아무런 문제가 없었던 기어 래틀 소음은 그다지 쟁점화 되지 못했다. 개발이 진행되어 가면서 소음 수준이 만족할 만한 수준까지 향상되면서 이음의 수준이 상대적으로 높아지고, 이음의 대표적인 예로 기어 래틀 소음이 최대의 난제로 부각되었다.

본 연구에서는 트랜스미션 래틀 소음의 추정 요인을 시험적으로 적용하여 개선방안을 찾는 과정

* 국민대학교 자동차전문대학원

** 대우자동차

*** LMS Korea

을 소개하고자 한다.

2. 문제의 배경

본 연구에서의 기어 래틀 소음은 원래의 차량에서 존재하지 않은 문제로서, 문제의 원인을 찾기 위해서는 먼저 기존의 차량에서 변경되어진 부분에 대한 분석이 필수이다.

기어 래틀은 파워트레인에서의 충격소음에 기인하는 것이므로 이 계통에서의 변경을 주목하여야 한다. 먼저 엔진 마운트 시스템이 기존의 4점 지지 방식에서 3점 TRA(Torque Roll Axis) 방식으로 바뀌었으며, 이는 종전보다 파워트레인 거동이 커져 트랜스미션 내부의 구성품들을 가진하는 가진력이 더욱 크게 된다.

둘째로, 서론에서도 언급한 바와 같이 엔진의 출력이 커져 회전관련 출력 토크의 변화 역시 증가한다. 또한 개발 차종이 3기통 엔진으로 통상의 4기통 엔진에 비해 출력 토크의 변화도 큰 편이어서 약간의 하중변화에도 민감하게 변할 수 있는 잠재적인 문제점 또한 안고 있었다.

3. 래틀 현상 및 추정 요인

트랜스미션 래틀은 주로 공회전시나 고단 저속 주행시에 많이 발생한다. 본 차량의 개발 도중에 보고된 래틀의 경우도 예외가 아니어서 기어 단수



그림 1. 승용차용 5단 트랜스액슬 내부

에 관계없이 약 50~60 km/h의 구간에서 심하게 발생하여 주관적인 평가 점수 R5.8로 거의 판매불가 수준이었다.

일반적으로 알려진 트랜스미션 래틀의 주요 원인은 클러치에서의 회전 불균일, 기어 이빨 간의 백래시, 공회전 기어의 관성모멘트, 공회전 기어 간의 간격 등이 있다.^(1,2)

이를 토대로 먼저 백래시에 의한 래틀 가능성을 분석하기 위해 기존의 차량과 다른 점이 트랜스미션이 20°C 이상 온도가 높음을 발견하였다. 따라서, 이에 따라 오일의 점도가 떨어질 수 있으며 기어 이빨 접촉 부위의 유체에 의한 감쇠효과가 줄어들어 이 경우 이빨 간의 충격흡수가 원활하지 못한 것으로 추정되었다.

두번째로는 공회전시의 트랜스미션 래틀의 주요 원인으로 알려진 클러치에서의 불균일 회전이 저속에서도 영향을 미칠 수 있으므로 문제요인 중의 하나로 제시되었다.

세번째로는 회전부품이외의 부품에서 래틀을 유발시키지 않는지에 대한 조사를 실시하였다. 특히 그림 1에서 보이는 각 기어를 움직이는 기어 셀렉터는 싱크로나이저 등과 맞물려 움직이는 부품으로 작동성을 좋게 하기 위해 느슨한 맞춤으로 조립되어 있다.

4. 원인 분석, 대책 및 효과 파악

4.1 오일 온도

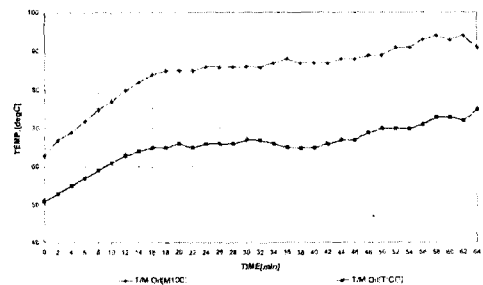


그림 2. 냉간시동후 시간에 따른 트랜스미션 오일 온도 변화.

