

< 응용 논문 >

7단 자동변속기용 오일 펌프의 재제조 공정기술 개발에 관한 연구

서영교·홍성도*

한국자동차연구원 내구기술연구센터

A Study on the Development of Remanufacturing Process of Oil Pumps for 7-Speed Automatic Transmissions

Youngkyo Seo · Sungdo Hong*

Durability Technology R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, 303 Pungse-ro, Pungse-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 31214, Korea

(Received 10 February 2021 / Revised 2 April 2021 / Accepted 6 April 2021)

Abstract : In this study, a remanufacturing process technology that includes a bushing assembly process and a polishing process of gear and housing was developed to restore the performance of used oil pump for a 7-speed automatic transmission. The suitability of this remanufacturing process technology for performance restoration was verified by comparing the volumetric efficiency for two remanufactured oil pumps and two original oil pumps. Based on the results over the five definite range of rpm, the volumetric efficiency of the remanufactured oil pumps was more than 95 % compared to the original oil pumps. Therefore, the suitability of the oil pump remanufacturing process technology developed through this study was verified. It was also found that the remanufactured oil pump was restored to a level equivalent to that of the original oil pump.

Key words : Oil pump(오일 펌프), Automatic transmission(자동변속기), Remanufacturing(재제조), Performance restoration(성능 복원), Volumetric efficiency test(체적 효율 테스트)

Nomenclature

- α_n : pressure angle, °
- b : face width, cm
- i : ratio of tooth number
- m : module, cm
- V_{th} : theoretical exhaust flow rate per revolution, L/rev
- z : drive gear teeth number

Subscripts

- ATF : automatic transmission fluid
- LPM : liter per minute

1. 서론

자원순환사회의 중요한 구성요소 중 하나인 재제조는 사용 후 제품을 회수하여 분해, 세척, 검사, 보수·조정, 재조립, 최종검사 등의 기술적 공정을 거쳐 원래의 성능을 유지할 수 있는 상태로 만드는 것을 의미한다. 사용하다 폐기되는 제품이 다시 신제품과 같은 성능 효율을 가질 수 있도록 하여 재사용이 가능한 특징을 가진 재제조는 친환경 선진국을 중심으로 활발히 연구되고 적용되고 있다. 전 세계적으로 가장 활성화되어 있는 재제조 분야는 항공 분야, 자동차 분야이며, 자동차 산업에서는 재제조된 자동차 부품을 공급함으로써 원제조사 부품의 공급난을 극복할 수 있어 자동차 보수용 부품시장에서의 필요성이 대두되었다.^{1,2)} 또한, 재제조 제품은 원료 절감으로 인해 신제품보다 약 40~60 % 정도의 낮은 가격으로

*Corresponding author, E-mail: sdhong@katech.re.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

로 시장을 형성하고 있다. 수입 차량 오일 펌프의 경우, 재제조 제품의 가격은 약 40만원으로서 약 140만원 정도로 판매되고 있는 신제품 가격의 약 30% 정도로 시장에 공급되고 있다. 소비자에게 가성비 높은 제품을 선택할 수 있는 기회를 제공하기 위해서는 재제조 제품의 가격 경쟁력 확보도 중요하지만 신제품과 동등한 성능을 가질 수 있도록 하는 재제조 기술의 개발과 성능 검증이 필수적으로 요구된다.

본 연구에서는 승용자동차용 자동변속기의 부품 중 하나인 오일 펌프(Oil pump)에 대한 재제조 공정 기술을 연구하였다. 오일 펌프는 자동변속기 오일 팬(Oil pan)의 자동변속기유(ATF)를 흡입하여 자동변속기 구성 요소에 필요한 유량과 유압을 공급하는 부품으로서 엔진에 의해 직접 구동되어 자동변속기 라인압을 형성시키는 중요한 에너지 전환 시스템이다.³⁾

오일 펌프에 대한 재제조 공정 기술을 개발하기 위해 우선적으로 사용 후 성능 불량 판정을 받은 오일 펌프를 수집하여 주요 구성 부품별 고장 발생 유형을 분석하였고 성능 출력에 중대한 영향을 미치는 고장 부품의 성능 복원 기술을 연구하였으며 최종적으로 체적 효율 시험을 통해 개발 기술에 대한 적합성을 검증하였다.

