

굴삭기 엔진용 저압연료펌프의 아이들 기어와 하우징 사이의 고착 현상 개선에 관한 실험적 연구

이일권[†] · 김승철 · 강기환* · 허창수*

대림대학교 자동차공학과

*지티에스이엔지

Experimental Study on Reducing the Adherence Phenomenon between Idle Gear and Housing for Low-Pressure Fuel Pump of Excavator Engine

IL Kwon Lee[†], Seung Chul Kim, Ki Hwan Kang* and Chang Soo Hur*

Department of Automotive Engineering, Daelim University College

*GTS Eng. Co., Ltd

(Received January 3, 2013 ; Revised February 10, 2013 ; Accepted February 15, 2013)

Abstracts – This paper describes the adherence phenomenon, including the tribological characteristics, of a low-pressure fuel pump in a diesel engine for an excavator. Most fuel pumps of a diesel-engine excavator are of the fixed-quantity-gear type and have low pressure. However, the developed pumps develop problems in the pumping system owing to performance instability. Cavitation, which is the main obstacle to stable driving in the pump, occurs between an idle gear and the housing to produce a serious adherence problem. The present study not only examined how to suppress cavitation in a pump but also developed a simple method to improve pump performance through the early creation of a lubrication film with a phosphoric acid coating on the surface of the idle gear. The results showed that the coating successfully prevents breakage of the idle gear due to adherence.

Keywords – excavator(굴삭기), fuel pump(연료펌프), gear(기어), adherence(응착), coating(코팅), housing(하우징)

1. 서 론

최근의 산업발전은 매우 빠른 속도로 진행되고 있다. 이러한 산업의 한 축을 이루고 있는 것이 건설장비의 획기적인 발전에 의한 것으로 볼 수 있다. 건설현장에서 작업을 할 때 인력에 의존하여 작업을 하던 것을 굴삭기라는 중장비로 함으로써 효율과 사고의 위험성을 크게 줄이고 작업효율을 극대화함으로써 생산성을 크게 향상시켰다. 이러한 건설중장비의 획기적인 변화로 인

하여 산업을 발전시키기 위한 건설 및 도로 등의 기간 산업의 범위가 커지고, 진입하기 힘든 외딴 마을을 서로 연결함으로써 전국토의 균형발전을 이루었음 뿐만 아니라 주변 도시와의 관련산업이 크게 발전하는 데 크게 이바지하였다.

이러한 중장비에 적용되는 다젤 엔진이 최근에는 기계적인 분사 펌프 방식에서 전자제어 시스템의 디젤엔진으로 개발되어 성능과 제어시스템이 획기적으로 변경되었다. 이러한 엔진은 대기온도 및 냉각수의 온도와 운전자의 운전의지 등의 각종 센서의 신호를 받아들여 엔진의 조건에 따라 연료량 및 분사시기를 엔진의 컴

[†]주저자 · 책임저자 : klee@daelim.ac.kr



Fig. 1. Working excavator in the field.

퓨터가 직접 제어하여 분사함으로써 공회전 및 주행할 때 모든 운전 조건에 따라 적절한 양의 연료를 분사함으로써 배연을 최소화하고 연비를 향상시켜 최적제어가 가능하게 하였다[1,2]. 엔진에 연료를 공급하기 위하여 연료 펌프는 연료 탱크에서 연료를 흡입하여 연료를 연소실로 공급할 수 있도록 최적의 역할을 하여야 한다. 이러한 전자제어 디젤 엔진의 저압 연료 펌프에 대한 최적 조건을 찾기 위해 모델링 해석에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[3,4]. 또한, 연료펌프의 작동중 진동을 최소화하기 위해 토션 댐퍼(torsional damper)를 사용하여 펌프의 진동을 감소하는 연구논문도 발표되었다[5].

