

# 보일러용 평면대향형 브러시리스 전동기에 의한 전자식 순환펌프의 개발

(Development of Electronic Circulating Pump by Axial Air-gap Type Brushless Motor for Boiler)

金尙郁\* · 金東春\*\* · 徐聖原\*\*\* · 李昌彥\*\*\*\*\* · 金榮石\*\*\*\* · 任將淳\*\*\*\*\*  
 (Sang-Uk Kim · Dong-Chun Kim · Sung-Won Suh · Chang-Eon Lee · Young-Seok Kim · Chang-Soon Yim)

## 요 약

국내에서 가정용 보일러에 사용되고 있는 기존의 순환펌프는 캔(canned)형 순환펌프로서 거의 수입에 의존하고 있는 실정이며, 이것은 고정자와 회전자의 간격이 넓어 효율이 떨어지고, 또한 여름철 비가동시에는 캔과 회전자 사이가 고착되어 초기가동이 불가능하게 됨으로서 펌프의 수명을 단축시키는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점들을 극복하고 기존의 순환펌프의 개념을 완전히 탈피한 평면대향형 브러시리스 전동기에 의한 전자식 순환펌프를 개발하고자 한다. 개발된 전자식 순환펌프는 실험을 통하여 기존의 캔형 순환펌프보다 크기 및 소음의 축소, 원가절감, 효율의 향상 등이점을 가지고 있음을 보였다.

## Abstract

Canned type household circulating pump in the country almost depends on the act of imports, however it has disadvantage of low efficiency because an airgap of between rotor and stator is large and when the boiler is not used in a period of summer, a can and a rotor become adhered each other. Accordingly the pump is impossible to drive the initial state, and a lifetime of the pump gets shortening. To overcome these defects a electronic circulating pump by axial air-gap type brushless motor which is completely depart from the general idea for the conventional pump is developed. This paper is verified through experiments that the developed pump has good performance for reduction of size and noise, retrenchment of cost, and improvement of efficiency in comparison with the conventional pump.

\*正會員：인하대학교 전기공학과 박사과정

\*\*正會員：평택공업전문대학 기계과 전임강사

\*\*\*正會員：부평공업고등학교 교사

\*\*\*\*正會員：인하대학교 전기공학과 교수

\*\*\*\*\*正會員：인하대학교 기계공학과 교수

接受日字：1996年 11月13日

## 1. 서 론

가정용 가스보일러는 지난 1982년 수입자유화에 따라 유럽의 유명 제품이 수입된 이래 난방연료의 고급화 및 사용상 편의로 인해 지속적으로 신장추세에 있으며, 정부의 청정연료화 정책 및 LNG 전국공급 사업계획과 가스 배관망 확대계획에 따라 그 수요는 점차 늘어나고 있다. 1994년을 기준으로 가스보일러의 시장규모는 연간 50만대를 상회하고 있으며 수요의 잠재성으로 인해 제조업체 및 공급능력도 해마다 늘어나고 있는 실정이다<sup>1)</sup>.

난방 및 온수 겸용으로 사용되는 보일러에는 난 방수 및 온수를 순환시키기 위해 캔(canned)형, 모터-전자식 결합형 및 모터-메카니컬실(mechanical seal)형 순환펌프가 이용되고 있는데 기름보일러의 경우에는 모터-전자식 결합형 및 모터-메카니컬실형이 사용되고 있으며, 가정용 가스보일러에는 주로 캔형 순환펌프가 사용되고 있다<sup>2)</sup>.

가스보일러에 사용되고 있는 캔형 순환펌프는 유럽에서 개발되어 실용화되고 있으며, 소형위주로 집중난방보다는 개별난방의 개념에서 저진동, 저소음과 신뢰성에 초점을 맞추어 개발되었다. 그간 국내에서는 몇 개업체가 메카니컬실방식 및 캔형 순환펌프를 생산 공급해오고 있으나 외국제품에 비해 가격, 성능, 소형화면에서 떨어지고, 자체개발시 외국특허권 문제 등 때문에 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 현재 국내에 수입되고 있는 순환펌프는 다국적기업인 독일의 Grundfos와 Wilo, 영국의 Myson, 프랑스의 Salmson 등의 제품이 있는데 이들중 기술적 면과 가격 면에서 가장 선호되는 제품은 Grundfos사의 캔형 순환펌프로서 년 수입물량의 약 60(%)를 점유하고 있다. 특히 가스보일러용 온수 순환펌프로서 년간 약 38만개가 수입되는 것으로 추정되고 있으며 순환펌프의 수명을 약 5년인 것을 감안한다면 순환펌프의 수요는 계속 늘어날 것으로 사료된다<sup>3)</sup>.

그러나 캔형 순환펌프는 회전자와 고정자 사이의 간격이 넓어 효율이 떨어지고, 난방수중에 이

물질과 녹 등에 의해 캔과 회전자가 고착될 우려가 있으며, 특히 여름철 오랫동안 가동하지 않았을 경우 남아있던 이물질과 녹 등으로 인하여 초기 가동이 불가능하게 되고, 물 없이 오랜시간동안 가동하게 되어 축과 베어링이 마모되고 고정자의 코일이 손상하게 된다. 또한 보일러의 난방부하 변동시 펌프의 비례제어가 불가능하게 설계되어 있는 등 자체 많은 결함을 자지고 있다.

