

## 스마트 공장에서 자동화 공정을 위한 소형 자동 윤활 장치 구현

### Implementation of Small Automatic Lubrication Device for Automated Processes in Smart Factory

이유리<sup>1</sup>, 김형준<sup>1</sup>, 김만호<sup>2\*</sup>

Yoo-Ri Lee<sup>1</sup>, Hyeong-Jun Kim<sup>1</sup>, Man-Ho Kim<sup>2\*</sup>

#### 〈Abstract〉

Automatic lubrication devices are applied in various fields, such as huge machinery, construction machinery or commercial vehicles, to lower maintenance costs and protect the devices. In addition, the automatic lubrication device reduces frequent component failures cause by friction and allows the machine to replace the lubricating oil replenishment work carried out by the manager. However, the automatic lubricating device used in large machinery or commercial vehicles is relatively large, containing a large amount of lubricant in the space to be lubricated. On the other hand, a smart factory, such as a home appliance or cosmetics factory, lacks space to install large automatic lubrication devices, and it is difficult to distribute electricity. Therefore, there is a need for an automatic lubrication device that can be used in various environments that require lubrication. In this paper, a small automatic lubrication device is proposed for smart factories that have changed parts of existing factories, such as electronics factories, to minimize friction arising from mechanical parts, etc. In particular, the structure of lubricating pumps and component parts that are the core of automatic lubrication devices was described so that they could be utilized in various fields. Finally, a test bed environment is established for the proposed automatic lubrication device to evaluate its performance and verify its applicability.

*Keywords : Small Automatic Lubrication Device, Smart Factory, Pump*

1 정회원, 동의과학대학교 자동차계열

2\* 정회원, 교신저자, 동의과학대학교 자동차계열

E-mail: mhkim@dit.ac.kr

1 Dept. of Mechanical Engineering, Pusan National University

2\* Corresponding Author, Dept. of Automotive Engineering,

Dong-Eui Institute of Technology

## 1. 서론

초연결성(hyper-connected)과 초지능성(hyper-intelligent) 기술로 대표되는 4차 산업혁명은 기존의 산업 전반에 많은 변화를 가져오게 되었다[1-3]. 4차 산업혁명의 시작과 함께 스마트 공장(smart factory)은 로봇이나 인공지능(AI)으로 대표되는 생산 자동화 및 최적 생산과 같은 변화를 가져오게 했다[4-5]. 특히, 스마트 공장이 더욱 지능화되고 보다 자동화되면서 기존의 생산 공장은 스마트 공장보다 압도적으로 생산성이 떨어지고 있다[6]. 기존의 생산 공장은 완벽한 스마트 공장은 아니지만, 일부 기계와 장비를 변경하고 복잡한 배선을 조정하는 방법으로 변화하고 있다.

기존의 공장 시설을 변경한 형태의 스마트 공장은 운영되는 많은 기계와 장비가 상대운동을 통하여 발생하는 마찰 때문에 작업의 효율성이 상대적으로 떨어진다. 특히, 가전이나 화장품과 같이 기존의 시설이 복잡한 상태에서 일부를 변경한 공장은 복잡한 배선이나 기계 장치 등에 의해서 기계적인 마찰에 효과적으로 대응하지 못하는 경우가 있다. 왜냐하면, 아주 복잡한 공정 중에서 일부 기계 장비를 변경한 스마트 공장은 작업 환경이나 작업자와 제품의 동선이 복잡해서 직접 관리자가 윤활할 수밖에 없다. 급유 펌프를 이용하여 자동으로 윤활유를 공급하는 자동 윤활 장치(automation lubrication device)도 설치할 수 있는 공간에 비하여 크기가 커서 설치하기 쉽지 않다[7-8].

