

연료전지 자동차용 터보블로어 개발

권혁률¹⁾, 박형근²⁾, 김성균, 김치명, 박용선, 황인철

Development of Turboblower for Fuel Cell Automobile Applications

Hyuckroul Kwon, Hyungkeun Park, Seongkyun Kim, Chimyung Kim, Yongsun Park, Inchul Hwang

Key words : PEMFC(고분자전해질 연료전지), fuel cell, 터보블로어(), motor cooling(모터 냉각), intake air(흡입 공기), design point(설계점)

Abstract : 본 개발의 목적은 연료전지차량에 탑재되는 연료전지 시스템에 장착될 공기공급기를 개발하는 것이었다.

개발된 공기공급기의 형태는 공급해야 할 공기의 유량과 압력 범위, 소음 및 향후 양산성 등을 고려하여 원심형 블로어를 선택하였으며, 차량 부하에 따른 공기공급량을 제어하기 위한 제어기도 적용되었다. 또한 차량에 적용될 경우, 예상되는 가혹한 사용 환경에서 안정적인 성능을 발휘하고, 내구성을 할 수 있도록 설계되었으며, 특히, 외기온도 45℃에서도 충분한 방열성능을 갖도록 모터 및 모터 방열구조를 설계하였다. 이를 위하여 공급되는 공기로 직접 모터를 냉각하는 개념을 적용하였다.

개발된 터보블로어의 응답성을 포함한 성능평가를 수행하였으며, 설계점에서 600시간 연속운전을 통하여 기본 내구평가를 완료하였다.

Nomenclature

subscript

SLPM : Standard Liters Per Minute
PEM: Proton Exchange Membrane
BLDC: Brush Less Direct Current
PR:Pressure Ratio
BOP: Balance Of Plant

1. 서론

일반적으로 PEM 연료전지시스템에서, 대기중의 공기는 음극에 공급해야 하는 산소를 공급할 수 단으로 공급되어 왔다. 일반적인 내연기관과 달리 연료전지 스택은 스스로 공기를 공급할 수 있는 장치가 없으므로 외부에서 공기를 공급해주는 장치가 필요하게 된다. 이를 위한 공기공급기의 형태로서, 연료전지시스템의 운전압력과

요구 공기량에 따라 다양한 종류의 블로어 및 컴프레셔가 개발 적용되어 왔다. 이에 현대자동차도 차량용에 적합한 공기공급기에 대한 최적의 선택을 통해 연료전지시스템 BOP 핵심부품의 하나인 공기공급기의 개발을 진행하고 있다.

2. 본론

2.1 공기공급기의 선택

연료전지시스템에 사용될 수 있는 공기공급기의 형태는 이미 잘 알려진 바와 같이 스크류(Lysholm) 압축기, 루츠형 블로어, 원심형/축류형 터보기기 등이 있다. 일반적으로 각각의 공기공급기는 아래 표1과 같은 장단점이 있다.¹⁾

- 1) 현대자동차 연료전지시스템개발팀
E-mail : fuelcell@hyundai-motor.com
Tel : (031)368-7083
- 2) 현대자동차 연료전지시스템개발팀
E-mail : yonki@hyundai-motor.com
Tel : (031)368-6671

형태	장점	단점
Screw	운전영역 넓음 전 영역 효율우수	고가 대량생산불리
Roots	저가	크기 대형 공기질 저하
Centrifugal	대량생산유리 소형화 가능	저유량시/저압 에서 운전불리
Axial	고효율 (설계점주변)	고가

표1. 공기공급기의 형태별 비교

차량용 연료전지시스템에 요구되는 공기공급기는 연료전지 시스템에서 요구하는 운전압력에 충분한 유량을 공급할 수 있으면서 패키지에 유리한 소형이어야 하고, 운전특성에 맞게 제어 가능해야 하며, 운전자의 요구에 대한 충분한 응답성이 필요하다. 또한, 오랫동안 가혹한 운전조건에서 견딜 수 있는 충분한 내구성과 내환경성, 소음 등을 고려한 상품성 및 양산 고려할때 필요한 충분한 가격 경쟁력 등이 요구된다.

또한, 연료전지시스템의 운전압력에 따른 특성 등을 비교²⁾하였으며 당사는 이러한 특성들을 고려하여 원심형 터보블로어를 차량용 연료전지시스템의 공기공급기로 선정하였다. 터보블로어는 다른 형태의 공기공급기에 비해 일반적으로 효율이 우수하고, 소음측면에서 유리하며, 양산 가격이 저렴할 뿐만 아니라 차량 적용시 유리한 부분이 많다고 판단된다. 이러한 특성과 요구조건에 부합되는 터보블로어에 대한 개발의 필요성이 대두되면서 차량용 연료전지시스템에 적합한 내구성과 성능을 확보한 공기공급기의 개발이 진행되고 있다.

