



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

# Gerotor Pump의 1D 해석 모델 개발 및 검증

서울대학교 대학원  
기계항공공학부  
유진승

## 요약

본 논문에서는 Gerotor Pump의 치형 정보를 이용하여 토출량과 토크를 계산할 수 있는 1D 시뮬레이션 모델의 개발하고 실측 실험으로 모델의 타당성을 검증하였다. Gerotor Pump는 정용량형 내접기어 펌프로써, 제작과 조립이 쉬우면서도, 다양한 요구조건과 크기로 설계가 쉽기 때문에 차량용 유압펌프, 오일펌프 등으로 많이 쓰이고 있다. 그 중에서 본 논문에서는 4WD 차량의 Transfer Case에 사용되는 펌프를 해석하기 위해 AMESim 1D 해석 모델을 개발하였다. 또한 AMESim Model 해석에 사용되는 치형 정보 값을 얻기 위해서 GUI 기반의 해석 보조 프로그램을 개발하였다. 이 보조 프로그램은 Gerotor 치형으로부터 챔버 용적 변화 곡선과 Intake Area와 Discharge Area를 얻어 AMESim 해석에 사용할 수 있도록 개발되었다. 개발된 모델의 타당성을 검증하기 위해서, 상용으로 사용되고 있는 Gerotor 치형(齒形)을 선정하여 토크와 유량 계측이 가능한 실험 리그를 제작하였다. 이를 통한 실측 실험 결과와

비교하여, 해석 모델의 타당성을 검증 할 수 있었다. 각 차량과 용도에 적합한 Gerotor Pump 설계에 있어 본 연구에서 개발된 프로그램과 모델을 이용한다면 개발 기간과 비용을 절감 할 수 있을 것으로 예상된다.

주요어: Gerotor Pump, AMESim, Transfer Case, 1D Modelling, GUI Program

학번: 2012-23176

# 목 차

요약.....	i
목차.....	iii
LIST OF SYMBOLS.....	v
LIST OF TABLES.....	vi
LIST OF FIGURES.....	vii
1. 서론.....	1
1. 1 연구 배경 및 목적.....	1
2. 배경 이론.....	2
2. 1 Gerotor Pump.....	2
2. 1. 1 Gerotor Pump의 특성.....	2
2. 1. 2 치형 설계 방법.....	3
2. 1. 2. 1 Trochoid 치형 설계.....	4
2. 1. 2. 2 임의 곡선 치형 설계.....	6
2. 1. 3 수학적 모델.....	8
3. 시뮬레이션 모델.....	9
3. 1 Gerotor Pump 모델 개발.....	9
3. 1. 1 모델 개발.....	9
3. 2 해석 보조 프로그램 개발.....	13
3. 2. 1 치형 설계 기능.....	14
3. 2. 2 챔버 체적 계산.....	17
3. 2. 3 치형 및 해석 데이터 출력.....	19
3. 3 시뮬레이션 모델 해석 결과.....	20
3. 3. 1 시뮬레이션 결과 - 압력.....	21
3. 3. 2 시뮬레이션 결과 - 토출 유량.....	22

3. 3. 3 시뮬레이션 결과 - 토크.....	24
4. 실측 실험.....	25
4. 1 실험 리그 구성.....	25
4. 1. 1 실험 리그 사양.....	26
4. 2 실측 실험 결과.....	27
4. 2. 1 유량 계측 결과.....	28
4. 2. 2 토크 계측 결과.....	29
5. 결론.....	30
참고 문헌.....	32
Abstract.....	34

## LIST OF SYMBOLS

	<i>bulk modulus</i>
$w$	<i>angular velocity</i>
	<i>inflow</i>
$Q_m$	<i>outflow</i>
$V$	<i>control volume</i>
$R_b$	<i>radius of base circle</i>
$R_r$	<i>radius of rolling circle</i>
$R_c$	<i>radius of locus circle</i>
$e$	<i>eccentricity</i>
$N$	<i>number of inner rotor teeth</i>
$D$	<i>displacement</i>
$R$	<i>inner rotor speed</i>
$T$	<i>inner rotor shaft torque</i>
$P$	<i>pressure difference</i>
$Q$	<i>flow</i>
$areaa$	<i>intake flow area</i>
$aream$	<i>discharge flow area</i>
$E_m$	<i>mechanical efficiency</i>

## LIST OF TABLES

Table.4.1 Experimental Rig Specification

## LIST OF FIGURES

- Fig.1.1 Purpose of Research
- Fig.2.1 Epi-trochoid Gerotor Design - Inner Rotor
- Fig.2.2 Epi-trochoid Gerotor Design - Outer Rotor
- Fig.2.3 Inner Rotor Mathematical Model
- Fig.2.4 Geocloid and Megafloid Inner Rotor Design[8]
- Fig.2.5 Geocloid Outer Rotor Design[8]
- Fig.2.6 Gerotor Pump Mathematical Model
- Fig.3.1 Control Volume of Gerotor Pump
- Fig.3.2 Gerotor Pump Hydraulic Model.
- Fig.3.3 Leakages Contributions
- Fig.3.4 Gerotor Single Chamber AMESim Model
- Fig.3.5 Gerotor Pump AMESim Model
- Fig.3.6 Design mode - Use Trochoid Curve
- Fig.3.7 Design Mode - Use Arbitrary Curve
- Fig.3.8 Import Mode
- Fig.3.9 Analysis Assistance Program - Chamber Volume
- Fig.3.10 Analysis Assistance Program - Discharge Flow Area
- Fig.3.11 CAD Result from Assistance Program
- Fig.3.12 Simulation - Gerotor Figure
- Fig.3.13 Simulation Result - Pressure Difference vs. Time
- Fig.3.14 Simulation Result - Flow Rate vs. Time
- Fig.3.15 Simulation Result - Flow Rate vs. Pressure Difference
- Fig.3.16 Simulation Result - Torque vs. Pressure Difference
- Fig.4.1 Experimental rig
- Fig.4.2 Picture of Experimental rig
- Fig.4.3 Experiment - Gerotor Figure
- Fig.4.4 Experimental Result - Flow Rate vs. Pressure Difference
- Fig.4.5 Experimental Result - Torque vs. Pressure Difference
- Fig.5.1 Simulation and Experiment Result - Flow Rate vs. Pressure Difference



Fig.5.2 Simulation and Experiment Result – Torque vs. Pressure Difference

# 1. 서론

## 1. 1 연구 배경 및 목적

자동차 산업에 있어서 새로운 신기술 개발만큼이나 중요한 것이 기존 기술들의 최적화와 생산성의 확보이다. 혁신적인 신기술이라고 할지라도 대량 생산 기술이나 경제성이 없다면 당장은 실용화하기에 힘들지만, 이미 사용되고 있는 부품의 최적화나 생산성 증대는 당장 적용 가능한 기술이니만큼 중요하다고 볼 수 있다.

Gerotor Pump는 기존 Pump에 비해 가공 및 조립이 훨씬 쉬우며, 다양한 크기와 성능을 만족시키기 때문에 현재 차량의 유압 펌프, 윤활 펌프, 연료 전달 펌프 등으로 사용되고 있다. 그 경제성과 융통성으로 인해 차량에 들어가는 대다수의 펌프가 Gerotor Pump이지만, 각 차량별 최적화를 위해서는 아직도 많은 시간과 노력이 필요하다.

차량별, 기능별로 Gerotor Pump에 요구되는 성능은 차이가 있으며, 이를 만족시키는 펌프를 개발하기 위해서는 수많은 시행착오가 필요하다. Gerotor Pump는 다양한 설계 방법이 존재하며, 치수(齒數), 곡선형상, 크기, Clearance에 따라서 얻을 수 있는 성능이 달라진다. 실제 토출 유량과 필요 토크 등의 값은 계산으로는 알아내기 힘들며, 이를 위해서 매번 가공과 실측을 반복하는 것에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 가공과 실측에 소요되는 시간 및 비용을 절감하기 위해 이를 대체할 수 있는 시뮬레이션 모델을 제안하고 이를 검증하여 각 차량별, 기능별로 최적화 된 Gerotor Pump 치형 개발이 가능하도록 한다.

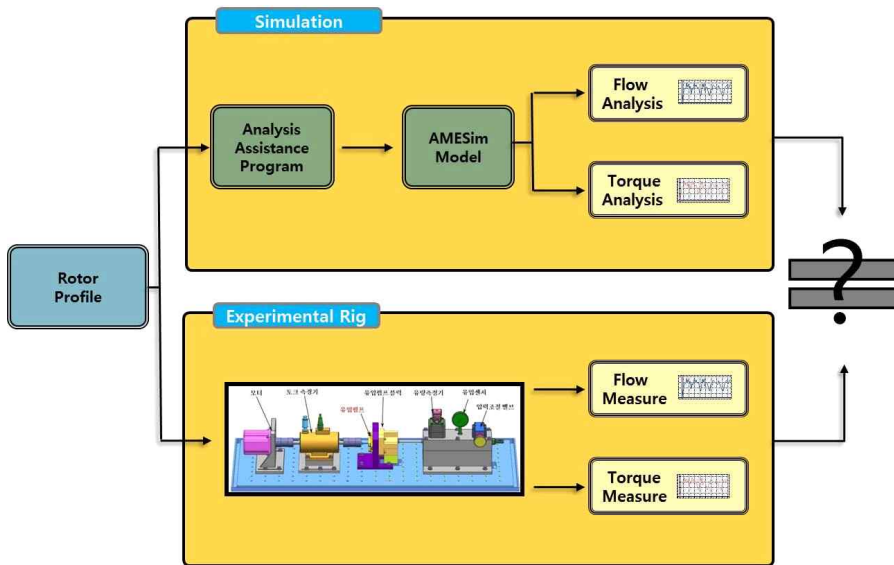


Fig.1.1 Purpose of Research

이를 위해 전체 시스템에 모델에 적용시키기 쉽고 해석 속도가 빠른 1D 방식의 해석 모델을 개발한다. Fig.1.1에서 보이듯이, 본 연구에서는 Gerotor Pump의 AMESim 모델과 이 해석을 위한 보조프로그램을 개발하고, 이를 실제 실험 결과와 비교하여 개발된 시뮬레이션 모델과 보조 프로그램의 타당성을 검증한다.

