

연료전지 버스용 공기공급시스템 개발

김 우준¹⁾, 박 창호²⁾, 조 경석³⁾, 오 창훈⁴⁾

Development of Air Supply System for Fuel Cell Electric Bus

Woojune Kim, Changho Park, Kyungseok Cho, Changhoon Oh

Key words : FCEV(연료전지자동차), Turbo Blower(터보 블로워), Centrifugal Compressor (원심 압축기), Impeller (임펠러), Volute (볼루트)

Abstract : FCEV uses electric energy which generated from the reaction between Hydrogen and Oxygen in fuel cell stack as driving force. As fossil fuels are exhausted, fuel cell is regarded as a potent substitute for next generation energy source, and thus, most of car-makers make every efforts to develop fuel cell electric vehicle (FCEV). In addition, fuel cell is also beneficial in aspect of environment, because only clean water is produced during chemical reaction process instead of harmful exhausted gas. Generally, Hydrogen is supplied from high-pressured fuel tank, and air blower (or compressor) supply Oxygen by pressurizing ambient air. Air blower which is driven by high speed motor consumes about 7~8 % of energy generated from fuel cell stack. Therefore, the efficiency of an air blower is directly linked with the performance of FCEV. This study will present the development process of an air blower and its consisting parts respectively.

1. 서 론

현존하는 대부분의 차량은 원유를 정제하여 얻은 화석 연료를 동력원으로 이용하여 운행되고 있다. 그러나, 전 세계적인 에너지 수요 증가와 한정된 화석 연료의 매장량으로 인해 새로운 에너지원에 대한 연구가 필요한 실정이다. 대안으로 전기자동차, 하이브리드 자동차 및 에탄올을 사용하는 플렉스 연료차량이 선보이고 있으나, 직간접적으로 화석 연료를 사용하고 있으므로 완전한 대안이 되지 못한다. 전기 자동차에 사용되는 전기 및 플렉스 연료차에 사용되는 에탄올을 정제할 때 사용되는 에너지의 대부분은 발전소에서 화석 연료를 이용하여 만들어 진다. 또한, 하이브리드 자동차는 저속에서는 자가 발전한 전기를 사용하지만, 고속에서는 화석 연료를 직접 사용하므로 단지 연비 개선 효과가 있을 뿐이다. 이에 대부분의 차량 메이커들은 대안으로 연료전지를 주목하고 있으며, 활발한 연구가 진행 중이다. 연료전지 자동차는 수소와 산소가 결합할 때 생기는 전기 에너지를 동력원으로 사용하며, 반응시 유해가스 없이 물만 배출하므로 환경적인 측면에서도 장점이 있다.

일반적으로 수소는 차량에 장착된 고압의 수소탱크를 통해 공급받으며, 산소는 주변 공기를 압축하여 연료전지의 스택으로 공급한다. 연료전지 차량은 기계적 운동하는 부품(엔진)이 없으므로 모든 구동 부품은 전기적으로 구동되어야 한다. 차량에 포함되는 구성품 중 가장 많은 에너지를 사용하는 것이 공기블로워이다. 공기블로워는 최대 출력시 스택 용량의 최대 7~8% 까지 소모하므로, 연료전지 차량의 효율 향상을 위해서는 고효율의 공기블로워 개발이 시급하다.

공기를 공급하는 블로워는 형태에 따라 구분하는데, 형태에 따라 크게 스크류형, 스크롤형, 원심형으로 구분된다. 본 연구는 제품의 소형화가 용이하고 상대적으로 구조가 간단한 원심형 블로워 개발에 대해 설명하겠다.

- 1) 한라공조 기술연구소
E-mail : wjkim3@mail.hcc.co.kr
- 2) 한라공조 기술연구소
E-mail : chpark@mail.hcc.co.kr
- 3) 한라공조 기술연구소
E-mail : kscho@mail.hcc.co.kr
- 4) 한라공조 기술연구소
E-mail : choh3@mail.hcc.co.kr

2. 시스템 구성

본 연구에서 소개할 원심형 공기 블로워는 크게 압축부와 구동부로 구분된다. 압축부는 고속 회전하며 흡입 공기에 운동에너지를 공급하는 임펠러와 임펠러를 통과한 유동을 모으고, 운동에너지를 압력으로 전환하는 볼루트로 구성되며, 구동부는 임펠러를 회전시키는 고속 모터 및 컨트롤러로 이루어져 있다.

