

전동식 워터펌프 개발

정 세영¹⁾, 곽 중희²⁾, 박 범용³⁾, 정 우진⁴⁾

Electric Water pump Development

SeYoung Jung¹⁾, Joonghee Kwak²⁾, Bumyong Park³⁾, Woojin Jung⁴⁾

Key words : Electronic Water Pump(전동식물펌프), Volute(회전류), Pressure(압력), Velocity(속력), Viscosity(점성도), BLDC Motor(브러시리스직류전동기)

Abstract : The purpose of study is a development of the high reliance electric driven water-pump that fuction is forcing the movement of water using basic design, proto sample and test at the cooling system. It was important to supply a coolant quickly and accurately for the requirement of flow rate at the system when we carried out the designs for BLDC Moter, Controller and water pump(Impeller, Volute Casing, Sealing Device)

First, we attained ours purpose that the target efficiency for water pump was over 40% and then we are doing the optimum design for Brushless Motor and Controller that its target is over 55% of efficiency.

Nomenclature

mAq : meter Aqua
Nm : Newton meter

subscript

LPM : Liter Per Minute
RPM : Revolution Per Minute

1. 서론

화석 연료 고갈에 대한 위기 고조와 지구 환경 보존에 대한 필요성이 급부상하여 전 세계의 거의 모든 자동차 회사가 연료전지 차 개발에 몰두 하고 있다. 이에 따른 연료전지용 냉각 시스템의 일부인 전동식 워터펌프의 개발도 활발히 진행되어 많은 기술 발전이 이루어져 왔다. 특히 세계적인 부품사인 BOSCH, DELPHI 등은 이미 원천 기술의 개발을 완료 실용화 단계에 있으니 기술 노출의 방지를 위해 세부적인 기술은 알려지지 않았다. 그러나 국내의 경우 연료전지 전용의 전동식 워터 펌프의 개발은 이제 첫발을 딛고 있다.

2. 시제품 설계

본 연구에서는 원심식 축류 펌프를 적용하였다. 원심 펌프는 한 개 또는 여러 개의 임펠러를 밀폐된 케이싱 내에서 회전시킴으로써 발생하는 원심력을 이용하여 액체의 펌프 작용, 즉 액체의 수송 작용을 하거나 압력을 발생시키는 펌프를 말한다. 이 펌프에서 중심부의 물이 밖으로 나오면 중심부는 압력이 저하되어 진공에 가까워지고 흡수관의 물이 대기의 압력에 의해 임펠러 중심을 향해 흐르게 된다. 이렇게 하여 물은 연속적으로 펌프 작용을 받아 흡상, 압상 되는 것이다. 원심 펌프는 고속 회전이 가능하고, 소형 경량이며 구조가 간단하며 취급이 용이, 효율이 높고 맥동이 적은 특징을 가지고 있다.

전동식 워터펌프의 성능 향상을 위하여 BLDC모터의 ROTOR & STATOR Part를 냉각수 유동의 내부에 배치하여 냉각수에 의한 강제 냉각이 가능하도록 설계함으로써 최상의 효율을 구현하고 Impeller Size 증가를 통한 유량 및 압력을 증대하였다. 냉각수 출구측의 유동 안정화를 실현하기 위해 GUIDE VANE 적용하여 입구에서 유입되는 냉각수의 와류현상을 최소화 하여 안정적인 유동이

가능하도록 설계 하였으며 워터펌프의 회전부와 정지부 사이의 최상의 SEALING을 구현하기 위해 일체형 MECHANICAL SEAL을 채용함으로써 내구성을 확보 하였다.

2.1 Impeller 설계

본 연구에서는 최적의 임펠러 사양을 결정하기 위해 임펠러 설계 결과 임펠러 출구각을 35°로 1차 설계를 하였으나 유동 해석결과 90% 이상의 효율이 도출되어야 Cavitation 발생이 적다고 판단되지만 해석 결과가 86% 수준으로 낮게 나왔다. 이는 Cavitation으로 인한 것으로 판단되어 임펠러 재설계를 진행하였다.

