

E-100용 연료펌프 하부 하우징의 냉간단조 개발

이병훈¹, 박성영^{2*}

¹공주대학교 기계자동차공학부
²공주대학교 공과대학 생산기술연구소

Development of E-100 Fuel Pump Lower Housing Using Cold Forging Process

Byeong-Hoon Lee¹ and Sung-Young Park^{2*}

¹Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

²Industrial Technology Research Institute, College of Engineering, Kongju National University

요약 본 논문은 냉간단조 연료펌프와 다이캐스팅의 연료펌프에 대해 성능 실험과 아세트산이 포함된 에탄올에 250시간 연료펌프를 구동하여 부식성에 대해 실험을 수행하였다. 성능실험을 수행한 결과, 냉간단조된 하부하우징과 다이캐스팅된 하부하우징으로 제작된 연료펌프의 성능은 동등한 수준이었다. 내부부식은 다이캐스팅된 하부하우징보다 냉간단조된 하부하우징이 더 우수하였으며, 냉간단조된 하부하우징이 다이캐스팅된 하부하우징보다 치밀한 조직을 가지고 있었다.

Abstract Performance and anti-corrosion of cold forged fuel pumps and die-casting fuel pumps have been tested in this study. Ethanol with 10 ppm of acetic acid is applied for the anti-corrosion test for 250 hours. Performance test result shows that the pumping efficiency of the cold forged fuel pump is equivalent to that of the die-casting fuel pump. The cold forged lower housing has better quality against corrosiveness and finer metallic structure than the die-casting lower housing does.

Key Words : Fuel Pump, Cold Forging, Lower Hosing, Anti-Corrosion, Die-Casting

1. 서론

현재까지 자동차용 연료펌프의 설계법, 성능예측 및 향상에 대해서 연구가 다수 이루어졌지만 자동차용 연료펌프의 효율 향상과 신뢰성 있는 설계법이 아직도 만족할 만한 결과를 보이지 못하고 있다. 특히 연료펌프에 대한 국내 연구는 연료 펌프 생산업체 위주로 소극적 개발이 진행되어 왔으며, 다양한 형상 및 인자에 따른 실험 결과에 근거한 설계법 및 성능 예측법은 실제 제품에 적용하기에 무리가 있다[1].

자동차용 연료펌프는 국내 시판되는 가솔린 자동차의 거의 대부분에 사용되고 있음에도 불구하고 설계기술을 포함하는 핵심 기술들은 외국의 소수 자동차부품 전문 기술업체만이 보유하고 있다. 국내시장을 차지하는 대부

분의 국내업체들도 이들 외국기업의 자본으로 이루어졌기 때문에 국내업체들은 독자적으로 기술개발을 수행하기 어려운 환경에 처해져 있으며, 생산 및 제조 기술에서 경쟁력이 있음에도 해외 판매 및 제품 개발에 한계를 가지고 있다. 세계적으로 완성차업체들의 글로벌 소싱이 현실화되고, 그에 따른 연료펌프의 시장이 확대되고 있는 상황에서 펌프의 효율 향상 및 신뢰성 있는 설계법의 확보는 기업의 글로벌 경쟁력을 확보하는데 필수적인 요소라 할 수 있다[2,3].

가솔린 자동차의 연료펌프는 차량의 연료탱크 내부에 설치되어 연료탱크에서 엔진으로 연료를 공급하는 장치이다. 초기 용적형 연료펌프의 토출압 맥동, 소음진동 등의 문제점을 해결하기 위하여 재생펌프(Regenerative Pump)가 도입되었으며, 현재 대부분의 가솔린 자동차용

*교신저자 : 박성영(sungyoung@kongju.ac.kr)

접수일 11년 11월 07일

수정일 12년 01월 03일

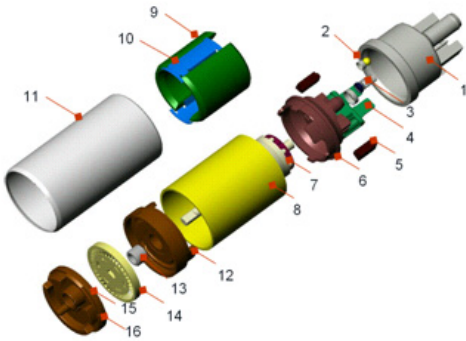
게재확정일 12년 01월 05일

연료펌프로 널리 사용되고 있다[4,5].