2.2 터보블로어 개발

당사가 개발중인 터보블로어는 차량용 연료전지시스템에 적용하기 위한 것으로 일반적인 요구사항은 표2와 같다.

항목	설계값	비고
유량	~ 95g/sec	~ 4,950SLPM
압력비	~1.3	
설계점	95g/sec @ PR 1.3	시스템의 특성에 따라 달라짐
사용전압	260VDC	@ 설계점
운전 온도범위	-25~45℃	외기온도 기준
최대효율	55%이상	@ 설계점
내구	설계점에서 600시간 연속	
응답성	< 2sec	0 ~ 90%rpm

표2. 터보블로어의 설계 사양

터보블로어는 그림1과 2에 보여지는 것과 같이 구동 모터, 임펠러가 조립된 로터 및 스크롤 부분등으로 구성되어 있다.

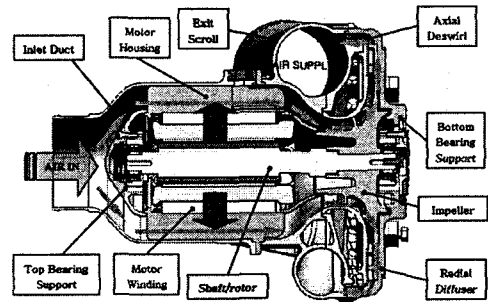


그림1. 터보블로어 단면도

터보블로어용 모터냉각에 필요한 냉각팬을 없애기 위하여 흡입공기로 직접 구동모터를 냉각할 수 있도록 설계되었으며 이는 차량적용시 가혹한 운전환경에서 터보블로의 내구성 향상을 위한 것으로 냉각팬 문제로 인한 터보블로어의 고장(과열 등)을 미연에 제거하여 내구성 및 상품성을 향상시킬 수 있도록 한 것이다.

구동용 모터는 속도 제어 및 효율 등을 고려하여 BLDC 모터를 채용하였으며 또한, 외기온도 45℃에서도 설계점(최대 운전영역)에서 연속적인 운전이 가능하도록 모터에 대한 강건설계 및 방열조건을 설계에 반영하여 열악한 외부환경에서도 최대 연속운전이 가능하도록 하였다.

제어기의 경우 연료전지시스템에서 공급되는

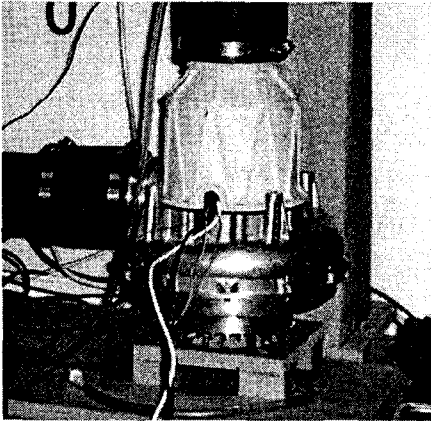


그림2. 터보블로어 시험모습

전력을 직접 사용할 수 있도록 300-400VDC 내의 전원을 직접 사용할 수 있도록 설계하였으며, 차량에서 요구되는 빠른 응답성을 만족시키기 위해 Shunt 및 Inductor Pack을 적용하여 전기회로를 안정적으로 구성하였다.

또한 연료전지시스템으로 공급되는 공기의 청정도를 유지하기 위해서 터보블로어에서 유출될 수 있는 오염물질이나 윤활유의 유출 등에 대한 연구도 진행되었다.

또한 베어링의 피로수명을 증대시키기 위하여 운전중에 발생하는 흡기부와 배기부의 압력차에 따른 추력(thrust force)을 해석 및 시험평가를 통해 검증했으며, 이를 기계밀봉 설(mechanical seal)의 설계사양에 적용하였다.

2.3 터보블로어 성능평가

시험결과는 그림 3, 4 및 5를 통해 알 수 있다.