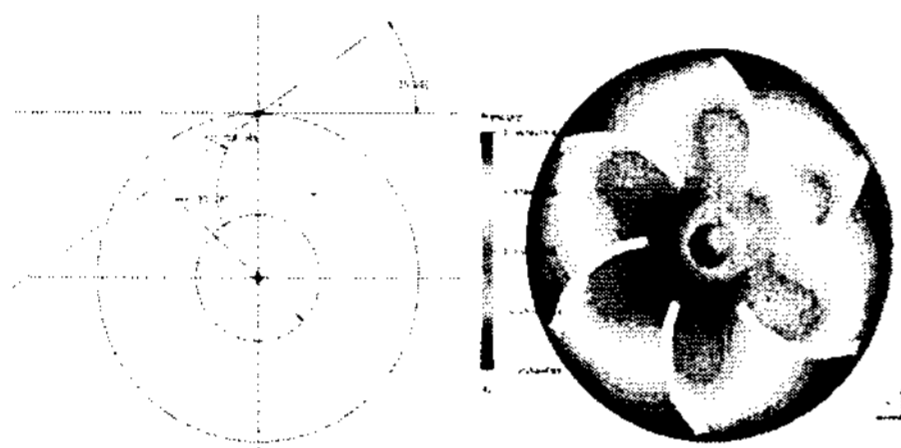


Fig. 1 1st Impeller Analysis

1차 임펠러 설계의 효율을 높이고 Cavitation을 줄이고자 재설계 결과 임펠러 출구각을 40°로 Fig. 2과 같이 해석을 진행하였다.

Impeller 해석 조건 (Boundary Condition)은 Rotation Speed : 5000rpm, Reference Speed : 1atm, Inlet Condition : Total Pressure 0Pa, Outlet Condition : Mass Flow 200LPM, Wall Condition : No Slip, Fluid Density : 972.29 kg/m³, Fluid Viscosity : 0.000354 Ns/m²이다.

Impeller 2차 해석 결과는 Torque [Nm] : 1.225, Power [W] : 641.664, Total Head [m] : 18.606, Efficiency [%]: 92.165로 만족스러운 결과를 도출하여서 시제품 설계에 반영하였다.

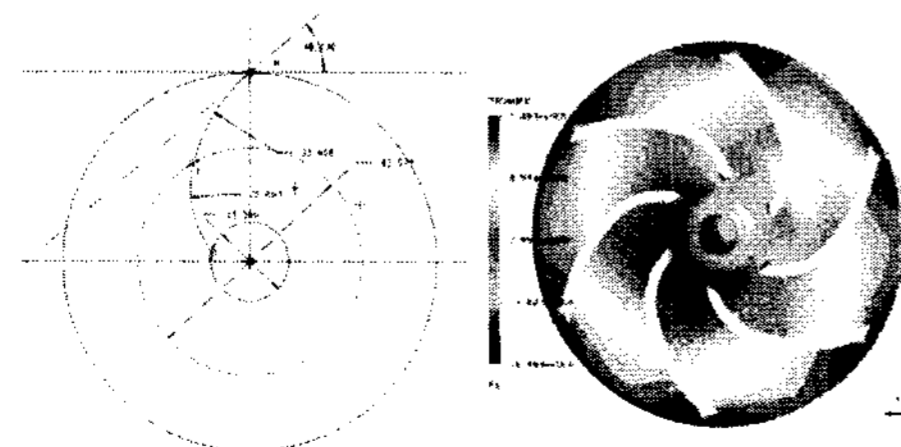


Fig. 2 2nd Impeller Analysis

2.2 Guide Vane 설계

임펠러 사양 설계 다음 단계는 임펠러를 통과한 유체가 지나가는 유로에 대한 설계가 필요하다. 그리하여 Guide Vane 에 대한 해석을 진행하였다. 이는 유로의 저항과 회전하며 지나가는 유체의 형상을 해석을 통하여 파악한 후 베인의 형상 및 각도 등을 설계에 참고하기 위함이다.

Guide Vane 해석 조건은 임펠러 회전수 : 5000 RPM, 입구 조건 : 전압 1atm, 출구조건 : 유량 150 ~ 250LPM, 벽 조건 : No Slip, 단열조건, 유체 밀도 : 972.29kg/m³ (Water at 80°C - Saturated liquid), 유체 점도 : 0.000354 Ns/m² (Water at 80°C - Saturated liquid) 이다.

