

에너지 절약형 유압 파워팩 개발 Development of Hydraulic Power Pack for Energy Saving

함영복 · 김광영 · 최준혁 · 전병국

Y. B. Ham, K. Y. Kim, J. H. Choi and B. K. Jeon

1. 서 론

유압시스템은 전기모터, 가솔린 또는 디젤 엔진 등의 원동기에 의해 유압펌프를 구동하는 유압동력 변환기 즉, 유압동력 발생장치(hydraulic power pack, 이하 '유압 파워 팩'이라 한다)를 이용한다. 현재 전기모터를 동력원으로 사용하는 방식은 축 이음 장치인 커플링 또는 벨트의 사용이 불가피하고, 축 방향으로 길게 배치되어 설치되므로 인해, 전동기, 축 이음, 유압펌프는 각각 소음을 발생시키게 된다. 또한 유압 펌프 설치용 브라켓을 통해 전동기의 회전축 중심과 브라켓의 얼라인먼트(alignment)를 맞추어야 하는 문제점과 설치면적이 넓다는 제약조건을 가지고 있다.

이와 같이 유압 파워 팩의 설치 공간상의 제약과 소음문제를 해결하고자 전동모터와 유압 펌프를 일체화하려는 연구가 진행되어져 왔는데, 그림 1, 그림 2와 같이 하나의 하우징(housing) 내에 전동기와 가변용량펌프를 동축(同軸)으로 배치하여, 전동모터의 회전에 따라 가변용량펌프가 구동 되도록 한 연구¹⁾와 유압펌프와 전동모터가 동일 축에 배치되고, 하우징으로 분리되는 구조는 동일하나 유압펌프로부터 드레인(drain)되는 작동유가 전동모터로 유도되도록 하우징내에 유로가 형성되어 전동모터 내부의 열을 순환하는 방식의 연구²⁾ 진행되었다.

그림 1과 그림 2는 기존 전동모터의 동력을 유압펌프로 전달하는 커플링 또는 벨트 등의 장치 없이 유압펌프와 전동모터가 단일축으로 연결되는 구조이며, 흡입은 전동기의 회전자를 거쳐 작동유가 흡입되도록 하고, 드레인유는 유압펌프의 작동유가 전동모터로 누설되지 않도록 하우징으로 완전히 분리되어있는 방식이다.

그러나, 이러한 전동모터 직결형 유압펌프는 전동모터와 유압펌프가 동축으로 연결되어 있기는 하나, 이들을 서로 분리하는 하우징이 있어 전체 장치를 소형화하기가 곤란하고, 조립이 어려우며, 부

품수가 많아지고 전동모터와 유압펌프를 결합하는 축의 길이가 길어지므로 소음과 진동을 저감시키는 데 한계가 있다.

따라서, 본 연구는 전술했던 것과 같이 기존 장치에서 발생하는 문제점을 해결하고자, 유압펌프의 실린더 배럴(cylinder barrel)과 전동모터의 회전자(rotator)를 결합하여, 축 방향 길이를 단축하고, 전동기에서 발생하는 열은 장치내부를 순환하는 유압 작동유로 냉각하는 구조의 유압펌프 일체형 전동기를 개발하는데 목적을 두었으며, 고효율이며, 에너지절약형 전기모터-가변펌프 유압파워팩 개발을 위하여 그림 3과 같은 구조의 펌프를 고안하였다.

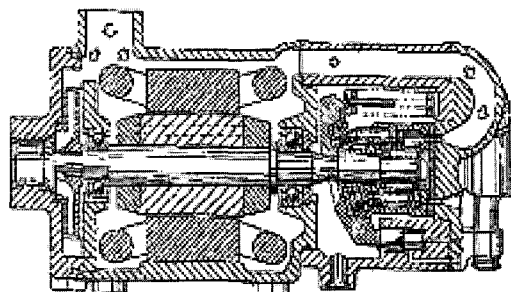


그림 1 전기모터-펌프 일체형 유압펌프
(미국특허 - 3,672,793)

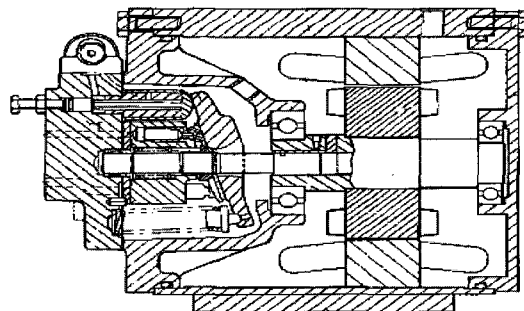


그림 2 전기모터-펌프 일체형 유압펌프
(일본특허-9-88807)