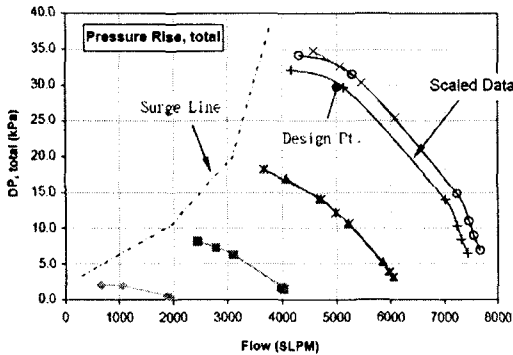


그림3. 동력성능 데이터: 압력상승 vs. 유량

개발 진행중인 터보블로어의 동력성능 시험결과, 요구되는 설계점(최대유량 및 그때의 토출압)을 만족시키는 성능을 확인할 수 있었다.

설계점(95g/sec @ PR 1.3)에서 시스템 전체 효율(= fluid power output / electrical power input)은 60%를 상회했으며 이때 소모동력은 4200Watts 내외였다.

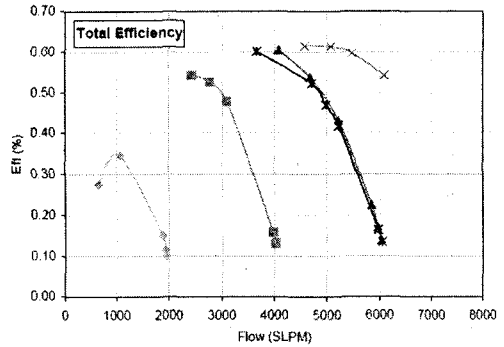


그림4. 압력상승 및 유량별 전체효율 데이터

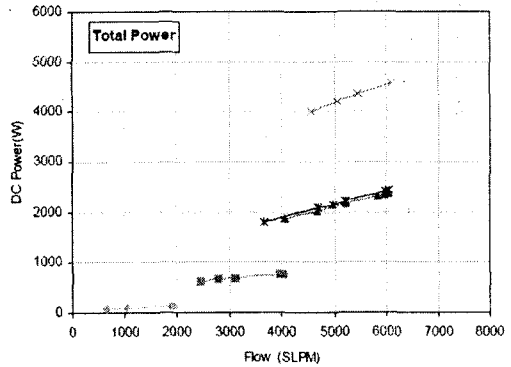


그림5. 압력상승 및 유량별 소모동력 데이터

2.4 터보블로어 내구평가

차량 적용에 필요한 평가는 고속내구평가를 포함한 다양한 종류의 내구 및 환경평가가 필요하다. 이러한 이유로 터보블로어의 기계적인 내구성을 확보하기 위하여 베어링의 수명 및 신뢰성에 대한 고찰 및 해석이 진행되었으며 또한, 설계점에서의 600시간(純 25일) 연속내구평가를 실시하였다.

이러한 내구평가를 통하여 기본적인 베어링의 내구성을 검증하였다. 또한 수차례의 문제점 검증과정을 통하여 베어링의 선택 및 윤활유의 조합 등에 대한 기본적인 설계 자료를 확보하였다.

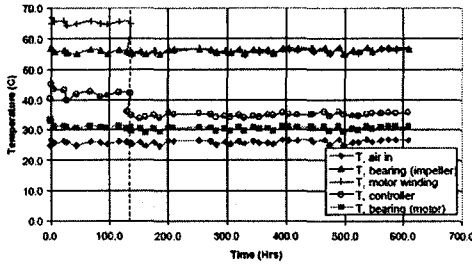


그림6. 블로어 내구평가시 부분별 온도변화

초기 130시간여 동안에 나타난 모터 winding부분과 controller의 온도는 data logger의 문제 및 제어기 사양변경에 따른 것으로 터보블로어의 내구성에 미치는 영향은 없을 것이다.

3. 결론

상기와 같이 연료전지차량에 적용하기 위한 터보블로어의 기본적인 개발이 성공적으로 완료된 상태이다. 그러나, 향후 개발된 연료전지차량에 적용하기 위한 진동내구, 환경평가 등을 추가로 진행하여 성능 및 안정성을 향상 시키고, 내구성을 차량 적용에 부합토록 할 것이다. 아울러 상품성을 증대시키기 위하여 소음저감 및 생산 기술관련 검토가 진행될 것이다.

또한 지금까지 축적된 기술을 바탕으로 지금보다 차량 패키지측면에서 유리할 수 있도록 소형화하기 위하여 터보블로어의 회전수를 증대시키는 방안에 대한 연구개발을 계속할 것이다.

References

- 1) James Larminie, Andrew Dicks. Fuel Cell Systems Explained, John Wiley & Sons, Ltd ; 229-250P
- 2) Joshua M. Cunningham, Myron A. Hoffman and David J. Friedman, A Comparison of High-Pressure and Low-Pressure Operation of PEM Fuel Cell Systems, SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2001-01-0538