

## 기어구동방식의 자동윤활주유장치 개발

이규영\*(경남대 대학원 기계공학과), 왕덕현, 김원일(경남대 기계자동차공학부)

Development of Gear Driving Type Using the Automatic Grease Lubricator

K. Y. Lee(Mech. Eng. Dept., KNU), D. H. Wang, W. I. Kim(Mech. Auto. Eng. Dept., KNU)

### ABSTRACT

Automatic grease lubricator of gear type was developed by mechanical design, analysis and test with products manufactured by rapid prototyping machine. The mechanism of gear driving was designed in similar to the watch mechanism and lubrication could be controlled by PCB circuit. The body of the lubricator was analyzed by stress analysis with different constructed angle. Digital mockup was analyzed and RP products were combined with PCB circuit and grease. RP products and injection moulding products were tested and compared for roughness and roundness, Finally the grease was drained out for testing the time.

**Key Words** : Automatic Grease Lubricator (자동윤활주유장치), Stress Concentration (응력 집중), Dispenser Part (토출부), Gear Driving Type (기어구동방식), Rapid Prototyping Machine (쾌속조형기)

### 1. 서론

자동윤활주유장치는 사람의 손으로 급유를 할 수 없는 기계의 회전축 및 구동축의 베어링부, 회전부에 일정한 시간에 일정한 양으로 윤활제를 공급하는 장치로, 설치시 수동 주입의 번거로움 없이 자동으로 그리스가 주입됨으로써 윤활 관리 및 신뢰성이 보장되고 기계 장비 및 설비의 보전에서 커다란 영향을 줄 수 있는 장치이다.<sup>1)</sup>

국내에서 생산되고 있는 화학구동방식의 자동윤활주유장치는 주변 장치의 속도, 주위 환경의 온도와 기압 및 주유 대상물의 상태에 따라 그리스 공급량이 달라지는 단점을 갖고 있다. 또한 외국의 경우는 전기 기계식 기종으로 피스톤 펌프를 사용하여 일정 시간마다 동작되면서 그리스를 간헐적으로 주유하는 방식을 이용하고 있으나 이 장치는 구조적으로 부피가 크고 정확한 양으로 지속적인 주유가 이루어지지 않는다는 단점을 지니고 있다.

설비가 고도로 발전함에 따라 정확한 윤활과 적정량의 주유가 가능한 장치가 요구되며, 다양한 설치 각도와 응력 집중 현상에 대해 안정성을 가지는 주유기 몸체부의 형상 설계가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 화학구동방식의 자동윤활주유장치의 단점을 보완하면서 간단한 스위치 조작으로 미리 셋팅된 주기에 따라 적정량의 그리스를 지속적으로 주유가 가능한 기어구동방식의 자동윤활주유장치를 개발하는데 목적을 두고 있다. 이를 위하여 우선 피스톤의 구동방식을 기어구동방식으로 선택하고 소형이면서도 그리스의 토출이 가능한 메커니즘을 구성하였다. 또한 주유기의 형상 설계에서는 유한요소법에 의한 방식으로 설치 각도에 따른 응력 집중 현상을 알아보았다.

### 2. 자동윤활주유장치 설계

#### 2.1 기어구동방식의 메커니즘

기존의 화학식 자동윤활주유장치에서 안전하고 정확한 그리스 주유를 위해서 기계식 자동윤활주유장치로 바꾸기 위하여 기어구동 메커니즘으로 그리스를 토출하도록 제한된 것으로 기어구동 메커니즘은 그리스 토출 시간을 간단한 스위치 조작으로 미리 셋팅된 주기에 따라 적정량 조절할 수 있는 시계기어 메커니즘을 이용하여 무준한 그리스 토출이 가능하도록 하는 것이 주요 명석이다.

