

대형상용차량을 위한 소형전기식 윤활유 자동 공급시스템 구현

Implementation of a Small Size Electric Automatic Lubrication System for Heavy Commercial Vehicle

김만호¹, 이상협², 이석², 이경창^{3,✉}
Man Ho Kim¹, Sang Hyeop Lee², Suk Lee², and Kyung Chang Lee^{3,✉}

1 부산대학교 산학협력선도대학육성사업단 (Institute of Leaders in Industry-University Cooperation(LINC), Pusan National Univ.)

2 부산대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Pusan National Univ.)

3 부경대학교 제어계측공학과 (Department of Control and Instrumentation Engineering, Pukyong National Univ.)

✉ Corresponding author: gcleee@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-6332

Manuscript received: 2013.8.9 / Accepted: 2013.9.26

One of the causes of malfunction of commercial vehicle is corrosion or wear. In order to prevent corrosion and wear, lubricants have to be supplied periodically. However, the period of lubrication usually depends on operator's judgment. If the period is too short, excess lubricant will cause pollution and unnecessary expenses, where as long periodic supply of lubricant might cause wear, damage and eventual breakdown. Therefore, an automatic lubrication system with predetermined interval will reduce the excessive supply of lubricating oil and prevent wear and damage. This thesis presents an automatic lubrication system which consists of a lubricant pump and an embedded controller. An automatic lubrication operating algorithm is used to operate the lubricant pump and feedback the pressure status of the system using pressure sensors. The developed system shows an efficient periodic supply of lubricant.

Key Words: Automatic Lubrication System (윤활유 자동 공급시스템), Heavy Commercial Vehicle (대형 상용차량), Lubrication Pump (윤활 펌프), Controller (제어기), Automatic Lubrication Operating Algorithm (윤활유 자동 공급 알고리즘)

1. 서론

산업 현장에서 운영되는 많은 장비는 상대운동을 통하여 마찰이 발생되며, 마찰을 줄이거나 늘이는 방법을 통하여 장비의 효율을 향상시킨다. 자동차엔진은 적절한 윤활을 통하여 동력 손실을 최소화하여 연비를 향상 시키고 자동차 제동 장치는 브레이크 디스크에 마찰력을 발생시켜 속도를 줄여준다.^{1,2} 마찰은 기계의 성능을 향상 시키기 위해서 줄여야 하는 요소가 될 수 있으며 반대로 늘려야 하는 요소가 될 수도 있다. 이와 같이 마찰은 산업현장에서 기계 장치나 장비의 거동에 많은

영향을 미치며, 기계 장치나 장비를 제작할 때 고려해야 할 요인이다. 특히, 기계 장치가 보다 빠르고 정밀하게 이동하기 위해서 기계 장치에서 발생하는 마찰 및 마멸이 최소화되도록 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.³

기계 장치는 보다 정밀하게 복잡한 공정을 반복적으로 수행하는 환경에서 운영되는 경우가 많다. 특히, 육중한 무게의 철강을 재련하는 철강회사는 대형 공작 기계에 마찰을 줄이기 위한 윤활 장치를 적용하고 있다. 일반적으로, 윤활 방식은 부품의 일부를 윤활유 속에 잠기게 하는 윤활유 순환방법(oil circulating method), 부품에 직접 윤활