그림 1은 일반적인 가솔린엔진 연료펌프를 나타낸 것이며, 그림 2는 연료 펌프의 구조에 대해 나타낸 것으로서, 자동차용 연료펌프의 작동원리는 구동축에 의해 다수의 홈을 가진 임펠러가 회전하면서 나선형의 유로를 형성하게 되고, 이 유로를 따라 유체가 임펠러 홈으로부터 고정된 유로벽을 거치며 에너지를 부여하게 된다. 연료펌프의 송출과정은 유동경로의 심한 혼합현상으로 인하여 매우 낮은 효율을 가지며, 내부의 유체점성으로 인한 에너지 손실이 크다[1].



[그림 1] 일반적인 가솔린엔진 연료펌프
[Fig. 1] General gasoline engine fuel pump



No	Part Name	No	Part Name
1	Pump Outlet	9	Magnet
2	Relief Valve Ass'y	10	Spring Magnet
3	Check Valve Ass'y	11	Outer Shell
4	Connector Ass'y	12	Upper Casing
5	Brush Ass'y	13	Bushing
6	Inner Outlet	14	Impeller
7	Armature	15	Ball Bearing
8	Flux Tube	16	Lower Casing

[그림 2] 연료 펌프의 구조
[Fig. 2] Major parts of a fuel pump

기존에 사용되는 자동차용 연료펌프 하부하우징은 다이캐스팅 제조법으로 대량 생산되고 있다. 다이캐스팅으

로 생산된 제품은 내구성이 낮아 아노다이징 표면처리를 적용하여 사용되고 있으나, 표면처리 전 산처리가 불가능하여 청정도가 낮아지게 된다. 또한 에탄올이 추가된 바이오 연료를 사용하면 전기 전도가 발생하기 때문에 표면이 부식되고, 에탄올에 흡수된 수분에 의하여 아세트산이 생성되어 이에따른 부식도 발생하게 된다. 이러한 문제로 인하여 선진부품업체에서는 다이캐스팅 공법을 냉간단조 공법으로 변경한 제품을 출시하였다. 냉간단조를 통하여 하우징을 제작하게 되면, 여러 가지 장점이 있으며, 그중에서도 산처리가 가능하기 때문에 고정밀의 표면처리가 가능하다는 점과 생산성 향상에 큰 장점이 있다. 그러나 아직 국내에서는 적용기술의 미확보로 개발이 진행되지 못하고 있다. 그림 3은 다이캐스팅된 하부하우징이며, 좌측이 하부 하우징의 윗면이고, 우측이 밑면이다.



[그림 3] 하부 하우징의 윗면 및 밑면
[Fig. 3] The upper side and base side of lower housing

[표 1] 다이캐스팅 및 냉간단조 공법 비교
[Table 1] Comparison of the die casting and the cold forging

기술비교	다이캐스팅	냉간단조
산처리	불가능	가능
표면 청정도	보통	우수
표면경도(HB)	~ 60	~ 85
공정 난이도	보통	어려움
내식성	보통	우수
에탄올 내식성	불량	우수
가공성	양호	우수
내부결함	보통	우수

표 1은 다이캐스팅 및 냉간단조의 공법을 비교한 것으로 표기된 것과 같이 다이캐스팅 공법에서 냉간단조 공법으로 변경함으로써 제품 생산성 향상이 가능하며, E-100에 대한 내식성이 크게 강화되어 연료계통의 고질적 문제 해결이 가능하고, 산처리가 가능하여 표면상태가 향상되고, 연료의 청정도가 향상된다. 또한 냉간단조 시 기공발생이 최소화되므로, 연료의 통전에 따른 내식성도 좋아지며, 내부결함 최소화 및 강도가 높아져 가공성과 표면처리가 우수하다.

2. 본론

2.1 성형 및 공정해석

1차 및 2차 단조 성형 해석은 유한요소해석 프로그램인 DEFORM을 사용하였으며, 하부하우징의 소재는 알루미늄계열인 6N01을 선정하였다. 소재는 중량 21g과 ϕ 32.5×9.5mm를 사용하였다. 계산 격자는 10,000개로 하였으며, 펀치 하강 속도는 1mm/sec로 설정하였다.