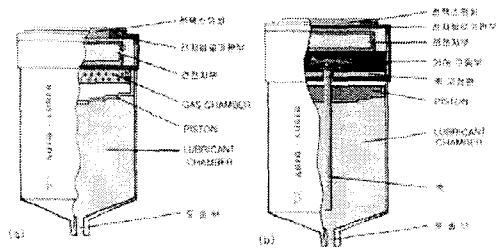


Fig. 1 The operation principle of automatic grease lubricator; (a) chemical driving type, (b) gear driving type

### 2.2 기어 구동부 설계

각 기어에 작용하는 힘을 측정하기 위하여 미리 측정된 입력 힘에서 시뮬레이션 작업과 이론적 계산 방법에 의해 출력 값을 구하였다. 자동윤활주유장치에의 그리스 토출시 필요한 힘 유추하고 시계 기어에서의 표준 모듈에 의한 피치원 지름과 모듈 계산치에 의한 피치원 지름의 차이 검토하여 그 값을 기어 메커니즘 설계에 사용하였다.

표준 모듈과 계산치 모듈에 의해 구해진 피치원 지름을 이용하여 3번 기어에서 입력된 토크로부터 최종(7번) 기어에서 토출되는 출력을 계산한 결과는 다음과 같다. <sup>1)</sup>

$$T_3 = 3500 \text{ N} \cdot \text{m} = F \times R \quad (1)$$

$$T_7 = \frac{m_5 \cdot Z_{12}}{m_1 \cdot Z_{11}} \times \frac{m_6 \cdot Z_{10}}{m_2 \cdot Z_6} \times \frac{m_3 \cdot Z_3}{m_4 \cdot Z_4} \times \frac{m_7 \cdot Z_7}{m_5 \cdot Z_5} \times T_3$$

$$= \frac{0.3 \cdot Z_{12}}{0.3 \cdot Z_{11}} \times \frac{0.3 \cdot Z_{10}}{0.3 \cdot Z_6} \times \frac{0.25 \cdot Z_3}{0.25 \cdot Z_4} \times \frac{0.25 \cdot Z_7}{0.25 \cdot Z_5} \times T_3$$

$$= \frac{Z_{12}}{Z_{11}} \times \frac{Z_{10}}{Z_6} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times \frac{Z_7}{Z_5} \times T_3 = \frac{8}{12} \times \frac{11}{15} \times \frac{6}{8} \times \frac{6}{8} \times 3500$$

$$= 2113 \text{ N} \cdot \text{m} = 211.3 \text{ Kg} \cdot \text{mm} \quad (2)$$

또한, 구동력 발생부인 1번 기어 구동에 의한 7번 기어 수동형상의 시뮬레이션을 통하여 그리스 토출의 주기의 체크해 봄으로써 정확한 주유량과 사용 시간의 조절이 가능하도록 하기 위한 기본 data를 수집하여 회로기판 설계에 참고하였다.

최종(7번) 기어를 한바퀴 돌리기 위한 최초(1번) 기어의 회전수를 다음과 같이 계산된다.

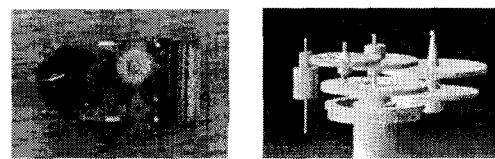
$$N_1 = \frac{D_{F13}}{D_{F11}} \times \frac{D_{F13}}{D_{F14}} \times \frac{D_{F15}}{D_{F17}} \times \frac{D_{F16}}{D_{F15}} \times \frac{D_{F12}}{D_{F13}} \times \frac{D_{F12}}{D_{F1}} \times N_{12} \quad (3)$$

$$= \frac{Z_{13}}{Z_{11}} \times \frac{Z_{13}}{Z_4} \times \frac{Z_3}{Z_2} \times \frac{Z_6}{Z_5} \times \frac{Z_4}{Z_3} \times \frac{Z_5}{Z_7} \times N_{12}$$

$$= \frac{8}{12} \times \frac{11}{15} \times \frac{6}{8} \times \frac{6}{8} \times \frac{6}{10} \times \frac{10}{10} \times 1 = 2113$$

그러나 이와 같이 구한 값들은 기어의 마찰과 마멸을 무시하고 계산된 값이므로 실질적인 그리스 토출에 필요한 기어의 토크를 구하기 위해서 이를 충분히 고려하여 기어 축간의 거리와 모터 기어 부의 뒤임의 값을 변화시킴으로써 출력을 높였다.