## 2. 배경 이론

### 2. 1 Gerotor Pump

#### 2. 1. 1 Gerotor Pump의 특성

Gerotor Pump는 다양하게 사용되고 있는 정용량형 내접기어 펌프로써, 임의의 곡선으로 만들어진 내부로터와 외부로터로 구성되어 있다. 부품수가 적고 조립이 쉬우며 가공 편의성이 뛰어나기 때문에

차량에서 윤활 펌프 및 유압 펌프로 주로 사용되고 있다. 또한 작동 회전 속도와 압축 능력이 뛰어나기 때문에 다양한 사용자의 요구 조건을 만족하는 펌프를 설계하기가 쉽다. 다른 Rotary식 펌프인 External Spur Gear 펌프와 Vane 펌프와 비교해서 가공 및 조립 편의성에서 뛰어나며 경제적이다. 또한 토출 유량, 마멸도 등 성능에 있어서도 비슷하거나 뛰어난 점이 많다. Vane 펌프의 경우 부품수가 많고 조립이 힘든 단점이 있고, Vane과 벽사이의 마찰과 Cavitation에 의한 마모가 심하고 때문에 내구성이 좋지 않다. 크기에 비해 상대적으로 적은 토출 유량을 가지고 소음이 심한 것 역시 단점이다. External Spur Gear 펌프의 경우에는 부품수가 많지는 않으나 역시 Gerotor 펌프에 비해 가공 및 조립이 어려우며 크기 대비 토출 유량이 적은 편이다. 이에 반해 Gerotor 펌프는 크기 대비 토출 유량이 가장 크다는 장점이 있으며, 저속에서부터 고속에 이르기 까지 다양한 범위에서 사용가능하다. 특히 내부로터와 외부로터의 마모에 영향을 미치는 상대 속도는 실제 내부로터 회전 속도에 비해 외부로터 치수로 나눈 만큼이므로, 상대 속도가 작기 때문에 내구성이 우수하다.[1,2,3]

## 2. 1. 2 치형 설계 방법

Gerotor Pump의 로터 형상은 다양한 방법으로 제작되어지나 기본적으로는 Trochoid 곡선을 이용하여 설계된다. Trochoid 곡선은 기초원 위를 구름원이 돌면서 구름원의 팔이 그리는 자취를 말한다. 기초원과 구름원이 외접이면 Epi-Trochoid 곡선이라고 하며, 내접이면 Hypo-Trochoid 곡선이 된다. 잘 알려진 Cycloid곡선과 Involute 곡선 역시 Trochoid 곡선의 일종으로 Cycloid 곡선은 구름원의 팔이 구름원 반지름과 같을 경우이며, Involute 곡선은 구름원의 반지름이 무한대인 경우이다. 대부분의 Gerotor 치형은 이러한 Trochoid 곡선을 이용하여 설계 되지만, 요구 조건에 따라서 각

Trochoid 곡선을 혼합하여 사용하거나 사용자 임의의 곡선을 이용하여 설계 하는 방법도 있다.

## 2. 1. 2. 1 Trochoid 치형 설계

Trochoid 곡선을 이용한 치형 설계의 경우에 Trochoid 곡선의 생성 원리를 이용하여 내부로터 설계가 가능하고, 외부로터의 경우에도 기초원과 궤적원을 이용하여 쉽게 설계가 가능하다. 또한 내부로터와 외부로터 모두 수식으로 표현하는 것이 가능하기 때문에 다양한 크기와 치수를 가지는 치형을 쉽게 설계 할 수 있다.

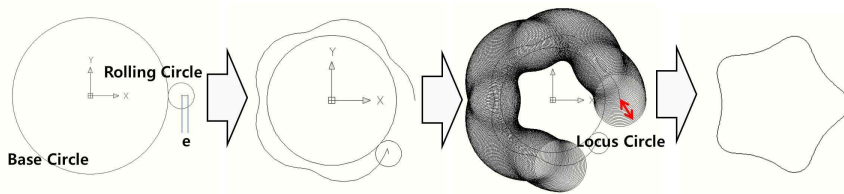


Fig.2.1 Epi-trochoid Gerotor Design - Inner Rotor

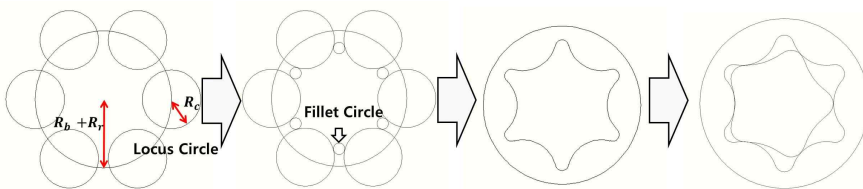


Fig2.2 Epi-trochoid Gerotor Design - Outer Rotor

Fig.2.1과 Fig2.2는 대표적인 Trochoid 치형인 Epi-Trochoid 치형 설계 방법을 나타내고 있다. Fig.2.1은 내부로터의 설계 방법으로, 기초원(Base Circle) 위를 구름원(Rolling Circle)이 구르면서 팔의 궤적에 의해 Trochoid 곡선을 얻고, 이 곡선 위를 궤적원(Locus Circle)의 중심이 지나도록하여 내부로터 형상을 얻게 된

다. Fig.2.2은 외부로터의 설계 방법으로, 기초원의 반지름( $R_b$ )과 구름원의 반지름( $R_r$ )합의 반지름 크기를 가지는 원 위에 내부로터의 치수( $N$ )+1 만큼의 케적원을 동일 간격으로 나열하여 외부로터 형상을 얻게 된다.

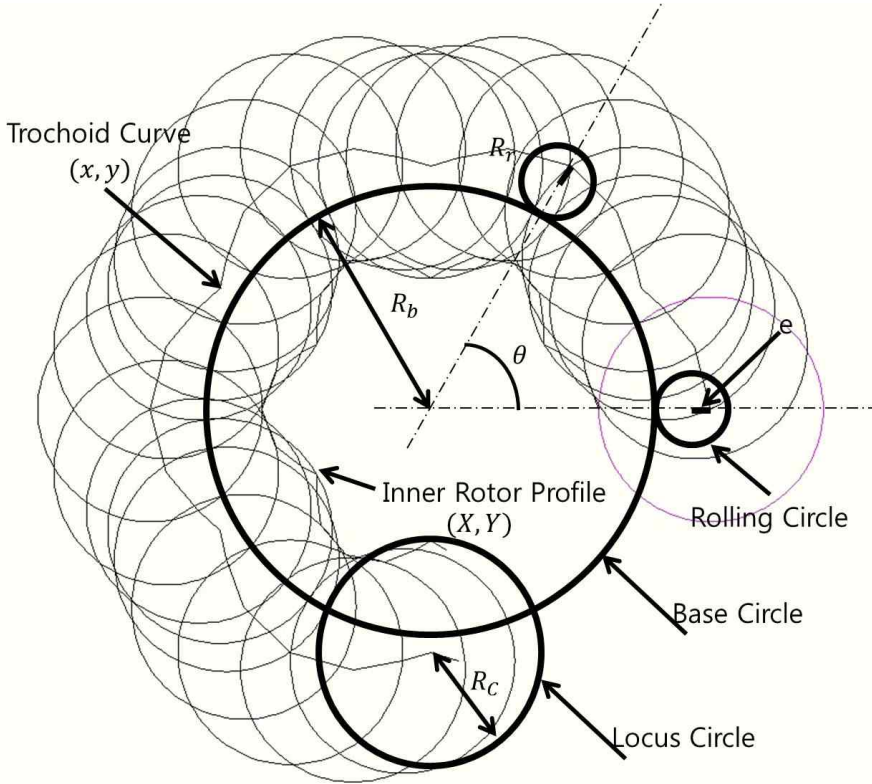


Fig.2.3 Inner Rotor Mathematical Model

이를 수학적으로 표현 할 수 있는데, Fig.2.3에서 트로코이드 케적의 방정식  $x, y$ 은 다음 식과 같다.  $N$ 은 내부로터의 기어 이빨 개수이다.

$$x = (N+1)\cos\theta - e\cos(N+1)\theta \quad (1)$$

$$y = R_r(N+1)\sin\theta - e\sin(N+1)\theta \quad (2)$$

이 Trochoid 곡선 위를 지나는 궤적원의 방정식은 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$-x) + (Y-y)^2 = (R_c)^2 \quad (3)$$

이를 각 로 미분하여 정리하면 식(4)를 얻는다.

$$(Y-y) = -K(X-x) \quad (4)$$

이 때 K는 다음과 같으며,

$$K = \frac{-R_r \sin\theta + e \sin(N+1)\theta}{R_r \cos\theta - e \cos(N+1)\theta} \quad (5)$$

식(3)과 (4)로부터 내부로터 치형의 궤적식(X, Y) 식(6)과 식(7)을 얻을 수 있다.

$$X = x + \frac{R_c}{1+K^2}, Y = y - \frac{R_c K}{\sqrt{1+K^2}} \quad (6)$$

$$X = x - \frac{R_c}{\sqrt{1+K^2}}, Y = y + \frac{R_c K}{\sqrt{1+K^2}} \quad (7)$$

식(6)과 식(7) 중에서  $X^2 + Y^2$  값이 작은 식을 사용하여 치형 설계를 할 수 있다.