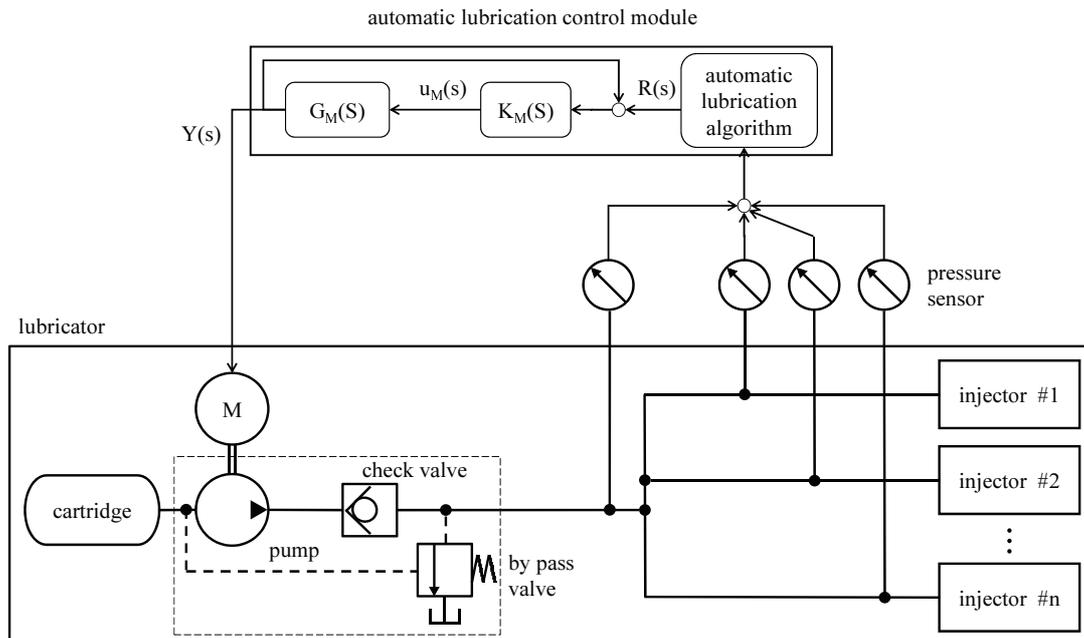


Fig. 1 Structure of the automatic lubrication system for commercial trucks

유를 분무하는 윤활유 분무 방법(oil mist method)과 급유 펌프를 이용하여 윤활유를 강제로 순환시키는 강제 순환 방법(force circulation method)이 있다. 최근에는, 급유 펌프를 이용하여 자동으로 윤활유를 공급하는 윤활유 자동 공급 방법(automatic lubrication method)이 가장 많이 사용되고 있다.^{4,5}

윤활유 자동 공급시스템은 시스템의 유지보수에서 가장 큰 부분을 차지하는 윤활을 자동으로 처리하기 때문에 유지 보수에 사용되는 비용을 경감시킬 수 있다.⁶ 또한, 적절한 윤활유를 부품에 공급하기 때문에 마모로 인한 부품의 고장을 최소화시키며 부품의 수명도 연장시킨다. 적절한 윤활유를 공급하기 때문에 윤활유의 사용을 줄일 수 있으며, 폐 윤활유 처리에 발생하는 비용을 경감시키고 환경오염을 줄일 수 있는 장점도 있다.

거대한 기계 장치를 비롯하여 건설 기계 및 트럭과 같은 대형 상용차량에 윤활유 자동 공급시스템을 적용하면 비용 경감과 환경 보호를 함께 이룰 수 있지만 일부 분야에서만 사용되고 있다. 특히, 먼지가 많은 건설 현장이나 공사장에서 사용되는 건설 기계와 장시간 운전으로 기계적인 마모가 심한 상용 트럭은 윤활유 자동 공급시스템을 적극적으로 적용하지 않아 많은 유지 보수 비용과 빈번한 부품 고장이 발생하고 있다. 건축 현장에

사용되는 건설기계와 대형 상용차량은 기구적인 마모로 인하여 발생하는 고장을 방지하기 위하여 주기적으로 윤활유를 보충하는 유지보수 작업을 수행한다.^{1,2} 작업자에 의해서 수행되는 윤활유 보충 작업은 차량의 운전 상태를 고려하지 않고 일정한 기간이나 일부 부품의 고장이 발생하면 수행되는 경우가 많다.^{6,7}

따라서 본 논문은 건설기계 및 대형 상용차량을 대상으로 엔진을 제외한 기구적인 연결부 또는 구동부분에 마찰을 최소화하기 위한 윤활유 자동 공급시스템을 제안한다. 특히, 윤활유 자동 공급시스템의 핵심이 되는 자동 윤활 펌프 및 요소 부품의 구성을 기술하여 다양한 분야에서 활용할 수 있도록 하였다. 또한, 윤활유 자동 공급시스템의 구동을 위하여 펌프 제어 및 주기적인 구동 알고리즘을 제안한다. 마지막으로, 대형 상용차량을 모사한 테스트베드 환경을 구현하여 제안한 윤활유 자동 공급시스템의 성능을 평가하여 그 적용 가능성을 확인한다.

2. 윤활유 자동 공급시스템

본 논문에서는 건설기계나 대형 상용차량에서 엔진을 제외한 기구적인 연결부 또는 구동부분에

서 발생하는 마찰을 최소화하기 위하여 주기적으로 윤활유를 공급하는 기능을 구현하기 위하여 Fig. 1과 같은 윤활유 자동 공급시스템을 제안한다. 그림에서, 윤활유 자동 공급시스템은 윤활유를 보관하는 카트리리지(cartridge), 윤활유를 공급하는 압력을 발생시키는 펌프(pump), 윤활유의 역류를 방지하기 위한 체크밸브(check valve), 과도한 토출압력으로 인한 펌프의 기계적 파손을 방지하기 위한 바이 패스 밸브(by pass valve), 윤활유를 공급하는 관로의 압력을 측정하는 압력센서(pressure sensor), 윤활이 필요한 요소에 윤활유를 공급하는 인젝터(injector)와 주기적인 윤활을 위한 제어기(controller)로 구성되어 있다.

윤활유 자동 공급시스템은 펌프를 중심으로 한 기구와 마이크로컨트롤러를 중심으로 한 제어기로 구성되어 있다. 우선 기구는 윤활유를 자동으로 공급하는데 필요한 기구적인 동작을 담당하는 부분이며 카트리리지, 펌프, 체크 밸브(check valve), 바이 패스 밸브(by pass valve)와 인젝터(injector)가 포함된다. 또한, 윤활이 필요한 부분에 따라 압력 센서와 인젝터의 수는 증가할 수 있으며, 많은 수의 인젝터를 사용할 경우에는 중간의 압력의 손실이 발생하는 것을 방지하기 위하여 매니폴드(manifold)를 적용할 수 있다. 기구 중에서 가장 중요한 기능을 수행하는 펌프 및 요소 부품의 설계는 다음 절에서 설명하도록 한다.