아래 그림에서 보는 것 처럼 블로워의 입구에서 흡입된 공기가 모터 방열판을 통과하며 과열된 모터를 냉각하는 구조이다. 본 제품에 적용된 냉각 구조는 별도의 냉각 장치를 구비하지 않아도 되므로, 시스템을 간단하게 하는 장점이 있다. 모터 출구에는 임펠러로 유동을 안내하는 가이드가 있어서 급격한 유로 변경에 따른 손실을 줄인다.

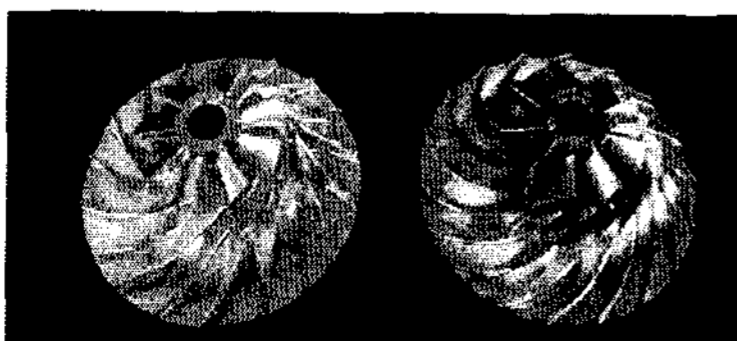


<그림1. 공기 블로워>

2.1. 임펠러

임펠러는 공기 블로워의 핵심 부품으로 고속 회전하면서 작동 유체의 운동 에너지를 증가 시킨다. 입구에서 수직방향으로 들어온 공기가 출구에서는 방사 방향으로 배출되므로, 효과적으로 유동 방향을 바꿀 수 있는 설계가 요구된다. 또한, 임펠러의 출구로 갈수록 압력이 증가하므로 역압력 구배에 따른 역류를 방지하기 위해 블레이드의 급격한 터닝은 피해야 한다.

본 연구에서는 유동 해석을 통해 임펠러 크기 및 블레이드 형상에 따른 성능 및 유동장 특성을 예측 하였고, 시스템 크기와 작동 조건을 고려하여 임펠러를 설계하였다. 임펠러 설계시 고려한 주요 인자는 블레이드의 입출구 각도, 외곽 지름, 출구 높이 등이다. 블레이드는 회전방향의 반대방향으로 굽은 Backward Sweep 방식을 채택하였는데, 이 방식은 출구의 절대 속도가 작아지므로 효율이 증가하는 장점이 있다.



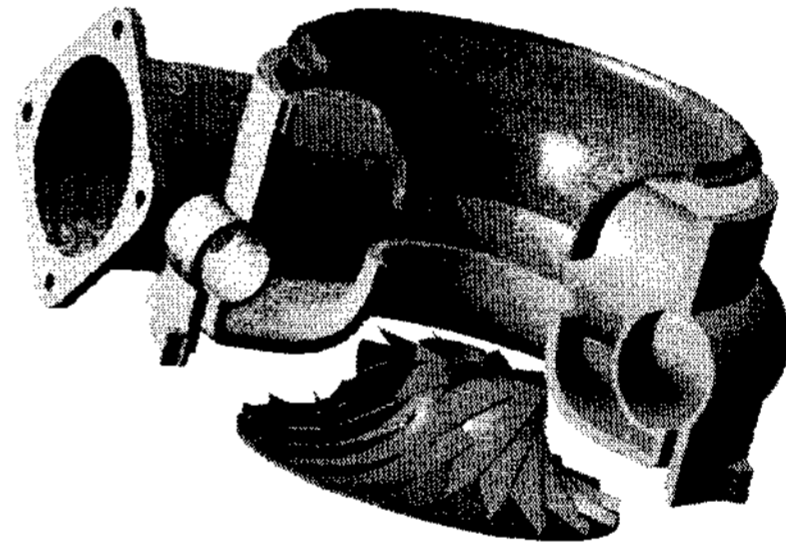
<그림2. 직경 140mm 임펠러 2종>

위 사진은 공기 블로워에 적용된 직경 140mm의 임펠러이다. 슈라우드 라인을 동일하게 유지하고, 임펠러의 출구각만 변화 시킨 2종에 대해 평가를 실시하였다.