## 2. 1. 2. 2 임의 곡선 치형 설계

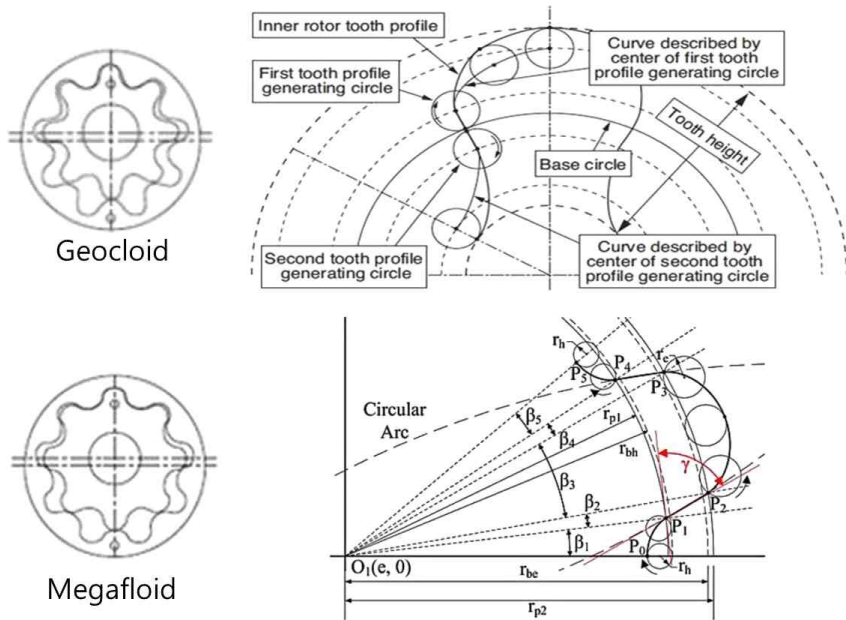


Fig.2.4 Geocloid and Megaflod Inner Rotor Design[8]

Fig.2.4는 임의의 곡선을 이용하여 만든 Gerotor 치형의 일종인 Geocloid 치형이다. 이와 같이 한 종류의 Trochoid 곡선을 사용하지 않고 여러 종류의 Trochoid 곡선을 혼합하여 사용하거나 사용자가 임의로 만든 곡선으로 내부로터 치형을 설계 할 경우에는 외부로터 형상을 정의하기가 힘들게 된다.

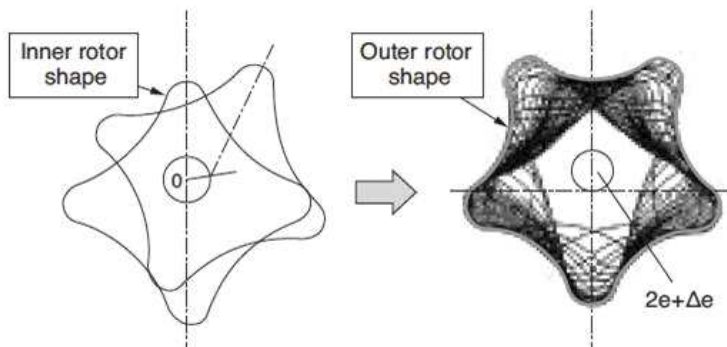


Fig.2.5 Geocloid Outer Rotor Design[8]



이 경우에는 Fig.2.5와 같이 지정한 편심( )으로 내부로터를 회전시켜 그 궤적의 외곽선을 이용하여 외부로터 치형을 설계한다.

### 2. 1. 3 수학적 모델

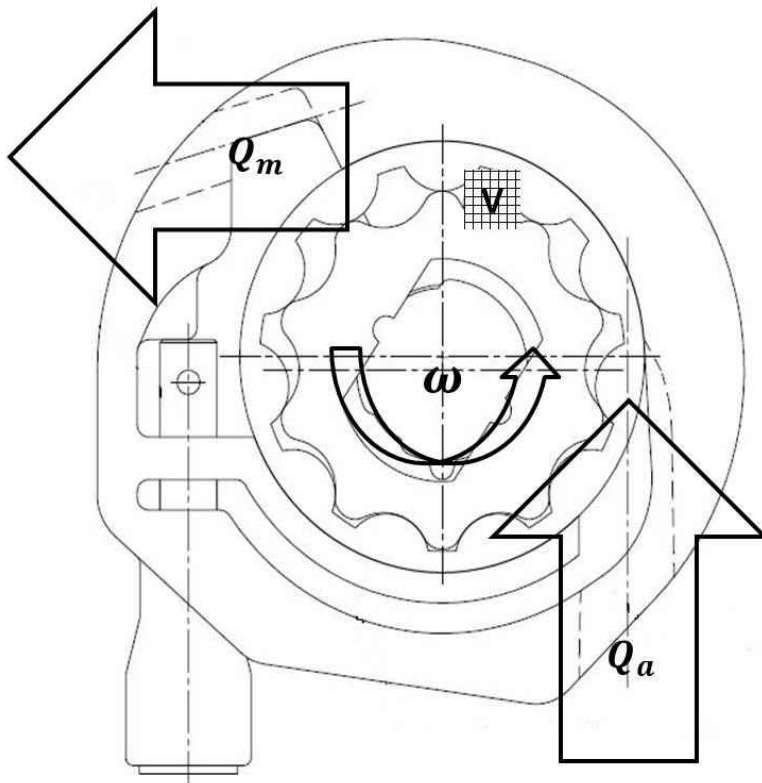


Fig.2.6 Gerotor Pump Mathematical Model

Fig.2.6는 완성된 Gerotor 치형이 펌프 케이스에 고정된 형태로 Steady Flow Open Thermodynamic System으로 볼 수 있다. Inlet과 Outlet의 2개의 Constant Volumes과 외부로터 치수 만큼의 Variable Volumes로 모델링 할 수 있으며, 로터 회전에 따른 압력 변화는 식(8)을 따른다.

$$\frac{dp}{d\alpha} = \frac{\beta}{w} ( Q - \sum Q_m - w \frac{dV}{d\alpha} ) \quad (8)$$

따라서 식(8)을 기본식으로 하여 Gerotor Pump의 각 챔버를 Control Volume으로 잡고 출입하는 유량을 정리해주면 시뮬레이션 모델을 개발 할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 모델

#### 3.1 Gerotor Pump 모델 개발

##### 3.1.1 모델 개발

Fig.3.1에서 내부로터와 외부로터에 의해 생기는 챔버를 볼 수 있다. 챔버는 로터 회전 각도에 의해서 그 체적이 변하게 되며, 외부로터 치수와 같은 수의 챔버가 유지된다. 각 챔버는 독립 된 실린더로 모델링 할 수 있으며 주변부까지 Hydraulic Model로 모델링하면 Fig.3.2와 같다.

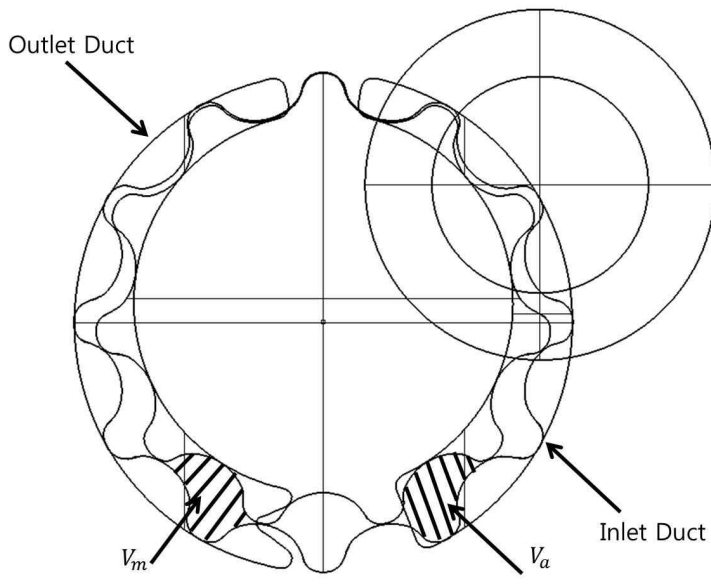


Fig.3.1 Control Volume of Gerotor Pump

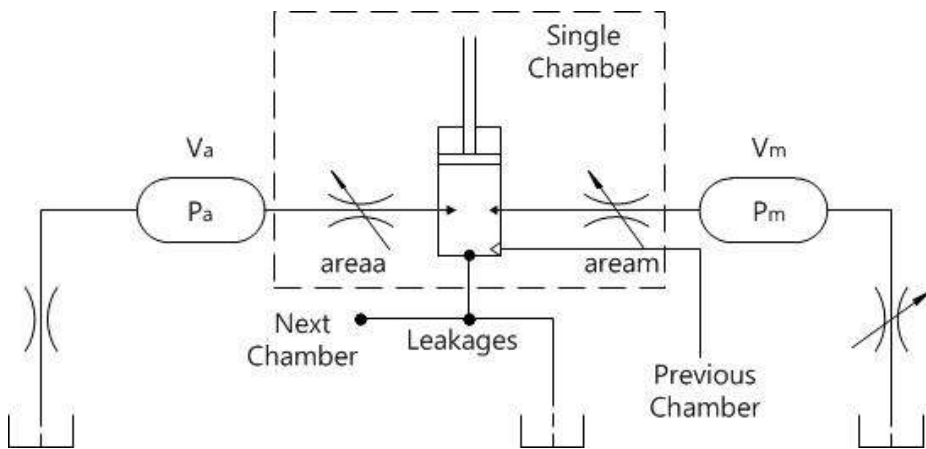


Fig.3.2 Gerotor Pump Hydraulic Model

Gerotor Pump의 내부로터와 외부로터 사이의 각 챔버는 체적이 변하는 실린더로 볼 수 있고, 실린더의 체적의 변화는 치형에 의해 계산되는 단일 챔버의 체적 변화 곡선과 같다.

또한 각 챔버가 Inlet Duct와 Outlet Duct를 지날 때의 체적인  $V_m$ 에 의해 토출 유량을 계산 할 수 있는데, 이는 Inlet Duct와 Outlet Duct의 압력인  $P_a$ 와  $P_m$ 의 압력차에 영향을 받는다. 이 압력차는 Outlet Duct 쪽의 오리피스 조절로 조절 가능하다.