Guide Vane 해석 결과는 임펠러 회전수 : 5000rpm, 토크 [Nm] : 1.47, 유량 [LPM] : 200, 전압 [Pa] : 163,991, 양정 [m]: 17.193, 효율 [%] : 71.05 이다. Spec 조건인 유량 200LPM에서의 결과는 양정 17.19 mAq 이고 효율 71.01 % 로 해석 되었다.

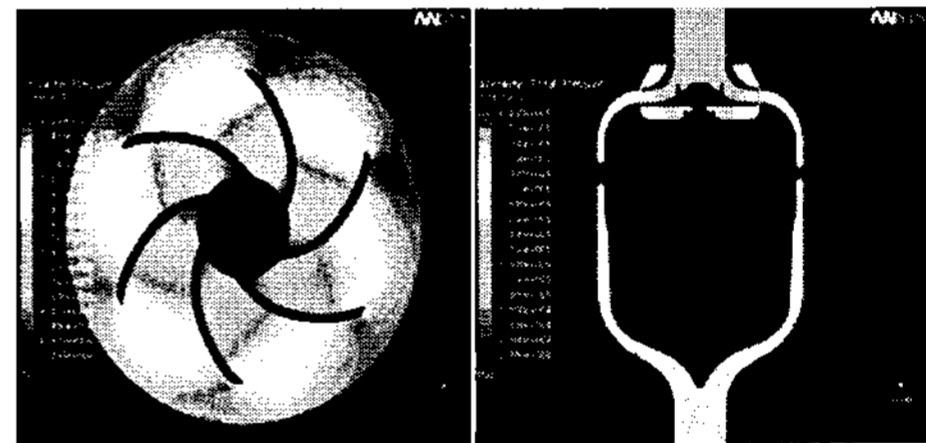


Fig. 3 Guide Vane Analysis

2.3 BLDC Motor 설계

전동기의 여러 가지 설계방법 중에서 전기장하와 자기장하를 적절히 안배하여 설계하는 장하분배법에 의하여 초기설계를 수행하였다. 자기장하와 전기장하를 적절히 안배하여 사양으로부터 한극당 자속과 유효 직렬 턴 수를 계산하고 전동기 제반 치수를 구한 후, 특성이 만족되지 않으면 장하비를 변경시켜 나가는 방법을 사용하여 대략적인 전동기의 치수를 결정한 다음, 유한요소법을 이용하여 상세 설계를 진행하였다.

전동기의 설계 과정은 크게 부하 곡선 추출로부터 전동기 사양 결정, 장하분배법을 이용한 자기회로 기초설계, 유한요소법을 이용한 자기회로 상세 설계로 구성되어있다. 유한요소 해석으로부터 장하분배법으로 기초 설계된 전동기의 제반 파라미터 추출하고 전동기의 구동 성능을 예측하여 전동기의 설계 조건을 만족할 때까지 동일한 과정을

반복한다. 그리고 자성 재료의 특성을 반영한 비선형 해석으로부터 고정자 또는 회전자 의 요크와 치에서의 포화 상태를 확인하고 만족되지 않는 경우 치수를 변경하였다.

Table. 1 Motor Design Specification

NO	항 목	단 위	사 양	비 고
1	입력전압	Vdc	DC 220 ~ 480	
2	정격전압	Vdc	DC 240	
3	정격전류	A	3.5	
4	상/주파수	Φ /Hz	3/2000	
5	상저항	m Ω	311	
6	선간저항	m Ω	622	
7	인덕턴스	mH	10.152	
8	역기전력상수	V/rpm	0.048	
9	토크상수	N.m/A	0.458	
10	전기적 시정수	sec	8	
11	절연저항	M Ω	Min 100	
12	구동방식	-	구현과	
13	효율	%	90	
14	센서종류	-	Hall Sensor	