2.2 볼루트

작동 유체가 임펠러에서 얻은 운동에너지는 디퓨저와 볼루트를 통과하면서 압력으로 변환된다. 디퓨저는 베인의 유무에 따라 베인 디퓨저와 베인리스 디퓨저로 구분되고, 베인의 형상에 따라 Airfoil 디퓨저 Channel 디퓨저 등으로 나뉜다. 일반적으로 디퓨저에 베인이 있는 경우가 효율이 좋으나, 안정 작동 영역은 좁아진다. 이것은 회전수 및 유량에 따라 임펠러 출구에서의 유동각과 베인의 설치각에 차이가 발생하기 때문이다. 연료전지 차량용 공기 블로워는 주행 조건에 따라 작동 영역이 넓게 변하므로 베인리스 디퓨저가 적합한 것으로 판단된다. 또한, 베인리스 디퓨저는 제작이 간단한 장점도 있다.

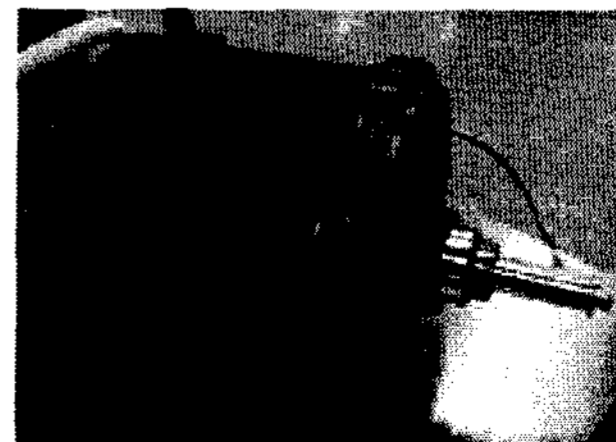
볼루트는 디퓨저를 통과한 유동을 모아서 출구로 내보내는 원형의 스크롤이다. 또한, 유동 수집 기능 외에도 디퓨저에서 충분히 회복되지 못한 운동에너지를 압력으로 변환하는 기능도 수행한다. 아래 그림은 본 연구에서 설계한 Overhung Type 볼루트의 단면이다.



<그림3. Overhung Type 볼루트>

2.3 고속 BLDC 모터

연료전지 차량은 기계적으로 왕복운동하는 엔진이 없기 때문에 모든 구동 부품은 전기적 에너지를 이용하여 동작되어야 한다. BLDC 모터는 일반 DC 모터의 정류자와 브러쉬 역할을 반도체 소자와 홀센서가 대신하게 되므로, 고용량 및 고속화에 유리하다. 그림4는 본 연구에서 개발하여 적용한 BLDC 모터 사진이다.



<그림4. 고속 BLDC 모터>

3. 시험 방법 및 결과

3.1 시험 장비 구성

제작된 블로워의 성능 목표는 압력비 1.5, 유량 0.1 kg/s (5,000 SLPM) 이다. 성능 평가를 위해 4 채널 노즐을 장착한 전용 풍량 시험 장치를 제작하였다. 유량 측정에는 크기가 다른 4개의 노즐을 이용하고, 볼루트의 출구에 연결된 덕트에서 압력을 측정하였다. 시험기의 내부에는 반흡음재 처리하여 외부 소음을 차단할 수 있게 하였다.