자동 윤활 장치는 거대한 기계 장치, 건설 기계 또는 상용 차량 등 다양한 분야에 적용되어 유지 보수 비용 낮추고 환경을 보호하고 있다. 또한, 자동 윤활 장치는 적극적 유지 보수로 빈번한 부품 고장을 줄이고 관리자에 의해서 수행되는 윤활유 보충 작업을 기계로 대신하게 한다. 하지만, 대형 기계 장치나 상용 차량에 사용되는 자동 윤

활 장치는 윤활해야 하는 공간의 커 많은 윤활유를 포함하고 있어 크기가 상대적으로 크다. 그에 반해서 가전제품이나 화장품 공장과 같이 기존의 공장 일부를 변경하여 스마트 공장화 한 곳은 큰 자동 윤활 장치를 설치할 수 있는 공간도 부족하며 전기 배선 작업도 어렵다. 따라서, 윤활이 필요한 다양한 환경에 사용이 가능한 자동 윤활 장치가 필요한 상황이다.

따라서 본 논문은 전자제품 공장과 같이 기존의 공장 일부를 변경한 스마트 공장을 대상으로 기계 부품 등에서 발생하는 마찰을 최소화하기 위한 소형의 자동 윤활 장치를 제안한다. 특히, 자동 윤활 장치의 핵심이 되는 윤활 펌프 및 요소 부품의 구조를 기술하여 다양한 분야에서 활용할 수 있도록 하였다. 마지막으로, 제안한 자동 윤활 장치를 대상으로 테스트베드 환경을 구축하여 성능을 평가하여 그 적용 가능성을 확인한다.

## 2. 소형 자동 윤활 장치 구조

Fig. 1은 소형 제품 생산 자동화 공정에서 발생하는 마찰을 최소화하기 위해 윤활유를 공급하는 소형 자동 윤활 시스템의 구조를 보여준다. 소형 자동 윤활 시스템은 피스톤 펌프 부와 윤활유 토출부 그리고 토출량을 조절하기 위한 제어부로 구성되며, 전기 신호 경로와 모터에서 발생하는 압력이 전달되는 경로 그리고 압력에 의한 유체의 흐름 경로로 연결된다.

먼저 펌프 부는 24V 전압으로 구동되는 전기 모터와 캠(cam) 타입의 경사판(swash plate) 그리고 축방향 피스톤(axial piston)으로 구성된다. 여기서, 피스톤의 왕복 운동은 경사판이 특정 각도만큼 기울어진 상태에서 전기 모터에 의해 회전하는 실린더 블록에 의해 수행된다. 다음으로 카트

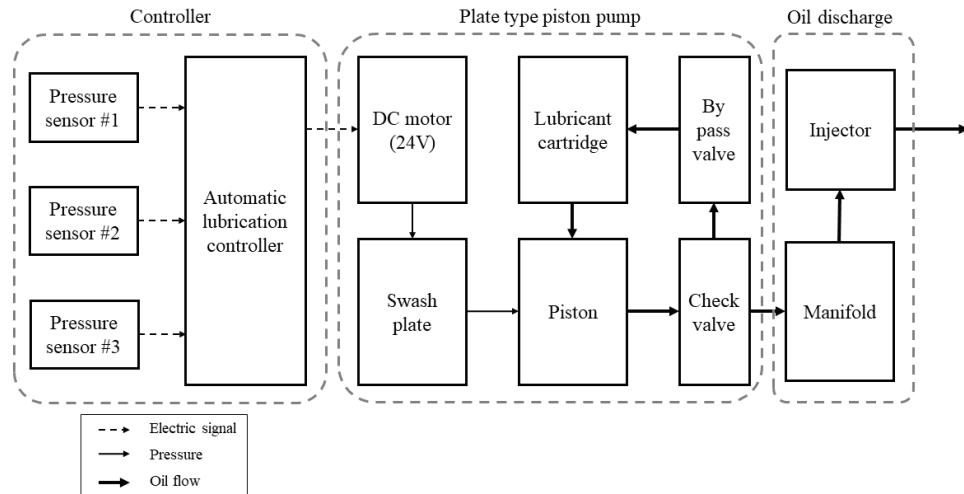


Fig. 1 Structure of compact automatic lubrication device

리지(cartridge)에서 공급되는 윤활유는 피스톤의 왕복 운동으로 발생하는 압력에 의해 토출부로 흐르게 된다. 이 때 체크 밸브(check valve)는 토출되는 윤활유가 역류하는 것을 차단하며, 바이 패스 밸브(by pass valve)는 허용 압력을 초과하였을 경우 기기의 파손을 방지한다.