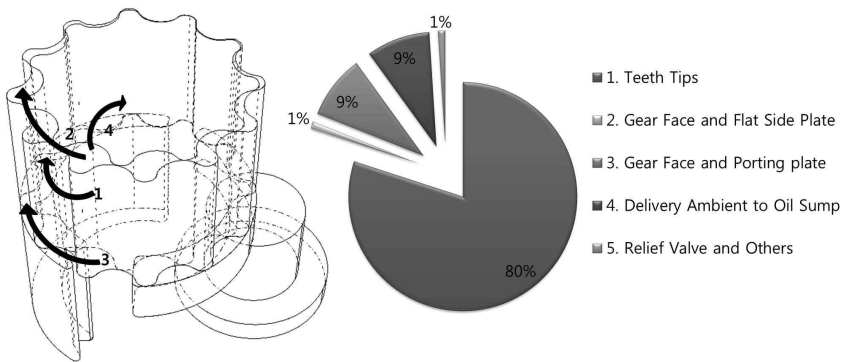


Fig.3.3 Leakages Contributions

그리고 치형의 Clearance에 의한 Leakages가 존재하는데, Fig.3.3는 일반적인 Gerotor Pump의 Leakage에 대한 지분을 나타낸 것이다. Leakage는 다섯 가지로 구분할 수 있는데, 그 중에서 Tip Clearance로 생기는 Teeth Tips Leakage가 80%로 가장 지배적이다.[1] 이 Tip Leakage는 각 챔버와 챔버 사이의 압력차에 의해서 유체가 Tip Clearance에 의해서 이동하는 것으로 압력이 높은 Outlet Duct 쪽에서 그 다음 챔버로 유체가 이동한다. 나머지 Leakages는 기어와 하우징 사이를 돌아다니다 결국 저압인 Inlet Duct 쪽으로 이동한다. 따라서 Leakages는 옆 챔버로 이동하는 부분과 외부로 나가는 부분 두 가지로 나눌 수 있으므로 Tip

Clearance에 의한 Leakage의 경우 양 옆 챔버와의 유량이동이 가능하게 해주고, 나머지는 외부로 나가도록 모델링하면 된다.

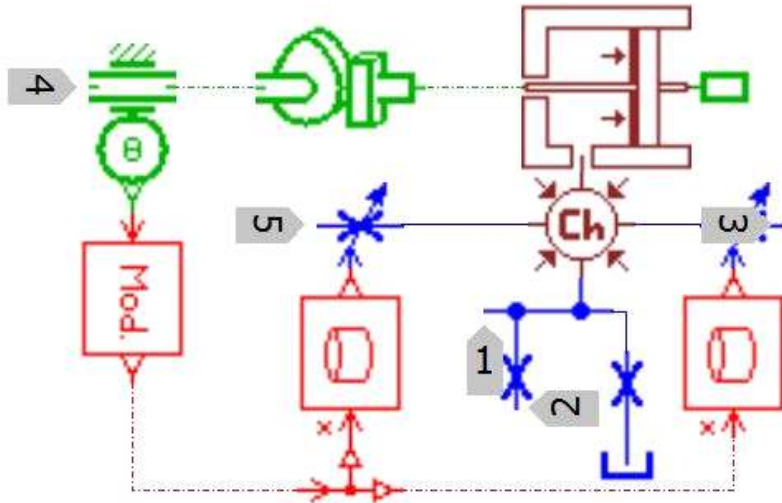


Fig.3.4 Gerotor Single Chamber AMESim Model

Fig.3.4는 Fig.3.2의 단일 챔버의 Hydraulic Model을 AMESim에서 나타낸 것이다. 챔버 체적 변화는 외부에서 입력한 캠 신호 값을 따르며,  $V_m$ 의 값 역시 외부 데이터로 입력 받은 Intake Flow Area와 Discharge Flow Area를 통해 얻는다. 즉, 이 AMESim 모델 해석을 위해서는 Chamber Volume Flow Rate와 Intake/Discharge Flow Area 정보가 필요하다.

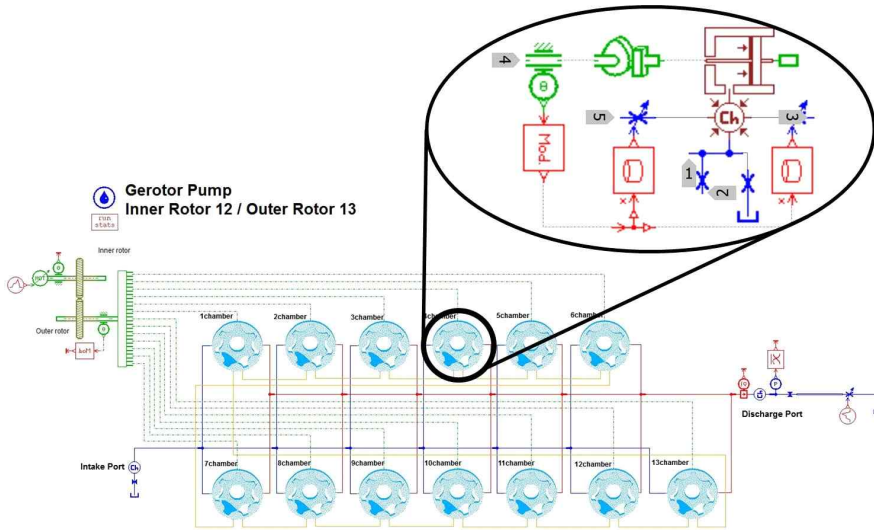


Fig.3.5 Gerotor Pump AMESim Model

Fig.3.5는 Fig.3.4의 단일 챔버들을 서로 연결하여 전체 Gerotor Pump를 나타낸 AMESim Model이다. 챔버의 수는 외부로터 치수와 같으며, 각 챔버는 초기 위상은 다르지만 같은 체적 변화 특성을 가지고 있기 때문에 각 챔버에 해당하는 초기 위상차를 지정해 주어야 한다. 치수에 맞게 챔버를 배열한 뒤, 치형 데이터인 Chamber Volume Flow Rate와 Intake/Discharge Flow Area 데이터를 넣어주면 해당 Gerotor Pump의 전체 모델이 완성 된다.

완성된 AMESim Model은 Outlet Duct에 연결된 오리피스를 이용하여 입출구 압력차를 조절하고, 모터 RPM을 조정하여 내부로터의 각속도를 제어할 수 있다. 이를 통해서 각속도와 입·출구 압력차에 의한 Gerotor Pump의 토출 유량과 토크를 얻을 수 있다.

### 3. 2 해석 보조 프로그램 개발

Fig.3.5의 AMESim model을 해석하기 위해서는 회전 각도에 따른

챔버 체적 변화 곡선과 Intake Area 및 Discharge Area가 필요하다. 이는 치형에 의해 결정되는 것으로 다양한 방법으로 배제용적을 얻을 수 있다. CAD 프로그램을 이용하여 실제 배제용적을 계산해 내거나, 치형의 수식을 이용하여 배제용적을 계산하는 회전 날개 길이법, 전체 시스템에서 에너지보존 법칙과 토크 평형을 이용하는 방법 등이 있는데, 본 논문에서는 CAD 프로그램을 이용하여 실제 챔버의 체적을 구하였다. 이 경우, 다양한 치형을 해석할 경우 챔버의 체적 변화 곡선을 얻는데 많은 시간과 노력이 요구 된다. 이를 극복하기 위해서 .NET 기반의 해석 보조 프로그램을 개발하여 필요한 데이터를 얻도록 하였으며, 치형 설계 기능 등을 추가하여 Gerotor 치형 설계 및 해석에 도움이 되도록 하였다.

### 3. 2. 1 치형 설계 기능

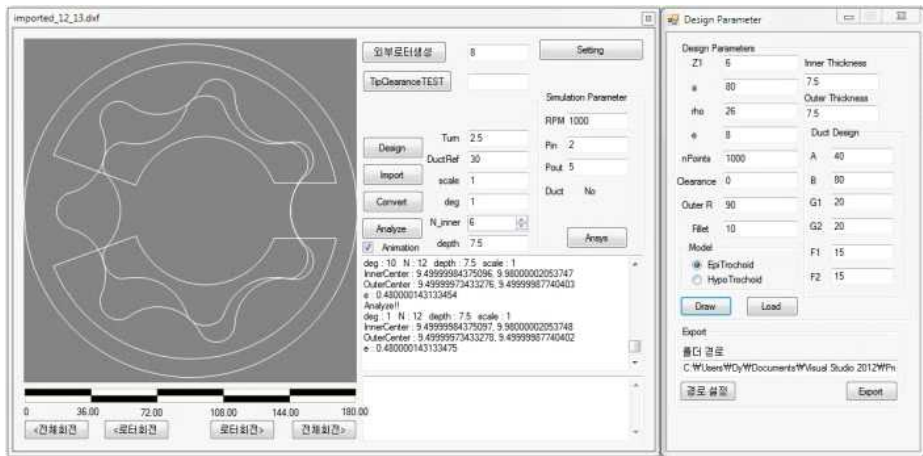


Fig.3.6 Design mode – Use Trochoid Curve

Fig.3.6은 해석 보조 프로그램으로 Gerotor 치형을 설계한 것이다. Epi-trochoid 곡선과 Hypo-trochoid 곡선을 이용한 두 가지 형태로 설계가 가능하며, 치수, 기본원 반지름, 궤적원 반지름, 편심 등

을 이용하여 다양한 요구조건에 맞는 형태를 제작할 수 있다. 또한 기본적인 형태의 Inlet 및 Outlet Duct 설계와 Tip Clearance 설정이 가능하다.