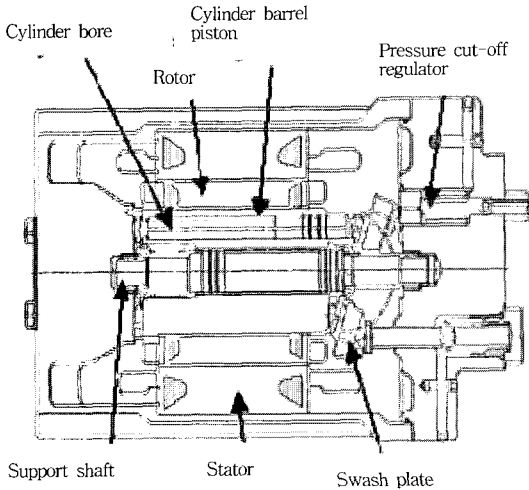


그림 3 유압펌프 시스템 단면도

2. 유압 피스톤 펌프 일체형 전동기의 설계

2.1 전동기 회전자 저항 변수들

고효율의 에너지 절약형의 유압파워팩을 만들기 위해서는 고효율의 유도전동기가 필요하며, 현재 사용되고 있는 유도전동기의 성능은 회전자의 다음과 같은 변수들을 조정함으로써 그 성능을 향상시킬 수 있다. 회전자 저항(R_r), 회전자 누설 인덕턴스(L_{lr}), 고정자 누설 인덕턴스(L_{ls}), 여자인덕턴스(Excitation inductance, L_m), 철손(R_m) 등이 변수들이며, 각각의 변수에 대하여 간략히 설명하면 다음과 같다.

2.1.1 회전자 저항(R_r)

회전자 도체는 통상 알루미늄과 구리합금으로 이뤄지는데 ω_{sl} 의 크기에 따라 전류 분포가 달라지는 표피효과에 의해 저항 값이 달라진다. 이는 초기 기동 시 ($\omega_{sl} = \omega_e$) 기동 토크를 크게 하며, 정상 운전 시 ($\omega_{sl} \ll \omega_e$)에는 회전자 저항이 줄어들어 운전 효율을 향상시킬 수 있으며, 또한 회전자 도체의 형태에 따라 기동특성이 개선된다. R_r 회전자 도체인 구리합금의 물리적 특성에 의한 온도함수는 다음과 같다.

$$R_{ratT} = R_{r75} \cdot \left(\frac{235 + T}{310} \right) [\Omega] \quad (1)$$

여기서 회전자 표면 온도는 75°C 를 기준으로 계산한다. 그림 4는 표피효과를 고려하여 기동특성을 개선하기 위한 여러 회전체 도체의 구조를 나타내고 있다.



그림 4 표피효과를 고려한 기동특성 개선형 회전체 도체 구조

2.1.2 회전자 누설 인덕턴스(L_{lr})

회전자의 누설 인덕턴스도 표피효과에 영향을 받는데 ω_{sl} 이 증가함에 따라 L_{lr} 이 감소하는 특성을 나타낸다. 또한 회전자도체가 파묻혀 있는 폐쇄형 슬롯은 좁은 영역에 자속이 집중되어 자기포화에 따른 L_{lr} 값이 급격히 감소하며 전형적인 회전자 구조는 그림 5 과 같은 관계를 갖는다. 보다 개선된 개방형 슬롯은 전류의 크기에 따라 L_{lr} 값이 개선된 특성을 가진다.

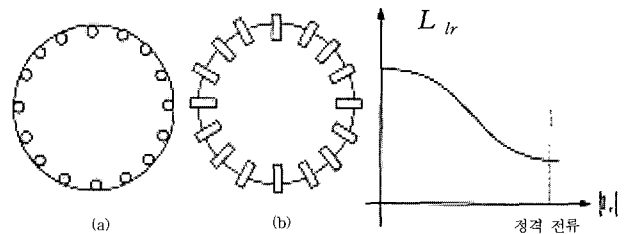


그림 5 a)폐쇄형과 b)개방형 슬롯구조와 회전자 누설 인덕턴스와 회전자 전류의 관계

2.1.3 고정자 누설 인덕턴스(L_{ls})

고정자 권선의 누설 인덕턴스는 고정자 슬롯이 개방되어 있기 때문에 회전자 인덕턴스 만큼 전류의 세기에 민감하지 않지만 $|I_s|$ 에 따라 공극자속의 크기가 10% 가량 변화 된다.

2.1.4 여자 인덕턴스 (Excitation inductance, L_m)

여자 인덕턴스는 여자전류의 크기(공극 자속의 크기), $|I_m|$ 에 따라 값이 수십 %가 변화하는데 전형적인 특성은 그림 6과 같다.