따라서 본 연구는 기존의 캔형 순환펌프가 지니고 있는 단점들을 극복하고, 현재 순환펌프 시스템의 개념을 완전히 탈피하여 임펠러를 회전시키기 위한 회전자 대신에 임펠러 뒷면에 전자석을 장착하고 이 전자석을 회전시키기 위한 전기자코일을 개발함으로써 임펠러를 회전시킬 수 있는 평면대향형 브러시리스 전동기에 의한 전자식 순환펌프를 개발하여 기존제품과의 성능 및 경제성을 비교·검토하고자 한다.

## 2. 캔형 순환펌프의 구조 및 특징

가스보일러에서의 온수 및 난방을 위한 순환펌프의 역할 및 위치는 그림 1에 나타나 있다. 순환펌프는 크게 원리구조, 동력방식, 실(seal)방식에 따라 분류할 수 있으며 대표적인 것은 원리구조상 분류에 속하는 원심펌프이다. 원심펌프는 볼류우트펌프와 터빈펌프로 구분되는데 전자는 임펠러 외주에 안내날개가 없고 주로 양정이 낮은 경우에 사용되며, 후자는 안내날개가 있고 비교적 고양정에 사용된다. 또한 각 펌프들은 흡입구의 수에 따라 단 흡입 혹은 양 흡입으로 분류되며 임펠러의 수에 따라 단단 혹은 다단으로 구분된다<sup>4~5)</sup>.

캔형 순환펌프는 순환수가 회전자부까지 침투하기 때문에 고정자 및 권선부를 얇은 비자성체의 원통으로 밀봉 격리시키고 있으며 그림 2와 같이 원통형구조의 스테인레스 캔으로 되어있다. 베어링은 순환수로 윤활되는 슬리브 베어링이 사용되며 임펠러는 과권(過卷)형으로 캐비테이션에 의한 문제가 발생하지 않도록 설계되어 있고 펌프의 흡입구와 출구의 배치는 원심펌프의 특성상 임펠러의 축방향으로 들어와서 임펠러 외주

방향으로 나가게 된다. 또한 순환수가 회전자내 까지 유입되어 환류하는 방식이기 때문에 고정자와 권선부는 회전자로 들어가는 순환수로부터 격리되어 있으며 회전자는 냉·온수에 접촉되기 때문에 회전자 표면은 얇은 스테인레스 스틸로 되어 있다.

따라서 이 방식은 메카니컬 실형 방식에 비해 누수방지, 소음의 저감 면에서 장점을 지니고 있으나 품질과 성능 면에서 메카니컬 실형 순환펌프의 문제점을 고려하여 설계할 때 다음과 같은 점에 주의를 기울여야 한다.

- 구동모터의 고정자 권선부를 스테인레스관 혹은 특수하게 깊은 구조물로 밀폐한 캔형 구조를 가져야한다.

- 캔형에 따라 메카니컬 실이 없고 여기서 발생하는 누수도 없어야 한다.

- 펌프부는 임펠러구조와 펌프 케이싱구조를 이상적으로 설계해서 캐비테이션을 줄여 소음을

감소시켜야 한다.

- 펌프설치시 축이 중력방향으로 되면 베어링의 윤활에 문제가 발생하므로 모터 축이 수평으로 설치되어야 한다.

- 임펠러는 내식성과 열 저항을 고려하여 가능한 한 수지(heat-resistance reinforced resinoid)를 사용해야 한다.

- 소형화, 경량화를 위해 펌프와 모터를 가급적 일체형으로 한다.

- 임펠러와 케이싱의 간격은 압력손실을 줄이기 위해 적정수준을 유지시켜야 한다.

- 펌프하우징은 일반적으로 주물로 되어있으나 중량, 부식, 진동, 경제성 등을 고려하여 엔지니어링 플라스틱으로 제작한다.

이와 같이 메카니컬 실형 방식보다 우수한 성능을 가지기 위해서는 기술면, 재료면, 제작면상 등 여러 가지 어려운 점을 가지고 있으며, 또한 국내에서 제작할 경우 가격이 상승하고 외국특허