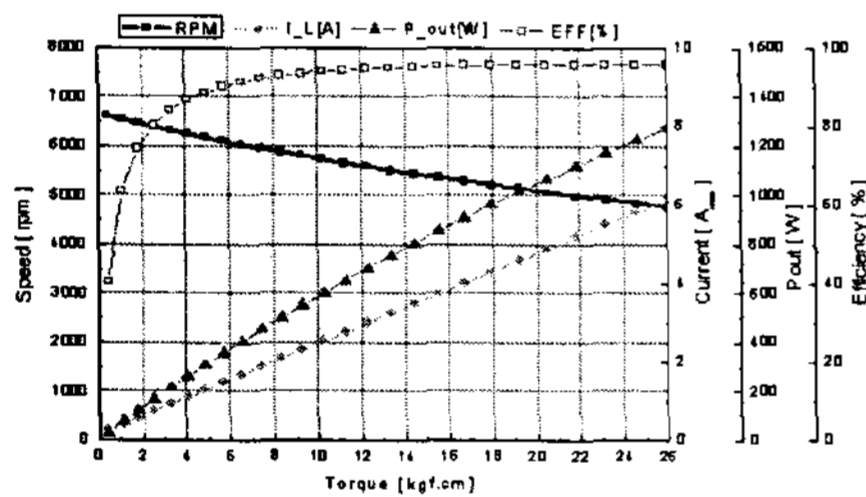


Fig. 4 BLDC Motor Analysis

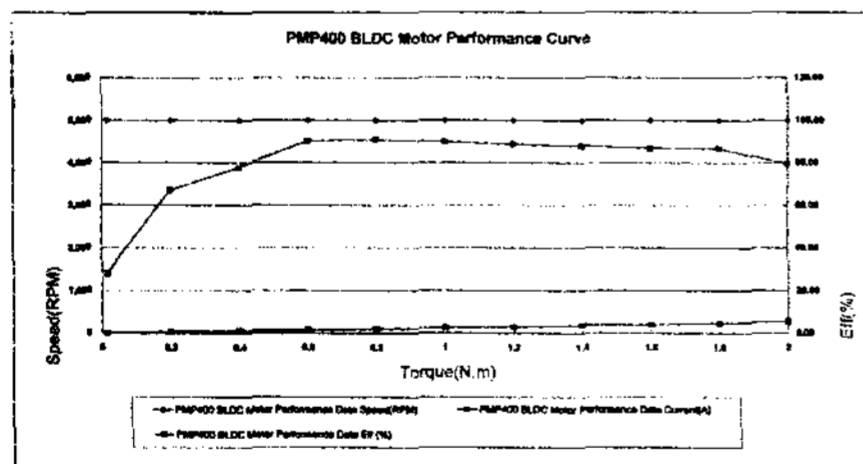


Fig. 5 BLDC Motor Dynamometer Test

모터의 성능을 향상시키기 위해서 전자기장 재해석 수행을 통한 최적화 및, 기구부의 Stator 및 Rotor의 Size를 향상하였다. 모터의 전자기장 해석을 실시결과 최고의 효율을 나타내는 회전수가 5000 RPM일 때 92%로 나타났으며 이를 근거로 워터펌프의 전체 효율을 최대화하기 위해 워터펌프 회전수 설계에 반영하였다. Fig. 5는 BLDC Motor 시제품 성능 그래프이다. 성능 시험결과 5000rpm으로 회전시 최대 효율이 90%정도 나타났으며

20kgf.cm에서는 80%의 효율을 나타내고 있다. 해석 결과는 전동기의 여로 손실 요소의 고려가 힘든 점을 감안하여 10%정도의 오차가 발생한 것으로 보이는 것으로 판단된다.

2.4 Controller 설계

Fig. 5는 CAN 통신으로 제어를 구현하는 제어기 로직으로 이를 기본으로 알고리즘을 구성하였다. 제어 소자는 Program IC를 사용하여 사용자가 원하는 사양의 대응에 유리하도록 설계하였다. 메인 전원 소스가 240V ~ 460V의 고전압이 입력되므로 ECU 안정성 향상을 위하여 전원부 및 제어부의 분리 설계가 필요하다. 그리하여 SMPS 부분과 Micom 제어 부분의 분리 설계하였다. 고전압이 통과하는 패턴 또한 SMPS 부분을 지나도록 설계하였다. ECU 안정성 향상을 위하여 드라이브 소자의 용량 증대를 위해 드라이브 소자를 기존의 FET (600V5A) 에서 IGBT (500V10A)로 변경하였다.