엔진으로부터의 고출력과 차량중량 증가에 따른 고부하에 의해 트랜스미션 내부의 온도가 그림 2에서 보는 바와 같이 기존의 차종보다 20°C 정도 높아졌다. 온도가 상승하면 그만큼 오일의 점도가 떨어져 원활한 윤활 작용을 할 수 없다는 것을 알 수 있다. 이는 온도별 점도 변화를 측정하여 본 결과 그 사실이 명확히 드러났다. 약 20°C 증가함에 따라 점도는 반으로 줄어들음을 그림 3에서 예시하고 있다. 점도가 지나치게 낮을 경우 내부 작동 부품간의 충격시 충격에너지를 원활히 감쇠 시키지 못할 우려가 크다.

이를 개선하고자 점도가 높은 오일로 교체하여 시험하였으나, 상온에서는 좋은 특성을 지녔던 오

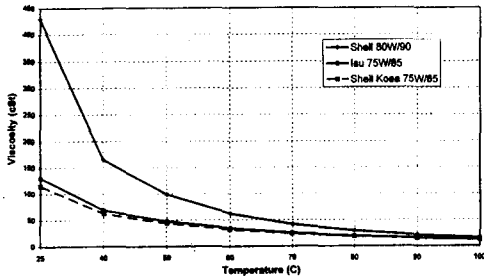


그림 3. 온도 변화에 따른 T/M 오일의 점성 변화

일이 온도가 증가함에 따라 급격히 특성이 나빠져 90°C 이상에서는 점도 개선의 효과가 미미하여 래틀 소음에 대한 개선효과가 없었다.

4.2 기어 셀렉터 유격

기어 래틀 소음은 주로 부하가 걸려있지 않은 부품들이 서로 충격을 가하여 발생하는 것으로 이를 개선하고자 기어 셀렉터의 유격을 조정하였다. 또한 종전에는 양끝 단이 슬리이브로 지지되어 있어 외부의 충격 및 진동에 유리하였으나, 내부 부품의 패키지 사정으로 길이가 짧아져 캔틸레버식의 구조로 변경되었다. 이에 따라 충격 진동에 대한 저항이 약할 것으로 예상되어 이를 원래의 방법대로 환원시켜 보았다. 그러나, 이 방법도 그다지 큰 개선효과가 없었다.

4.3 클러치의 비틀림 특성

구동계통에서 가장 허용공차가 큰 부품은 클러치 디스크라 할 수 있다. 제품의 동작 특성상 정밀한 공차 유지가 어렵기 때문에 보통 200g.mm 정도까지 허용하고 있으므로 구동시에도 정확하게 동심도가 맞았다고 할 수 없다. 이 경우 불평형 우력이 발생하므로 트랜스미션 내부의 부품을 가진하는 외력이 커지게 된다. 비틀림 진동을 줄이는 방법으로 흔히 강성계수와 히스테리시스, 쿠션량을 변경하는데 본 시험에서 시도한 사양의 조합은 표 1과 같다.

표 1. TM 래틀 시험용 클러치 조합 및 결과

	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4
Stiff. (Nm/deg)	12	6.5	6.9	6.5
Hys. (Nm)	12	17	11.3	17
Cushion (mm)	0.82	0.77	0.84	0.77
TM	-	-	-	Min gaps
Sub Rating	R5.8	R6.0	R5.8	R6.3

위의 시험 결과 클러치의 사양 변경에도 불구하고 래틀에는 아무런 영향을 주지 못했고 단지 Alt 4에서 약간의 개선 효과를 보았다. Alt 4에서의 주된 변경 내용은 입력축 축수 베어링을 순간접착제로 접착시켜 축의 반경방향 운동을 구속했다는 점이다. 따라서, 축수의 조립 공차가 래틀에 영향을 끼치고 있다는 것을 알 수 있었다. 그러나, 접착을 했다고 정확한 조립정도를 보장하지는 못하기 때문에 개선효과가 미미한 것으로 추정되었다.

4.4 엔진 마운트

래틀은 정상적인 진동이라기 보다는 비정상적인 충격 등에 의해 발생하는 현상이므로, 엔진마운트의 형식에 크게 좌우된다. 엔진을 불완전하게 고정시키면 주행 시에 노면 등의 불균일에 의해 유동이 심하게 되고, 이는 비정상적인 외력, 특히 충격을 구동계에 전달하게 된다. 트랜스미션 부품들

은 서로 미끄러짐 운동 등을 해야 하므로 부품 간의 유격을 0으로 할 수 없기 때문에 외부의 불균일한 입력을 받을 경우 서로 충격을 가하게 된다.