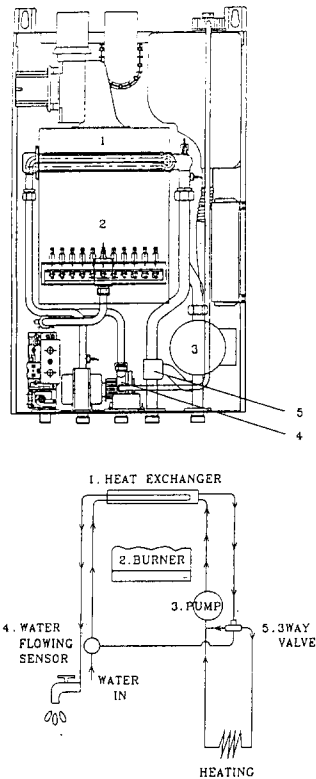


그림 1. 가스보일러의 개략도  
Fig. 1. Block diagram of gas boiler

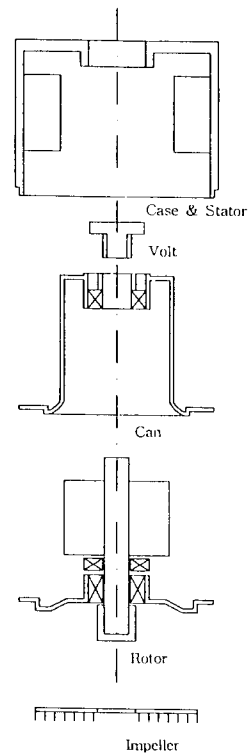


그림 2. 캔형 순환펌프의 구성도  
Fig. 2. Configuration of canned type circulating pump

권 문제 등이 발생하게 된다. 그리고 캔형 순환 펌프는 온수가 회전자 및 고정자코일로 누수 되는 것을 방지하기 위해 캔형으로 피복 되어 있기 때문에 회전자와 고정자의 공극이 넓어 효율이 떨어지고, 보일러에 공급되는 난방수중에 존재하는 이물질과 녹 등으로 인해 캔과 로터가 움직이지 못할 정도로 고착되기도 한다. 또한 보일러를 장시간 사용하지 않을 경우에 존재하던 이물질, 녹, 수분 등이 서로 결합되어 캔과 로터가 마찬가지로 고착되어 펌프의 회전이 중지되고 고정자코일이 과부하에 의해 손실되어 펌프를 교체하여야 하는 결함을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 순환펌프 시스템의 개념을 완전히 탈피하여 회전자로서 임펠러 뒷면에 편평형 영구자석을 장착하고 이 회전자를 회전시키기 위한 고정자코일을 제작하므로써 기존의 캔형 순환펌프보다 우수한 성능을 가지는 브러시리스 전동기에 의한 전자식 순환펌프를 제안하고자 한다.

### 3. 평면대향형 브러시리스전동기에 의한 전자식 순환펌프

#### 3.1 전자식 순환펌프의 구조

본 연구에서는 기존 보일러 순환펌프 시스템의 문제점을 파악한 후 개발하고자 하는 순환펌프에 대한 자료조사 및 계획수립을 통하여 그림 3과 같이 장치의 전체구성도를 작성하였으며 각 부품의 상호간섭 유무와 금형제작 가능 여부 등을 파악하고 각 부품에 대한 도면작성을 완성한 후 여러 차례의 도면 및 금형 수정을 통하여 제품을 완성하였다. 그림 4는 개발한 전자식 순환펌프의 종합구성도이다.

구조를 살펴보면 하단에 텀가공된 수나사부가 형성되어있는 중심 샤프트에 미끄럼이 가능하도록 부시가 삽입되어 있고, 이 부시의 상하면에 축방향의 미끄럼 면을 형성하도록 중심샤프트의 둘레에 각각 세라믹 와셔가 끼워져 있다. 또한 부시의 외주면에 일체로 임펠러 장치가 사출성형되어 있고, 임펠러의 밑면에는 마찬가지로 영구자석(마그네트)이 사출성형되어 있다. 이 마그네

트는 N극과 S극이 6극으로 노출된 상태에서 대형을 이루고 있다.

아울러 격리 판을 사이에 두고 임펠러 장치의 반대편에 놓여있는 고정자철심은 N극과 S극을 발생할 수 있도록 코일로 감아져 있으며, 드라이브 회로와 결선 되어 있는 코일은 철심에 감겨져 있으며 코일을 감기 위해 슬롯이 방사상으로 형성되어 있다. 또한 회전자의 극을 검출하기 위하여 홀센서를 장착하였다. 그리고 외체를 형성하기 위한 하부하우징 및 하부하우징 위에 장착되는 상부하우징이 있고 그 사이에 디스크 판이 장착되어 있다.

장치별 구성으로서 조립을 살펴보면 마그네트가 임펠러에 삽입된 채 부시와 일체로 되어서 이는 다시 샤프트에 끼워지게 된다. 이 임펠러 장치는 다시 플렛 장치와 나사체결된다. 그리고 코일이 감겨진 철심 장치는 커버와 너트 체결된다. 철심 장치와 커버가 체결되면 체결된 플렛 장치와 임펠러 장치가 커버 위에 놓이게되고 또한 디

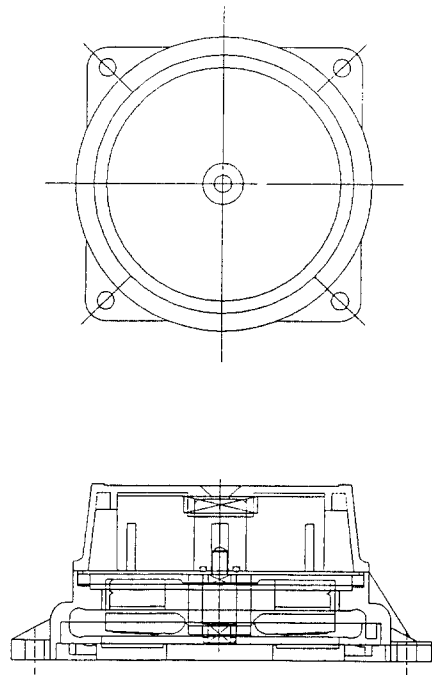


그림 3. 전자식 순환펌프의 전체 구성도  
Fig. 3. Overall configuration of electronic circulating pump

스크는 하우징에 내장된 채 하우징과 커버가 체결되면서 조립이 완료된다.