토출부는 자동화 장비에 윤활유를 공급하는 인젝터(injector)와 다수의 인젝터를 연결하기 위한 매니 폴더(manifolder)로 구성된다. 마지막으로 제어부는 인젝터에 가해지는 토출 압력을 측정하는 압력 센서와 알고리즘에 따라 모터 제어를 수행하는 제어기로 구성된다. 여기서, 압력 센서는 윤활유 토출부와 인젝터가 연결된 관로에 설치하여 자동 윤활 시스템이 동작할 때 발생하는 압력을 측정한다. 이를 통해 윤활 펌프의 작동 여부 및 펌프의 고장, 윤활유 이동로의 누유 및 막힘 현상 그리고 윤활유 공급상태 등을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 소형 자동 윤활 시스템은 윤활유 공급, 윤활유 이동, 모터 구동, 피스톤 펌프로 총 4가지 기계적 메커니즘으로 동작한다. 먼저, 윤활유 공급은 카트리지에 보관된 윤활유가 나사산을 통해 윤활유가 펌프 하우징 내부로 유입

되는 과정을 의미한다. 둘째, 윤활유 이동은 펌프 하우징 내부에 설계된 관로를 통해 흐르게 되며, 체크 밸브와 바이 패스 밸브의 상태에 의해 이동 유로가 결정되는 것을 의미한다. 셋째, 모터 구동은 피스톤과 펌프 하우징이 결합한 형태에서 사판 플레이트가 전기 모터에 의해 회전 운동을 하면 연결된 피스톤이 주기적으로 왕복 운동을 하면서 펌프 하우징 내에서 결정된 이동 유로로 윤활유를 토출하는 과정이다. 마지막으로 피스톤 펌프는 펌프 하우징 내부에 연결되어 목표 토출량을 만족할 수 있도록 제어부에 의해 제어되며, 캠 운동을 통해 주기적으로 윤활유를 토출할 수 있도록 한다.

### 3. 소형 자동 윤활 시스템의 성능 평가

본 논문에서는 소형 자동 윤활 시스템의 성능 평가를 위해 Fig. 2와 같은 실험 환경을 구성하였다. 성능 평가를 위한 실험 환경은 소형 자동 윤활 장치와 윤활유 공급을 위한 카트리지, 토출 압력을 측정하기 위한 압력계, 전원 공급기로 구성된다. 성능 평가에 사용된 압력계는 WIKA 사의



Fig. 2 Experimental test-bed compact automatic lubrication system



Fig. 3 Experimental result of oil discharge pressure

Table 1. Experimental performance index

	평가 지표	평가 단위	평가 목표
1	최대 작동 유압	Bar	25
2	분당 토출량	cc/min	1.5
3	토출 거리	cm/min	75
4	윤활 장치 크기	cm	26*26*15
5	제어기 EMC	CISPR 25	만족

63A-400K 모델을 사용하였으며, 최대 압력 400bar 까지 측정이 가능하다. 윤활유는 주도 등급(NLGI) 2호에 해당하는 제품을 사용하였다.

성능 평가 실험은 공인평가 기관의 입회하에 수행하였다. 소형 자동 윤활 시스템의 성능 평가를 위하여 Table 1과 같은 성능 지표를 선정하였다. 최대 작동 유압은 윤활 시스템이 동작할 때 토출구에 가해지는 압력을 의미하며 25bar 이상으로 설정하였다. 토출량은 분당 토출되는 윤활유의 양으로 너무 과할 경우 윤활유의 낭비로 이어지며, 부족할 경우 장비에 손상을 발생한다. 본 논문에서는 1.5cc/min 이상으로 설정하였다. 토출 거리는 소형 윤활 시스템의 윤활유 배출구에서 공급 장비까지의 거리로 분당 75cm 이상으로 설정하였다. 윤활 장치 크기는 소형 제품 생산 공정 장비에 장착이 가능한 수준으로 설정하였다. 제어기 EMC는 윤활 시스템의 전자파 방사 방출 적합



Fig. 4 Experimental result of oil discharge amount

검사를 위한 것으로 CISPR 규격에 만족할 수 있도록 지표를 설정하였다.