따라서, 이 논문은 굴삭기용 저압 연료 펌프를 개발하기 위해 펌프 내부의 기어의 고착현상을 실험을 통해 개선하고 이것을 기존의 굴삭기에 적용하기 위한 것으로 연구에서 확인된 문제를 분석하고 이에 대한 개선 및 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 작동원리

2-1. 개요

중장비의 엔진은 디젤 엔진이 적용되고 이 엔진에는 경유를 이용하여 엔진의 작동을 가능하게 한다. 이러한 연료 이송을 위한 연료의 펌프의 역할은 매우 중요하다고 할 수 있다. 이 엔진은 건설현장에서 사용하는 중장비 및 대형운전 장비에 적용된다. 굴삭기 엔진은 굴삭기뿐만 아니라 휠 로더와 같은 중장비와 고속버스 및 소방차 등 대형 자동차에도 적용이 되고 있다. Fig.1은 굴삭기의 작업사례를 보여주는 것이다[6].

2-2. 연료펌프의 작동이론

엔진을 작동시키기 위한 연료를 연소실로 이송하는

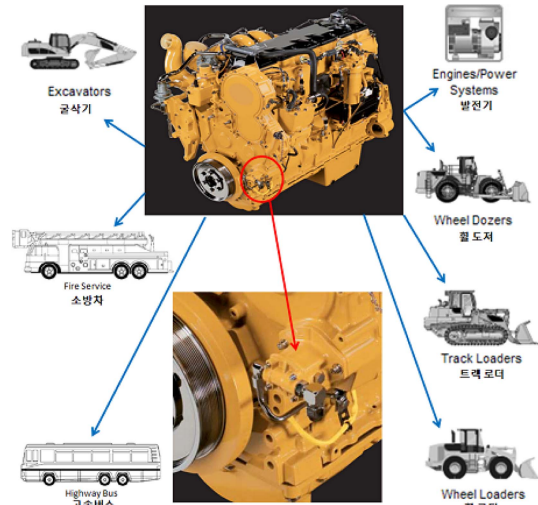


Fig. 2. Using examples of low pressure fuel pump.

연료 펌프 제작 기술은 매우 중요하다[7]. 굴삭기에서 사용되는 기계식 저압연료 펌프는 기어 방식으로 고압 펌프와 일체식으로 구성되어 있다. 엔진의 회전과 동시에 타이밍 체인 또는 벨트로 연결된 고압펌프가 회전하면 고압펌프 내부의 구동 샤프트에 의해 작동을 시작하며, 이 때 연료 탱크 내부의 연료는 저압펌프에 의해 흡입되어진다. 이렇게 흡입된 연료는 연료 압력 조절밸브에 의해 조절되어 필요한 양의 연료가 고압펌프로 압송되어진다.

2-2-1. 연료 펌프의 메커니즘

중장비용 기어식 연료펌프는 중장비 및 대형 차량인 버스, 소방차 등에 사용되는 디젤(diesel) 엔진에 장착되며, Fig. 2는 중장비에 적용되는 기어식 연료 펌프의 적용사례를 보여주는 것이다. 연료탱크에 있는 연료를 고압연료 라인에 충분한 연료를 공급하기 위한 정량형 기어타입(gear type)의 저압연료 펌프로서 내부에는 일정한 압력으로 공급하기 위한 고정형 압력제한 밸브(fixed regulating valve)기능이 있으며, 저압펌프에서 송출한 연료가 엔진의 정지에 의하여 송출이 중지되었을 경우, 송출된 연료가 다시 되돌아 나오는 것을 방지하기 위해 한 방향으로만 작동하는 체크 밸브(check valve)가 내장되어 있다.

2-2-2. 저압 연료 펌프의 구조 및 작동원리

저압 연료 펌프의 구조는 일반적으로 기어형식(gear

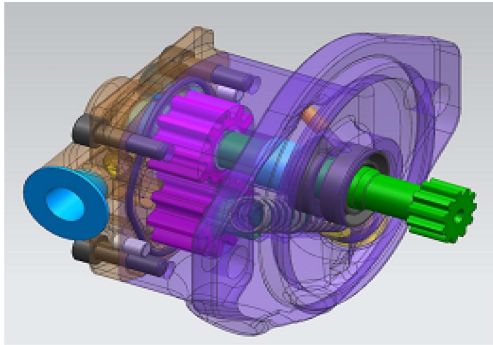


Fig. 3. 3-Dimensional schematic of low pressure fuel pump.