### 3.2 전자식 순환펌프의 동작원리

전자식 순환펌프는 지름보다 축 방향의 길이가 짧은 편평 외형으로서 임펠러에 압착된 로터에는 둥근 부채꼴 모양의 마그네트(페라이트)로 되어 있으며 회전축 방향으로 착자된 자기구조(1극당 자속밀도는  $0.06[\text{wb}/\text{m}^2, \text{Tesla}]$ )를 가지고 있다. 주자속원은 6극의 둥근 부채꼴 모양으로 착자되어 있고 페라이트는 두께방향으로 자기이방성을 가진 것이 사용되며 이것에 의해 축방향의 강한 자극을 만들 수 있다. 여기서 마그네트가 부착된 임펠러의 관성모멘트는 임펠러의 지름이  $0.062[\text{m}]$ , 질량은  $0.152[\text{kg}]$ 이므로  $J=1.46 \times 10^{-4}[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$ 이다.

전자자코일은 펌프의 스테이터 측에 있고 로터의 자극과 평행하게 편평한 형상의 코일이 마그네트의 극수와 같게 6극으로 자극피치와 동일피치

로 자기 공극내에 설치되어 회전축과 동심인 원주 상에 배열되어 있다. 전자자코일은 매상매극 독립의 동심감기 코일로 1코일( $0.3\phi$ )당 권수는 200회로 하였다. 그리고 전자자코일의 저항은  $20[\Omega]$ 이고 전자자코일의 임피던스는  $100 \sim 200[\text{Hz}]$ 범위에서  $63.26 \sim 78.15[\text{mH}]$ 이었다.

전자식 순환펌프를 구동하기 위하여 로터의 위상검출용 홀소자를 펌프의 몸체에 삽입하므로써 홀소자로부터 얻어지는 신호를 이용하여 전자전류를 제어하는 드라이브회로를 구성하며 이 전자회로를 외부에 부속한다. 순환펌프의 극은 6극으로 구성되어 있기 때문에 1회전당 3 사이클, 즉  $60^\circ$ 의 간격으로 신호가 출력되며 출력된 회전자의 위치정보파형은 펌프의 제어회로에 입력되어 인버터의 스위칭신호 발생에 사용된다.

순환펌프의 구조를 크게 전자자코일과 로터마그넷으로 구분할 수 있는데 전자자코일은 펌프몸체를 세트에 부착되는 프레임 역할을 하고 로터와 스테이터를 직접 연결하는 축과 베어링이 필요 없으며 로터의 축을 고정시키기 위하여 펌프몸체의 하우징에 의해서 로터(임펠러)의 축을 지지된다. 이것에 의해 로터 마그넷과 전자자코일과의 상대적인 위치관계를 유지하는 것이다. 로터마그넷과 전자자코일이 대향해서 되는 공간이 펌프의 자기공극으로 로터마그넷의 각 자극에서 발생하는 자속은 회전축에 평행인 방향으로 자기공극을 통과해서 주자속이 되고 이것은 전자자코일에 도달하게 된다. 전자자코일은 전류를 흘렸을 때 전류에 의해서 코일에 생기는 자극의 배열이 교호로 N극, S극이 되도록 코일이 감겨져 있다. 여기서 전자자코일에 생기는 자극의 배열은 로터마그넷의 회전자극과 상대적인 위치가 정해지게 된다.

그러므로 펌프의 구동은 전자자코일에 전류가 흐르게 되면 주자속속에 전류가 흐르는 도선이 있는 경우가 되므로 플레밍의 왼손법칙에 의해 로터마그넷에 서로 반대되는 힘(토크)이 발생하고 따라서 짝힘이 되어 펌프의 로터가 회전하게 된다. 이 토크가 로터마그넷의 위치에 의해서 변화하므로 회전하는 로터의 자극과 전자자코일의 상대위치를 홀소자에 의해 알아내므로써 전

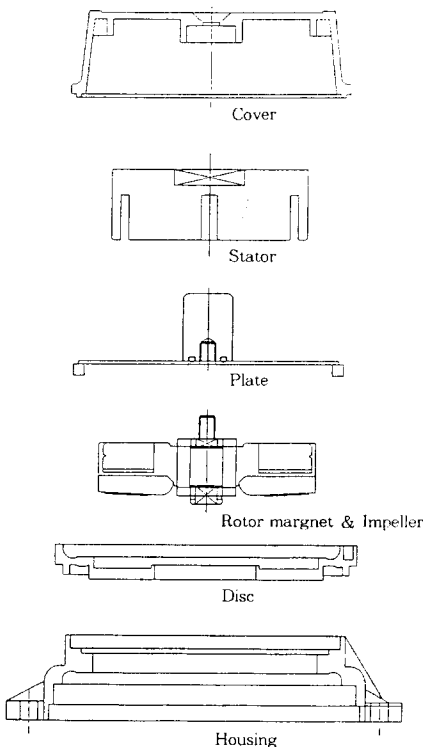


그림 4. 전자식 순환펌프의 구성도  
Fig. 4. Configuration of electronic circulating pump

기자 전류는 회전자계를 형성하고 이를 통하여 순환펌프는 제어되는 것이다. 이러한 동작은 종래의 정류자 및 브러시에 의한 전기자전류의 절환동작에 대응하는 것으로 일반적인 DC 모터나 펌프와는 달리 정류자 및 브러시를 제거할 수 있으며 종래의 방식보다 더욱 정밀하게 제어할 수 있고 토오크 불균일을 없앨 수 있다.

