

쾌속조형기에 의한 기어식 주유장치의 개발

왕덕현*,#

(*,# 경남대학교 기계공학부)

Development of gear type grease lubricator by rapid prototyping

Duck Hyun Wang*#

(Received 20 August 2014; received in revised form 25 November 2014; accepted 3 December 2014)

ABSTRACT

An automatic grease lubricator provides an adequate amount of fresh grease constantly to any type of rotating machine to minimize friction heat and reduce friction loss. This study seeks to develop an automatic grease lubricator by means of rapid prototyping with a gear-driven mechanism and a controlled operation time. The ultimate design is to lubricate an adequate amount of grease by a simple dip-switch clicking mechanism according to an advanced set cycle. The backlash of the gear was minimized to increase the power, and to increase the power of the mechanism, the binding frequency and the thickness of the coil were changed. To control the rotation cycles of the main shaft according to certain set numbers, different resistances and chips were used in the design of the circuit which controls the electrical signals via a pulse. A digital mock-up was analyzed and the rapid prototyping (RP) trial products were tested with a PCB circuit and grease. An evaluation of the outlet capacity of RP trial products was conducted, as the friction caused by the outlet on the wall surface was an important factor in the operation of the equipment. Finally, a finishing process was applied to decrease the roughness of a surface to a comparable level to test the performance of the product.

Key Words : Rapid prototyping(쾌속조형), Watch gear type mechanism(시계기어 구동형 메커니즘), Grease lubricator(주유기), Roundness(진원도), Surface roughness(표면거칠기)

1. 서 론

많은 제조 공정의 공장, 건물의 냉각탑, 다양한 구동장치들에는 윤활유 주유장치를 사용하고 있다. 기존의 화학식 주유장치는 수소가스를 발생시켜 주유를 하고 있었으나 주변의 온도와 가압 및 주

유대상물에 따라 주유량이 차이가 나며 재활용이 불가능하다.

상대운동을 하는 부분에서는 여러 가지 복합적인 현상이 발생하기에 윤활이 중요하여 관련된 여러분야에서 연구가 필요하다. 주유장치는 지속적으로 신선한 윤활유가 기계의 회전축과 구동축의 베어링 작동 부위에 공급되어 윤활 효과를 꾸준히 유지시켜서 마찰열의 극소화, 마찰손실과 마멸의 최소화로 기계장비의 수명을 연장시켜줄 뿐만 아

* # Corresponding Author :

School of Mechanical Engineering, Kyungnam Univ.
E-mail : dhwang@kyungnam.ac.kr

나라 설비 가동률을 향상시켜주고 있다. 최근 인건비 상승과 사람 손으로 급유하기 힘든 위험한 장치에는 항상 적정량의 윤활유가 자동으로 급유되고 관리할 수 있는 시스템이 필요하다.

국내에서 생산되는 윤활유 공급장치는 화학방식으로 주변 장치의 속도와 주위환경의 온도와 기압 그리고 주유 대상물의 상태에 따라 주유량이 달라지는 단점이 있다. 국외에는 피스톤 펌프를 사용하는 방식은 간헐적으로 주유하는 방식으로 구조적으로 부피가 크고 가격이 비싸다는 단점이 있다.

시제품 제작으로 쾌속조형기를 사용하였으며, 기존 쾌속조형기 사용시 발생하는 문제점들을⁽¹⁻³⁾ 보완할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 본 연구는 기어구동 방식의 주유메커니즘을 개발하고 1개월에서 12개월 사이에 주유조절이 가능하도록 회로 설계와 PCB기판을 제작하고 쾌속조형기에 의해 시제품을 제작하고 작동실험을 통하여 그 문제점을 해결하고자 하였다.

2. 기어구동방식의 주유기 설계

기어구동 메커니즘 설계는 시간을 조절할 수 있는 시계 기어로부터 응용하였다. 기존 시계기어의 표준 모듈에 의한 피치원 지름과 모듈 계산치에 의한 피치원 지름의 차이를 검토하였다.