윤활유 자동공급 알고리즘은 주기적으로 계산된 목표 입력($R(s)=\{r, t\}$)을 자동공급 제어 모듈로 전송한다. 전송된 목표 입력 값을 바탕으로 자동공급 제어 모듈의 구동 제어기($K_M(S)$)는 10ms 주기로 구동 모터($G_M(S)$)를 제어한다. 구동 모터에 의한 동작 결과($Y(S) =\{r, t\}$)는 자동공급 펌프의 구동에 반영되며, 자동공급 펌프의 구동으로 인하여 발생하는 관로의 압력이 자동공급 제어 모듈의 알고리즘으로 피드백 제어를 위하여 전송된다.

2.1 윤활유 자동공급 펌프 설계

본 논문에서는 대형 상용차량을 위한 윤활유 자동 공급 시스템을 위하여 사판식 피스톤 펌프를 설계하였다. 사판식 피스톤 펌프는 구동축과 실린더 블록을 스플라인 등으로 연결되고 여러 개의 피스톤은 실린더에 삽입되어 실린더 블록과 함께 회전하면서 실린더 내를 왕복 운동하는 구조를 가지고 있다. 사판식 피스톤 펌프로 대표되는 피스톤 타입의 펌프는 고압 및 가변 용량에 적합하며

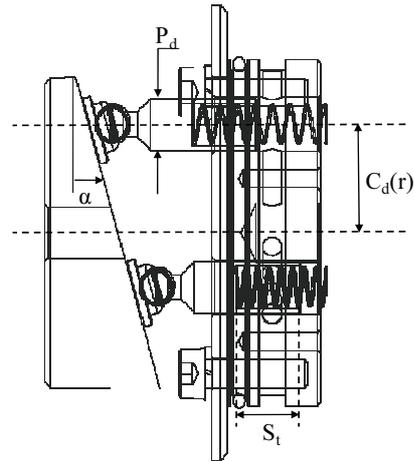


Fig. 2 Structure of swash plate piston pump for automatic lubrication system

토출량 제어장치가 있어서 목적 및 용도에 따라 조정 할 수 있는 장점을 가진다.^{9,10} 특히, 사판식 피스톤 펌프는 동력 밀도가 뛰어나며 응답 성능이 뛰어나 고속제어가 가능하기 때문에, 복잡한 구조와 높은 제조 비용에도 불구하고 건설기계 및 상용차량 분야에 널리 사용되고 있다.^{11,12}

사판식 피스톤 펌프는 최대 윤활 압력, 전기 모터 용량 등의 기본요구 사양을 정하고 이를 만족하는 기본 설계 수치를 포함한 설계 사양을 결정한다. 기본 설계 사양은 피스톤 펌프의 용량(cc/rev), 최고 회전수(rpm)와 최대 동작 압력(kg f/cm²) 등이 있으며 직경 및 길이와 같은 외관 형상 치수가 결정된다.¹³ Fig. 2는 사판식 피스톤 펌프의 구조를 나타내고 있다. 그림에서 기본설계 사양이 정해지면 사판식 피스톤 펌프의 회전 부품에 대한 설계 변수를 계산한다. 여기서, P_d는 피스톤의 직경, S_t는 피스톤 행정, C_d(r)은 실린더 배럴의 피치원, α는 사판의 경사각을 의미한다.

우선, 피스톤 펌프의 용량은 출력 회전 수와 토출량의 관계로 정의된다. 누설이 없는 이상적인 모델은 식(1)과 같이 정의되며 피스톤 펌프를 비롯하여 유압 펌프에 적용된다.

$$V_{th} = \frac{Q_L}{N} \tag{1}$$

여기서, V_{th}는 피스톤 펌프의 용량(cc/rev), Q_L은 토출량(cc/min)이며 N은 모터의 출력 회전수(rpm)을 의미한다.