Fig. 4. Performance tester for low pressure fuel pump.

type), 제로터 형식(gerotor type), 베인형식(vane Type), 나사형식(screw type) 등 여러 종류가 있다. Fig. 3은 연료 펌프의 3차원 형상을 보여주는 것이다

3. 실험장치 및 실험방법

3-1. 실험조건

기어펌프의 성능을 시험하여 최적의 데이터를 얻기 위하여 시험기를 규격에 맞게 설계, 제작하였다. 이 실험에서의 테스트 연료는 디젤유를 사용하였다. 연료 펌프의 회전은 120 rpm, 840 rpm, 2940 rpm의 3가지 조건에서 시험하였다. 압력은 1.5~6.5 bar, 토출량은 34.5 l/min 범위로 하고 실험하였다. 시험을 위한 연료 펌프는 4가지 형태의 Sample로 가공하여 실험하였다.

- 1) 기존제품(Original) : 실제 굴삭기에 장착되는 연료 펌프 Sample
- 2) Sample 1 : 펌프 규격에 맞춰 가공만 함
- 3) Sample 2 : 하우징 내면과 기어와 기어커버 코팅, 하우징 높이와 기어두께 사이의 15m 갭 발생, 아이들 기어 양단지지를 위해 커버에 홈 가공
- 4) Sample 3 : 하우징 내면과 기어와 기어커버부 코팅, 하우징과 기어커버 조립부 15m 갭 발생제거,
- 5) Sample 4 : 코팅, 하우징 하우징과 기어커버 조립부 15m 갭 발생제거, 아이들 기어 양단지지를 위해 커버에 홈 가공

3-2. 실험결과 및 분석

3-2-1. 실험장치 및 실험고찰

Fig. 4는 이 실험을 위해 사용된 시험 장비를 보여주는 것이다. Fig. 4의 펌프를 펌프 성능시험기에 장착

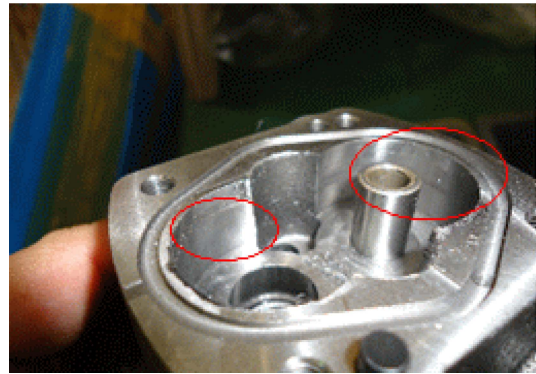


Fig. 5. Scratch mark of pump inner housing during early starting.

하여 Sample 1로 최소 120 rpm에서 시작하여 최대속도인 2940 rpm에서 시험을 한 결과 연료 펌프가 회전하지 않는 현상이 발생되었다. 이에 연료 펌프를 분해하여 확인한 결과 내부의 기어와 구동기어가 하우징 내부에 달라 붙어 소착된 현상이 발생된 것을 확인하였다. 이것은 연료 펌프의 각 부품을 분해하여 확인한 결과 연료 펌프의 하우징의 내측벽 중간지점에서 Fig. 5에서와 같이 간헐적인 연마 스크래치(abrasive Scratch) 흔적이 발생하는 것을 확인하였다. 연료 펌프를 다시 조립하여 펌프를 시험한 결과 펌프는 정상적으로 회전하였다.

그러나 펌프의 회전수를 최고 2940 rpm 범위까지 상승시킨 결과 연료펌프는 스크래치 발생에 의해 고착 현상이 발생되어 회전하지 않았다. 원인을 확인하기 위해 내부의 부품을 분해하여 분석하여 본 결과 1차 확인후의 마멸 스크래치보다 더 심하게 확대가 되었고, 기어의 잇면도 손상된 것을 확인하였다. 이것은 연마 스크래치와 구동기어와의 접촉으로 인해 초기에는 부