펌프의 회전력(토오크)은 주자속(자속밀도)과 전기자전류(암페어 턴)에 의해서 결정되기 때문에 주자속 밀도는 자기공극이 좁을수록 커지므로 공극을 작게 설계하였으며 또한 전기자전류를 크게 하기 위해서 자기공극내에서의 코일도체의 접촉률을 높게 하여야 하는데 이를 위하여 모양을 오렌지 절단면모양이 되도록 밀접하게 원주에 배치하므로써 코일 블록을 형성하고 마찬가지로 로터마그넷의 착자도 부채형상이 되도록 설계하였다.

### 3.3 전자식 순환펌프의 특징

순환펌프에 적용된 캔형 순환펌프는 단상유도 모터인데 본 전자식 순환펌프에 적용된 방식은 편평형 브러시리스 전동기라 할 수 있다. 따라서 이미 여러 분야에서 입증된 브러시리스 전동기의 성능으로서 DC모터에서 필수적인 정류작용이 전자회로에서 회전자계에 의해서 만들어지므로

브러시 및 정류자가 필요 없으므로 브러시 마모로 인한 보수가 필요 없으며, 수명이 길고, 효율이 높고, 신뢰성이 높으며, 높은 회전범위에서 사용이 가능하고, 소음이 적으며, 소형화가 가능하며, 제어성이 우수하고, 순간허용 토오크비와 정격토오크의 비가 크며, 냉각이 용이하고, 유도 모터의 단점인 무효전력의 발생과 여자손실이나 동손이 없는 특징들을 가지고 있다. 따라서 브러시리스 전동기에 의한 전자식 순환펌프는 DC모터의 장점인 용이한 제어와 넓은 운전영역 등과 유도모터의 장점인 견고성, 무보수성, 긴 수명 등의 장점을 갖추고 있다.

그러나 전동기의 관점에서 볼 때 브러시리스 전동기는 일반 모터에 비하여 가격이 높은 단점을 가지고 있으나 평면대향형 브러시리스 전동기로 적용된 전자식 순환펌프는 순환펌프의 관점에서 볼 때 기존의 펌프방식보다 구조가 간단하므로 영구자석 등으로 인한 가격의 상승을 상쇄하는 것이 가능하여 저가형으로 제작될 수 있는 것이 본 전자식 순환펌프의 특징이기도 하다.

### 3.4 전자식 순환펌프의 드라이브 회로 설계

전자식 순환펌프를 구동시키기 위한 드라이브 회로도에는 그림 5와 같다. 드라이브 회로는 전원 회로부, 정류 다이오드부, 스위칭모드 전원회로부,

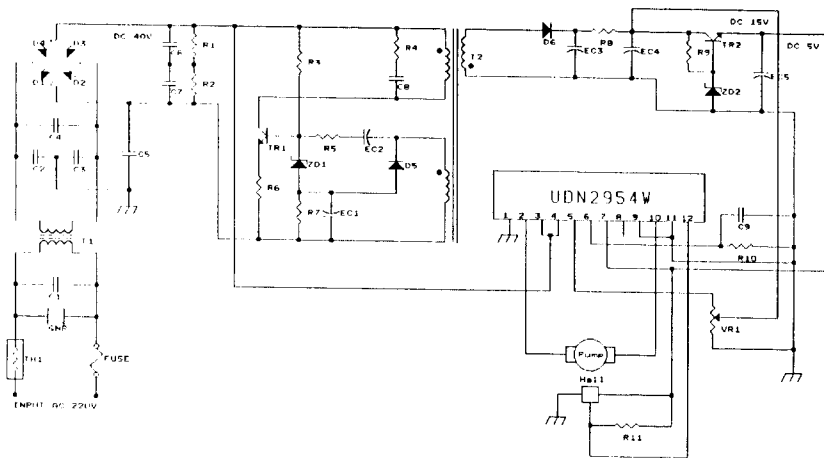


그림 5. 전자식 순환펌프의 드라이브 회로  
Fig. 5. Drive circuit of electronic circulating pump

로터자극의 위치 검출부, 인버터부 등으로 구성되어 있으며<sup>8)~10)</sup>, 전원회로부는 평활콘덴서를 이용하여 과전류, 과역전압, 고전압의 보호와 노이즈의 감소를 위하여 설계되었고, 정류 다이오드부는 단상전파 브리지 다이오드형으로 전원전압 변동율, 전류 및 서지 등을 고려하여 다이오드의 내압과 순방향 전류용량을 설정하였다. 그리고 스위칭모드 전원회로부(SMPS)는 RCC(Ringing Choke Converter) 방식을 채택하였고 스위칭 레귤레이터의 발진주파수에 적절한 트랜스를 설계하였으며, 이것으로부터 인버터부에 필요한 5[V]와 15[V] DC전압을 얻을 수 있었다. 로터자극의 위치 검출부는 홀 소자로 부터 발생한 기전력을 이용하여 구형파신호를 1회전당 3사이클, 즉 60°의 간격으로 출력하도록 구성되어

있다. 인버터부는 알레그로(Allegro)사의 풀 브리지(full-bridge) PWM 모터 전용 드라이버 UDN2954 칩을 사용하였으며, 회로가 간단하여 소형화, 저가격화에 유리하게 되었고, PWM 제어의 특징으로서 저차 고조파의 제거 및 저감가능하였으며, 고성능 구동에 불가결한 고속 전류제어가 가능하게 되었다. 사용된 UDN2954 IC는 펌프의 구동을 위하여 이상적으로 사용할 수 있는데 출력전류는 외부 검출 저항( $R_{sense}$ ), RC 조합, 그리고 PWM전류 제어를 위한 지령전압( $V_{ref}$ )으로 제어될 수 있으므로 부하에 따라 비례 제어가 자동적으로 가능하게 되었다<sup>10)</sup>.