2. 오일 펌프 재제조 공정 기술 개발

사용 후 고장 판정을 받은 오일 펌프의 열화된 성능을 신제품과 동등한 성능으로 복원하기 위해서 오일 펌프를 구성하는 부품별 고장 유형 및 빈도를 분석하고 우선순위를 선정하였다.

Fig. 1은 성능 불량 판정을 받은 오일 펌프 총 103건에 대한 주요 부품별 고장 발생 건수 조사 결과를 나타낸 것이다. 오일 펌프 부싱이 43건으로 가장 많았으며 드라이브 기어(Drive gear), 드리븐 기어(Driven gear) 및 하우스징

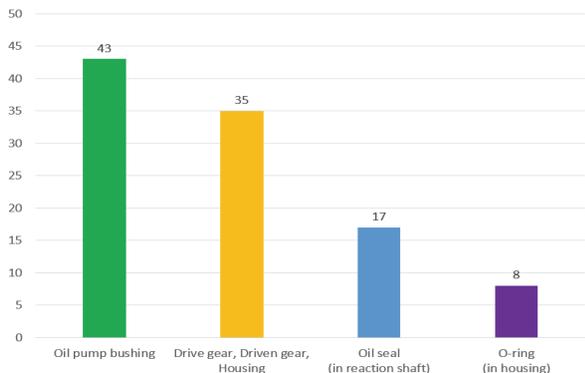


Fig. 1 The number of components failure occurrence about used oil pump

(Housing)이 35건, 리액션 샤프트(Reaction shaft)부 오일 씰(Oil seal)이 17건, 오일 펌프 하우스징의 오링(O-ring)이 8건으로 조사되었다. 해당 결과에 따라 성능 복원이 필요한 공정의 우선순위를 설정하고 재제조 공정에 적용할 공정 기술을 개발하였다.

2.1 오일 펌프 부싱 조립 공정 기술 개발

오일 펌프 부싱은 Photo. 1과 같으며 Photo. 2와 같이 오일 씰 하단에 조립되는 부품으로서 회전축으로서 결합되어 있는 토크 컨버터(Torque converter)의 임펠러 허브(Impeller hub)를 지지하는 역할을 수행한다. 주행 마일 리지가 누적될수록 부싱에 반복 작용되는 마찰로 인해 편마모 또는 파다 마모가 발생하고 회전축의 회전 불량을 유발하게 된다.

사용 후 오일 펌프 부싱의 손상 부위를 복원하기 위한 가공은 신제품 부싱 교체에 비해 경제성뿐만 아니라 작업성도 현저히 떨어지므로 본 연구에서는 손상된 부싱을 제거하고 신제품 부싱을 압입하는 공정 기술을 개발하였다. 부싱 조립부인 오일 펌프 하우스징의 내경은 $\varnothing 46.00$ 이며 신제품 부싱의 외경은 $\varnothing 46.09$ 로서 쫄새가 0.9 mm인 억지 끼워 맞춤이므로 전용 압입기를 사용해야만 손상 부싱 제거 및 신제품 압입이 가능하다. 또한, 부싱 압입 후 내경은 $\varnothing 43.05$ 이고 해당 부위에 결합되는 임펠러 허브의 외경은 $\varnothing 43.02$ 로서 부싱에 허브가 조립되어 회전할 경



Photo. 1 Oil pump bushing

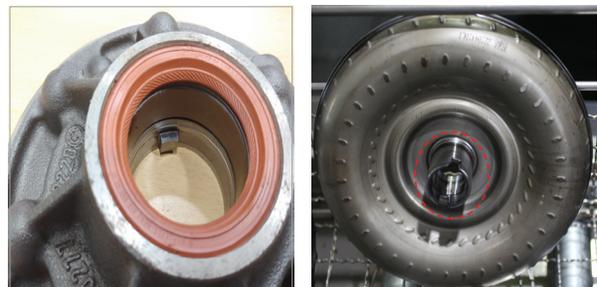


Photo. 2 Bushing pressed into the oil pump(left), Impeller hub(right)