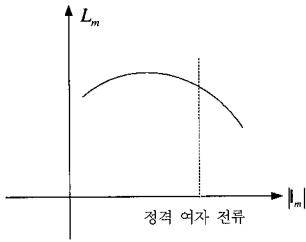


그림 6 여자 인덕턴스와 전류의 변화

2.1.5 철손(R_m)

철손은 전동기의 공극 자속의 크기, 전원 주파수에 따라, R_m 으로 표시되는데 와류손실과 히스테리시스손실(hysteresis loss)로 나누어지는데, 와류손실은 $w_e^2 |\lambda_m|^2$ 비례하고, 히스테리시스손실은 $w_e^2 |\lambda_m|^{1.6}$ 에 비례하므로 철손 관계식은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$R_m = (K_e + \frac{K_h}{w_e |\lambda_m|^{0.4}}) [\Omega] \quad (2)$$

2.2 유압펌프 전동기의 선정 및 기본설계

펌프의 출력동력 변화에 관한 이론적인 배경을 서술하고, 유압펌프 구동용 전기모터의 선정과 관련된 기본적인 수식관계를 설명한다. 또한 ‘유압펌프/전기모터 일체형 동력변환기’의 전기동력(electric power, 입력)에 대한 유동력(oil power, 출력)의 동력 변환 효율 관계를 정의하여 개발품에 대한 성능을 평가 기준을 설정 하고자 한다.

2.2.1 유압펌프의 유동력(Oil Power) 계산

유압펌프의 출력동력은 펌프의 토출유량(Q)과 토출압력(P_d)의 곱으로 나타낼 수 있으며, 토출유량과 토출압력의 단위가 각각 [ℓ/min], [kgf/cm^2] 인 경우, 유압펌프의 출력동력(P_{hydout})은 다음과 같다.

$$P_{hydout} = \frac{P_d \cdot Q}{612} [\text{kW}] \quad (3)$$

유압펌프의 이론토크를 T_{th} , 배제용적(유압펌프의 1회전당 송출용적)을 V_{th} 라 하면, 펌프의 축을 1회전시킬 때의 투입되는 일량은 $T_{th} \times 2\pi$ 이고, 그 결과로서 V_{th} 인 용적의 유압유에 P_d 만큼의 압력에너지가 주어지므로, 유압유에 주어지는 에너지는

$P_d \cdot V_{th}$ 로 된다. 에너지 손실이 없다고 생각한 경우 $2\pi T_{th}$ 와 $P_d V_{th}$ 의 양자는 같으므로, V_{th} 의 단위가 [cc/rev]인 경우, 유압펌프의 이론토크는 다음과 같다.

$$T_{th} = \frac{P_d V_{th}}{200\pi} [\text{kgf} \cdot \text{m}] \quad (4)$$

그러나 유압펌프 내부의 마찰손실 토크 ΔT 때문에 실제의 축의 토크 T 는 다음과 같이 된다.

$$T = T_{th} + \Delta T \quad (5)$$

유압펌프를 회전시키는 데 필요한 축의 토크를 $T[\text{kgf} \cdot \text{m}]$ 이라하고, 펌프의 회전속도를 $M[\text{rpm}]$ 이라고 하면, 펌프 입력동력 P_{hydin} 은 다음과 같다.

$$P_{hydin} = \frac{N \cdot T}{974} [\text{kW}] \quad (6)$$

2.3 전동기 회전자의 전기장 해석

2.1절과 2.2절에서 서술한바와 같이 전동기 효율을 높이기 위하여 여러 변수들을 감안하여 한다. 전동기를 회전자를 설계하였다. 이 절에서는 설계된 회전자의 전기장을 시뮬레이션 해석 툴을 이용하여 해석하여 보았다.

2.3.1 해석 모델

일체형 유압동력 발생 유닛은 사판식 액셀 피스톤 펌프(swashplate type axial piston pump) 구동용 전동기의 고정자와 회전자, 실린더 배럴, 그리고 피스톤의 왕복운동 스트로크를 조절하는 사판으로 구성되어 있으며, 그림 7에서는 회전자와 실린더 배럴이 별도로 제작되어 결합된 1차 시제품과 회전자에 직접 실린더 배럴의 홀을 형성하여 일체형으로 제작된 2차 시제품의 단면도를 나타내었다. 유도 전동기에서 발생하는 토크는 다음 식에 의해서 계산된다.^{3,4)}

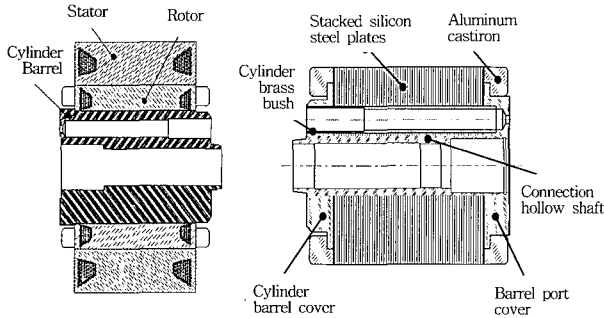
$$T = 2\pi r^2 l B_g K_r [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (7)$$

여기에서 r 과 l 은 각각 회전자의 반경과 축 방향 길이를 의미한다. 이 때, 회전자에 삽입된 도체봉(conductor bar)에 유기되는 전류를 단위 길이당면 전류로 환산하면 다음 식과 같다.

$$K r = \frac{d_e r}{\rho} B_g (w_s - w_o) \quad [A/m] \quad (8)$$

여기에서 ρ 는 회전자 도체 봉의 저항률(electric resistivity)을 의미한다. 따라서 식 (7)과 (8)에 의해 발생 토크는 다음과 같다.