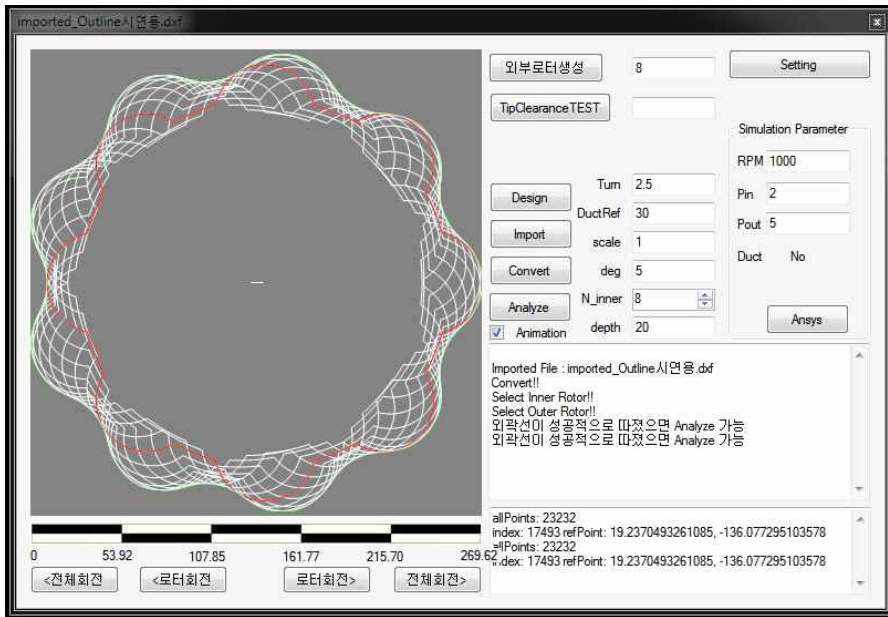


Fig.3.7 Design Mode – Use Arbitrary Curve

Fig.3.7은 Trochoid 곡선 기반이 아닌 다른 방식으로 Gerotor 치형을 설계할 때 사용되는 방법이다. 외부 CAD 프로그램을 이용하여 설계한 내부 치형 정보를 이용하여 외부 치형을 자동으로 설계하는 기능으로 Geocloid나 Megafloid 등 대다수의 상용 로터 치형의 경우 이 방법으로 설계 된다.[8] 내부 로터를 정해진 편심으로 돌린 회전 궤적의 외곽선을 이용하여 외부 로터 치형을 얻게 된다. Concave Hull의 외곽선을 얻는 알고리즘[6]을 이용하여 개발하였으며, 편심과 치수를 입력하면 내부로터 치형에 맞는 외부로터 치형을 설계한다.



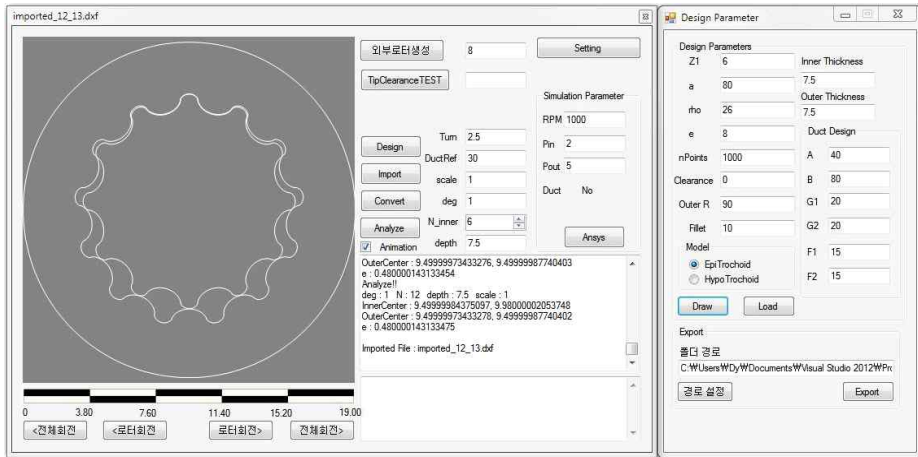


Fig.3.8 Import Mode

Fig.3.8은 이미 내부로터와 외부로터 모두 완성 된 치형을 해석 할 경우에, 완성된 CAD 파일을 입력 받아 해석 가능하게 변환 시켜주는 기능을 보여주고 있다. DXF 형식의 CAD 파일의 입력이 가능하며 설계 방법에 따라 Circle, Spline, Arc 등 다양한 형태로 저장되어있는 로터 형상을 면적 계산이 가능하도록 Polyline 형태로 변환하여 입력 받는다. Circle, Arc 등의 변환은 기본적인 도형의 정의를 활용하였고, Spline과 B-Curve 등은 관련 논문[7]을 참조하여 변환하였다.

### 3. 2. 2 챔버 체적 계산

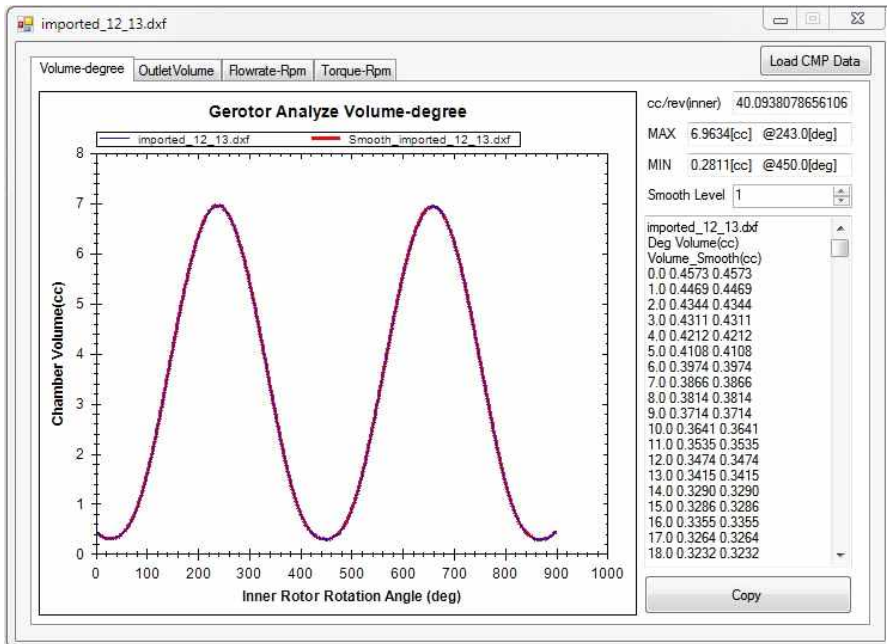


Fig.3.9 Analysis Assistance Program – Chamber Volume

Fig.3.9는 직접 설계하거나 입력 받은 Gerotor Pump의 치형 정보를 이용하여 계산한 Chamber의 체적 변화 곡선이다. Fig.8의 Hydraulic Model의 실린더로 모델링 된 부분의 체적 변화와 같다. 내부로터와 외부로터 사이의 독립된 공간을 하나의 Chamber로 보고 그 Chamber를 추적하여 각도에 따른 체적 변화를 얻어 내었다. CAD 라이브러리를 사용하여 직접 치형의 좌표 값을 이용하여 삼각 구적법으로 계산하였다.

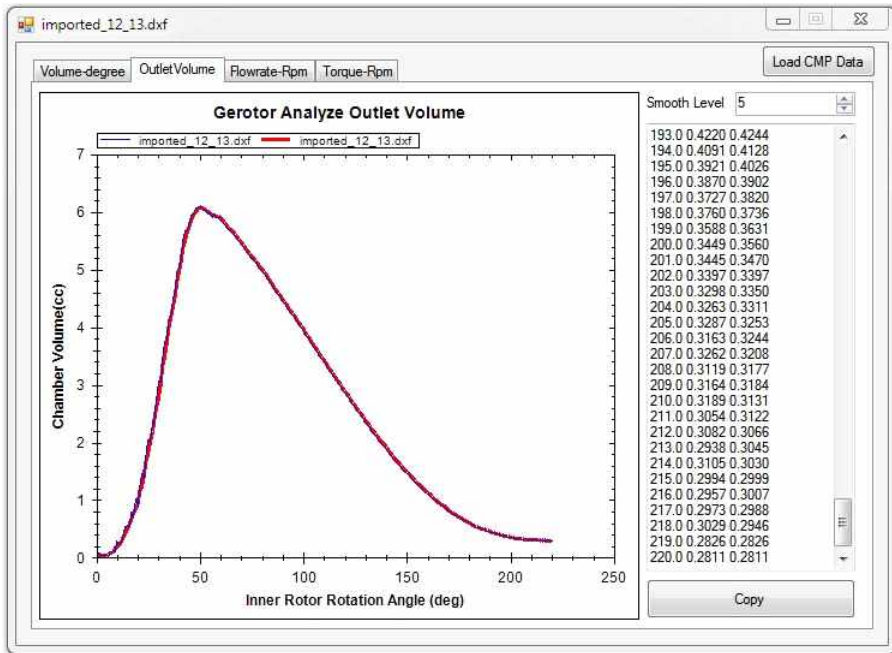


Fig.3.10 Analysis Assistance Program - Discharge Flow Area

Fig.3.10은 Discharge Flow Volume으로 Chamber와 Outlet Duct가 겹치는 부분의 체적으로 Fig.3.2의 에 해당한다. 같은 방법으로 Inlet Duct와 겹치는 면적인  $V_a$ 에 해당하는 Intake Flow Volume역시 구할 수 있다.

따라서 해석 보조 프로그램을 통해 얻은 Chamber Flow Rate 곡선과 Intake/Discharge Flow Volume을 이용하여 AMESim Model 해석이 가능하다. 또한 해석 보조 프로그램은 치형에 따른 이론적인 Torque와 Flow rate를 제공하기 때문에 해석 전에 참고로 활용할 수 있다.