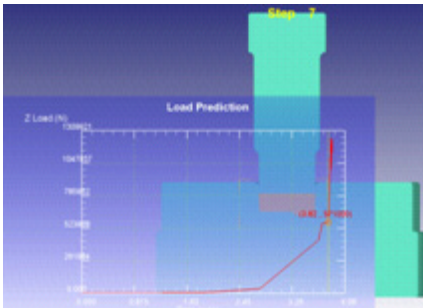
금형의 내구성을 고려하여 성형공정을 두 공정으로 분리하였다. 2차 공정의 성형 해석결과는 그림 4(b)와 같다. 그림 4(d)에서 나타난 바와 같이 하중은 62TON으로 계산되었기 때문에 250TON의 너클 프레스를 선택하였다. 1차 단조 성형해석은 그림 4(a)와 같고, 그림 4(c)에서 나타난 바와같이 52TON의 성형하중이 계산되어 250TON 너클 프레스를 선택하였다.



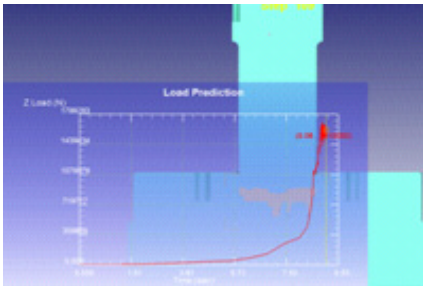
(a) 1차 공정



(b) 2차 공정



(c) 1차 성형 하중

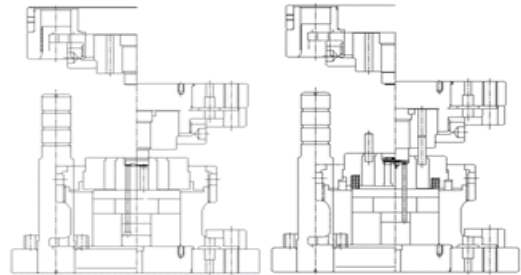


(d) 2차 성형 하중

[그림 4] 공정 해석
[Fig. 4] Process analysis

2.2 금형 및 시제품 제작

그림 5(a)는 1차 금형 조립도이며, 그림 5(b)는 2차 금형 조립도이다. 250TON 너클 프레스와 140mm 스트로크를 사용하였다. 펀치는 경도가 60HRC 이상의 고속도공구강 SKH51을 사용하였으며, 펀치 블록은 경도 56~58 HRC인 고합금공구강 SKD11을 사용하였다. Die는 3중 열간압입하였으며, 보강링의 열간압입율은 0.45%를 사용하였다.



(a) 1차 금형 조립도

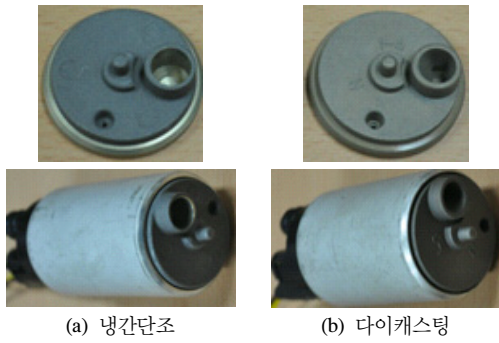
(b) 2차 금형 조립도

[그림 5] 금형 조립도
[Fig. 5] Mold assembly

그림 6은 소재와 각 공정별 단조도와 결과시편을 보여주고 있다. 소재는 1차 단조공정 전에 스테아린산 아연으로 피막작업을 하였으며, 1차 단조 공정 후에는 소재에 윤활처리로 피막작업을 하였다. 이와 같이 1차 및 2차 성형공정을 통하여 제작된 하부하우징은 최종적인 가공을 거쳐 그림 7과 같은 형상으로 연료펌프에 조립된다. 연료펌프의 하부하우징을 다이캐스팅에서 냉간단조용으로 변경하면서 주된 설계 변경부는 연료의 흡입이 발생하는 입구부이다. 입구부의 형상은 최종적인 가공을 통하여 완료된다. 그림 7에 나타난 두 연료펌프는 동일한 사양으로 오직 하부하우징만 다르게 조립되었다. 실험에 사용된 펌프는 각각 5개씩으로 총 10개의 펌프를 실험에 사용하였다.