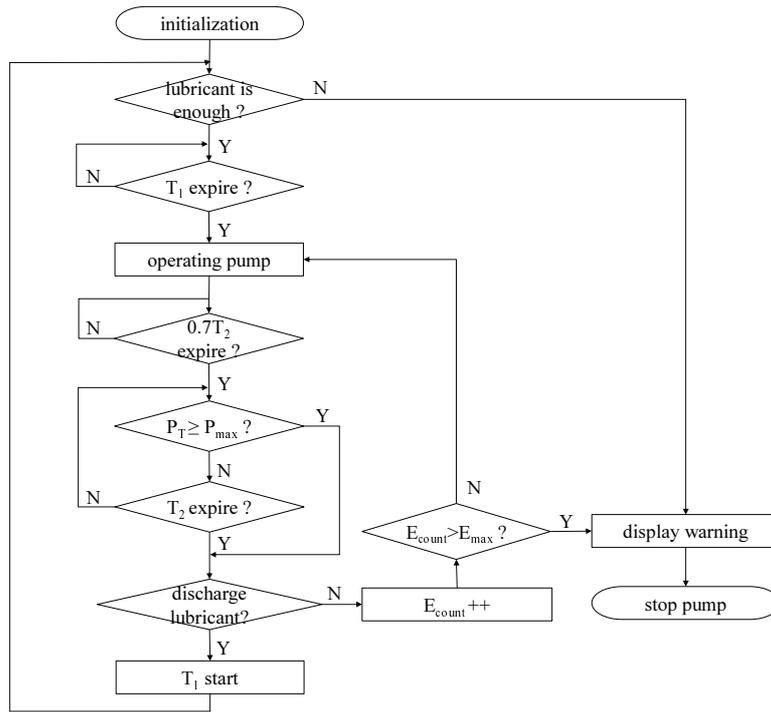


Fig. 3 Structure of the operation algorithm for automatic lubrication system

피스톤 펌프의 용량이 결정되면 사판각도, 실린더 배럴 피치원 직경, 피스톤 직경을 이용하여 피스톤 펌프의 용량을 식 (2)와 같이 정의된다.

$$V_{th} = Z_p A_p S_i \quad (2)$$

여기서, A_p 는 피스톤 한 개의 단면적(mm^2), Z_p 는 피스톤의 수량, S_i 는 피스톤 행정(mm)을 의미한다. 피스톤의 최대 행정거리(S_i)는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_i = C_d(r) \tan \alpha \quad (3)$$

여기서, C_d 는 실린더 배럴 피치원 직경(mm), α 는 사판 경사각(rad)을 의미한다.

사판 경사각은 피스톤의 행정을 결정하는 주요 구성요소로써 피스톤의 개수와 실린더 배럴 피치원의 직경이 정해지게 되면 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{V_{th}}{Z_p A_p C_d} \quad (4)$$

피스톤 펌프의 용량, 피스톤의 행정, 사판의 경사각이 결정하고 피스톤의 직경을 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_d = \sqrt{\frac{4V_{th}}{\pi Z_p C_d \tan \alpha}} \quad (5)$$

설계 사양으로부터 피스톤의 행정, 사판의 경사각, 피스톤의 직경, 실린더 블록 피스톤 직경, 피스톤의 개수가 결정되면 회전당 피스톤 펌프의 토출량을 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_p = \frac{1}{4} \pi P_d^2 C_d Z_p \tan \alpha \quad (6)$$

여기서, Z_p 는 피스톤의 수량을 나타낸다.

2.2 윤활유 자동공급 알고리즘

Fig. 3은 윤활유 자동 공급시스템의 구동 알고리즘을 나타내고 있다. 윤활유 자동 공급시스템의 구동 알고리즘은 내장형 제어 시스템으로 설계된 제어기에 내장되어 윤활유 자동 공급시스템이 주

기적으로 윤활유를 공급하도록 한다. 그림에서 윤활유 자동 공급 알고리즘은 정상적으로 윤활유를 공급하는 경우와 윤활유가 정상적으로 토출되지 않은 경우를 고려하여 설계되어 있다.

우선, 시스템의 초기화와 윤활유 자동 공급시스템의 윤활유가 충분한 양이 있는지를 확인한다. 여기서, 윤활유가 충분하게 확보되지 않은 경우에는 윤활 펌프가 정지 모드로 변하게 되며 시스템 경고를 운전자에게 하게 된다. 정상적으로 윤활유가 확보되어 있으면 사전에 설정되어 있는 시스템 사이클 주기(T_1)가 경과되었는지를 확인한 후 시스템 사이클 주기가 경과하면 펌프를 구동시킨다. 펌프를 구동시킨 상태에서 사전에 설정되어 있는 펌프 구동 시간(T_2)의 70%가 경과했는지를 확인한다. 펌프 구동 시간의 70%가 경과하면 관의 토출 압력(P_T)이 허용 가능한 최대 토출 압력(P_{max})보다 큰지를 확인한다. 만약에, 현재의 토출 압력이 설정된 토출 압력보다 작으면 펌프 구동 시간 동안 계속적으로 확인하고 크다면 펌프 구동 시간에 상관없이 다음 단계를 수행한다. 현재 관의 토출 압력이 정상적으로 유지하고 있다면 인젝터에서 정상적으로 윤활유가 토출되고 관의 토출 압력이 정상적이지 않은 경우에는 인젝터에서 정상적으로 윤활유가 토출되지 않을 것이다. 이 경우에는 오류 횟수(E_{count})를 증가시켜 사전에 설정되어 있는 오류 범위(E_{max})와 비교하여 윤활유를 토출하는 과정을 반복한다. 오류 범위를 벗어난 경우에는 펌프를 멈추고 운전자에게 경고를 하는 과정으로 이동한다. 정상적으로 인젝터에서 윤활유가 토출되면 다시 시스템 사이클 주기를 동작시키는 과정을 반복한다.