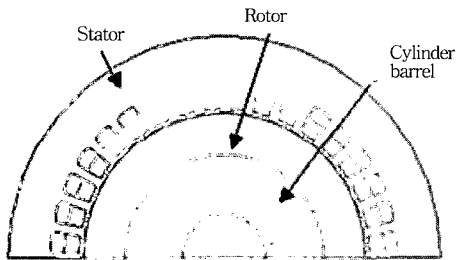
$$T = \frac{2\pi r^3 l d_e}{\rho} B_g^2 (w_s - w_o) \quad [N \cdot m] \quad (9)$$



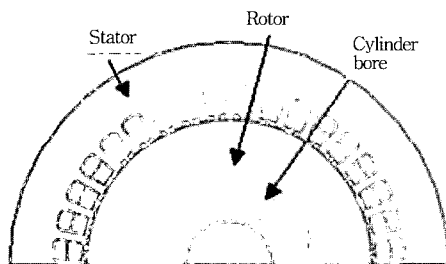
(a) 1차 시제품 (b) 2차 시제품

그림 7 1, 2차 시제품의 회전자와 실린더 배럴 단면도

식 (9)에 의하면, 유도 전동기의 발생 토크는 공극에서의 자속밀도의 제곱에 비례한다. 전동기 회전자의 중심에 유압 펌프가 삽입된 경우에는 회전자 부분의 자로(magnetic flux path)가 일반 전동기보다 작아지기 때문에 이점을 충분히 고려하여야



(a) Cylinder barrel inserted type



(b) Cylinder hole built-in type

그림 8 전기장 해석 모델

한다. 기존의 실린더 배럴 삽입형 전동기는 그림 8(a)에 보이는 것처럼 전동기의 회전자와 실린더 배럴이 별도로 제작되어 결합된 것으로 고정자의 재질과 실린더 배럴의 재질이 서로 다르게 되어 있다. 또, 실린더 배럴은 탄소강 주물을 사용한 것이기 때문에, 자계의 변화에 따른 와전류가 발생하여 전동기의 특성에 영향을 미치게 된다.

그림 8(b)에는 회전자에 직접 실린더 배럴의 홀을 형성하여 일체형으로 제작된 것으로, 별도의 실린더 배럴을 사용하는 경우에 비하여 회전자의 안쪽에 충분한 자로가 형성되며 와전류에 영향도 억제할 수 있게 된다.

2.3.2 해석 결과

표 1에는 유압펌프 구동용 유도 전동기의 사양을 나타내고 있다. 입력전압 220[V], 60[Hz]에 대해서 과도 상태를 해석하였으며, 정상상태에 도달하였을 때의 특성을 해석, 비교하였다.

그림 9에는 실린더 배럴 삽입형 유도 전동기를 해석한 결과를 나타낸다.

표 1 유도전동기의 사양

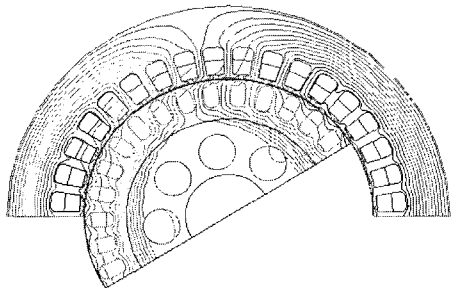
Input Voltage	220 V
Frequency	60 Hz
Rating Speed	3530 rpm
Rating Torque	45 Nm
Stator slot	36
Rotor slot	30
Length	120 mm
Air-gap	0.5 mm
Coil turns per slot	66 turns

그림 9 (a)의 자속선의 분포에 의하면, 실린더 배럴에서 발생된 와전류에 의한 영향으로 자속이 실린더 배럴 안 쪽으로 침투하지 못하고 회전자 철심으로만 흐르게 된다. 따라서 그림 9 (b)의 자속밀도의 분포도에서 확인할 수 있는 바와 같이 회전자 안쪽의 자로에서의 자속밀도가 높게 나타난다.

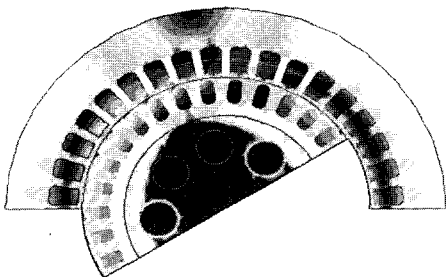
그림 10 (a)에는 실린더 홀이 가공된 일체형 회전자에서의 자속선의 흐름을 나타내고 있다. 자속은 회전자의 실린더 홀 영역을 피해서 흐르기 때문에 자로가 조금 좁아져 결과적으로 자속은 알루미늄 봉과 실린더 홀 사이의 공간을 피해서 흐르게 된다. 따라서 이 부분의 자속밀도는 실린더 홀이