소재도		
1차 단조도		
2차 단조도		

[그림 6] 공정별 시편
[Fig. 6] Lower housing specimen for each process



[그림 7] 하부하우징 및 조립된 연료펌프
[Fig. 7] Lower housing and assembled fuel pump

2.3 연료펌프 성능 및 내구실험

2.3.1 연료펌프 성능실험

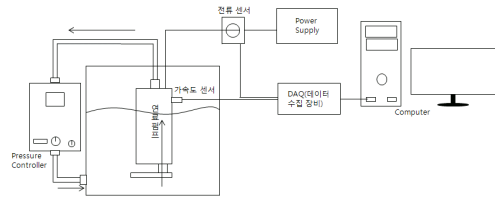
그림 8은 연료펌프의 성능 실험을 나타낸 사진으로, 그림 8(a)는 연료펌프 성능실험 장치의 개략도이며, 그림 8(b)는 연료펌프의 유량 및 성능실험 장치이다. 연료의 유량은 Endress-Hauser사의 코리올리유량계(Proline Promass 80)를 사용하였으며[6], 그림 9(a)는 사용된 코리올리 유량계를 보여주고 있다. 연료펌프의 회전수를 측정하고 보정하기 위하여 Hansen사의 전류센서(그림 9(b))와 Piezotronics사의 가속도 센서(그림 9(c))를 이용하여 측정하였으며, 데이터의 처리는 Labview 프로그램을 사용하여 연산처리하였다[7].

동일한 조건에서 냉간단조된 연료펌프와 다이캐스팅 된 연료펌프의 효율을 계산하였다. 정해진 연료펌프의 회전수에서 효율은 다음과 같이 계산된다.

$$\eta = \frac{P \times Q}{V \times I} \quad (1)$$

여기서 η 는 효율, $P(\text{Pa})$ 는 배압, $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 는 체적유량, $V(\text{V})$ 는 전압, $I(\text{A})$ 는 전류이다.

그림 10은 회전수에 따른 연료펌프 효율 그래프이다. 효율곡선은 각각 5개의 연료펌프를 실험하여 평균한 결과로서, 회전수마다 미미한 차이를 보이는 하지만, 전 작동영역에서 펌프 효율이 동등한 수준이다. 이는 냉간단조를 위하여 설계 변경된 하부하우징 입구부의 성능이 다이캐스팅으로 제작된 하부하우징의 성능과 동등한 수준임을 나타낸다.



(a) 개략도



(b) 장치사진

[그림 8] 연료펌프 성능 실험장치
[Fig. 8] Fuel pump performance test rig



(a) 코리올리 유량계

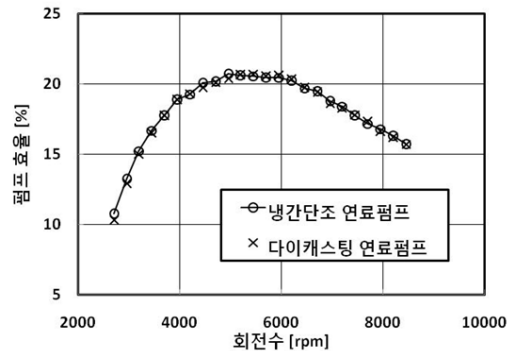


(b) 가속도 센서



(c) 전류 센서

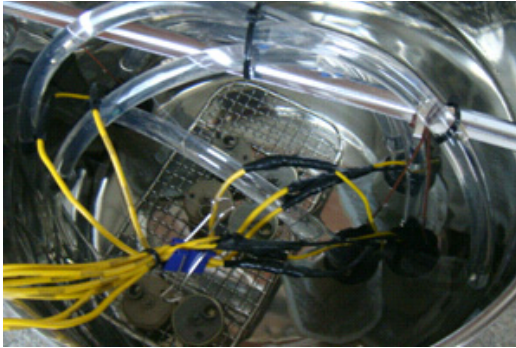
[그림 9] 유량계 및 측정용 센서
[Fig. 9] Flow meter and measuring sensors



[그림 10] 연료펌프의 효율
[Fig. 10] Fuel pump efficiency

2.3.2 연료펌프 부식실험

그림 11은 연료펌프의 부식실험 장치 사진이다. 연료 펌프의 부식실험은 에탄올 93%, 물 7% 및 아세트산 10ppm을 혼합한 용액을 사용하였으며, 제작공정별로 각각 2개의 연료펌프를 6000 rpm으로 회전시키면서 250시간동안 실험을 진행하였다.