2.3 윤활유 자동 공급시스템 설계

Fig. 4는 사판식 펌프와 윤활유 자동공급 알고리즘을 바탕으로 설계한 윤활유 자동 공급 시스템의 단면도를 나타내고 있다. 그림에서 윤활유 자동 공급 시스템은 사판식 펌프를 중심으로 모터, 모터 드라이버, 체크 밸브, 바이 패스 밸브 및 윤활유 카트리지로 구성되어 있다. 윤활유 자동 공급시스템에서 윤활유 카트리지를 삽입하면 윤활유가 펌프 하우징(pump housing) 내부로 유입된다. 펌프 하우징 내부에 설계된 유로로 흐르는 윤활유는 피스톤의 압력에 의해 토출하는 체크밸브와 미리 정해진 허용압력을 초과하면 이를 통과시키는 바이 패스 밸브를 통하여 대상으로 이동한다. 여기

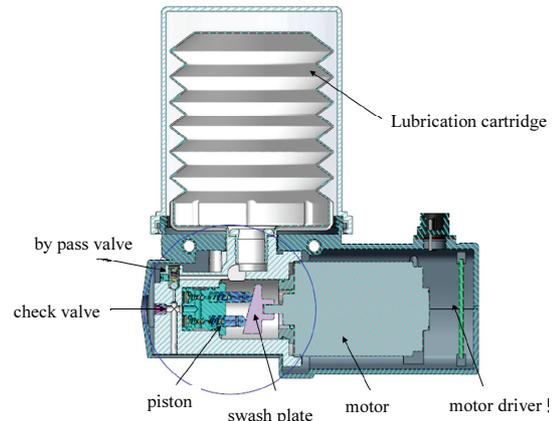


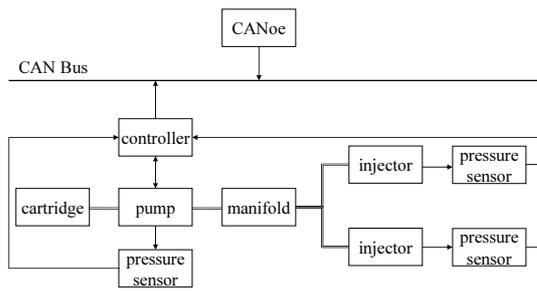
Fig. 4 Structure of swash plate piston pump based automatic lubrication system for commercial trucks

서, 피스톤과 펌프 하우징이 결합된 형태로 구성되어 있는 사판 플레이트가 전기 모터에 의해서 회전운동을 하게 되면 그 위에 연결된 피스톤이 주기적으로 왕복운동을 하면서 윤활유를 토출할 수 있도록 한다.

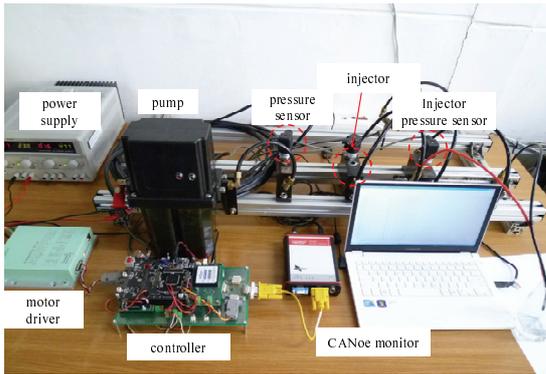
사판식 피스톤 펌프는 펌프 하우징 내부에 연결되어 있으며 분당 토출량을 만족할 수 있도록 전기모터는 모터 드라이버와 제어기에 의해 제어된다. 모터의 구동에 의해 사판이 회전하게 되고 이로 인해 피스톤이 왕복운동을 하게 되어 윤활유가 압력을 받으며 이동한다. 일정 압력 이상이 되면 체크 스프링의 압축작용으로 인하여 체크 볼이 열리게 되고 윤활유는 관로를 통하여 이동한다. 이 때 피스톤 펌프에 의해 발생한 유량은 펌프 하우징으로 이동하며, 밀폐된 계로 유입된 유량은 관 내의 압력을 상승시킨다. 과도한 압력으로 인한 기계적 파손을 방지하기 위하여 바이패스 밸브를 통해 유량을 탱크로 되돌리도록 설계하였다.