없는 경우보다는 조금 높게 나타나지만, 실린더 배럴 삽입형으로 사용하는 경우보다는 낮게 나타난다. 그림 10 (b)에는 회전자에 실린더 홀이 가공된 일체형 전동기에서의 자속밀도를 보이고 있다. 그림 11에는 두 가지 경우에 대한 과도상태 해석 결과를 보이고 있으며, (a), (b), (c)에는 각각 토크, 고정자 권선 전류, 전력손실에 관한 그래프를 보이고 있다. 회전자를 구성하는 방법에 따라 자속의 분포에 영향을 미치며, 전동기의 토크 특성에도 영향을 미치는 것이 확인 되었다. 실린더 배럴을 삽입한 경우에는 제안된 실린더 홀 형성 방법보다 발생 회전자의 토크가 더 작게 발생되고, 고정자 권선에 흐르는 전류는 더 높으며, 전력 손실은 더 많은 것으로 나타났다.

유한요소법에 의한 해석을 통해 실린더 배럴 삽입형과 실린더 보어 형성방식을 비교하여 해석한 결과 전동기의 토크 특성이 개선되었으며, 손실이 감소하여 전체적인 효율이 좋아짐을 알 수 있었다. 회전자 내에 실린더 보어를 형성한 방법이 기존의 실린더 배럴을 삽입한 방법보다 유압펌프 일체형 전동기에 적합하며, 제작공정 면에서도 효과적임을 알 수 있었다.

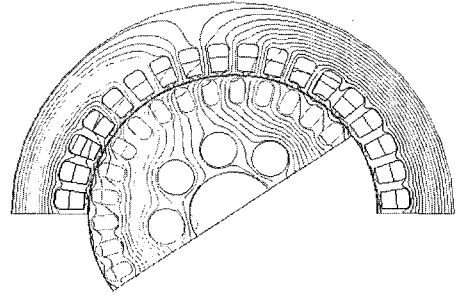


(a) Flux line distribution

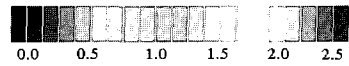
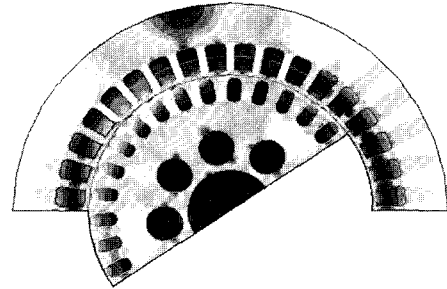


(b) Flux density distribution

그림 9 실린더블럭과 전동기 회전자결합형의 전기장 해석결과

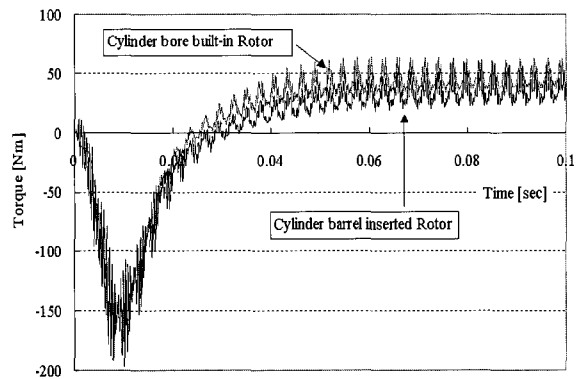


(a) Flux line distribution

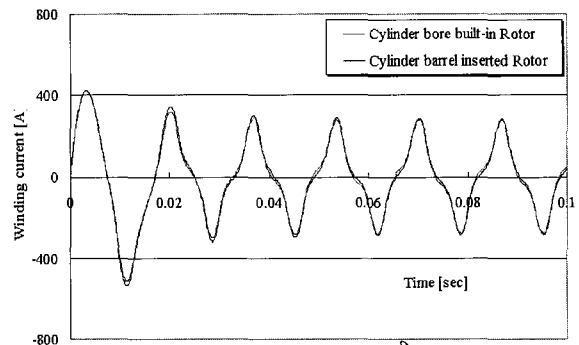


(b) Flux density distribution

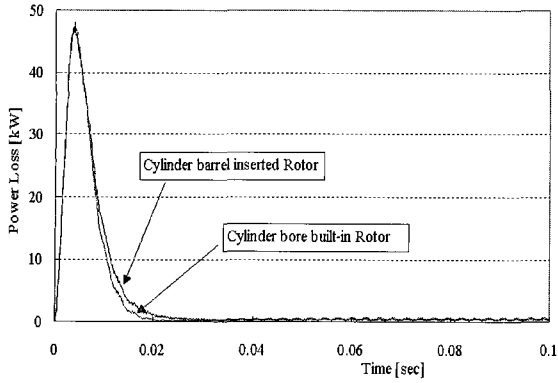
그림 10 실린더블럭과 전동기 회전자 일체형의 전기장 해석결과



(a) Torque



(b) Winding current



(c) Power loss

그림 11 과도응답 해석결과

3. 펌프 일체형 전동기 성능 실험

3.1 실험 방법 및 시험기

유압 피스톤 펌프 일체형 전동기의 성능실험을 위한 시험기의 유압 회로도와 사진을 각각 그림 12 와 그림 13에 나타내었다.