엔진 마운트에서의 불균일한 충격성 외력을 최소화 하기 위해서 인위적으로 엔진의 상단 한 곳을 로우프로 차체에 고정시켜 그 효과를 보았다. 이 경우 기어 래틀보다는 클러치 결합 특성과 Tip-In/Out에서만 개선 효과를 거두었다. 그리고, 현실적으로 엔진마운트의 본래 목적상으로 이러한 마운팅을 고무로 하기에는 불가능하다.

4.5 베어링 조립 공차

일반적으로 축수를 베어링으로 설계할 경우 여러가지 사항을 고려하여야 한다. 축을 고정시키면서도 마찰을 줄이기 위한 역할을 해야 하므로 적절한 수준의 예압 및 조립 공차를 준수해야 한다. 지나치게 예압을 많이 줄 경우 베어링의 수명에 큰 악영향을 미치므로 정상적인 상황에서 구멍과 아우터 레이스가 미끄러지지 않을 정도로만 고정되어야 한다⁽³⁾

그러나, 본 시험에서는 래틀이 발생하는 트랜스미션을 분해한 결과 베어링이 심하게 미끄러진 현상(크리이핑)이 발생하였다. 기존의 차량에서는 아무런 문제도 발생하지 않았으나, 개발 차량에서만 이러한 문제가 발생한 것에 대한 원인을 분석해 보았다. 개발 진행 중인 차량에서는 앞서 설명한

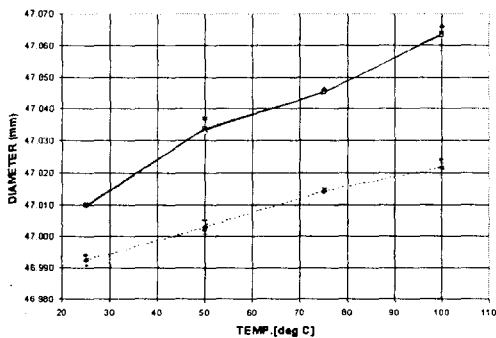


그림 4. 온도에 따른 베어링 외경(---) 및 축 구멍 내경(—)

바와 같이 트랜스미션의 온도가 20°C 정도 높았고, 중량 증가에 의해 부하도 훨씬 더 많이 늘어났다. 따라서, 온도에 따른 베어링의 치수를 측정 한 결과 그림 4와 같은 결과를 얻었다.

그림 4에는 디퍼렌셜의 경우만을 나타냈으나, 입력축과 출력축에서도 비슷한 양상을 보였다. 규격상으로는 중간 끼워 맞춤으로 구멍이 베어링보다 약간 작은 정도로 설계되어 있었으나, 실제로 조립공차를 감안하면 약간의 느슨한 끼워 맞춤도 양산에서는 많이 나올 수 있으며, 더욱이 작동온도가 고온으로 되면 유격은 더욱 커지게 마련이다. 이는 베어링은 강철 소재이고, 트랜스미션 케이스는 알루미늄으로 되어 있어 선팅창계수가 다르기 때문이다.