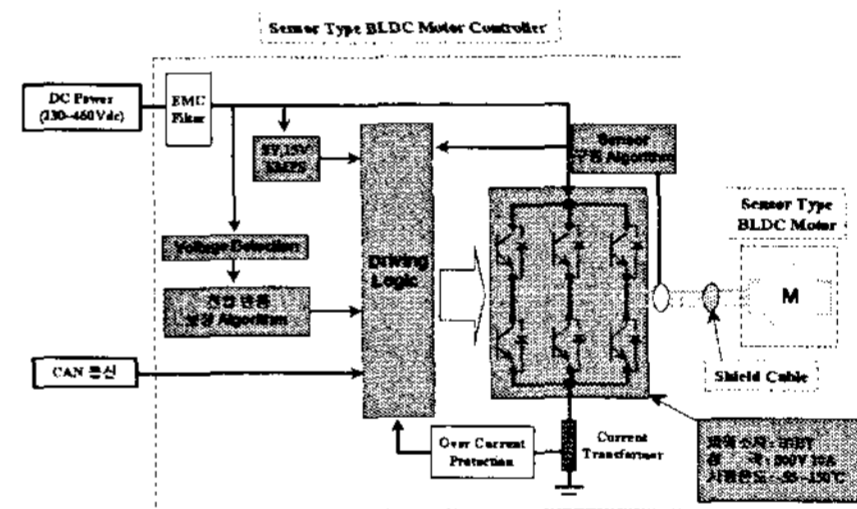


Fig. 5 Controller Logic

3. 최종 모델 제작 및 시험 결과

3.1 최종 모델 제작

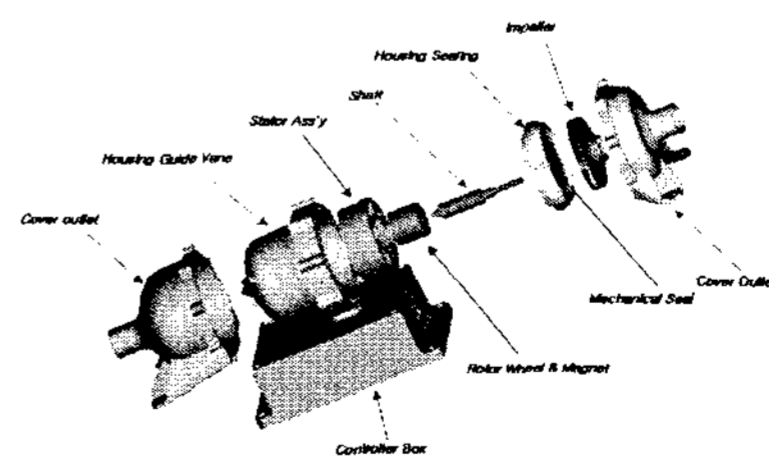


Fig. 6 Final 3D Model

기본 설계 및 해석 데이터를 바탕으로 Fig. 6의 최종 형상 설계 진행하였다. 차량 Layout에 근거하여 외곽 형상 결정 후 본 과제의 버스용 전동식 워터펌프는 고유량에 유리한 축류식 펌프 타입으

로 설계 하였다.

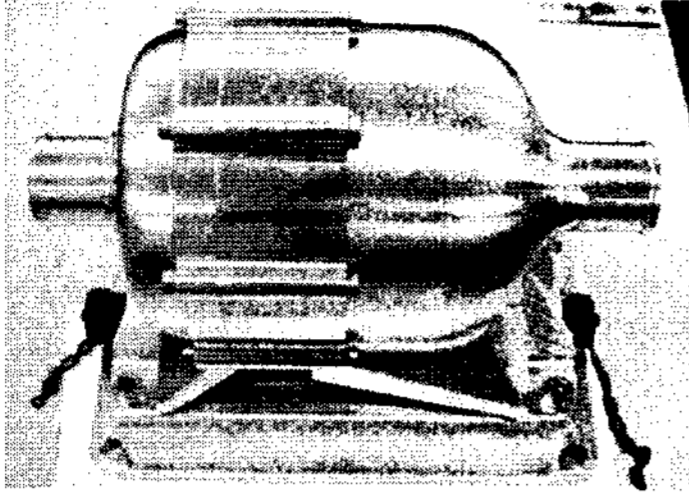


Fig. 7 Electric Water Pump

형상 설계 완료 후 시제품 제작을 진행하였다. Pump부 및 제어부 일체형 Type으로 Fig. 7과 같다. 이는 펌프와 제어기간 와이어가 필요 없으며 내부에 커넥터를 삽입하여 펌프 브라켓과 제어기간 조립성이 용이하도록 설계하였다.