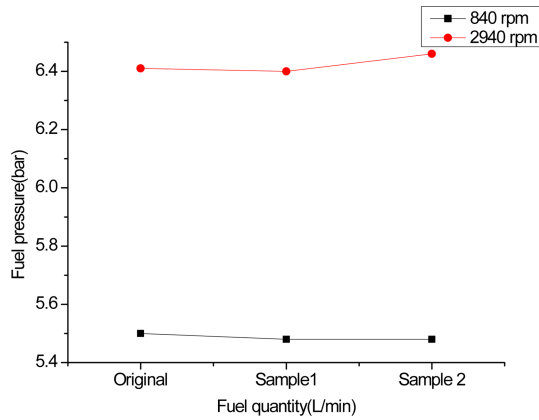


Fig. 6. Pressure transition including original and sample 1,2.

하가 크지 않아 스크래치만 발생하였으나 이후 펌프의 부하가 가해지면서 마찰력이 증대되어 반복적인 마찰에 의해 스크래치 조각이 펌프내부를 회전하면서 고착이 심화된 것으로 판단되었다. 이 현상을 분석하기 위하여 기어와 하우징을 측정된 결과 기어와 하우징의 단품만으로는 마찰을 일으킬 수 있는 문제를 발견할 수 없었다. 따라서 소착하는 문제점을 파악하기 위하여 열처리 및 틈새, 부품에서 나오는 작은 입자 등이 고착 현상의 원인이 아님을 알 수 있었다. 따라서, 소착의 원인은 하우징과 기어의 틈새 혹은 각부품의 표면경도 및 부품에서 떨어져 나오는 입자에 의한 영향이 아니라 초기 운전을 할 때 펌프 구동부에 디젤유가 존재하지 않는 깨끗한 상황에서 기어와 하우징의 건마찰에서 발생하는 마멸흔적이 구동매체인 디젤유가 공급되기 전에 부하가 증대함과 동시에 기어의외부와 하우징 내벽에서 마찰접촉을 발생시키게 되어 이로 인해 소착이 일어나는 것이 원인으로 확인 되었다[8].

3-2-2. Sample 1, 2의 시험 및 고찰

Sample 2는 기어의 표면을 코팅하여 윤활성을 개선하였고, 아이들 샤프트 길이를 길게 하여 한 축을 펌프의 커버에 삽입되게 하여 양단지지를 함으로써 축의 지지강도를 향상시켰다.

Fig. 6은 기존제품과 Sample 1,2에 대한 압력변화를 보여주는 것이다. 여기서 Sample 1은 연료 펌프를 가공만 한 것이고, Sample 2는 기어 펌프의 하우징 내면과 기어 표면을 인산염으로 4 m 정도로 코팅 처리한 것이다. Fig. 6에서 보면 연료 펌프의 회전수가

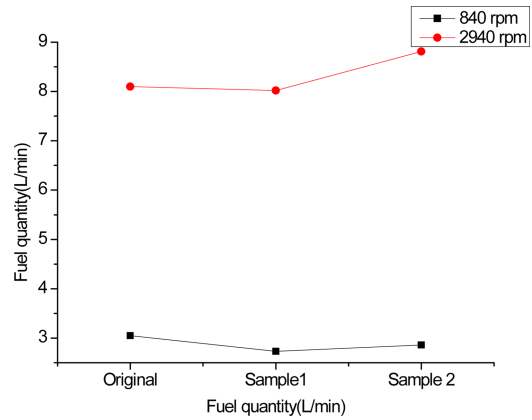


Fig. 7. Flow quantity transition including original and sample 1,2.

840 rpm일 때 기존 제품은 5.5 bar, sample 1,2는 5.48 bar로 측정되었고, 2940 rpm에서는 기존 제품에 대한 연료의 규정압력은 6.41 bar압력일 때, Sample 1,2의 시험결과는 Sample 1이 6.4 bar, Sample 2는 6.46 bar로 측정되었다. 따라서, 2940 rpm에서의 압력은 기존제품의 압력과 비교하였을 때 거의 차이가 없는 것을 확인하였다. 즉, 최대압력형성은 규격제품에는 조금 떨어지나 모두 규격을 만족하는 결과를 보여주고 있다.