본 연구에서는 주유시간 조절이 용이한 시계기어를 이용하여 지속적으로 정확한 양의 주유가 가능한 기어구동 메커니즘을 구성하였고, 토출시 필요한 출력을 계산하였고, 시계 기어의 표준모듈에 의한 피치원 지름과 모듈 계산치에 의한 피치원지름의 차이를 계산하여 메커니즘을 설계하였다.

시계 기어를 사용함으로써 정확한 주유와 주유시간의 제어가 용이하도록 출력을 높이기 위해 원동기어의 코일에 감긴수와 코일 굵기를 변화시켜 토크를 증가시켰으며, 또한 백래시 발생을 최소화시키기 위하여 기존의 시계 기어의 중심축의 위치와 중심간의 거리를 수정함으로써 최종 출력을 증가시키도록 하였다.

Fig. 1과 같이 2번에서 6번의 기어는 동일 축선

상 잇수가 다른 입력과 출력기어를 가지고 있으며, 주동(1번) 기어로부터 초침(3번) 기어에 전달되는 토크(T_3)를 측정하여 그 값으로부터 최종(7번) 기어에 작용하는 출력토크(T_7)를 계산하였다. 다음은 표준 모듈의 출력값이다.

$$T_7 = \frac{m_{12} \cdot Z_{12}}{2} \times \frac{m_{10} \cdot Z_{10}}{2} \times \frac{m_8 \cdot Z_8}{2} \times \frac{m_6 \cdot Z_6}{2} \times T_3$$

$$= 246.4 Nmm / \frac{9.8N}{kg_f} = 25.143 kg_f \cdot mm \quad (1)$$

솔리드 모델링에 의한 시뮬레이션을 통하여 간섭과 이론 회전수 비를 검토하고 이론식을 기반으로 그리스를 토출시키기에 충분한 출력을 가지는 기어 메커니즘을 설계하였으며, 시계기어 메커니즘을 응용하여 몇 개의 샘플을 의뢰 제작하였다. Fig. 2(a)는 3D 모델링에 의한 시뮬레이션을 통하여 간섭체크와 이론 회전수 비를 체크하는 기어 어셈블리 형상이고, Fig. 2(b)는 시뮬레이션 형상을 기반으로 기어 메커니즘을 구성하였다.

기계식 주유기로 바꾸는 과정에서 시계에서의 기어구동방식의 메커니즘을 응용하였다. 정확한 시간 동안에 지속적으로 정확한 량을 주유할 수 있는지

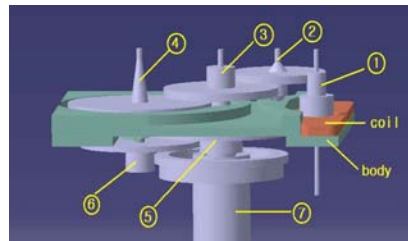
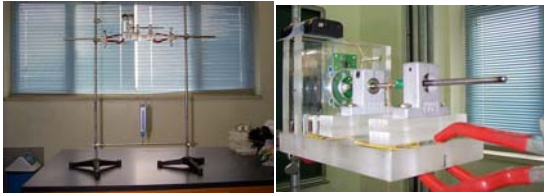


Fig. 1 Solid modeling of watch gear driving mechanism.



(a)Solid modeling (b)Watch gear mechanism

Fig. 2 Watch gear type driving part



(a) Torque measurement (b) Driving gear mechanism

Fig. 3 Torque test of watch gear mechanism

구동 가능성을 평가하기 위하여 이론식에 의한 출력 값 선정이 아닌 실험에 의해 출력 토크를 체크 하였으며, 주유기의 몸체부 설계시 응력 해석에 필요한 입력값으로 활용하였으며 윤활유 토출의 가능성을 살펴보았다.

Fig. 3은 기어구동 메커니즘의 출력을 검토하기 위하여 토크 측정실험을 하는 과정으로 Fig. 3(a)는 용수철 저울을 이용한 실험장치를 나타내고 있으며, Fig. 3(b)는 $\varnothing 6\text{mm}$ 인 연마봉을 이용하여 기어 구동부의 토크 측정 모습이다.