### 3. 2. 3 치형 및 해석 데이터 출력

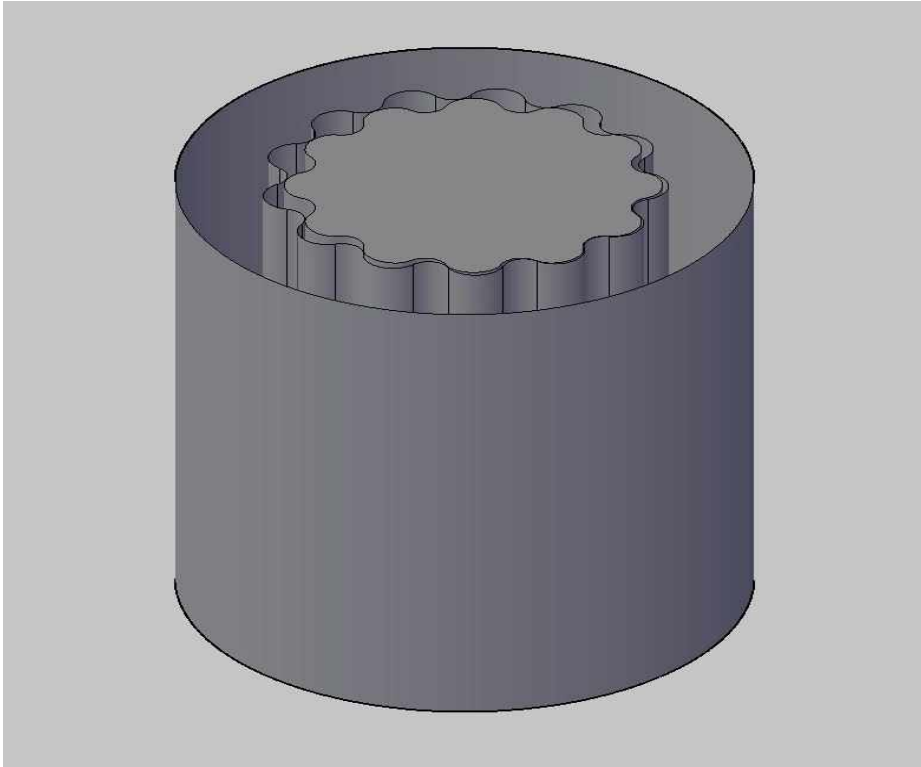


Fig.3.11 CAD Result from Assistance Program

보조 프로그램을 이용하여 설계한 결과는 CAD 파일로 출력이 가능하며, 이를 이용하여 가공이나 수정을 할 수 있다. Fig.3.11은 출력 결과를 캐드 프로그램으로 출력한 결과이며, Duct 형상 및 ANSYS 프로그램에서 해석이 가능하도록 스크립트 파일 형식으로도 출력이 가능하다.

또한 AMESim Model 해석에 필요한 Chamber Flow Rate 곡선과 Intake/Discharge Flow Volume 데이터는 텍스트 파일로 출력하여 AMESim에서 입력 받아 해석이 가능하다.

### 3. 3 시뮬레이션 모델 해석 결과

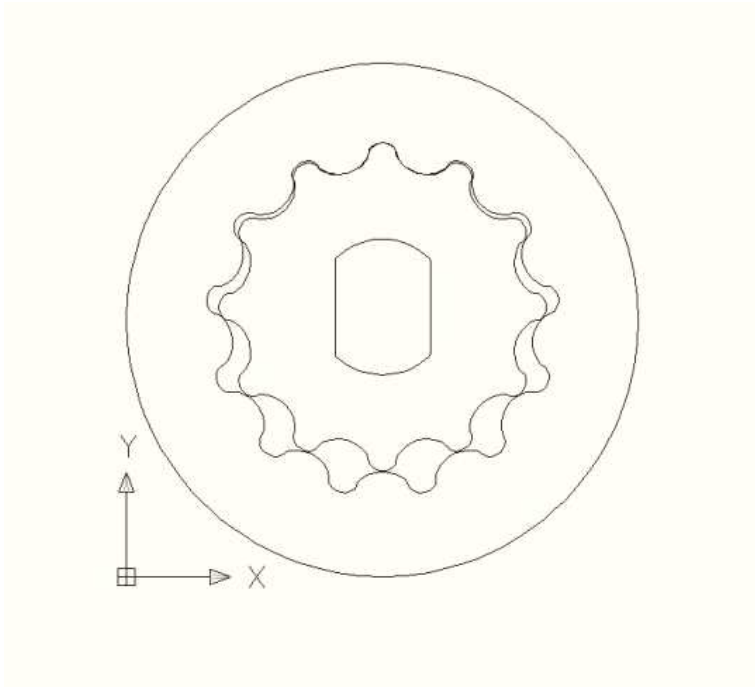


Fig.3.12 Simulation - Gerotor Figure

시뮬레이션에 사용된 치형 모델은 Fig.3.12의 내부로터의 치수가 12개인 치형 모델을 사용하였고, AMESim Model의 출구 오리피스  
의 개폐 정도를 0.1에서 1까지 0.1 간격으로 시행하였으며, 높은  
압력차를 위해서 0.05에서 추가로 시뮬레이션을 시행하였다. 내부  
로터의 회전속도는 500RPM에서 3000RPM까지 500RPM 간격으  
로 시행하였고, Orifice Diameter는 Tip 방향 0.1mm, 다른 방향  
0.16mm로 설정하였다.

### 3. 3. 1 시뮬레이션 결과 - 압력

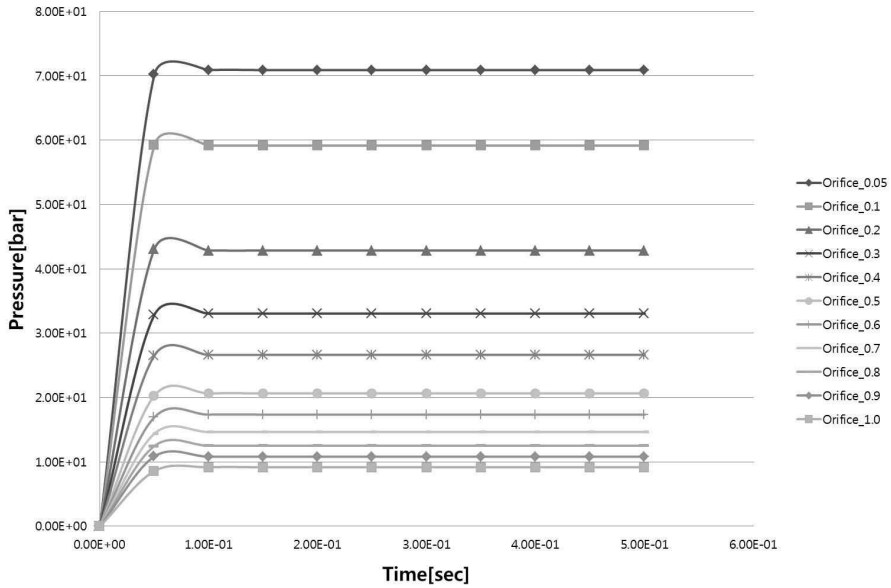


Fig.3.13 Simulation Result – Pressure Difference vs. Time

Fig.3.13은 3000RPM 시뮬레이션의 압력 결과를 나타낸 것이다. 출구 오리피스의 개폐 정도에 따라서 압력이 달라지며, 유량이 어느 정도 흐른 뒤에 안정화 되는 것을 확인 할 수 있다. 입구 압력을 0bar로 고정했기 때문에 출구 압력을 입구와 출구 사이의 압력차로 볼 수 있으며, 안정화 된 이후인 0.4초 이후의 압력 값을 사용하여 Flow Rate와 Torque를 나타낸다. 같은 방법으로 500RPM부터 3000RPM까지 500RPM 간격으로 시뮬레이션 하였으며, Fig.3.13 과 같은 그래프 개형을 보여주었고, 회전 속도가 낮을수록 더 낮은 압력 차이가 나타났으며, 결과는 종합하여 Fig.3.15에 함께 나타내었다.

### 3. 3. 2 시뮬레이션 결과 - 토출 유량

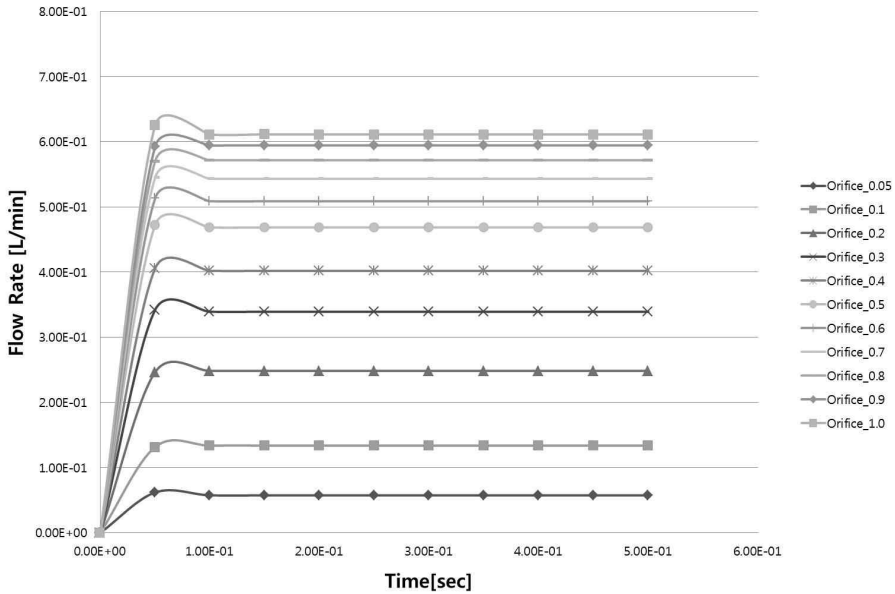


Fig.3.14 Simulation Result - Flow Rate vs. Time

Fig.3.14는 3000RPM에서의 분당 토출 유량을 나타낸 것이다. 오리피스 개폐 정도에 따른 압력 차이와 모터 회전 속도에 따라 토출 유량은 달라지며, 압력 차가 작을수록, 모터 회전 속도가 빠를수록 토출 유량이 커지게 된다. 같은 방법으로 500RPM부터 3000RPM 까지 500RPM 간격으로 시뮬레이션 하였으며, Fig.3.14와 같은 그래프 개형을 보여주었고, 회전 속도가 높을수록 더 높은 토출 유량을 보였고, 결과는 종합하여 Fig.3.15에 함께 나타내었다.