[그림 11] 부식 실험
[Fig. 11] Corrosion test

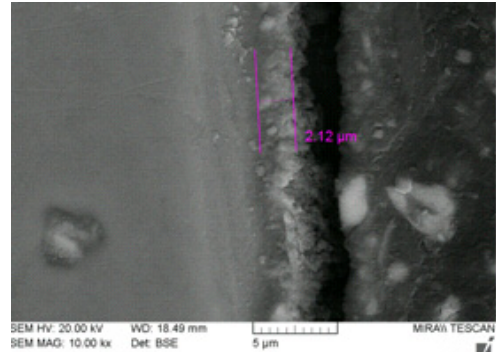
그림 12는 250시간 구동된 연료펌프의 사진이다. 좌측은 냉간단조된 연료펌프이고, 우측은 다이캐스팅된 연료 펌프이다. 하부하우징과 외부 셸 사이의 이음매에서 상당한 부식을 보이고 있으나, 육안으로 부식의 정도를 파악하기에 한계가 있어 전자현미경으로 부식면을 절개하여 촬영하였다.



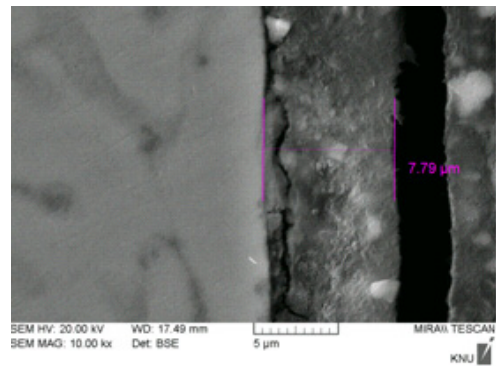
[그림 12] 250시간 부식 실험 후 연료 펌프 (좌 : 단조, 우 : 다이캐스팅)
[Fig. 12] Fuel pump after 250 hrs corrosion test (left : Cold forging, right : die casting)

그림 13은 전자현미경으로 촬영한 하부하우징의 단면이다. 그림 13(a)는 냉간단조 연료펌프의 하부하우징의 입구부 내측단면으로 부식층의 두께가 약 2.12 μ m 였으며, 그림 13(b)는 다이캐스팅 연료펌프의 하부하우징 단

면으로 부식층의 두께가 약 7.79 μ m였다. 냉간단조된 연료펌프의 하부 하우징이 다이캐스팅된 하부하우징보다 부식에 강한 것을 알 수 있다. 이는 단조공정으로 인하여 조직의 치밀도가 향상되었기 때문이며, 조직의 개선이 아세트산 부식에 대한 내식성을 증가시킨 것으로 판단된다.