Fig. 4는 토크 시험에 의한 그 결과 값을 그래프로 나타낸 것으로 실험 결과 기어 메커니즘의 출력은 최대 $1600g_f$ 이며, 피스톤 이송 스크류 사용과 구동 메커니즘에 의한 최종 토출압은 $6.5\text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 로 측정되었으므로 그리스를 토출하기에 필요한 최소 토출압 $2.7\text{ kg}_f/\text{cm}^2$ 보다 충분히 컸다.

사용 주기의 셋팅값에 따른 주축의 회전수를 조절하기 위해 다양한 용량의 저항(R_a, R_b, C)과 전기적 신호를 펄스로 제어하기 위한 LM555 chip을 사용하여 회로를 구성하였으며, 여기서 LED와 기본 회로를 제어하기 위한 소자 값은 6시간~12개월의 mode 모두를 포함하는 최적값으로 $R_a = 1\text{ [K}\Omega\text{]}$, $C = 100\text{ [\mu F]}$ 으로 선정하고 R_b 의 변화를 주어 주기를 선정하였다.

R_b 은 식(1)에서와 같이 계산된 주기(T) 값에 따라 기간별(H:시간, M:개월)로 Table 1의 값을 사용하였다.

$$R_b = \frac{1.443 \times T - R_a \times C}{2C} \quad (2)$$

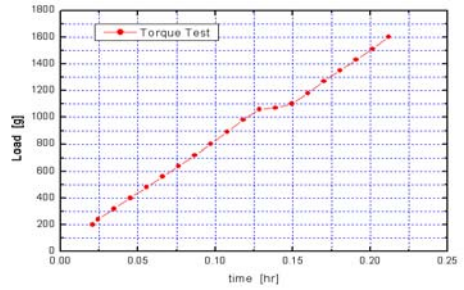


Fig. 4 Result graph of torque test

Table 1 Resistance for various setting periods.

Mode	6 H	1 M	2 M	3 M	6 M	12M
R_b (M Ω)	0.182	0.240	0.970	2.2	8.8	35

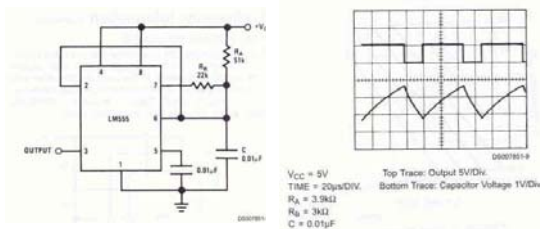


Fig. 5 Circuit and pulse of LM555 timer chip

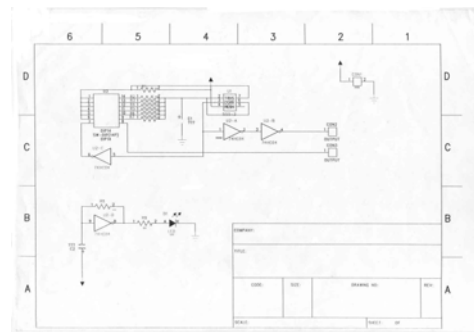


Fig. 6 Circuit for adjustable lubricating time

전기적인 신호를 펄스로 바꾸어 위해 사용된 LM555 Timer Chip의 기본 파형은 Fig. 5와 같으며, 저항 값을 다르게 연결하여 주유 시간을 임의로 셋팅할 수 있도록 회로도를 설계하였다.

Fig. 6은 저항값을 다르게 연결하여 주유 시간을 임의로 변경할 수 있도록 만든 회로도 설계이다.

Fig. 7은 다양한 용량의 저항(R_a , R_b , C)과 전기적 신호를 펄스로 제어하기 위한 LM555 chip 및 LED를 사용하여 회로도를 토대로 만든 회로기판의 (a)설계도 및 (b)시제품을 보여 주고 있다.

기존의 주유기의 형상과 유사한 모양으로 몸통부를 설계하기 위해 토출부의 각도와 설치각도에 따른 응력해석을 파악하였다. 안전한 형상을 설계하기 위해 기존의 2D 도면으로부터 3D 형상을 CATIA를 이용하여 두께가 일정한 형상으로 모델링한 후 응력해석을 통하여 응력집중현상이 일어나는 부분을 찾아 두께를 수정 보완하여 최적 설계가 되도록 하였다.