시계 메커니즘을 응용하여 자동윤활주유장치에서 그리스를 정확한 시간 동안에 지속적으로 정확한 양을 토출할 수 있도록 기어 메커니즘으로 설계되었으며, 몇 개의 샘플을 의뢰 제작하였다.



(a) Watch mechanism (b) 3D modeling for simulation  
Fig. 2 Gear driving part

구동 가능성을 평가하기 위하여 이론식에 의한 출력 값 선정이 아닌 실험에 의해 출력 토크를 체크하고 주유기의 몸체부 설계시 응력 해석에 필요한 Input Data로 활용하였으며 그리스 토출의 가능성을 살펴보았다.

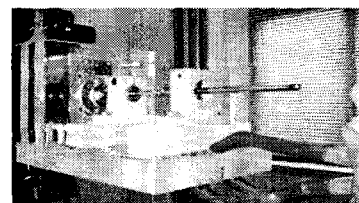


Fig. 3 Torque test of gear driving part

### 2.3 회로기판 설계 및 제작

정확한 주유 시간을 제어하기 위해서는 적절한 회로 설계가 필요하다. 여러 가지의 chip을 검토하고, 안전한 펄스를 가지면서 기어 구동을 제어하기 위한 회로를 구현하기 위해 몇 가지 자료를 토대로 셋팅 주기를 TEST하였다.

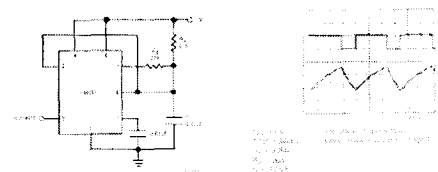


Fig. 4 Circuit and pulse of LM555 Timer

Table 1 Selection of setting period

주기설정	1month	1month	3month	3month	6month	12month
sec.	278,360.2 (1204분) 63.38시간	76,420.2 (1197분) 21.20시간	38160.2 (636분) 10.60시간	25440.2 (424분) 7.06시간	10770.2 (179분) 2.98시간	4390.2 (73분) 1.22시간

이를 토대로 만든 회로기판의 설계도 및 시제품은 다음과 같다.

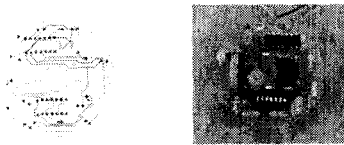


Fig. 5 Circuit design & PCB manufacture

### 2.3 몸체부 형상 설계

먼저 기존의 2D 도면으로부터 3D 형상을 CATIA를 이용하여 모델링하여 시뮬레이션과 응력해석을 병행한 설계로부터 보다 효율적이고 안전한 모델의 자동윤활주유장치 형상을 설계하고자 한다.

#### 2.3.1 3D 설계 프로그램에 의한 제품 설계

자동윤활주유장치 몸체부 설계에서 모델 치수의 변화를 주어 다양한 각도의 토출부 형상으로 모델링한 후 응력해석 및 시뮬레이션을 통하여 최적의 형상을 결정하였다. 다양한 모델로 설계된 몸체부는 계속조형기에 의해 시제품으로 제작되고 토출 TEST에 의한 성능 실험에서 최종 형상이 결정된다.

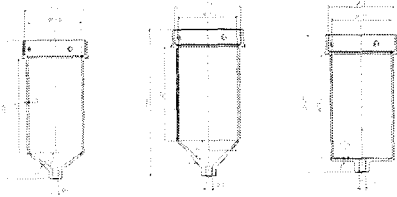


Fig. 6 Body part design of automatic grease lubricator from various angles

#### 2.3.2 유한 요소 해석에 의한 안정성 검토

자동윤활주유장치의 설계에 있어서 형상 설계는 제품의 실용화 가능성에 지대한 영향을 미치게 됨으로써 안정성 검토가 상당히 중요하다.

본 연구에서는 전용 해석물에 의한 유한요소해석이 아닌 설계 차원에서의 간단하면서도 어느 정도의 신뢰성을 가지고 있는 CATIA를 이용하여 자동윤활주유장치의 토출부 각도와 설치 각도에 따른 응력해석을 모델 수정과 병행하여 검토하였다.