Photo. 3 Assembly dimension of bushing and surrounding parts

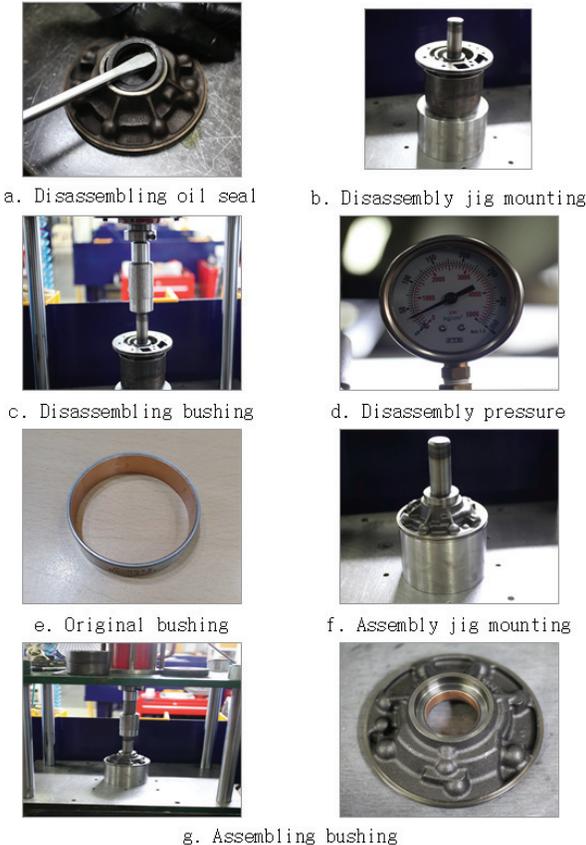


Photo. 4 Bushing assembly process

우, 0.03 mm의 틈새가 존재하게 되어 원활한 회전이 가능하다.

부싱의 조립 공정을 위해 전용 압입기 및 지그를 제작하였으며 개발된 부싱 분해 및 압입 공정은 Photo. 4와 같다.

- 오일 펌프의 오일 씰을 분해한다.
- 부싱을 분해하기 위해 오일 펌프를 부싱 압입기에 장착한다.
- 부싱 분해용 지그를 설치한 후 부싱 압입기의 압력을 서서히 증가시킨다.
- 부싱 압입기의 압력이 약 400 kPa일 때 오일 펌프의 부싱이 분해된다.

- 신품 부싱을 준비하고 오일 펌프 하우징의 중앙 조립부에 위치시킨다.
- 부싱 상부에 부싱 압입용 지그를 장착한다.
- 부싱 압입기의 압력을 상승시켜 부싱을 조립한다.

2.2 오일 펌프 기어·하우징 편평도 가공 공정 기술 개발

오일 펌프는 일반적으로 이의 물림 방식에 따라 내접 기어형과 외접 기어형으로 분류되는데 본 연구의 기술 개발 대상인 오일 펌프는 Photo. 5와 같이 내접식 인벌류트(Involute) 기어형이다. 해당 오일 펌프는 드라이브 기어(구동 기어), 드리븐 기어(피동 기어)가 초승달 모양의 크레센트(Crescent)를 사이에 두고 서로 맞물려 구동한다. 드리븐 기어는 오일 펌프 하우징 내에서 회전하여 드라이브 기어와 함께 크레센트와 기어 이 사이로 오일을 흡인하여 입구에서 출구 쪽으로 유압을 배출하는 기능을 수행한다. 기어의 주요 고장은 기능을 반복적으로 수행하면서 표면 박리와 마모가 발생하고 이로 인해 오일 펌프 내부의 손상뿐만 아니라 유압 시스템 전반에 이물질 유입시켜 기능 불량을 초래하는 것이다.^{3,4)}