응력해석을 위해 두께가 균일한 주유기의 기본 모델링을 한 후, 총 용량(125cc)을 일정하게 유지하고 토출부 각도(30°, 45°, 90°)를 다양하게 변화시키면서 최적의 형상을 찾기 위해서 모델링하였으며, 또한 설치각도에 따라 응력해석을 하였다. Fig. 8은 토출부 각도가 30°인 경우 설치각도에 따른 응력 분도를 나타낸 결과들이다.

Fig. 9는 응력집중을 분산시키기 위해서 토출부 목부위의 두께를 안전율을 고려해서 증가시킨 결과이다.

응력해석을 하기 위해 먼저 주유기의 내부에 작용하는 압력을 체크하고, 그리스 토출시 출구에 작용하는 유체의 압력과 유체의 마찰 손실 등을 고

려하여 이론상의 데이터를 얻었다. 기어구동 메커니즘에 의한 최대 토출압은 $6.5\text{kg}_f/\text{cm}^2$ 이고 가스발생식에서 토출 완료 후 최대 작용압력은 $9.5\text{kg}_f/\text{cm}^2$ 이며, 주유기의 자중에 의한 작용하중은 두 메커니즘 동일하게 0.510kg_f (50N)로 측정에 의하여 구하였다. 또한, 주유기 몸체부의 허용응력(σ_a)은 $12 \sim 15\text{kg}_f/\text{cm}^2$ ($1.18 \times 10^6\text{N/m}^2$)로 극한강도(σ_u)에 외력과 진동에 의한 안전율(S)을 나누어 계산된 값으로 응력해석 의한 최대응력값을 이와 비교하여 안전성을 판단하였다.

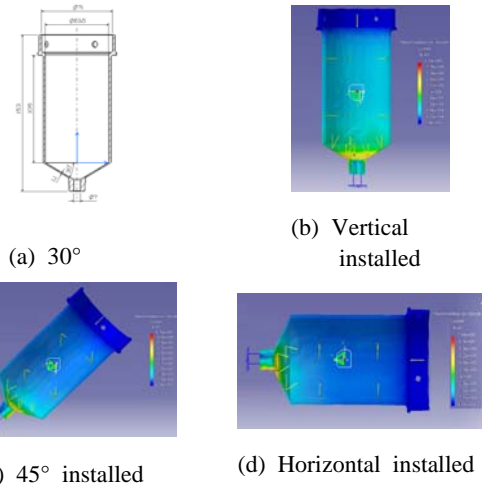


Fig. 8 The stress analysis for 30° angle of outlet for different installation angle

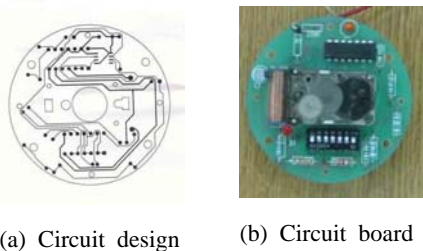


Fig. 7 Manufactured PCB samples for adjustable lubrication time

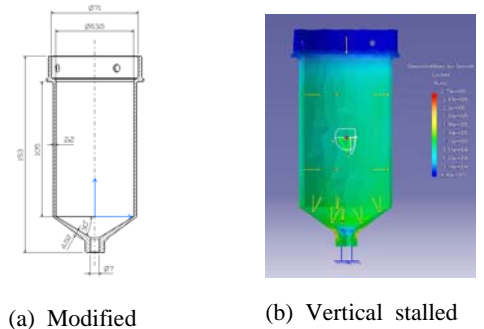


Fig. 9 The stress analysis for 30° angle of modified outlet

3. 쾌속조형기에 의한 시제품 제작과 토출 실험결과

시제품을 이용한 기능성 검토에서는 윤활유 토출 실험을 수행하기 위해서는 적절한 정밀도가 요구되며, 시제품 제작이 용이하고 빠른 시간 내에 제작이 가능하며 저렴한 비용으로 제작이 가능한 시제품 제작 방법이 요구되고 있다.