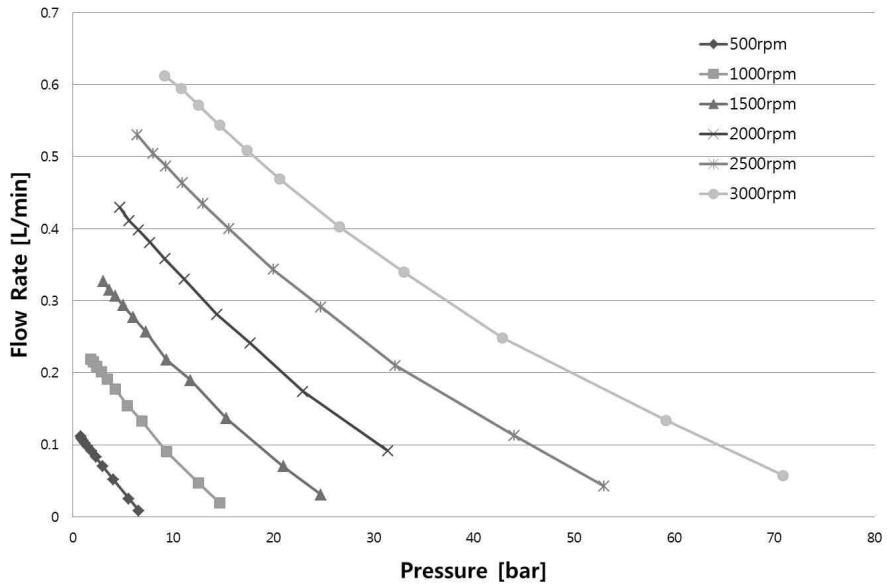


Fig.3.15 Simulation Result – Flow Rate vs. Pressure Difference

Fig.3.15는 시뮬레이션에서 얻은 유량 측정 결과로, RPM에 비례해서 유량이 증가하고 압력이 증가함에 따라 유량이 선형적으로 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 로터 회전 속도에 따라서 사용 가능한 최대 압력차를 알 수 있기 때문에, 요구 조건에 따른 로터 회전 속도를 설정하는 데에 도움이 될 수 있다.



### 3. 3. 3 시뮬레이션 결과 - 토크

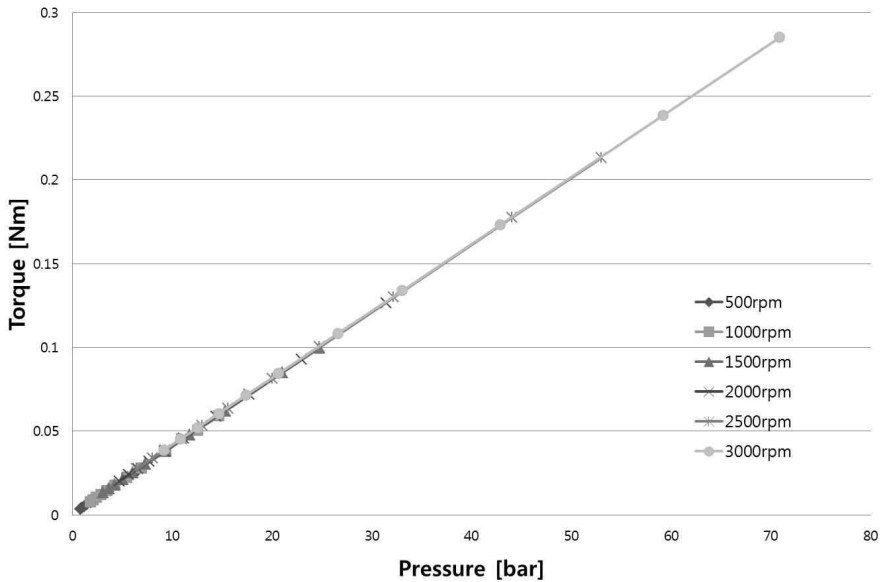


Fig.3.16 Simulation Result - Torque vs. Pressure Difference

Fig.3.16은 시뮬레이션에서 얻은 토크 측정 결과로 RPM에 의한 차이는 없으며, 입구와 출구 압력차이가 토크에 지배적인 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있다. 이는 토크의 경우에 기계 효율을 적용시키지 않았기 때문으로, 식 (9)의 이론값에서 기계 효율이 100% 일 때와 같은 결과이다.

$$\frac{D \times P}{2 \times \pi \times E} \quad (9)$$

이를 실측 실험 결과와 비교해보면, 펌프의 기계 효율을 얻을 수 있으며, 여러 가지 로터 형상에 대한 축적된 데이터를 얻은 후에는, 로터 회전 속도와 입·출구 압력 차에 의한 기계 효율 경향을 적용시켜, 실측 실험 없이 실제와 유사한 토크 값을 얻을 수 있다.

## 4. 실측 실험

### 4. 1 실험 리그 구성

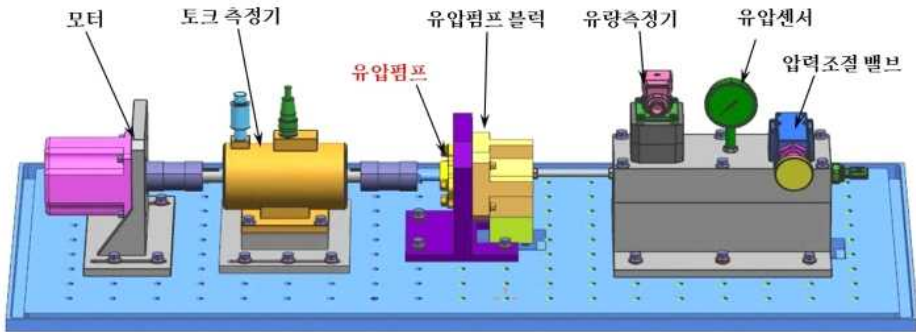


Fig.4.1 Experimental rig

Fig.4.1은 Gerotor 유압 펌프의 성능 평가를 위해 제작한 유압 펌프 성능 평가 시험 리그이다. 모터, 토크 측정기, 유량 측정기, 유압 센서 및 압력 조절 밸브로 구성되어 있으며 유압펌프 블록에 유압 펌프를 장착하여 성능 평가를 시행 할 수 있다. 모터 회전수와 입·출구 압력에 따른 펌프의 토출유량과 토크를 측정한다.

#### 4. 1. 1 실험 리그 사양

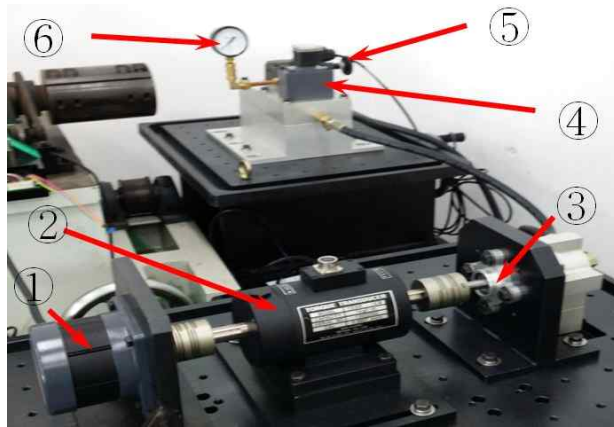


Fig.4.2 Picture of Experimental rig

Fig.4.1은 실측 실험에 사용된 Gerotor 펌프 성능 평가 시험 리그이다. Fig.4.2와 같이 구성되었으며 각 구성품의 세부 사양은 Table.4.1과 같다.

구분	구성품	형식	사양	비고
①	모터	BLDC	0 ~ 3000rpm / 0 ~ 0.6Nm	SWIS
②	토크 측정기	Strain	0 ~ 9.8Nm	SETech
③	유압펌프	-	-	-
④	유량 측정기	GearPump	0 ~ 4L/min	KRACHT
⑤	압력조절밸브	오리피스	On/ Off 방식	-
⑥	압력센서	아날로그	0 ~ 50 bar	-

Table.4.1 Experimental Rig Specification

## 4. 2 실측 실험 결과



Fig.4.3 Experiment - Gerotor Figure

실험에는 Fig.4.3의 Gerotor 치형을 사용하였으며 Fig.3.12의 CAD 형상을 가공하여 제작하였다. 입·출구 압력차를 기준으로 0bar에서부터 30bar까지 5bar 간격으로, 모터 회전수는 500rpm부터 3000rpm까지 500rpm 간격으로 진행하였다.

#### 4. 2. 1 유량 계측 결과

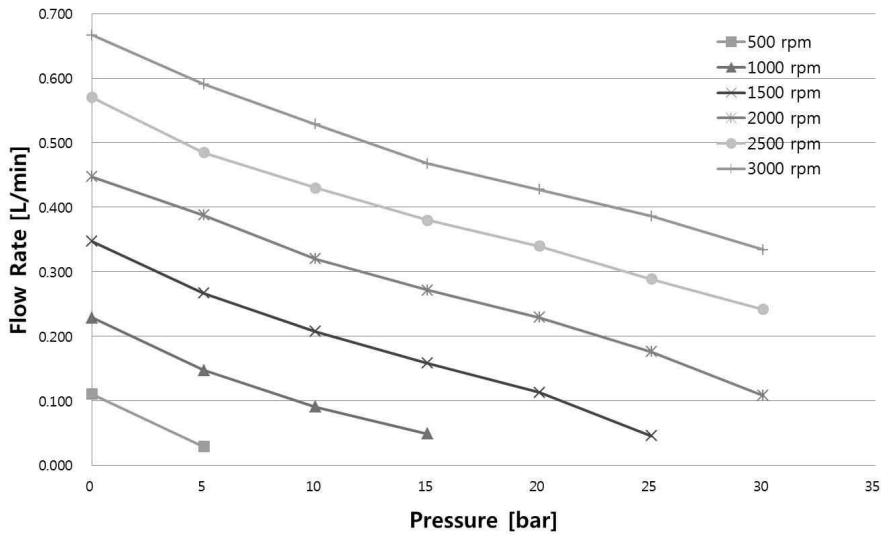


Fig.4.4 Experimental Result – Flow Rate vs. Pressure Difference

Fig.4.4는 실측 실험에서 얻은 유량 계측 결과로, RPM에 비례해서 유량이 증가하고 압력이 증가함에 따라 유량이 선형적으로 감소하는 것을 볼 수 있으며 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