Fig. 3은 소형 자동 윤활 시스템의 토출 압력에 대한 평가 결과를 보여준다. 최대 토출 압력 평가는 윤활 장치에 전원을 공급한 후 카트리지에 보관된 윤활유를 배출할 때 토출구에 가해지는 압력을 압력계로 측정하여 수행하였다. 토출 압력을 평가한 결과 약 78bar의 최대 토출 압력에서 설계한 소형 자동 윤활 장치의 정상 동작을 확인하였으며, 성능 평가 기준에 대해 만족함을 확인하였다.

Fig. 4는 소형 자동 윤활 시스템의 분당 윤활유 토출량에 대해 측정한 결과를 나타낸다. 토출량

평가는 1분 동안 윤활 장치에서 토출하는 윤활유의 무게를 측정하고, 해당 윤활유의 비중을 나누어 cc/min의 단위로 환산하였다. 토출량 평가에 사용된 윤활유는 0.94 비중을 가진다. 평가 결과 1분 동안 토출된 윤활유는 약 4g의 무게를 가졌으며, 이 값을 윤활유의 비중으로 나눴을 때 약 4.26cc로 연산 되어 성능 평가 기준에 대해 만족함을 확인하였다.

세 번째 성능 지표인 윤활 시스템의 토출 거리는 윤활유 토출구에 외경 4mm, 내경 2mm의 실리콘 호스를 연결한 후 25bar의 토출 압력이 가해지는 환경에서 평가를 수행하였다. 이때 윤활 장치의 토출 거리는 윤활유가 토출구에서 실리콘 호스의 1.5m 지점까지 도달하는데 걸리는 시간을 측정하여 평가된다. 측정 결과 토출 거리는 89초 소요되어 평가 항목에 대해 만족함을 확인하였다.

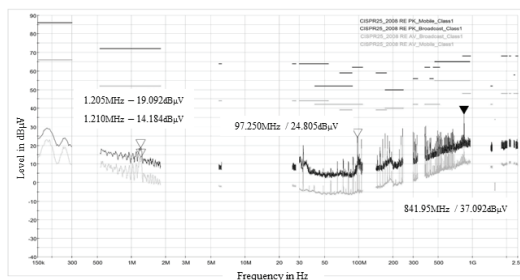
Fig. 5는 소형 자동 윤활 장치의 크기를 측정하기 위한 평가 환경을 보여준다. 윤활 장치의 크기는 윤활 장치의 모든 부품을 결합한 후 가로, 세로, 높이의 최대 길이를 디지털 계이저를 이용하여 측정하였다. 이때 평가 결과는 가로 229.9mm, 세로 245.3mm, 높이 148.3mm로 측정되었으며, 목표 기준에 만족함을 확인하였다.

Fig. 6은 자동 윤활 제어기의 전자파 방사 방출

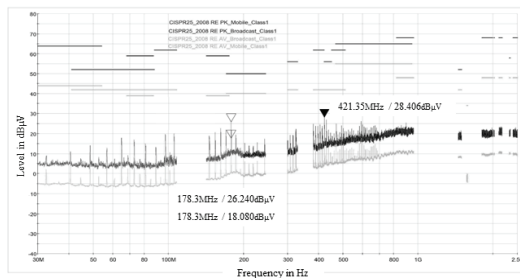


Fig. 5 Experimental environment of diameter for compact automatic lubrication system

(radiated emission)을 평가한 결과를 보여준다. EMC 평가는 제어기 구동 시 발생하는 전자파가 CISPR25 규격에 명시된 특정 대역폭에 영향을 미치는 정도를 평가하는 것으로 해당 대역폭에서 발생하는 최대 피크와 평균이 규격에 명시된 제한 값을 초과하는지를 확인한다. Fig. 6의 (a)는 수직 방향으로 방출되는 전자파의 측정 결과를 보여주며, Fig. 6의 (b)는 수평 방향으로 방출되는 전자파의 측정 결과를 보여준다. 그래프에서 검은 선은 최대 피크에 대한 제한 값과 측정 결과를 나타내며, 회색 선은 평균에 대한 제한 값과 측정 결과를 나타낸다. 측정 결과 CISPR 규격에서 명시된 제한 값을 초과하는 전자파는 발생하지 않았으며, 성능 평가 지표를 만족함을 확인하였다. 이상의 성능 평가 결과를 고려하면 본 논문에서 제안한 소형 자동 윤활 시스템의 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.