3.2 시험 결과

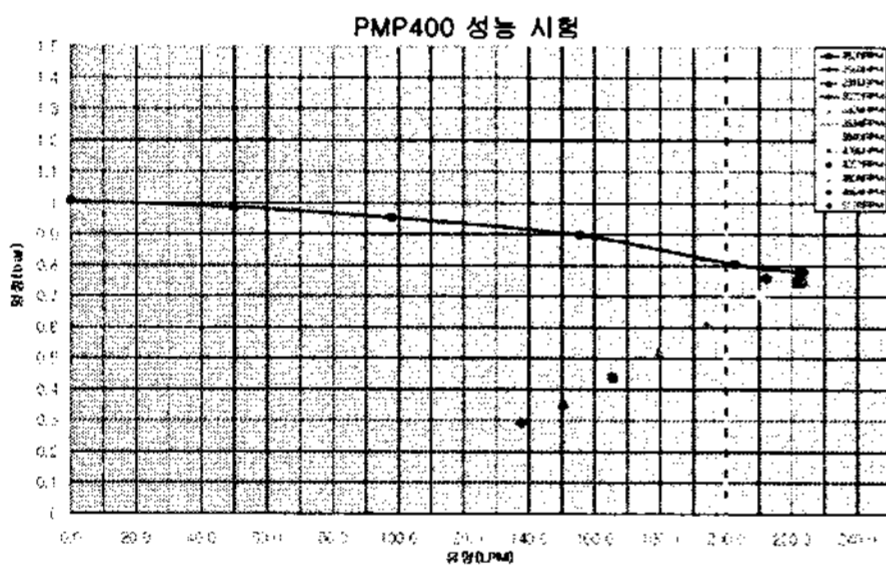


Fig. 8 1st Water Pump Test

1차 시험 결과 : 200LPM, 0.8bar의 성능을 보여 준다. RPM 변화에 따른 시험시 양정이 서서히 증가하다가 4096rpm부터 양정의 변화가 없는 것으로 보아 4096rpm 이상으로 구동시 Cavitation이 발생한 것으로 보인다. Cavitation으로 인한 손실 및 펌프 성능 개선을 위한 재설계가 필요하다.

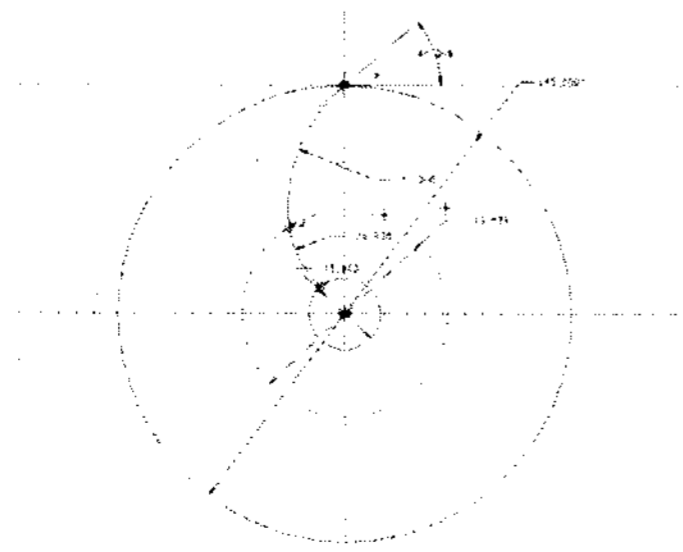


Fig. 9 Water Pump Test

펌프의 성능에서 가장 많은 영향을 미치고 Cavitation의 주 원인인 임펠러의 재설계를 진행 하였다. Impeller 성능 향상을 위해 외경 : $\Phi 74 \rightarrow \Phi 95$, 입구높이 : 23mm \rightarrow 25mm, 출구높이 : 9mm \rightarrow 11mm로 변경하였다.