시제품 제작방법 중에서 FDM(Fused Deposition Modeling)방식의 쾌속조형기 Rapid Prototyping machine, RP)를 사용하였다. 이 방식은 3D CAD S/W로부터 얻어진 데이터를 박막적층기법을 활용하여 제품개발에 필요한 시제품을 빠르게 제작할 수 있도록 지원하며, 구동방식은 filament wire로 된 열가소성 수지(ABS)를 용융점 바로 위의 온도까지 가열하여 nozzle을 통하여 분사한다. 분사된 층이 응고되면, 노즐을 움직이면서 다른 한 층을 만들기 위해 응고된 층위에 재료를 분사해가며 형상을 구현하며, 완성된 단품(part)을 초음파세척기(tank)에 넣어 지지부(support)를 쉽게 제거함으로써 시제품의 단품을 제작할 수 있었다.

Fig. 10은 쾌속조형기(FDM Maxum, U.S.A ; Stratasys Co.)를 이용하여 시제품을 제작한 것으로, 유한요소해석을 거친 후 안전하게 설계된 솔리드 모델링 파일을, 부품의 실제면을 수많은 삼각형면들로 근사화하여 나타내는 STL파일로 변환시켜 쾌속조형기의 작동 프로그램인 Insight(U.S.A ; Status Co.)를 사용하여 Tool Pass를 생성시키고 쾌속조형기로 전송시켜 토출부 각도 30°, 90°의 다양한 형상의 제품들이다.

주유기의 용량과 몸체부 직경을 결정하고 나서 피스톤의 크기와 형상이 정해지고 기어구동에 필요한 건전기가 들어가는 건전지실이 설계하였으며, 기어 구동부와 회로기판의 위치를 결정하고, 기타 체결부가 설계되고 나서 각각의 단품을 쾌속조형기로 제작하였다. Fig. 11(a)은 설계된 솔리드 모델링을 FDM방식의 쾌속조형기에 의해 제작된 자동그리스주유기의 각 단품 형상이며, Fig. 11(b)는 각 단품의 간섭 및 구조상의 문제를 검토하기 위해 조립한 상태이다.



(a) 30° outlet (b) 90° outlet

Fig. 10 RP trial product of body part with various angles of the outlet



(a) each part of grease lubricator (b) assembly shape

Fig. 11 Trial product manufactured by RapidPrototyping machine

3.1 진원도 특성

쾌속조형기(Rapid Prototyping Machine, RP)로 제작된 시제품의 성능 테스트에 앞서 진원도를 측정하여 얼마나 사출제품에 가까운지를 비교하였다. RP시제품은 3D CAD S/W로부터 얻어진 data를 박막적층기법인 재료를 분사해가며 형상을 구현하여 단품(part)를 완성하는 방법으로 사출 성형시의 구배에 의한 진원도 차이를 어느 정도 극복할 수 있을 것으로 생각되었으나, 층층이 쌓는 기법으로 노즐의 시작 부분의 불연속 지점이 생기기 쉽고, 또한 층끼리의 접도가 어느 정도는 유지될 수 있으나 높은 압력과 외력에 견딜 수 있는 성질이 사출 성형에 의한 제품 보다 나쁘다는 단점이다. RP시제품과 사출성형 제품의 진원도 비교한 결과 Table 2와 같이 RP시제품의 진원도가 떨어지는 것을 볼 수 있다.

Table 2 Roundness measurement result

	sample	측정 부위	Roundness (μm)	Peak High P (μm)	Valley Deep (μm)	Mean Roundness (μm)
RP 시제품	1	BODY 상부	210.94	138.21	-72.73	54.30
	2	BODY 하부	170.47	107.77	-62.70	42.13
사출 성형 제품	1	BODY 상부	39.37	24.59	-14.78	10.58
	2	BODY 하부	33.84	21.78	-12.06	8.69