기존 순환펌프의 경우 항상 같은 속도로 구동되기 때문에 만일 물의 순환이 적게 필요한 경우에는 에너지 손실부분이 발생하게 된다. 따라서

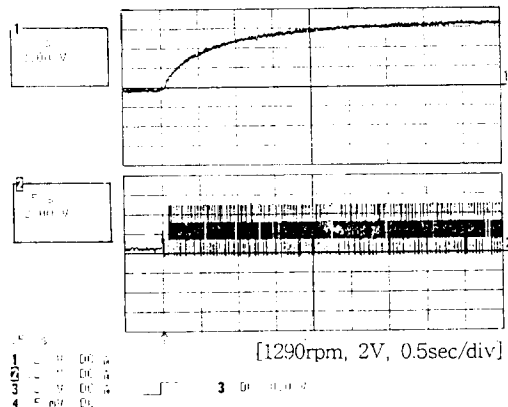


그림 6. 회전속도 및 홀소자의 출력전압  
Fig. 6. Rotor speed and output voltage of hall sensor

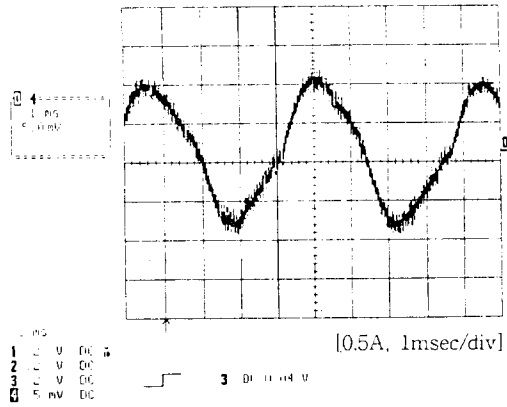


그림 8. PWM 전기자전류  
Fig. 8. PWM stator current

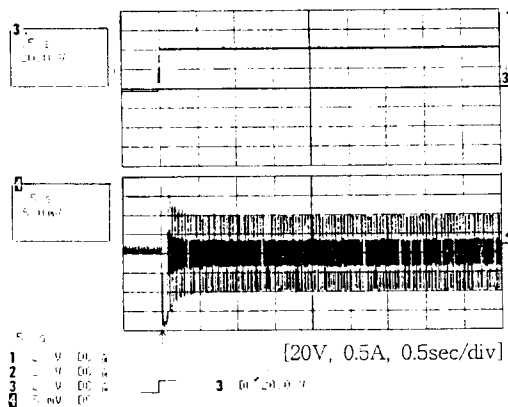


그림 7. DC 입력전압과 전기자전류  
Fig. 7. DC input voltage and stator current

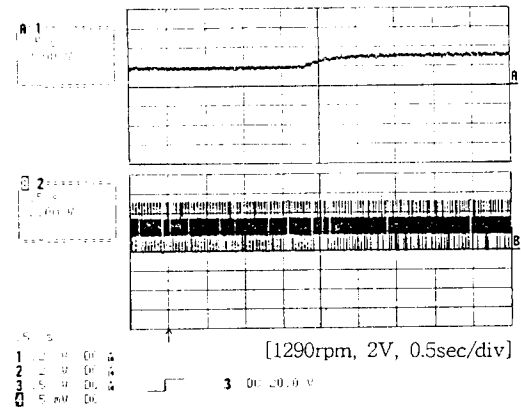


그림 9. 지령전압변동시 회전속도 및 홀소자의 출력전압  
Fig. 9. Rotor speed and output voltage of hall sensor when reference voltage is varied

UDN2954 칩을 채용한 본 펌프는 물의 온도에 따라 순환의 양을 조절할 수 있도록 지령전압( $V_{ref}$ )을 여러단계로 가변하므로써 펌프의 물의 순환량을 가변할 수 있으며 결과적으로 불필요한 에너지 손실을 막을 수 있는 가능성을 제시하였다.

#### 4. 실험결과

전자식 순환펌프의 실험 및 분석을 위하여 전절에서 이미 기술된 드라이버를 이용하였다. 펌

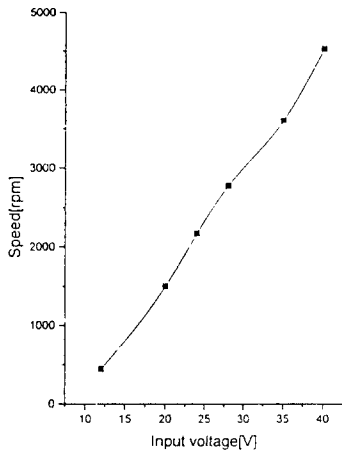


표 1. 개발된 순환펌프의 유기전압에 따른 속도 특성 곡선  
Table 1. Speed characteristic wave with respect to input voltage of developed circulating pump