#### 4. 2. 2 토크 계측 결과

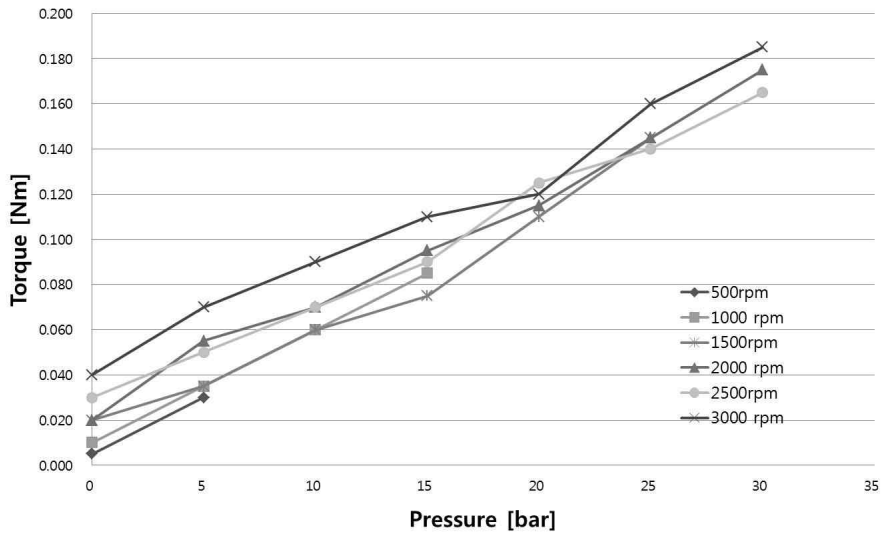


Fig.4.5 Experimental Result – Torque vs. Pressure Difference

Fig.4.5는 실측 실험에서 얻은 토크 계측 결과로 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 보이지만, 기계 효율의 영향으로 시뮬레이션 결과와 비교해서 약간씩 높은 토크가 요구되었다. 이 결과를 이용해서 식 (9)에서 기계효율인  $\eta$  을 구할 수 있는데, 기계효율은 로터 회전 속도가 커질수록 더 떨어지는 것으로 나타났다.

## 5. 결론

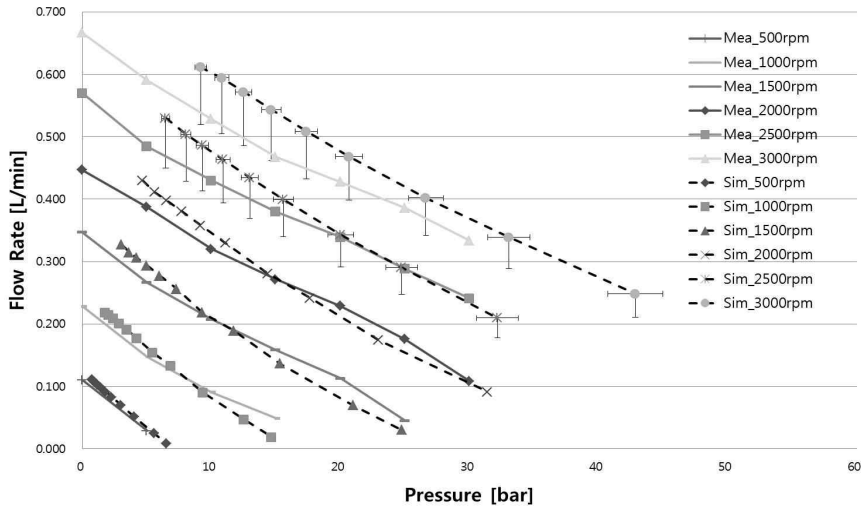


Fig.5.1 Simulation and Experiment Result – Flow Rate vs. Pressure Difference

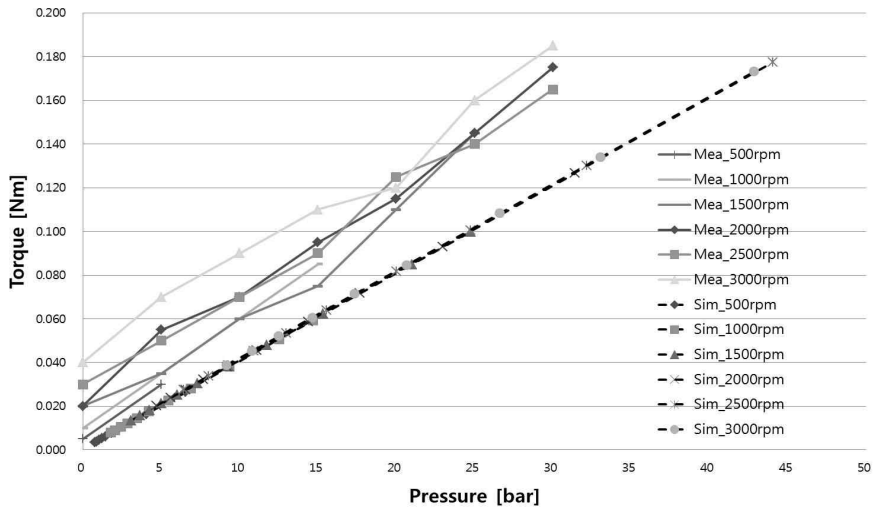


Fig.5.2 Simulation and Experiment Result – Torque vs. Pressure Difference

본 연구에서 개발한 1D 모델의 시뮬레이션 결과와 실측 실험을 통해 얻은 결과를 비교해 봤을 때, 압력에 따른 유량과 토크의 그래프 개형이 매우 유사함을 확인 할 수 있었다. 이는 Gerotor Pump의 치형에 따른 펌프 특성을 시뮬레이션을 통해서 예상할 수 있다는 것을 뜻한다. 특히 Fig.5.1의 그래프를 보면 펌프 성능에 있어 중요한 특성인 RPM에 따른 압력-유량 그래프에 있어, 실측 실험과 크게 차이가 없고 모든 구간에서 10% 이내의 차이를 보였다. 또한 Fig.5.2의 압력-토크 그래프의 경우, 시뮬레이션 환경에서는 기계 효율을 고려해 주지 않았기 때문에 실측 실험에 비해 적은 토크 결과값이 나왔지만, 실측 실험 결과를 토대로 구한 기계 효율을 고려한다면 신뢰 할 수 있는 시뮬레이션 모델이라고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 AMESim을 활용한 시뮬레이션 모델과 이를 위한 해석 보조 프로그램을 이용한다면, 요구 특성에 맞는 다양한 Gerotor Pump를 보다 적은 비용과 시간으로 개발 할 수 있다. 또한 다른 연구에서 고려되지 못한 토크까지 해석이 가능한 모델로서, 본 연구의 목적이 되는 4WD 차량용 Transfer Case용 펌프 개발에 특히 도움이 될 것이다.



## 참고 문헌

- [1] Wolfgang Schweiger, Werner Schoefmann, Andrea Vacca (2011). Gerotor Pumps for Automotive Drivetrain Applications: A Multi Domain Simulation Approach. *SAE Intn'l 2011-01-2272*.
- [2] M.Fabiani, S.Manco, N.Nervegna, M.Rundo, G.Armenio, C.Pachetti, R.Trichilo (1999). Modelling and Simulation of Gerotor Gearing in Lubricating Oil Pumps. *Society of Automotive Engineers, 99P-464*.
- [3] S.Manco, N.Nervegna, M.Rundo, G.Armenio, C.Pachetti, R.Trichi (1998). Gerotor Lubricating Oil Pump for IC Engines. *SAE Intn'l FL98(San Francisco)*.
- [4] L.Ivanovic, G.Devedzic, N.Miric, S.cukovic (2010). Analysis of Forces and Moments in Gerotor Pumps. *Mechanical Engineering Science, Vol.224 Part C*.
- [5] Y.J.Chang, J.H.Kim, C.H.Jeon, Chul Kim, S.Y.Jung (2007), Development of an Integrated System for the Automated Design of a Gerotor Oil Pump, *Journal of Mechanical Design, Vol.129, 1099-1105*.
- [6] J.S.Park, S.J.Oh (2012), A New Concave Hull Algorithm and Concaveness Measure for n-dimensional Datasets, *Journal of Information Science and Engineering, Vol.28, 587-600*.
- [7] Aleksas Riskus (2006), Approximation of A Cubic Bezier Curve by Circular Arcs and Vice Versa, *information Technology and Control, Vol.35, 371-377*.
- [8] Kentaro Yoshida, Masato Uozumi (2012), Development of High Efficiency Internal Gear Pump Rotor "Geocloid

Rotor", *SEI Technical Review*, Vol.74, 43-47.

Abstract

# 1D Modeling and Verification of Gerotor Pump

Jin-seung Yoo

School of Mechanical & Aerospace Engineering  
Seoul National University

In this paper, a 1D simulation model for calculation of outlet volumetric flow and torque using geometry of gears of a gerotor pump is developed and validity of the model is verified with actual measurement of these physical values. A gerotor pump is a fixed displacement internal gear pump which is widely used for vehicle hydraulics and oil pumps due to its ability to be designed in various requirements and sizes while being easy to manufacture and assemble. In this study, an AMESim 1D analysis model has been developed particularly for analyzing pumps for transfer cases in 4WD vehicles. Moreover, a GUI based analysis assistance program has been developed in order to acquire gear geometry data used for AMESim model an analysis. This supplementary program calculates a curve on chamber area for degree, intake area and discharge area based on gear geometry to be used on AMESim analysis. Furthermore, an experiment rig capable of measuring torque and outlet volumetric flow

has been built in order to analyze a commercial gerotor geometry for verification of validity of the developed model. Comparing the measurement data with the analysis model verified validity of the model very well. Using the program and the model developed in this research on designing gerotor pumps applicable for vehicles on various uses, it is assumed that development term and price could be greatly reduced.

**Key words: Gerotor Pump, AMESim, Transfer Case, 1D Modelling, GUI Program**

**Student Number: 2012-23176**