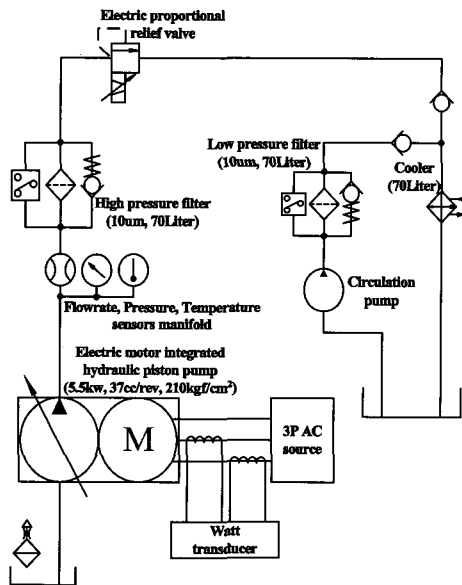


그림 12 시험기의 유압 회로도

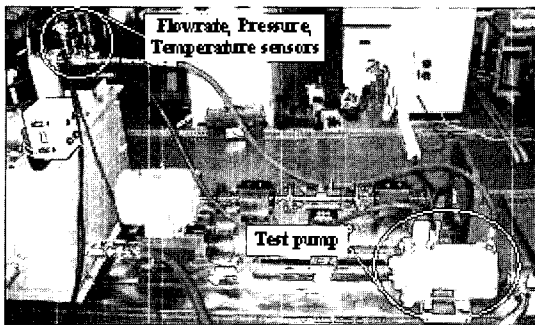


그림 13 펌프일체형 전동기의 시험장비

전자비례릴리프 밸브를 이용하여 펌프로부터 토출 되는 압력부하를 발생시켜 일체형 전동기에 대한 회전 부하를 가하고, 이때 유량, 압력, 온도, 전력 센서에서 계측되는 변화 값을 컴퓨터에 저장하고, 표시하도록 구성하였다.

3.2 실험 결과

3.2.1 pressure-cut off 특성시험

그림 14~16은 본 연구에서 개발한 유압펌프일체형 전동기의 시작품에 대한 성능시험 결과이다. 유압펌프의 사양은 배제용적 37cc/rev, 최대 부하압력 210kgf/cm²이고, 외부 부하로부터 펌프를 보호하기 위해 최대 부하압력을 70kgf/cm²에서 컷-오프 (cut-off)할 수 있는 압력제어 레귤레이터가 부착되어 있다. 컷-오프 압력 지점에서 토출유량이 급격히 감소하기 시작하여, 약 63kgf/cm²에서는 약 6L/min의 유량이 토출되었다.

그림 14에서 유압펌프의 입력토크는 컷-오프 압력 이전까지 서서히 증가하다가 컷-오프 압력에서 유량이 감소하는 것과 동시에 입력토크 또한 감소하는 경향을 보였다. 이것은 유압펌프의 입력토크는 유압펌프의 배제용적과 부하압력의 곱으로 나타낼 수 있는데, 본 실험에 사용된 유압펌프의 레귤레이터는 부하압력이 컷-오프 설정압력이 되면 유압펌프의 경사판을 토출유량이 감소하는 방향으로 제어함으로써 유압펌프의 과부하를 방지하는 역할을 한다.

그림 15, 16은 유압펌프의 배제용적을 27cc/rev로 하고, 토출부하압력을 약 85kgf/cm²까지 가하여 실험한 결과로써, 그림 15는 토출압력 변화에 대한 토출유량의 변화를 나타낸 선도이고, 그림 16은 유압펌프의 효율선도를 나타낸 것이다.