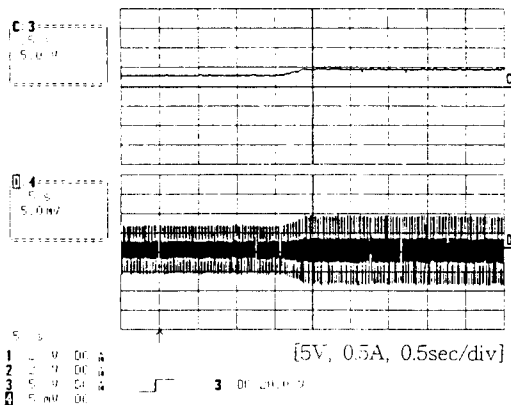


그림 10. 지령전압변동시 지령전압과 전기자전류  
Fig. 10. Reference voltage and stator current when reference voltage is varied

프의 속도를 측정하기 위한 방법으로 6,000 [pulse/rev]의 인크리멘탈 엔코더를 연장된 순환펌프의 축에 부착하였으며 엔코더에서 출력된 펄스 열은 8096 마이크로프로세서의 디지털포트로 입력되고 이를 카운트하는 방식에 의해서 회전속도의 정보를 얻었다.

그림 6과 그림 7은 입력전압 40[V]에서 무부하로 운전했을 경우의 출력특성이다. 그림 6은 순환펌프의 회전속도파형과 홀소자의 출력전압 파형이고, 그림 7은 DC 입력전압과 전기자코일에 유입되는 전기자전류를 나타내고 있다. 펌프의 속도는 약 4,530[rpm]의 속도로 구동되고 있음을 볼 수 있으며 전류의 실효치는 0.61[A]정

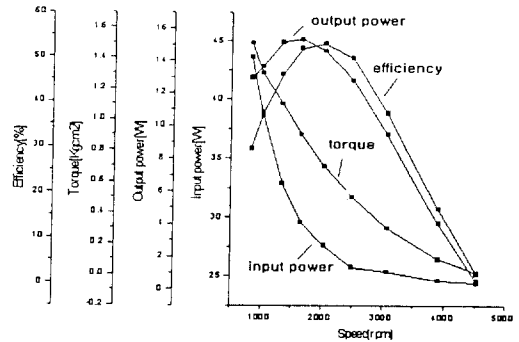


표 2. 개발된 순환펌프의 특성곡선  
Table 2. Characteristic wave of developed circulating pump

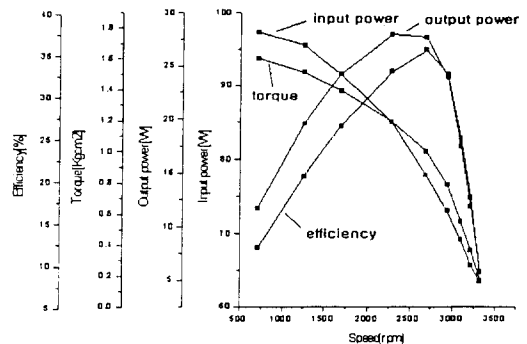


표 3. 캔형 순환펌프의 특성곡선  
Table 3. Characteristic wave of canned type circulating pump



도였다. 약 0.8[sec]이내에 최고속도의 63[%]까지 구동되었으며 최고 전류 순시치는 120[msec]내에서 1.7[A] 정도였다. 이와 같이 순간 전원 입력시에 역전이나 정지 없이 구동되는 것은 홀소자의 위치가 최적에 놓여있기 때문이라고 고려된다. 그림 8은 단상 PWM 전압형인버터에서 출력되는 전기자코일에 흐르는 전류의 파형을 확대한 것이다. 파형에서 볼 수 있듯이 PWM 제어가 제대로 동작되고 있는 것을 볼 수 있다.

표 1은 전기자코일에 인가되는 유기전압에 따른 순환펌프의 응답특성을 알아보기 위하여 인가 전압을 변동하였다. 표에서 볼 수 있듯이 유기전압에 따라 최고 4,530[rpm]에서 최저 440[rpm]까지 가능하였으며 DC 입력전압 12[V]는 본 순환 펌프의 최소구동가능 입력전압이며 초기 과도응답시간은 1[sec]이었으며 펌프의 속도는 440[rpm]이었다.

그림 9와 그림 10은 UDN2954 IC에서  $V_{ref}$ 의 지령전압(2.4[V]~15[V])에 따른 속도변동에 대한 순환펌프의 응답특성이다. 그림에서 볼 수 있듯이 지령전압을 2.7[V]에서 4.5[V]로 상승시켰을 경우 펌프의 속도는 1,230[rpm]에서 1,760[rpm]으로 가변됨을 볼 수 있다. 그리고 실제로 지령전압변동에 따라 전기자전류 최고 순시치도 지령전압변동분 만큼 증가하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 지령전압의 변동으로 펌프의 속도를 조절하는 것이 가능함을 알 수 있으며 만일 물의 온도에 따라 순환의 양을 조절할 수 있도록 지령 전압( $V_{ref}$ )을 여러 단계로 가변 한다고 하면 펌프의 물의 순환속도를 가변할 수 있으며 결과적으로 불필요한 에너지 손실을 막을 수 있는 가능성을 제시하였다. 또한 부하변동에 따른 비례제어가 되고 있음을 알 수 있다.