Fig. 7은 기존제품과 Sample 1,2에 관한 유량변화를 보여주는 것이다. Sample 1,2의 유량에 대한 변화는 Fig. 7에서 보는 것과 같이, 연료의 펌프 회전수가 저속 840 rpm에서는 규격제품과 비교하였을 때 유량이 Sample 1은 10.5%, Sample 2는 6.2% 감소하였다. 이것은 Sample 2의 제작과정에서 펌프 하우징과 구동기어 커버 조립부 사이의 15 m의 갭이 발생되어, 이 갭을 통하여 연료가 누설됨으로서 저속에서 유량을 확보하지 못한 원인으로 파악되었다 또한, 고속의 2940 rpm의 경우에 유량에 대한 변화는 Fig. 7에서 유량을 보면 Sample 1은 규격제품보다는 유량이 감소하는 것을 보여 주고 있다. 그러나 sample 2는 코팅효과와 양단지지보 효과에 의하여 Sample 2에서 유량의 누설이 감소하여 유량이 기존제품보다 8.8% 정도 증가된 것을 알 수 있다. 이것은 sample 2의 개선효과로 판단할 수 있다.

3-2-3. Sample 3.4의 시험 및 고찰

sample 3은 기어하우징 내면, 기어와 기어커버부를

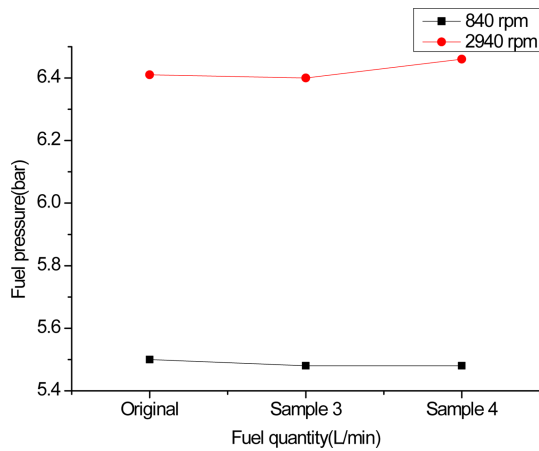


Fig. 8. Pressure transition including original and sample 3.4.

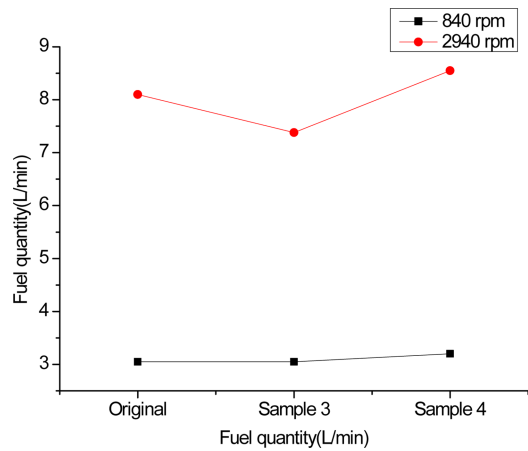


Fig. 9. Flow quantity transition including original and sample 3.4.

코팅하여 내구성을 높였다. 또한, 기어 하우징과 기어 커버 조립부 사이의 15 m 갭이 발생하는 것을 제거하였다. Sample 4는 코팅, 기어 하우징과 기어커버 조립부 사이의 15 m의 갭을 제거하였으며, 아이들 샤프트의 길이를 길게 하여 한쪽 단이 기어 커버 속으로 삽입되게 하여 양단지지 형상이 되도록 제작하였다. Fig. 8은 기존제품과 Sample 3,4에 대한 압력변화를 보여주는 것이다. 연료 펌프의 회전속도 840 rpm에서는 실제 굴삭기에서 사용되는 규격품에서는 5.5 bar, Sample 3,4의 압력은 5.48 bar로 측정되었다. 또한, 연료펌프의 회전수 2940 rpm의 고속에서는 규격품에서는 6.41 bar, Sample 3이 6.4 bar, Sample 4는 6.46 bar로 측정되었다. 이것은 연료 펌프의 회전수가 저속과 고속에서 모두 규격품과 Sample 3,4 모두 규격품과 거의 변화가 없는 것으로 볼 때 매우 안정적인 상태임을 확인하였다.