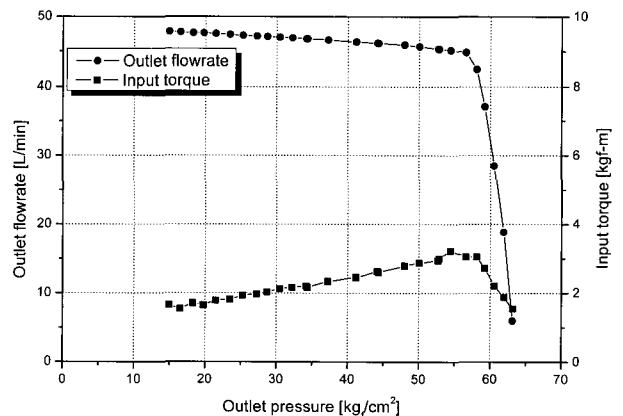


그림 14 토출압력 컷-오프 선도

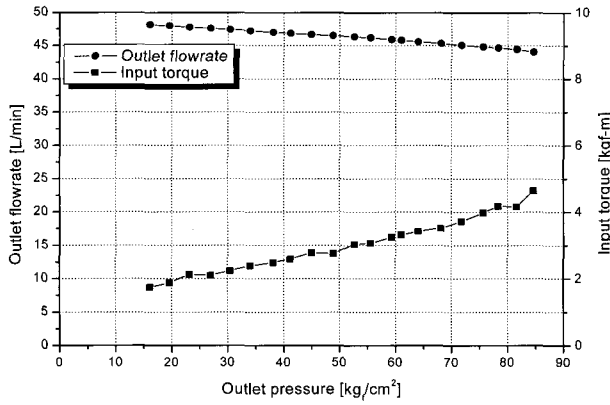


그림 15 토출압력 변화에 따른 토출유량 변화

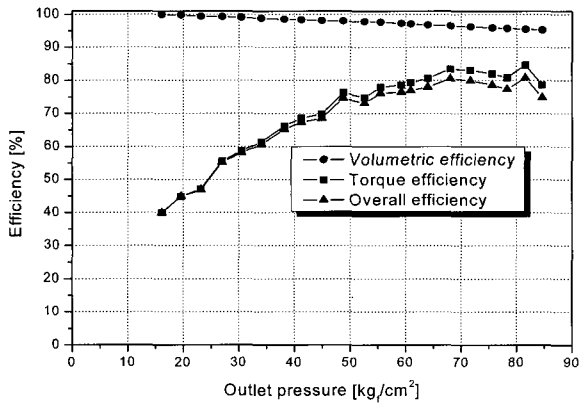


그림 16 유압펌프 효율선도

3.2.2 시작품과 상용제품간의 성능 비교

그림 17과 그림 18은 본 연구에서 설계 제작한 1·2차 시작품, DAIKIN RP38A1-55, 일반 유압동력 변환장치(전기모터-커플링-유압펌프 조합)의 소음과 효율을 비교한 것이다.

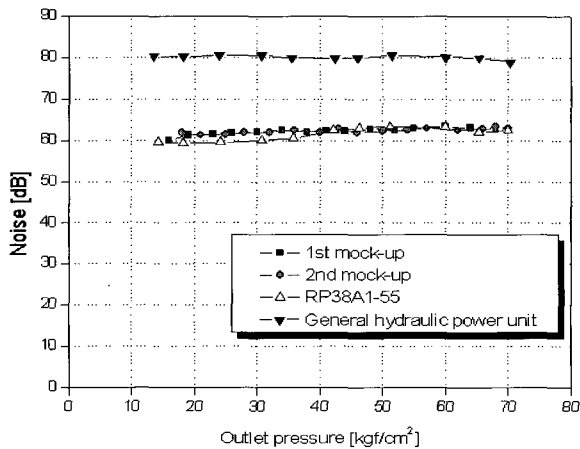


그림 17 제품별 토출압력 변화에 따른 소음비교

그림 17에 나타난 바와 같이 각 제품의 발생 소음을 비교한 결과, 토출 압력이 증가함에 따라 거

의 소음 변동은 크게 발생하지 않았으나, 소음의 크기는 일반 유압동력변환 장치가 약 80dB 정도로 다른 제품에 비해 크게 발생함을 알 수 있다. 한편, 개발한 전기모터/유압펌프 일체형 동력변환장치의 1·2차 시작품 및 외국 선진제품인 DAIKIN RP38A1-55은 65dB이하로 거의 비슷한 수준의 소음이 발생되어, 일반 유압동력 변환장치보다 약 15 dB 정도의 소음 감소 효과가 있음을 알 수 있었다.

그림 18은 각 제품별 효율 성능을 비교한 결과로써, 전기모터의 회전자와 유압펌프의 실린더 배열을 단일 몸체로 설계 제작한 2차 시작품은 토출 압력의 전 영역에서 대체로 우수한 효율분포를 보이고 있으며, 정격압력 70kgf/cm에서 최대 68.5%정도로 가장 우수한 성능을 나타내었다. 다음으로 동일한 구조로 이루어진 1차 시작품과 외국 선진제품인 DAIKIN RP38A1-55은 약 68% 정도로 거의 유사한 효율 성능을 보였고, 일반 유압동력 변환장치의 효율이 약 63% 정도로 가장 낮은 결과를 보였다. 이로써, 본 과제를 통해 기술개발된 전기모터/유압펌프 일체형 동력변환기가 기존의 유압동력 변환장치에 비해 효율면에서 5~6% 정도 향상되었음을 확인 할 수 있었다.

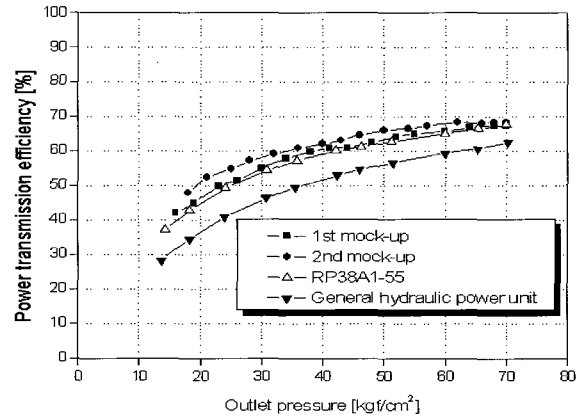


그림 18 제품별 효율 비교 선도

4. 결 론

전기모터와 유압펌프를 일체형으로 하여 기계적인 동력손실을 줄이고, 설치 공간과 소음 등의 에너지 절약 효과를 기대할 수 있는 고효율 동력변환기를 개발하기 위해 수행한 연구결과는 다음과 같다.