표 2와 표 3은 각각 전자식 순환펌프와 캔형 순환펌프의 속도-입력곡선, 속도-출력곡선, 속도-토크곡선, 속도-효율곡선이다. 특성곡선에서 볼 수 있듯이 개발된 전자식 순환펌프는 DC서보 전동기와 유사한 특성을 가지고 있으며 순환펌프를 2,000[rpm]에서 3,000[rpm]까지를 기준으로 할 때 개발된 순환펌프가 캔형 순환펌프보다 효율 면에서 1.5배 이상 높음을 알 수 있

으며 소비전력면에서도 전자식 순환펌프가 캔형 순환펌프보다 1/2가량 작음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 개발된 평면대향형 브러시리스 전동기에 의한 전자식 순환펌프는 임펠러를 회전 시키기 위한 로터대신에 임펠러 뒷면에 영구자석을 삽입하고 그 반대편에 로터 마그넷을 구동시키기 위한 전기자 코일로 구성하므로서 기존의 순환펌프에 비해 크기를 축소시켰으며, 로터를 영구자석으로 대체하므로서 브러시리스모터의 이점들을 지닐 수 있었다. 또한 캔형 순환펌프보다 내식성이 강하고, 고장율이 적고 A/S가 간단하기 때문에 사후 관리비용도 줄어 들 것이며, 이물질로 인한 펌프의 구동상실 우려도 없고, 제품의 수명을 향상시킬 수 있으리라 기대된다. 그리고 전자식 순환펌프를 사용할 경우 기존 캔형 순환펌프(28,000원)에 비해 순환펌프 개당 약 5,000원의 재료비를 절감할 수 있으며 국내 가정용 가스보일러의 시장 규모(1995년 기준 약 60만대)를 고려할 경우 전량을 전자식 순환펌프로 교체할 경우 연간 약 30억원 가량이 절감됨을 볼 수 있다. 그리고 UDN2954 IC를 이용한 드라이버에 의해 가변속제어를 가능하게 하므로서 불필요한 에너지 손실을 막을 수 있었다. 따라서 현행 수입되고 있는 캔형 순환펌프에 비해 펌프 성능 및 효율 면에서 향상된 전자식 순환펌프를 개발할 경우 자체개발에 의한 수입대체효과를 가져올 수 있기 때문에 전체 보일러시스템 측면에서 보면 조립 공정의 단축과 가격을 낮출 수 있으므로 보일러 제조업체에서의 파급효과는 대단히 클 것으로 사료되며 개발과 관련된 기술을 응용한다면 기름보일러용 순환펌프 및 용량이 큰 산업용 보일러에도 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 1) 열관리, 한국열관리사회, 1994.
- 2) 가스보일러용 온수 순환펌프의 개발, 한국기계연구소, 1988.

- 3) 펌프제작기술기준, 공업진흥청, 1979.
- 4) 하재현, 유체기계, 문운당, 1992.
- 5) 이택식, 원심 및 축류펌프의 설계, 동명사, 1984.
- 6) R. Cater, I. J. Karassik, E. F. Wright, Pump Questions and Answers, McGraw-Hill, 1989.
- 7) A. J. Stepanoff, Centrifugal and Axial Flow Pumps, John Wiley, 1957.
- 8) H. C. J. de Jong, AC Motor Design, Springer-verlag, 1989.
- 9) Ronald B. Standler, Protection of Electronics Circuits from Overvoltages, John Wiley & Sons, 1995.
- 10) Allegro Microsystems Semoconductors, Allegro Microsystems Inc., 1995.
- 11) T. Kenjo S. Nagamori, Permanent Magnet and Brushless DC Motors, Sogo Electronics Publishing Company, 1984.
- 12) トリケップス, マグネット設計 加工 技術, トリケップス, 1986.
- 13) 소형모우터기술조사전문위원회, 기술조사보고 소형모우터 기술현황, 대한전기학회, 1992.

본 연구는 1995년도 통상산업부 지역컨소시엄의 연구비 지원에 의하여 '보일러용 rotorless 전자식 순환펌프의 개발'의 과제가 연구되었으며 이에 감사의 뜻을 표합니다.

◇ 著 者 紹 介 ◇



**김 상 옥(金尙郁)**  
1967년 2월 12일생. 1992년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~현재 동대학원 박사과정.



**김 동 춘(金東春)**  
1965년 3월 21일생. 1988년 인하대 공대 기계공학과 졸업. 1990년 동대학원 기계공학과 졸업(석사). 1990~1992년 금성사 가전연구소 주임 연구원. 1992~1996년 (주)협성기계 과장. 1994년~현재 동대학원 박사과정. 현재 평택공업전문대학 기계과 전임강사.



**서 성 원(徐聖原)**  
1948년 1월 16일생. 1975년 홍익대 공대 전기공학과 졸업. 1975~1994년 인천공업고등학교 교사. 1994~현재 부평고등학교 전기과 교사.



**이 창 언(李昌彦)**  
1959년 9월 16일생. 1983년 인하대 공대 기계공학과 졸업. 1992년 일본 豊橋技術科學大 대학원 에너지공학 졸업(박사). 1992~1993년 일본 豊橋技術科學大 전임강사. 현재 인하대 공대 기계공학과 조교수.



**김 영 석(金榮石)**  
1951년 6월 11일생. 1977년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 일본 나고야대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1987~1989년 한국전기연구원 선임연구원 실장. 현재 인하대 공대 전기공학과 부교수.



**임 장 순(任將淳)**  
1942년 8월 25일생. 1963년 인하대 공대 기계공학과 졸업. 1978년 동대학원 기계공학과 졸업(박사). 1968~1970년 광운공대 조교수. 1970~1978년 경희대 공대 부교수. 1978~1982년 한양대 공대 교수. 1982~현재 인하대 공대 기계공학과 교수.