드라이브 기어와 드리븐 기어, 오일 펌프 하우징의 손상 정도를 확인하기 위해서는 표면 조도 측정기를 사용하여 스크래치 발생 정도를 검사해야 하는데 일반적으로 Ra 0.6 μm 이상의 값이 측정될 경우 표면을 연마해야 한다. 오일 펌프의 드라이브 기어, 드리븐 기어, 오일 펌프 하우징에 대한 연마는 펌프의 압력과 유량 성능 특성 뿐만 아니라 최종적으로 체적 효율에 큰 영향을 끼치므로 Ra(0.2~0.3) μm의 고정밀 연마가 가능한 전용 연마기를 제작하였으며 각 부품에 대한 연마 결과는 Photo. 6과 같다.

오일 펌프를 구성하는 2개의 기어와 크레센트를 포함하는 하우징 표면 등은 변속기 전방부인 벨 하우징(Bell housing)과 결합되는데 이 때, 오일 펌프 결합면이 불균일한 표면 조도를 가지게 되면 구동 중 누유가 발생하는

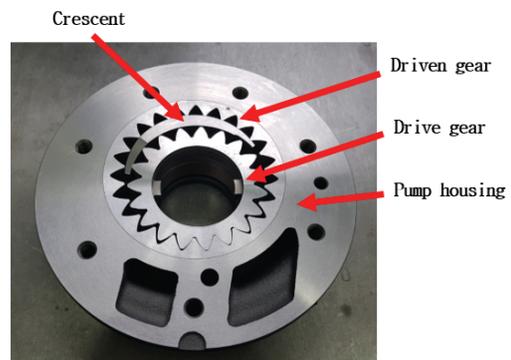


Photo. 5 Drive gear, driven gear, crescent, pump housing



Photo. 6 Oil pump gear and pump housing polishing process



Photo. 7 Bell housing(left), Bell housing with prescale applied(right)

유해한 기능 불량이가 발생한다. 따라서 오일 펌프 구성 부품의 표면에 대하여 균일한 표면 조도를 갖도록 위와 같이 가공을 수행하고 벨 하우스와의 결합도 검증을 위해 Photo. 7과 같이 감압지를 활용하여 실험하였다.

오일 펌프 하우스와 벨 하우스 조립면 상에 균일한 면압력을 가하기 위해 해당 자동변속기 정비 매뉴얼에서 권장하고 있는 20 N · m의 조임 토크값을 적용하여 결합하였으며 실험 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 The prescale test results of remanufactured oil pump

Remanufactured oil pump sample #1	
Remanufactured oil pump sample #2	
Remanufactured oil pump sample #3	

편평도 가공 공정을 거친 오일 펌프와 벨 하우스에 대한 결합 정도를 감압지를 활용하여 평가한 결과, 3개의 시료 모두 면 접촉부위에 고르게 면압이 분포함을 확인하였다.

2.3 오일 펌프 재제조 공정 개발

본 연구를 통해 개발된 부상 조립 공정 기술과 기어 · 하우스 편평도 가공 기술을 포함한 재제조 공정을 단계화하여 Fig. 2, Table 2와 같이 제시하였다.



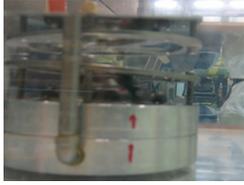
Fig. 2 Remanufacturing process of oil pump

3. 오일 펌프 체적 효율 테스트

본 연구에서는 7단 자동변속기용 오일 펌프 신제품과 재제조 제품에 대하여 체적 효율을 측정하고 결과를 비교함으로써 재제조를 통한 성능 복원을 확인하였다. 오일

Table 2 The remanufacturing process of the oil pump

Process 1	Core gathering
	
Description	Core gathering from automobile maintenance company and after service network
Process 2	Disassembly
	
Description	Main parts disassembly - Drive/driven gear disassembly - Bushing, seal, o-ring disassembly - Polished surface roughness measurement
Process 3	Cleaning
	
Description	Ultrasonic cleaning - Drive/ driven gear - Oil pump housing
Process 4	Inspection
	