3. 윤활유 자동 공급시스템 성능 평가

본 논문에서는 윤활유 자동 공급시스템의 성능을 평가하기 위하여 Fig. 5와 같은 실험 모델을 구성하였다. Fig. 5(a)는 윤활유 자동 공급시스템의 성능을 평가하기 위한 실험 모델의 구조를 나타내고 있다. 그림에서, 실험 모델은 제어기, 윤활 펌프, 윤활유 카트리지, 분배기, 인젝터, 압력 센서와 모니터링을 위한 노트북으로 구성되어 있다. 특히,



(a) Schematic diagram of the experimental testbed



(b) Implementation details for the experimental testbed

Fig. 5 Experimental testbed automatic lubrication system for commercial trucks

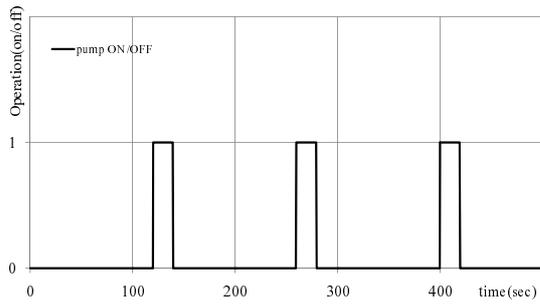
실험 모델은 대형 상용차량의 윤활유 자동 공급시스템을 모사하여 구성하였다. Fig. 5(b)는 구축한 실험 모델을 나타내고 있다. 실험 모델에서 압력센서는 최대압력 500bar까지 측정 가능한 WIKA 사의 A-10 모델을 사용하였다. 인젝터는 40bar 이상의 압력이 전달될 때 동작하도록 설계되었으며, 1회당 토출량은 최대 1cc로 설계하였다. 윤활 펌프 모터 구동을 위한 모터 드라이브는 NTREX사의 NT-M-DCDM240를 사용하였다. 특히, 사용된 모터드라이버는 RS232C 및 CAN통신 방식을 이용하여 모터의 속도제어 및 출력상태 등을 확인 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 실험에서는 RS232C 통신 방식을 이용하여 윤활펌프를 제어한다. 윤활 펌프와 인젝터를 연결하는 윤활유 이동유로의 길이는 10m로 구성하였다.

윤활유 자동 공급시스템 구동 알고리즘이 내장된 윤활유 자동 공급시스템 제어기는 차량용 통신 프로토콜인 FlexRay와 CAN 통신을 지원하는 Freescale 사의 MC9S12XF512를 사용하여 제작하였다. 압력센서는 윤활유 자동 공급 시스템 제어기

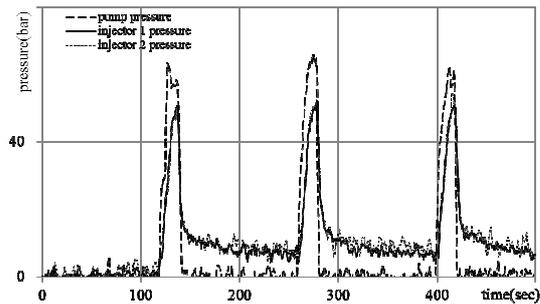
의 ADC (Analog to Digital Converter) 포트와 연결하여 윤활유 자동 공급시스템의 압력 정보를 피드백하였다. 제어기를 통해 수집된 윤활유 자동 공급시스템의 동작정보 및 압력센서 정보는 CAN통신을 이용하여 Vector사의 CANOE.VN7600이 설치되어 있는 노트북으로 수집하였다. 실험을 위한 윤활유는 NLGI - No. 00을 사용하였다. 마지막으로, 사판식 윤활 펌프는 40W DC 모터를 사용하여 최대 압력이 110bar까지 가능하도록 설계하여 윤활유의 점도에 상관없이 사용할 수 있도록 제작하여 실험 모델에 설치하였다.

윤활유 자동 공급시스템의 성능 평가는 두 가지 방법으로 수행하였다. 우선, 윤활유 자동 공급시스템이 정상적으로 동작하는 것을 확인하기 위하여 일정한 시간 동안 주기적으로 윤활유가 정상적인 토출 압력을 유지하면서 토출하는지를 확인하였다. 다음으로 한쪽 인젝터가 윤활유를 일시적으로 윤활유를 토출하지 못하는 상황에서 윤활유 자동 공급시스템의 구동 알고리즘이 정상적으로 동작하는지 확인하였다. 특히, 일정한 시간 간격을 두고 윤활유가 인젝터를 통하여 토출되지 않다가 다시 정상적으로 윤활유가 인젝터를 통하여 토출되는 성능 평가를 통하여 윤활유 자동 공급시스템의 구현 가능성을 충분히 확인할 수 있다. 성능 평가를 위하여 윤활유 자동 공급시스템의 윤활 주기는 2분으로 설정하고 윤활 펌프 구동시간은 30초로 설정하였으며, 토출 압력은 최대 80bar가 넘지 않도록 10msec 단위 주기로 제어하였다.