(a) vertical



(b) horizontal

Fig. 6 Experimental result of EMC for controller



Table 2는 소형 자동 윤활 장치의 성능 지표에 대해 평가한 결과를 보여준다. 먼저 최대 작동 유압의 경우 목표치 25bar 보다 높은 78bar에서 정상 동작함을 확인하였다. 둘째, 분당 토출량은 최대 4.26cc/min로 측정되었으며, 목표치 1.5cc/min를 만족하였다. 셋째, 토출 거리는 목표치 75cm/min을 상회하는 100.01cm/min로 측정되었다. 넷째, 윤활 장치 크기는 26cm×26cm×15cm 보다 작은 22.9cm×24.5cm×14.8cm로 측정되어 목표치를 만족하였다. 마지막으로 제어기의 전자파 방출 실험 역시 CISPR25 규격을 만족하는 성능을 확인하였다.

Table 2. Experimental result for performance index

	평가 지표	단위	평가 결과
1	최대 작동 유압	Bar	78
2	분당 토출량	cc/min	4.26
3	토출 거리	cm/min	100.01
4	윤활 장치 크기	cm	22.9*24.5*14.8
5	제어기 EMC	CISPR 25	규격 만족

#### 4. 결론

본 논문은 전자제품 공장과 같이 기존의 공장 일부를 변경한 스마트 공장에 적용 가능한 소형의 자동 윤활 장치를 제안하였다. 또한, 테스트베드 환경을 구현하여 제안한 소형 자동 윤활 장치의 성능을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

펌프의 설계 과정의 기술을 통하여 제안한 소형 자동 윤활 장치의 구현 및 성능 평가를 통하여 제품 가능성을 확인하였다. 특히, 기존의 공장 일부를 생산 자동화한 경우나 너무 복잡해서 새로운 장비를 설치하기 어려운 환경에서 적용이 가능한 소형의 자동 윤활 장치 구조를 제안함으로써 그

적용 가능성을 높일 수 있었다.

하지만, 본 논문에서 제안한 소형의 자동 윤활 장치는 실험실 환경에서 구현하여 그 성능을 평가하였다. 양산 제품이 되기 위한 제품 테스트 및 양산 설계 과정에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 다양한 형태의 자동 윤활 장치에 관한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

## 사 사

이 논문은 2020년도 BB21+ 사업에 의해 지원되었음

## 참고문헌

- [1] World Economic Forum, "The Future of Jobs," (2016).
- [2] S. Lee, S. Lee, and M. Kim, "Development of an energy prediction model based on driving data for predicting the driving distance of an electric vehicle," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 20, no. 2, pp. 389-395, (2019).
- [3] S. Kim, S. Chey, and S. Hong, "Development Direction of Advanced Concept Technology Demonstration for the 4th Industrial Revolution," *Journal of The Korean Society of Industry Convergence*, vol. 22, no. 6, pp. 729-737, (2019).
- [4] J. Sin, and I. Kim, "Smart Factory and 5G based Industrial IoT," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 37, no. 7, pp. 20-30, (2020).
- [5] H. Cho. "A Study on the Efficiency of Fusion Converged Smart Factories Based on Simulation Integrated Manufacturing(SIM) Reflecting Expert Experiences," *The Korean Society of Science & Art*, vol 37, no. 1, pp. 321-329, (2019).
- [6] R. Lee, and C. Kim "The Effects of Smart

- Factory Technologies on Quality and Innovation Performance in SMEs,” *Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship*, vol. 15, no. 3, pp. 59-71, (2020).
- [7] M. Kim, S. Lee, S. Lee, and K. Lee, “Implementation of a small size electric automatic lubrication system for heavy commercial vehicle,” *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol. 30, no. 10, pp. 1041-1049, (2013).
- [8] H. Lee, Y. Kim, J. Yim, Y. Kim, and S. Lee, “Analysis of field conditions and requirements for deploying smart factory,” *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol. 34, no. 1, pp. 29-34, (2017).
- 

(접수: 2020.07.18. 수정: 2020.08.15. 게재확정: 2020.08.17.)