Description	Parts outer check - Drive/ driven gear - Oil pump housing
Process 5	Repair/Adjustment
	

Description	Polishing machining - Drive/ driven gear - Oil pump housing
Process 6	Reassembly
	
Description	Main assembly process - Inner parts assembly - Bushing, oil seal, o-ring assembly
Process 7	Final test
	
Description	Test item - Leak test

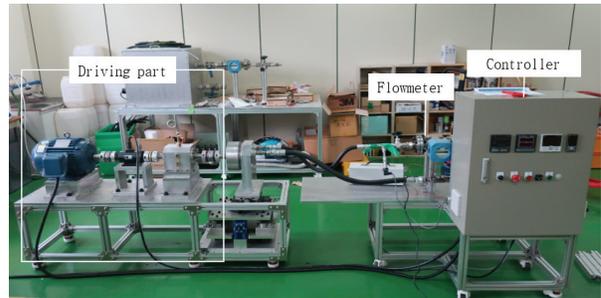


Photo. 8 The performance efficiency test equipment for oil pumps

펌프 성능 평가 장비는 Photo. 8과 같으며 제어부, 오일 펌프 구동부, 오일 탱크, 유량계, 압력계, 온도계 등으로 구성되었다. 유량계는 오일 펌프의 구동에 의해 오일 탱크로부터 토출되는 토출 오일의 유량을 측정하고 압력계는 토출 오일의 압력을 측정한다. 제어부의 제어에 따라 오일 펌프가 구동되면 작동 압력의 균일성을 유지하며 오일 펌프 회전수 구간별 달라지는 유량, 온도를 측정하여 제어부에서 전시되도록 하였다.

오일 펌프의 체적 효율은 아래 수식을 통해 산출하며 실제 토출 유량은 시험 장비로부터 출력되는 오일 펌프 회전수별 토출 유량을 의미한다. 또한 1회전당 이론 토출 유량(V_{th})을 산출하기 위해 시험 대상 오일 펌프를 3차원 측정하여 도면화 후 모듈, 압력각 등의 세부 치수를 적용하였다.

$$\text{Volumetric efficiency} = \frac{\text{Actual exhaust flowrate}}{(\text{Theoretical exhaust flowrate} \times 100)} \quad (1)$$

$$\text{Theoretical exhaust flowrate per revolution} (V_{th}) = \pi b m^2 2z + (1-i) \left(1 - \frac{1}{12} \pi^2 \cos^2 \alpha_n\right) \quad (2)$$

where b : face width (cm)
 m : module (cm)
 z : drive gear teeth number
 i : ratio of tooth number
 α_n : pressure angle(°)

시험 대상 오일 펌프의 1회전당 이론 토출 유량은 Table 3과 같으며 Table 4와 Table 5에 신제품과 재제조 제품에 대한 오일 펌프 회전수별 유량 측정 결과를 정리하였다.

Table 6과 Table 7은 오일 펌프 회전수별 유량 측정 결과에 따라 산출된 신제품과 재제조 제품의 체적 효율이다.

Table 8은 신제품 오일 펌프 대비 재제조 오일 펌프의 체적 효율 산출 결과이다. 산출 방법은 신제품의 체적 효율 평균값과 재제조 제품의 체적 효율 평균값을 비교하였

Table 3 Theoretical exhaust flow rate per revolution of the oil pumps for 7-speed automatic transmissions

Oil pumps for 7-speed automatic transmissions	Drive gear teeth number (z)	Ratio of tooth number (i)	Module (cm)
	23.000	1.210	0.300
	Pressure angle (°)	Face width (cm)	Theoretical exhaust flow rate per revolution (L/rev)
	30.000	1.300	0.017

Table 4 The flow rate measurement per revolution results of original oil pumps

Test pressure (kPa)	Test speed (r/min)	Theoretical exhaust flow rate (LPM)	Original product sample #1 flow rate (LPM)	Original product sample #2 flow rate (LPM)
12	1,000	16.9	12.5	11.0
	1,500	25.3	19.1	18.8
	2,000	33.8	25.7	25.9
	2,500	42.2	32.2	32.5
	3,000	50.7	38.7	38.5