<그림5. 모터 단품 평가 (다이내미터)>



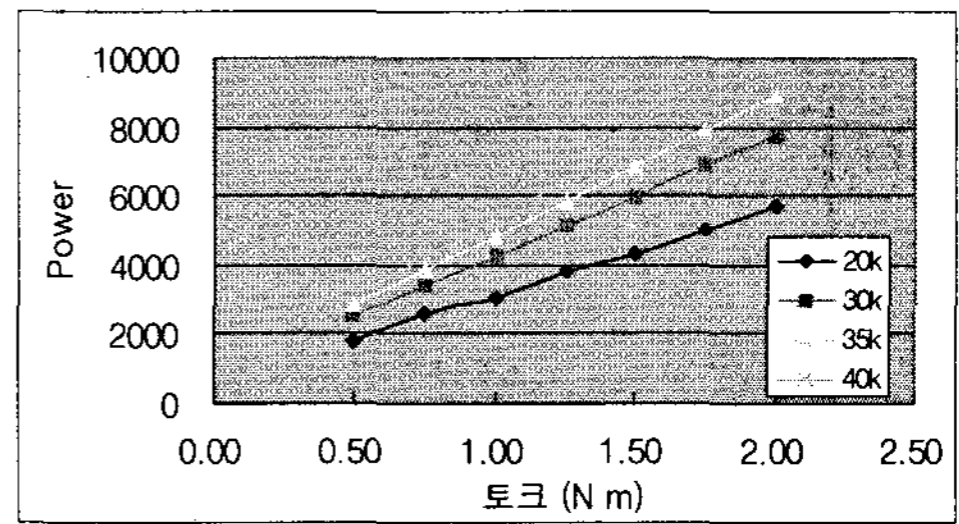
<그림6. 풍량 측정기 및 4채널 노즐>



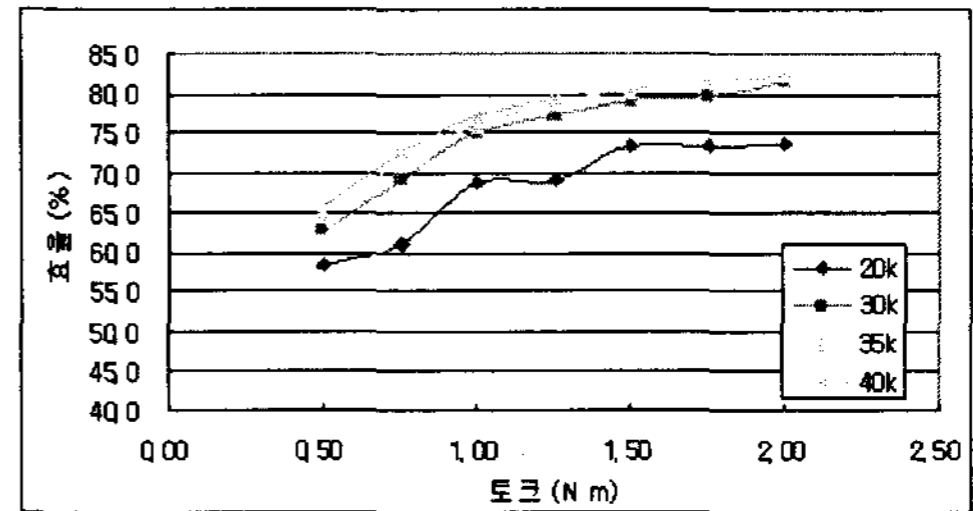
<그림7. 풍량 시험>

3.2 모터 단품 성능 평가

아래 그림은 제작된 모터 단품의 다이내미터 평가 결과이다. 동일한 회전수에서 토크가 증가함에 따라 모터의 파워가 선형으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 컨트롤러를 포함한 효율은 최대 작동점에서 약 82% 수준이다.