(1) 전동기 내부 Integration형 유압 사판식 피스톤 펌프 Rotary group 설계 되었으며, 사판과 피스톤 슈우, 밸브 플레이트 등 상대 슬라이딩부에서

작용하는 힘 평형 해석을 통해 정압균형 설계를 수행하였다.

(2) 설정된 압력에 도달할 경우 사판각을 최소화하여 유량토출을 줄일 수 있는 Pressure cut-off type Regulator가 설계·제작되었다.

(3) 5.5kw급 전동모터와 동일한 구조를 기본으로 하여 규소강판을 적층한 고정자, 회전자(또는 로터)가 개발되었다.

(4) 전기모터/유압펌프 일체형 동력변환기의 성능을 시험할 수 있는 시험장치와 자동조작 제어장치가 개발되었다.

(5) 본 연구를 통해 개발된 장치에 대해서 각각의 성능시험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

일체형 동력변환기 1차 시작품과 일본 DAIKIN사에서 생산 중인 유사 모델의 성능 시험 결과를 비교해보면, 토출압력에 따른 토출유량 등의 펌프로서의 성능뿐 아니라 펌프 토출압력 변동에 따른 입력 전력 등의 전기모터로써 성능이 서로 유사하였으며, 사용 정격압력 70kgf/cm²에서 효율과 소음 또한 각각 약 68%, 약 63dB 정도로 대등한 수준임을 확인하였다.

본 연구를 통해 장착 공간을 줄이고 동력손실로 인한 효율 감소개선이 가능한 전기모터와 유압펌프가 일체화된 동력변환기 설계 및 제작 기술을 확보하였으며, 향후 기존 유압 파워 팩 보다 콤팩트한 구조와 설치의 편리성 등으로 선박, 항공 및 일반 산업분야는 물론 특히, 저소음 고효율을 요하는 NC 공작기계의 유압서보 제어부품 구동장치 등에 적용성을 확대해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) “3,672,793호”, 미국특허 명세서
- 2) “특 개평9-88807”, 일본공개특허 명세서
- 3) H. W. Beaty, J. L. Kirhey and J. Aikin, “Electric Motor Handbook”, McGraw-Hill, 1998.
- 4) I. Boldea and S. A. Nasar, “The induction machine handbook”, CRC Press, 2002.
- 5) 박용호, 이창돈, 이진걸, “모터 일체형 유압 파워 패키지의 개발”, 한국동력기계공학회지 제4 권, 제3호, pp. 55~61, 2000.
- 6) 함영복, 하정훈, 박경민, 김성동, “사판식 피스톤 모터의 트라이포드 기구의 거동 특성 연구”, 한국동력기계공학회지, 제6권, 제3호, pp. 36~41, 2002.

7) 河在賢, “最新油壓工學”, 淸文閣, 1997.

8) E. C. Fitch and I. T. Hong, “유압부품의 설계 및 선정”, 태훈출판사, 2000.

[저자 소개]

함영복(책임저자)

E-mail : hyb665@kimm.re.kr

Tel: 042-868-7157

1965년 10월 23일생(음)



1987년 금오공과대학교 기계공학과 학사 과정 졸업, 1987~8년 금오공과대학 교육조교, 1990년 금오공과대학교 기계공학과 석사 과정 졸업, 2003년 금오공과대학교 박사 과정 졸업, 1990년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 유공압시스템학회, 대한기계학회, 일본유공압학회, 자동차공학회 회원

[저자 소개]

김광영

E-mail: kykim@kimm.re.kr

Tel: 055-280-3160

1955년 6월 11일생



1974년 동아대학교 기계공학과 학사 과정 졸업, 1987년 동아대학교 기계공학과 석사 과정 졸업, 1992년 동아대학교 기계공학과 박사 과정 졸업, 한국기계연구원 책임연구원, 경남기계기술지원단 단장, 대한기계학회, 자동차공학회, 한국정밀공학회 회원

[저자 소개]

최준혁

E-mail: ppsyco@kimm.re.kr

Tel: 042-868-7168

1977년 1월 15일생



2002년 군산대학교 기계공학부 학사 과정 졸업, 2005년 군산대학교 석사 과정 졸업, 2005년 한국기계연구원 위촉연구원

[저자 소개]

전병국

E-mail: jeilhyd7@jeilhyd.co.kr

Tel: 051-204-4022

1960년 3월 20일생



1981년 동의대학교 기계설계학과 학사 과정 졸업, 1988년 (주)제일유압 개발부 입사, 현 제일유압 부설연구소 MOTOR/ VAVLE 부 개발선임연구원, 유압조작 밸브 특허등록