Table 5 The flow rate measurement per revolution results of remanufactured oil pumps

Test pressure (kPa)	Test speed (r/min)	Theoretical exhaust flow rate (LPM)	Remanufactured product sample #1 flow rate (LPM)	Remanufactured product sample #2 flow rate (LPM)
12	1,000	16.9	11.8	10.9
	1,500	25.3	19.0	17.8
	2,000	33.8	26.1	24.5
	2,500	42.2	32.8	30.8
	3,000	50.7	40.0	36.9

Table 6 The volumetric efficiency calculated results of original oil pumps

Test speed (r/min)	Original product sample #1 volumetric efficiency (%)	Original product sample #2 volumetric efficiency (%)	Average volumetric efficiency (%)
1,000	74.0	65.1	69.5
1,500	75.5	74.3	74.9
2,000	76.0	76.6	76.3
2,500	76.3	77.0	76.7
3,000	76.3	75.9	76.1

Table 7 The volumetric efficiency calculated results of remanufactured oil pumps

Test speed (r/min)	Remanufactured product sample #1 volumetric efficiency (%)	Remanufactured product sample #2 volumetric efficiency (%)	Average volumetric efficiency (%)
1,000	69.8	64.5	67.2
1,500	75.1	70.4	72.8
2,000	77.2	72.5	74.9
2,500	77.7	73.0	75.4
3,000	78.9	72.8	75.9

Table 8 The volumetric efficiency results of remanufactured oil pumps as compare with original oil pumps

Test speed (r/min)	Original product average volumetric efficiency (%)	Remanufactured product average volumetric efficiency (%)	Volumetric efficiency as compare with original product (%)
1,000	69.5	67.2	96.7
1,500	74.9	72.8	97.2
2,000	76.3	74.9	98.2
2,500	76.7	75.4	98.3
3,000	76.1	75.9	99.7

으며 1,000 r/min에서 96.7 %, 1,500 r/min에서 97.2 %, 2,000 r/min에서 98.2 %, 2,500 r/min에서 98.3 %, 3,000 r/min에서 99.7 %로 각각 산출되었다.

4. 결론

본 연구에서는 재제조 오일 펌프의 성능 복원을 위해 재제조 기술 및 공정을 개발하고 신제품 및 재제조 제품에 대한 체적 효율 평가 및 비교를 통해 성능 복원 적합성을 검증하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사용 중 손상된 부품의 신제품 교체를 위해 원래의 기능을 수행할 수 있도록 압입 방안을 연구하였고 전용 압입기 및 지그를 제작하여 부품 제조립 공정을 개발하였다.
- 2) 오일 펌프의 드라이브 기어, 드리븐 기어, 하우징의 불균일한 표면을 복원하기 위해 전용 연마기를 통한 가공 공정을 개발하였고 벨 하우징과 결합하여 면압 분포를 검사함으로써 편평도 가공 공정의 적합성을 검증하였다.
- 3) 오일 펌프 신제품과 재제조 제품에 대한 체적 효율 평가 결과, 총 5개 구간에서 신제품 대비 95 % 이상의 성능값으로 산출됨에 따라 성능 복원 정도가 신제품과 유사함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 순환자원이용기술개발사업(20185210300010)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

- 1) J. Y. Yi, "Resource Circular Social Problem of the Quality Certification System for Remanufactured Product," Korean Environmental Law Association, Vol.41, No.2, pp.173-210, 2019.
- 2) H. Y. Kang, Y. C. Kim and I. S. Lee, "Current Status and Promotional Measures of Domestic and Overseas Remanufacturing Industry," Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, Vol.21 No.4, pp.3-15, 2012.
- 3) W. J. Sung and J. S. Oh, "Improvement of the Line Pressure Drop of Automatic Transmission at High ATF Temperature and Low Engine Speed Condition through Performance Improvement of the Oil Pump," KSAE Fall Conference Proceedings, pp.618-622, 2005.
- 4) Automobile Technology Handbook, KSAE, Seoul, 1991.