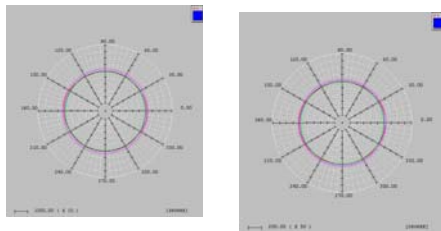


Fig. 12 Roundness diagram of RP trial product and injection molding product

사출성형으로 제작된 화학식 자동그리스주유기 몸체부의 진원도와 쾌속조형기로 제작된 자동그리스주유기 몸체부의 진원도 측정결과를 비교해 보면 사출성형 제품에 비해 RP시제품이 진원도가 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 이는 쾌속조형기로 제작할 때 모델의 Tool Pass를 따라 헤드가 이동될 때 노즐의 start point와 end point의 불연속 지점에서의 mark형상이 나타나며 각층마다 생긴 mark형상이 일직선으로 적층되면서 cave를 형성시키게 됨으로써 주유기 몸체 내부의 진원도에 악영향을 미치는 것으로 생각된다. 이러한 현상은 Insight 프로그램의 Seam Control 기능으로 mark를 분산시키고 또한 후처리로 표면을 사상처리하여 해결하였다. Fig. 12는 진원도 측정장비(RA-116, JP ; Mitutoyo Co.)를 이용하여 RP시제품의 진원도를 측정한 결과로 start point와 end point의 불연속 지점에 의한 mark형상이 일직선으로 적층되면서 0°부근에서의 내면에서 굴곡을 가지게 됨으로써 진원도가 나쁘게 나타났으나, RP시제품 진원도는 피스톤과 벽면의 마찰 저항에 크게 영향을 주지 않는 범위 내에 있으므로 약간의 후처리를 통하여 진원도를 높임

으로써 토출성능실험이 가능하였다.

3.2 표면 거칠기 특성

Fig. 13은 박막적층방식의 RP시제품에서 발생하는 문제점을 나타낸 것으로, 박막적층기법으로 시제품의 제작이 이루어지기 때문에 층층의 접촉 부위에서 노치가 있는 것을 볼 수 있다.

주유기 몸체부의 내부는 피스톤과의 마찰이 일어나기 때문에 최소의 저항을 받아 작은 힘으로 자연스럽게 윤활유가 토출시키기 위해서는 주유기 내부의 거칠기가 중요한 요인으로 작용한다.

RP시제품의 표면거칠기를 향상시키기 위해 5차에 걸친 후처리인 sandpaper가공을 실시하였다.

1차(sandpaper #400), 2차(#600), 3차(#800), 4차(#1200) 그리고 5차(#2400)으로 가공한 후 측정된 표면거칠기 값을 Table 3에 나타내었다.

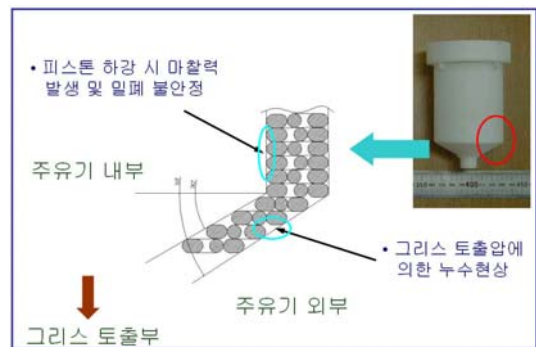


Fig. 13 Raised problem at RP trial product by the thin-film stacking techniques

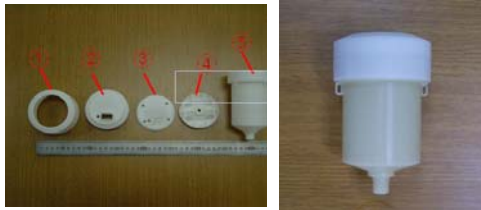
Table 3 Surface roughness measurement result of RP trial product with afterward processing

단위(μm)	R_a	R_z [DIN]	R_y [DIN]	R_q	R_t
1차 후처리	8.87	51.20	52.46	11.48	52.46
2차 후처리	5.56	38.42	45.08	7.57	45.08
3차 후처리	4.71	31.28	42.92	6.40	42.92
4차 후처리	3.82	27.72	29.42	5.29	29.72
5차 후처리	0.44	4.10	4.80	0.60	5.24

3.3 시제품 조립과 토출시험

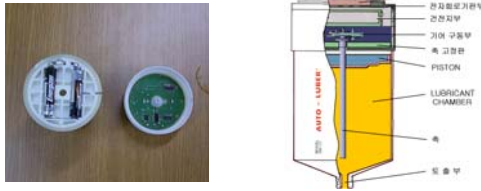
Fig. 14(a)는 쾌속조형기로 제작된 주유기 각 부품들이며, 14(b)는 조립된 주유기이다. 14(c)회로기판과 건전지를 함께 한 경우와 완성된 주유기 도식도이다.