자동윤활주유장치의 응력집중이 일어나는 부분의 부재를 결정하기 위해 3D 모델링을 통해서 응력

해석을 한 결과 자동윤활주유장치의 직경이 갑자기 줄어드는 토출부 출구 지점에서 최대 응력이 분포한다는 것을 알 수 있었고 이 부분의 치수를 수정함으로써 응력집중 현상을 다소 줄일 수 있게 되었으며 보다 안정성을 가지는 자동윤활주유장치 몸체부의 설계가 이루어졌다.

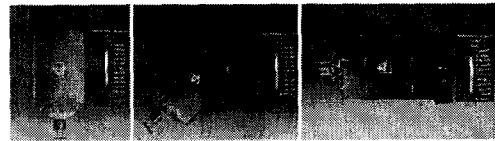


Fig. 7 Stress analysis result at various installation angle

#### 2.3.3 Digital Mock-Up을 이용한 검토

기어구동방식에 의한 출력이 계산되고 토출 가능한 직경이 설정되면 몸체부의 설계가 이루어지고, 사이즈에 맞추어 다른 기타 부위의 설계가 가능하게 된다. 즉, 몸체부의 용량과 직경이 결정되면 피스톤의 크기와 형상이 결정되고 기어구동에 필요한 킨진지가 들어가는 킨진지실이 설계되고 기어 구동부의 위치가 결정되면 회로기판의 위치가 잡히게 되며, 기타 체결부가 설계되는 순으로 작업이 이루어진다.

각 부분에 대한 모델링이 이루어지고 나면 최종적으로 시뮬레이션을 통해 기어구동메커니즘의 회진수 비를 이론적으로 체크해 보고, 또한 조립상의 문제점이 있는지 검토하게 된다.

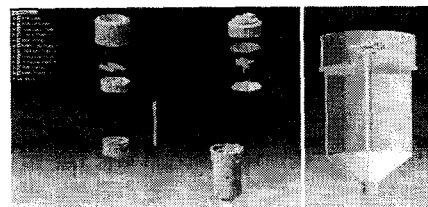


Fig. 8 Driving simulation from 3D modeling

## 3. 시제품 제작에 의한 성능 TEST

### 3.1 계속조형기(FDM-maxum)에 의한 시제품 제작

안정성 검토 후 설계된 3D 모델링으로부터 시작품을 제작하여 시험 테스트가 이루어졌다. FDM방식의 RP 시제품은 3D CAD S/W로부터 얻어진 데이터를 박막적층기법으로 열가소성 수지(ABS)를 용융점 바로 위의 온도까지 가열한 후 노즐을 통하여 분사하고 분사된 층이 고화되면, 노즐을 움직이면서 다른 한 층을 만들기 위해 고화된 층위에 재료를 분사해가며 형상을 구현하며 단품(Part)을 완성하는 방법으로 사출성형시의 구배에 의한 진원도 차이를 어느

정도 극복할 수 있을 것으로 보이나 층층이 쌓는 기법으로 노즐의 시작부분의 불연속 지점이 생기기 쉽고 또한 층끼리의 접도가 어느 정도는 유지될 수 있으나 강도는 사출성형에 의한 제품 보다 못하여 토출 실험은 후처리 과정을 실시한 후 이루어졌다.<sup>[1]</sup>

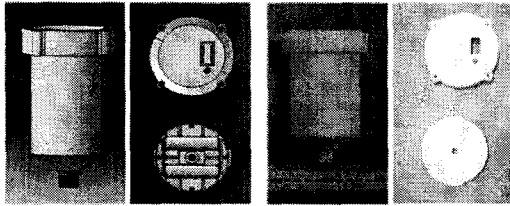


Fig. 9 Final 3D Modeling & RP trial product

### 3.2 RP제품의 형상 평가

시제품의 성능 테스트에 앞서 폐속조형기 특유의 제작 방식인 박막적층기법을 활용하여 제작됨으로 실제 사출 제품에서의 성능과 차이를 가지고 있기 때문에 이를 알아보기 위하여 전원도와 표면거칠기 장비를 사용하여 어느 정도의 정밀도를 가지는지 측정해봄으로써 사출성형 제품과 비교해보았다.<sup>[1]</sup>