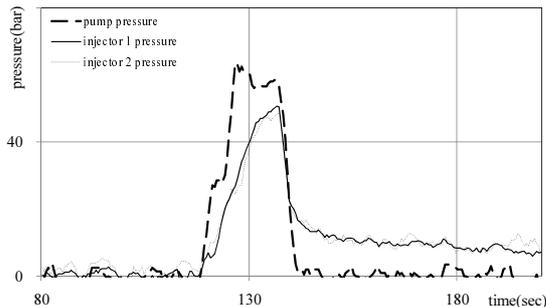
Fig. 6은 정상 상태에서 윤활유 자동 공급시스템의 동작 성능을 나타내고 있다. Fig. 6(a)는 제어기의 제어 입력에 따라 윤활 펌프가 동작되는 상태를 0과 1의 숫자로 표시하여 나타내고 있다. Fig. 6(b)는 펌프에 설치되어 있는 압력 센서와 인젝터에 설치되어 있는 입력 센서의 압력 변화를 나타내고 있다. 마지막으로 Fig. 6(c)는 Fig. 6(b) 그림에서 하나의 사이클의 압력 센서 변화를 확대하여 나타내고 있다. 윤활유 자동 공급시스템은 120초의 시스템 사이클 주기 동안 펌프 동작을 멈추고 있다 30초의 펌프 구동 시간 동안 펌프를 구동한다. 펌프를 구동하는 시간 동안 펌프의 압력 센서의 압력 값은 최대 60bar 전후까지 상승하며 인젝터의 압력 센서는 조금의 시간 간격을 두고 약 50bar까지 상승하였다. 윤활유 자동 공급시스템에서 요구하는 정상적인 동작이 반복적으로 수행됨을 확인하였다. 실제 실험에서는 30분 이상 반복



(a) Lubrication pump input result



(b) Pressure sensor output result

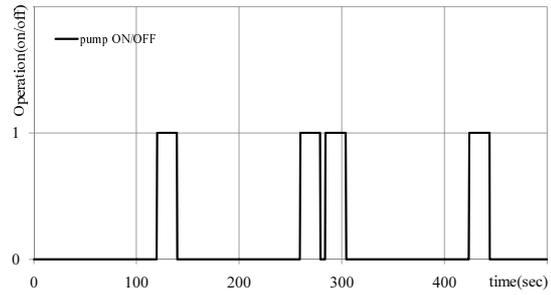


(c) Pressure sensor one cycle output result

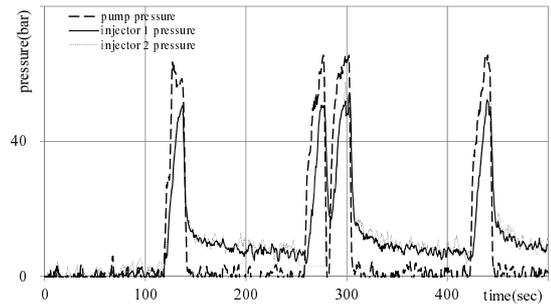
Fig. 6 Experimental results of normal operating condition

적으로 실험을 수행하였으며 윤활유 자동 공급시스템은 정상적으로 동작하였다.

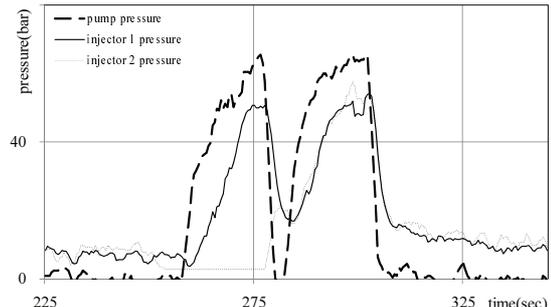
Fig. 7은 한쪽 인젝터가 윤활유를 정상적으로 토출하지 못하는 상황에서 윤활유 자동 공급시스템의 동작 상태를 나타내고 있다. Fig. 7(a)는 윤활 펌프의 동작 상태를 나타내고 있다. 그림에서 254 초에서 인젝터 2로 연결되어 있는 관을 빼서 인젝터 2로부터 윤활유가 토출되지 못하도록 하였다. 따라서, 인젝터 2가 윤활유를 정상적으로 토출하지 못하여 윤활유 자동공급에 결함이 발생한 것으로 판단하고 한번 더 윤활유 자동 공급 과정을 반복한다. 이후에 약 280초에 인젝터 2에 연결되어 있는



(a) Lubrication pump input result



(b) Pressure sensor output result



(c) Pressure sensor one cycle output result

Fig. 7 Experimental results of fault operating condition

관을 정상적으로 연결하고 윤활유 자동 공급시스템은 정상적으로 윤활유가 토출된 것을 확인하고 펌프를 정지시킨다. Fig. 7(b)에서도 인젝터 2의 압력이 0으로 떨어져 윤활유가 정상적으로 토출되지 못하는 상황에서 한번 더 펌프가 구동되고 정상적으로 인젝터 2의 압력이 올라 가는 것을 확인하였다. Fig. 7(c)는 결함으로 인하여 인젝터 2의 압력이 떨어졌다 다시 상승하는 사이클을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 결함이 발생하고 결함이 허용됨에 따라 윤활유 자동 공급시스템이 정상적으로 동작하고 있음을 의미하며 제한한 시스템의 구현 가능성을 판단하는 우수한 자료가 될 것이다.