모델링한 치수로 시제품 제작 후 Fig. 14(a)의 4번 단품과 5번 단품의 조립 시 Fig 15와 같이 문제점이 발생하였으며, 표면사상의 후처리를 통한 치수공차 수정과 Fig. 16과 같이 Insight 프로그램에서 Perimeter 위치(location) 수정에 의하여 해결하였다.



(a) Parts

(b) Assembly



(c) Automatic greese lubricator

Fig. 14 Assembled automatic greese lubricator

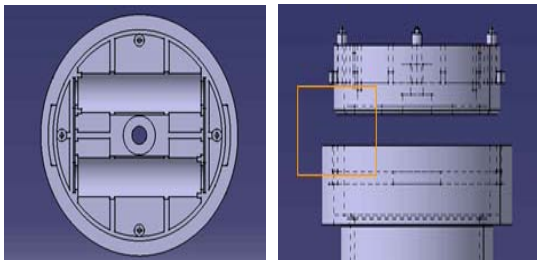


Fig. 15 The assembling problem of rapid prototyped parts

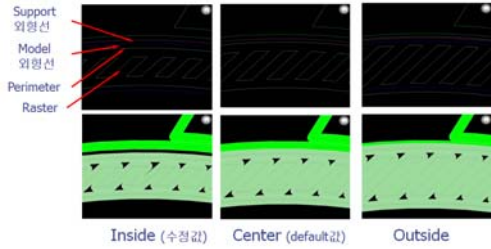


Fig. 16 Tool path generation according to the perimeter location correction

4. 결 론

시계기어를 이용한 기어구동 메커니즘 방식으로 정확한 양을 주입할 수 있도록 회로 설계와 구조설계를 한 후 쾌속조형기를 통해 시제품을 제작하여 발생하는 문제점들을 해결하고 토출시험으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

주축의 회전수를 조절하기 위해 다양한 용량의 저항(R_a, R_b, C)과 전기적 신호를 펄스로 제어하기 위한 LM555 chip을 사용하여 회로를 구성하여 6시간에서 12개월의 mode 모두를 포함하는 최적값으로 $R_a = 1 [K\Omega]$, $C = 100 [\mu F]$ 으로 선정하고 R_b 의 변화로 $R_b = \frac{1.443 \times T - R_a \times C}{2C}$ 에 따라 주기를 선정하였다.

응력해석을 위해 두께가 균일한 주유기의 기본 모델링을 한 후, 총 용량(125cc)을 일정하게 유지하고 토출부 각도(30°, 45°, 90°)와 설치각도를 다양하게 변화시키면서 최적의 형상을 찾기 위해서 모델링하였으며 주입부의 두께를 보강하였다.

쾌속조형기에 의한 시제품은 쾌속조형기의 특성상 마크부분이 발생하고 있으며, 표면거칠기가 불량해서 토출이 불가능하였다. 이 문제점들을 해결하기 위해서 각 층의 시작점들을 임의로 변경하여 그리고 후작업인 사상작업으로 토출이 가능하였다.

후 기

“이 논문은 2014년도 경남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

- (1) Won-Jung Kim, “A study on correction of circle product error by prototype using rapid prototyping system”, J. of KSMPE, Vol. 11 No. 3, pp. 146-153, 2012.
- (2) H. J. Yang, S. J. Kim, T. S. Jang, I. Y. Lee and S. H. Lee, “A research on postprocessing finishing method of the rapid prototyping parts”, Proceedings of 2001 Autumn Conference, KSPE, pp. 83-86, 2001.
- (3) J. U. Jun, K. J. Kwon, J. S. Chung, J. A. Kim, S. K. Kim and M. K. Ha, “Influence of tangent line angle on surface roughness at fused deposition”, Proceedings of 2002 Spring Conference, KSPE, pp. 1067-1070, 2002.