따라서, 회전축과 하우징 간의 유격을 작동온도 범위에서 최소화 하여 축의 헐거움을 방지하면 공회전 기어간의 불필요한 충동은 방지할 수 있을

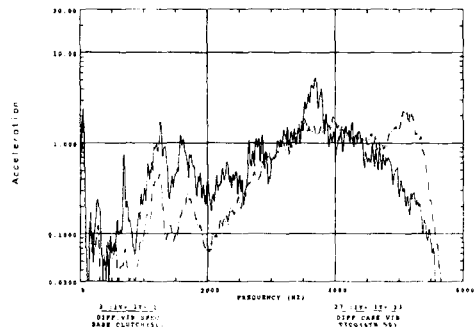


그림 5. 기존차량과 개발차량의 TM 케이스 진동 수준 비교

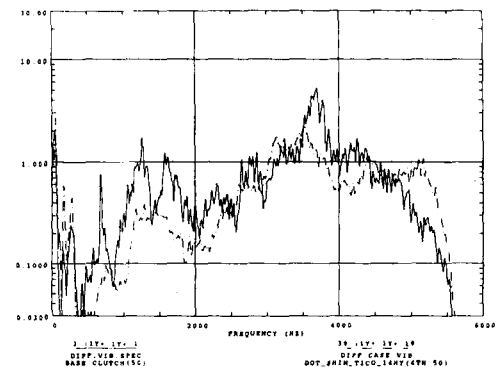


그림 6. 억지 끼워 맞춤의 진동 수준에 대한 효과

것이다. 이를 시험적으로 증명하기 위해서 인위적으로 구멍에 편치로 홈을 내고 회전축을 조립하여 주행시험을 수행하였다. 그 결과 래틀 소음이 현저하게 감소함을 느낄 수 있었고, 주관평가로 R5.8이던 소음수준이 R7.5까지 향상됨을 알 수 있었다. 이 결과를 보완하기 위해 트랜스미션 케이스에서의 진동을 측정하였는데, 이는 그림 5,6과 같이 500~2k Hz의 넓은 대역에서의 진동 수준이 1/3~1/10 수준으로 크게 저감됨을 알 수 있었다. 이는 기존차량의 진동수준과 비교해 보아도 경향이 비슷하여 래틀의 가능성이 적은 것으로 나타났다.

5. 결론

이상과 같이 경승용차의 개발과정에서 발생한 기어 래틀 소음의 저감을 시행 착오식 방법으로 수행하였다. 백래시로 인한 공회전 기어간의 충돌과 내부 부품들 사이의 유격 등에 의해 래틀 소음이 발생하는 것으로만 여겨 졌으나, 본 시험에서는 베어링의 조립 정확도에 의해서도 래틀이 발생할 수 있다는 것을 보여 주었으며, 이를 시정함으로써 기어 래틀 소음을 저감시킬 수 있다는 것을 시험적으로 증명하였다. 현실적으로는 조립공정상의 문제로 인해 역지 끼워 맞춤 보다는 테이퍼 롤러 베어링 측에 Shim을 사용하여 예압을 높이는 방법으로 그 효과를 대신하였다.

이러한 일련의 작업을 통해서 트랜스미션 내부의 온도상승도 함께 방지하려 하였으나, 이는 용이치 않았다. 약 5°C 정도의 효과만을 가져와 여전히 개발의 숙제로 남아 있었다. 이는 여러 가지 엔진룸 내의 패키지와도 관련이 있을 것으로 보인다.

또한, 본 논문에서는 래틀을 주관적으로 평가하였으나, 이를 객관화 할 수 있는 도구가 필요함을 절실히 느꼈다.

6. 참고 문헌

1. Hellinger, W., Raffel, H. Ch. And Rainer, G. Ph., "Numerical Methods to Calculate Gear Transmission Noise," SAE paper 971965.
2. Harris, C. M., "Shock and Vibration Handbook," McGraw Hill, 1995.
3. 한국종합기계, "Ball and Roller Bearings 선정 가이드".

부록

기어래틀 소음을 평가하기 위해서는 아직까지 객관적인 방법이 없어 자동차 업체에서 공통적으로 사용하고 있는 GM 10 Scale Method를 사용하였다. 이는 표 A-1과 같다.

Table A-1. Customer Oriented Subjective Rating Scale

Score	Description
10	Even expert cannot recognize.
9	Expert can notice.
8	Sensitive customer can notice.
7	Everybody recognize but not complain.
6	Some people complain but usable.
5	Everybody complain but usable.
4	Everybody notice as fault.
3	Everybody notice as big fault.
2	Difficult to operate.
1	Unable to operate.

보통 R6.0이하이면 경쟁력 상실로 거의 판매 불가이다.

위의 주관적평가에 대한 객관성이 결여되어, 이를 보완하기 위해 디퍼렌셜 근처의 케이스에 가속도계를 부착하여 진동수준을 측정함으로써 래틀의 간접적인 측정을 하였으며 측정구간은 주행 중 래틀 소음이 주로 발생하는 50km/h와 60km/h의 2개 속도로 정속 주행을 하면서 측정하였으며, 사용기어 단수는 상대적으로 엔진소음의 영향이 작은 4단과 5단으로 하였다.