Table 2 Roundness measurement result

단위 (μm)	차수	측정 부위	Roundness	Peak High P	Valley Deep	Mean Roundness
RP	1차	BODY 상부	210.94	138.21	-72.73	54.30
시제품	2차	BODY 하부	170.47	107.77	-62.70	42.13
사출성형 제품	1차	BODY 상부	39.37	24.59	-14.78	10.56
	2차	BODY 하부	33.84	21.78	-12.06	8.69

Table 3 Surface roughness measurement result

단위 (μm)	차수	$R_a$	$R_z(DIN)$	$R_y(DIN)$	$R_q$	$R_t$
RP 시제품	1차	12.48	47.92	51.74	14.81	60.88
	2차	12.48	47.32	49.28	14.71	57.58
	3차	12.04	58.58	59.38	14.91	59.38
사출성형 제품	1차	0.03	0.32	0.42	0.04	0.46
	2차	0.04	0.32	0.36	0.05	0.38
	3차	0.03	0.24	0.28	0.04	0.34

### 3.3 시제품에 의한 토출 시험

폐속조형기에 의한 박막적층기법으로 시제품이 제작되었기 때문에 토출 실험에서 높은 압력이 자동운환주유장치의 야렛부분에서 작용함으로써 각도를 가지고 적층된 부분에서 RP시제품의 특성상 밀도가 떨어져서 이 부위에서 약간의 그리스가 유출되는 현상을 보였으나 후처리 작업으로 그리스 유출을 막을 수 있었다. 또한 주유기의 몸체부 내면을 후처리하여 사용함으로써 피스톤이 하강할 때 생기는 마찰을 최소화시킴으로써 성능 실험에서 무리 없이 그리스가 토출되었다.<sup>[1]</sup>

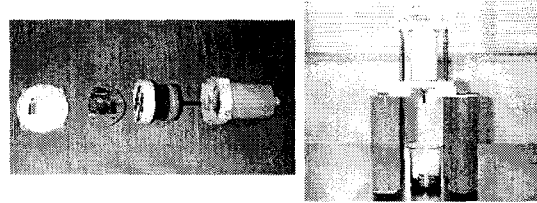


Fig. 10 Lubrication test from RP trial product

## 4. 결론

본 연구에서는 자동운환주유장치의 구동방식용 기어 메커니즘을 이용한 주유 제어를 채택하였고 유한요소해석을 거친 설계과정을 통하여 설계가 이루어졌으며 폐속조형기를 통해 시제품을 제작하고 형상 평가와 성능 평가를 실시함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기어 메커니즘을 구축하는 단계에서는 소형 기어 구조에서 기어축의 변화와 모터 기어 코일의 량에 따라 그리스를 토출시키기 위한 구동력이 많은 차이가 보였으며 이를 개선하여 충분한 출력을 구현할 수 있었다.
2. 응력해석결과에 의해 주유기의 몸체부는 설치 각도보다 토출부의 각도에 따른 북부위에서 응력집중현상이 더 크게 일어난다는 것을 알 수 있었다.
3. 그리스 토출시 벽면의 마찰이 장치의 작동에 상당히 중요한 변수로 작용하였으며, RP시제품의 박막적층기법에 의한 단점을 보완하기 위해서 본 연구에서는 후처리를 실시함으로써 성능 실험에 이용 가능하였다.

## 참고문헌

1. 권오관, "트라이 볼로지(Tribology) 관점에서 고찰한 표면관련 기술의 최근동향," 윤활학회지, 제3권, 제1호, pp. 5-11, 1999.
2. Benton, M., Seireg, A., "simulation of Resonances and Instability conditions in Pinion-Gear System," J. of Mechanical Design, Trans. of ASME, Vol. 100, No. 1, Jan. pp.26-31, 1978
3. Rapid Prototyping Report, CAD/CAM Publishing, Inc. Jan. pp.4-6, 1999.
4. 최두전, 신보성, 김주환, "FDM 폐속 조형기를 통해 만들어진 ABS 파트를 이용한 직접 정밀 주조에 대한 연구," 한국정밀공학회지, 제16권, 제10호, pp. 59-67, 1999.
5. Teale, J. L., Lebeck, A. O., "An Evaluation of the Average Flow Model for Surface Roughness Effects in Lubrication Technology", Vol. 102, July, pp. 360-367, 1980