3.3 결론

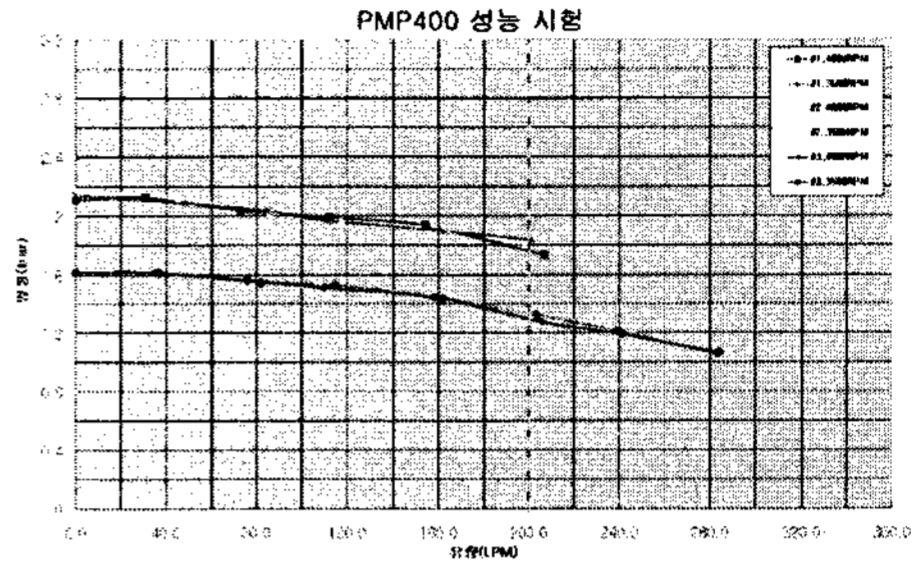


Fig. 10 2nd Water Pump Test

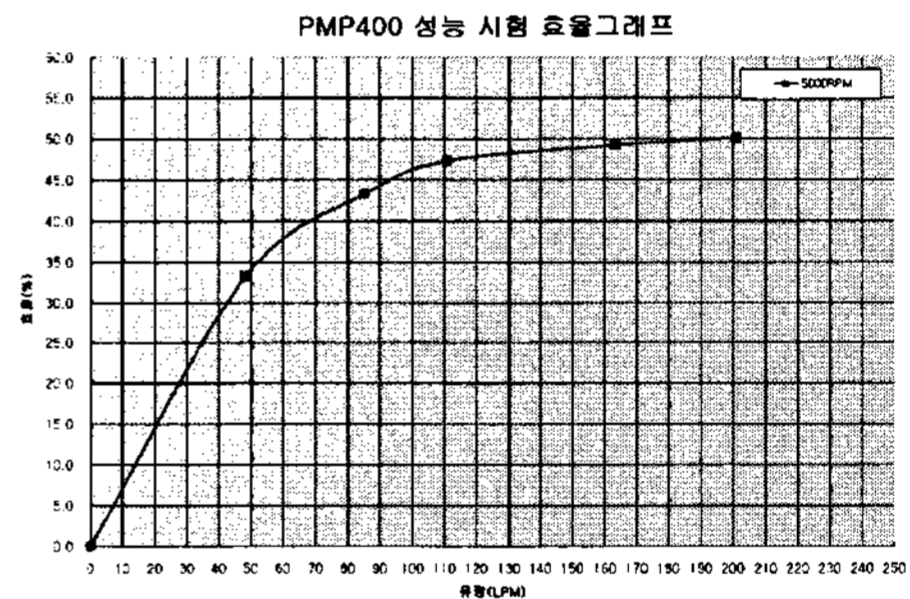


Fig. 11 2nd Water Pump Efficiency

최종 시제품 시험 결과 4000RPM 구동시 목표 사양과 동일한 200LPM, 1.8bar, 효율 50%의 만족하는 결과를 얻었다. 연료전지 버스의 요구 성능을 만족하기 위하여 목표보다 향상된 성능을 기준으로 설계 진행 하였다. 향후 신뢰성 시험 진행 및 Down Sizing, Down Weight를 목표로 진행할 예정이다.