Fig. 9는 기존제품과 Sample 3,4의 유량변화에 대한 시험결과를 나타낸 것이다. 시험결과에서 보면 840 rpm의 저속구간에서는 기존제품과 Sample 3의 압력은 3.05 L/min, Sample 4의 압력은 3.2 L/min로 측정되었다. 이것은 Sample 4는 기존제품보다 5% 정도 유량이 증가된 것을 확인하였으며, 기존제품 대비 유량이 향상된 성능을 나타내었다. 고속구간인 2940 rpm에서는 기존제품은 8.1 L/min, Sample 3은 7.38 L/min, sample 4는 8.55 L/min으로 측정되었다. 이것은 sample 3은 기존제품보다 유량이 8.9% 감소하다가 Sample 4에서는 유량이 기존제품보다 5.6% 유량이 증대되는 결과를 나타내고 있다. 이것은 Sample 3의 경우에는 양

단 지지가 안된 조건으로 고속에서의 미세한 진동에 의한 영향으로 손실에 의해 유량이 감소된 것으로 판단된다. 따라서, Sample 4는 기존제품과 비교하였을 때 압력과 유량이 향상된 것을 보여주고 있고, Sample 3과 대비하여 좋은 성능을 나타내고 있음을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 굴삭기에 사용하는 연료펌프가 회전할 때 내부의 기어와 하우징 사이에서 발생하는 고착 현상을 개선하기 위하여 실험을 한 결과와 데이터를 제시하여 개선점을 확인하였다.

굴삭기의 초기 연료를 공급하는 연료펌프가 작동할 때 기어와 하우징 내부의 소착이 발생하는 것을 확인하였고, 이 현상의 원인을 확인하기 위하여 실험을 하였다. 실험결과에 따르면 이 소착현상은 하우징과 기어의 틈새 혹은 각부품의 표면경도 및 부품에서 떨어져 나오는 입자에 의한 영향이 아니라 초기 운전시 내부에 구동매체인 디젤유가 존재하지 않는 깨끗한 상황에서 즉, 기어와 하우징의 건마찰에서 발생하는 마찰에 의해서 고착현상이 발생된 것으로 확인되었다. 이러한 건마찰이 확대되면서 펌프 내부의 부하가 증대하였고, 이와 동시에 기어외부와 하우징 내벽에서 마찰 접촉을 발생시키게 되어 이로 인해 소착현상이 일어나게 되었다. 따라서, 이에 대한 해결책으로 시험을 통해 첫째, 기어표면에 코팅을 행하여 건마찰 상태에서 마

찰력을 줄여 초기마멸을 방지하였다. 둘째, 아이들기어의 내부 샤프트를 기존의 외팔보와 같이 일단지지 형태에서 길이를 키워 카버내부로 삽입함으로써 양단을 지지하는 형태로 구조를 변경하였다. 따라서, 이는 최종 개선된 연료 펌프 Sample 4의 안정된 성능을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2011년도부터 지식경제부가 시행한 첫걸음 부품소재기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Hyundai motor company, "Commercial Vehicle Engine System," 2012.
2. Kia motor company, "Electronic Control Diesel Engine," 2012.
3. Borghi, M., Milani, M., Paltrinieri, F and Zardin, B., "Pressure transients in External Gear Pumps and Motors Meshing," SAE paper 2005-01-3619.
4. Matteo, L. Di., Fortunato, F., Oliva, P., Buccela, M., Nicola, C. De., "Modeling and Analysis of the Low Pressure Fuel System for a Direct Injection Diesel Engine," SAE paper 2005-01-3854.
5. Neil, Hutton., "Heavy Duty Diesel Engine Noise Reduction using torsional Dampers," SAE paper 971960.
6. Doosan infra core, "Heavy-duty catalogue," 2012.
7. Rober N. Kunkel, "Fuel Pumps-21st Century Technology," SAE paper 982053.
8. 김청균, 이일권, "전륜구동 수동변속기에 대한 트라이볼로지적 고장사례 연구," 한국윤활학회, 제24권, 제6권, pp. 285-290, 2008.