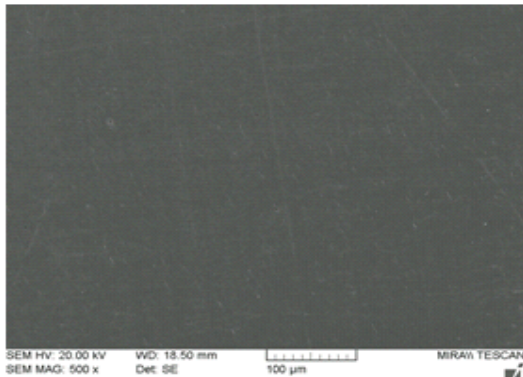
(a) 냉간단조



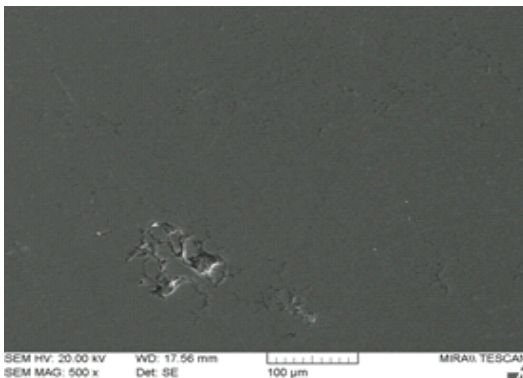
(b) 다이캐스팅

[그림 13] 하부 하우징의 부식 깊이 광학 현미경 사진
[Fig. 13] Corrosion depth SEM picture of the lower housing

그림 14는 내부 조직을 비교하기 위해 하부하우징의 절단면을 전자현미경으로 500배 확대하여 촬영한 사진이다. 그림 14(a)는 냉간단조 연료펌프의 하부하우징으로 기공이 보이지 않는 것에 비해 그림 14(b)의 다이캐스팅된 연료펌프의 하부하우징은 약 100 μ m 미만의 기공이 상당수 분포하고 있었다. 이러한 사진 결과를 통하여 냉간단조된 하부하우징이 다이캐스팅된 하부하우징보다 조직이 치밀한 것을 알 수 있다.



(a) 냉간단조



(b) 다이캐스팅

[그림 14] 하부 하우징의 미세기공 광학 현미경 사진
[Fig. 14] Gas pocket SEM picture of the lower housing

3. 결론

냉간단조된 연료펌프와 다이캐스팅된 연료펌프에 대해 동일한 조건에서 펌프의 회전수에 따른 성능 실험과 에탄올과 아세트산의 혼합 용액에 연료펌프를 구동하여 부식성에 대해 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 냉간단조된 하부하우징과 다이캐스팅된 하부하우징으로 제작된 연료펌프의 성능은 동등한 수준이다. 이는 냉간단조를 위하여 설계 변경된 하부하우징 입구부의 성능이 동등한 수준임을 나타낸다.
- 2) 내부식성은 다이캐스팅된 하부하우징보다 냉간단조된 하부하우징이 더 우수하였다. 이는 단조공정으로 인하여 조직의 치밀도가 향상되었기 때문이며, 조직의 개선이 아세트산 부식에 대한 내식성을

증가시켰기 때문이다.

- 3) 냉간단조된 하부하우징이 다이캐스팅된 하부하우징보다 치밀한 조직을 가지고 있으며, 냉간단조의 하부하우징 단면에서 다이캐스팅된 하우징에서 발견된 크기의 미세기공들은 발견되지 않았다.

References

- [1] S. Y. Park, "Efficiency Characteristic on fuel pump module", Kongju National University RIS Center Final Report, 2007.
- [2] S. Y. Park, "Performance Development of the 400cc EFI Small Engine", Journal of KAIS, Vol. 12, No. 4, pp. 1547-1551, 2011.
- [3] K. M. Yeom and S. Y. Park, "Experimental Study on the Spray Characteristics of a Fuel Injector for a Non-Road Small Engine", Journal of KAIS, Vol. 12, No. 5, pp. 2005-2010, 2011.
- [4] J. S. Lee and S. Y. Park, "Experimental Study on the Rotational Speed Measuring Condition of a Gasoline Fuel Pump for a Small-Size Engine", Journal of KAIS, Vol. 11, No. 9, pp. 3184-3189, 2010.
- [5] J. S. Lee and S. Y. Lee, "Experimental Study on the Fuel Pump of a Small Engine", Journal of KAIS Fall conference, pp. 515-519, 2009.
- [6] "Coriolis Mass Flow Measuring System Operating Instructions-Proline Promass 80", 100, Endress-Hauser Inc., 2007.
- [7] D. Y. Guak, "Labview 8.6", Ohm, 2008.

이 병 훈(Byeong-Hoon Lee)

[준회원]



- 2007년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 자동차공학 전공 재학

<관심분야>

열유체 유동해석, 연료펌프 성능개발

박 성 영(Sung-Young Park)

[정회원]



- 2002년 5월 : Texas A&M Univ., 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교, 기계자동차공학부, 부교수

<관심분야>

열유체 유동해석, 내연기관 성능개발