4. 결론

본 논문은 건설기계 및 대형 상용차량을 대상으로 엔진을 제외한 기구적인 연결부분이나 구동 부분에 마찰을 최소화하기 위한 윤활유 자동 공급 시스템을 제안한다. 또한, 대형 상용차량을 모사한 테스트베드 환경을 구현하여 제안한 윤활유 자동 공급시스템의 성능을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

펌프의 설계 및 제어기 설계 과정의 기술을 통하여 제안한 윤활유 자동 공급시스템의 구현 및 성능 평가를 통하여 제품 가능성을 확인하였다. 특히, 결함이 발생하는 상황에 대한 대처 방법을 포함한 윤활유 자동 공급 알고리즘을 개발하여 발생될 수 있는 결함에 대하여 허용이 가능한 신뢰성을 향상시킨 윤활유 자동 공급시스템을 개발하였다.

개발된 윤활유 자동 공급시스템은 시스템의 유지보수에서 가장 큰 부분을 차지하는 윤활을 자동으로 처리하기 때문에 유지보수 비용을 절감할 수 있으며, 적절한 윤활유를 부품에 공급하기 때문에 마모로 인한 부품의 고장을 최소화하여 부품의 수명을 연장시킬 수 있다. 또한 적절한 윤활유 공급으로 윤활유의 사용량을 줄일 수 있으며, 폐 윤활유 처리에 발생하는 비용을 경감시키고 환경오염을 줄일 수 있다. 하지만 본 논문에서 제안한 윤활유 자동 공급시스템은 실험실 환경에서 구현하여 그 성능을 평가 하였다. 따라서 양산 제품이 되기 위한 제품 테스트 및 양산 설계 과정에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 본 논문에서 추가적으로 윤활유 공급으로 인한 윤활 정도를 측정하고, 윤활 정도에 따른 부품의 파손 주기를 측정하기에는 많은 비용과 시간, 장비가 추가적으로 필요하다. 따라서 이러한 추가적인 연구와 다양한 형태의 윤활유 자동 공급 시스템에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

후 기

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2011년 산학협력 기술개발사업(No. 00045238)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

1. Cho, H. J., Cho, Y. I., Cho, S. W., Lee, J. K., Park, M.

- C., Kim, D. J., and Lee, K. H., "Performance evaluation of Nano-Lubricants at Thrustslide-bearing of Scroll Compressor," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 29, No. 1, pp. 121-125, 2012.
2. Park, J. T. and Choi, N. S., "Robust Design of the Disc Brake Pad Shape for Reduction of Uneven Wear," Transactions of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 20, No. 1, pp. 77-87, 2012.
3. Tao, W., Yuan, Y., Liu, E. A., Hill, J., Zou, Q., and Barber, G., "Robust Optimization of Engine Lubrication System," SAE Technical Paper, Paper No. 2007-01-1568, 2007.
4. Kim, J. H., "A Study on the Forced Lubrication System by Frictional Heat of Tilting Thrust Bearing," M.Sc. Thesis, Department of the Mechanical Engineering, Donga Univ., 2010.
5. Yun, J. E. and Chon, M. S., "Safety Estimation of Engine Lubrication System using Tilting Test Rig," Transactions of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 10, No. 4, pp. 1-6, 2002.
6. Kang, D. W., Lee, S. H., Kim, M. H., Lee, S., and Lee, K. C., "Performance Evaluation of Automatic Lubrication system by Hydraulic Pump," 2012 KSAE annual conference, pp. 1352-1354, 2012.
7. Galindo, J., Serrano, J. R., Dalz, V., Lopez, M. A., and Bouffaud, F., "Behavior of an IC Engine Turbocharger in Critical Conditions of Lubrication," SAE Int. J. Engines, Vol. 6, No. 2, pp. 797-805, 2013.
8. Cho, I. S. and Jung, J. Y., "The Lubrication Characteristics According to the Rotating Radius of Piston in a Swash-Plate Type Piston Pump," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 30, No. 7, pp. 749-753, 2003.
9. Zhang, X., Cho, J., Nair, S. S., and Manring, N. D., "New Swash Plate Damping Model for Hydraulic Axial Piston Pump," Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, Vol. 123, No. 3, pp. 463-470, 1999.
10. Manring N. D. and Damte, F. A., "The Control Torque on the Swash Plate of an Axial Piston Pump Utilizing Piston Bore Springs," ASME Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, Vol. 123, pp. 471-478, 2001.
11. Viral, M., "Torque Ripple Attenuation for an Axial Piston Swashplate Type Hydrostatic Pump: Noise

- Considerations,” Ph.D. Thesis, Mechanical and Aerospace Engineering, University of Missouri-Columbia, 2006.
12. Kim, J. K., Kim, H. E., Jung, J. Y., Oh, S. H., and Jung, S. H., “Relation between Pressure Variations and Noise in Axial Type Oil Piston Pumps,” *KSME International Journal*, Vol. 18, No. 6, pp. 1019-1025, 2004.
 13. Shin, J. H., Kim, H. E., and Kim, K. W., “A Study on Model for the Analysis of Pressure Pulsation Swash Plate Type Axial Piston Pump,” *Journal of the KSTLE*, Vol. 27, No. 6, pp. 314-320, 2011.