<그림8. 토크-파워 측정 결과>



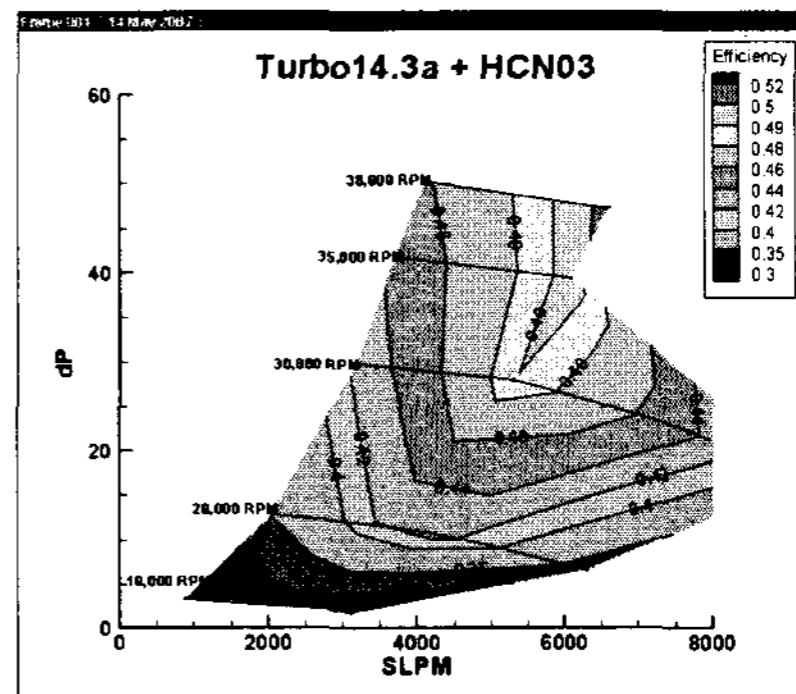
<그림9. 토크-효율 측정 결과>

3.3 블로워 성능 평가

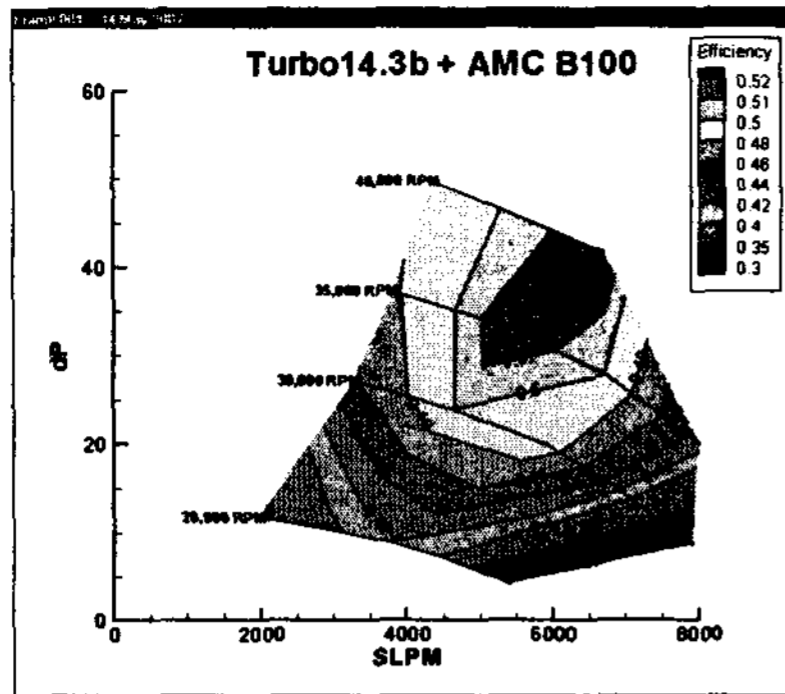
앞서 설계한 임펠러 2종에 대한 성능 평가를 실시하였다. 두 제품 모두 38000RPM 이상에서 요구 성능을 만족하였고, 그 때 시스템 효율은 50~52%로 나타났다. 아래 성능 곡선도에서 보는 것 임펠러 각이 증가한 경우 시스템 효율은 향상 되었으나, 설계 압력 및 유량을 달성하기 위한 회전수도 증가하였다.

<표1. 임펠러 별 성능 결과>

	임펠러 출구각	30 deg
	성능 (38,000 RPM)	4,100 SLPM / 1.50 bar / 45.8 % 6,600 SLPM / 1.47 bar / 50.4 %
	임펠러 출구각	60 deg
	성능 (40,000 RPM)	4,350 SLPM / 1.50 bar / 48.7 % 6,700 SLPM / 1.42 bar / 52.0 %



<그림10. 시스템 성능 곡선 (출구각 30도)>



<그림 11. 시스템 성능 곡선 (출구각 60도)>

4. 결 론

연료전지 차량용 공기공급 시스템을 설계 및 제작 후 평가를 실시하였다. 성능 평가 결과 약 38,000 RPM에서 프로젝트 성능 목표 1.5bar, 5000 SLPM 을 달성하였다. 향후 시스템의 고효율화 및 안정성 확보에 관한 추가 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지원 신재생에너지 개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- 1) K. Hillewaert and R.A. Van den Braembussche, 1999, "Numerical Simulation of Impeller-Volute Interaction in Centrifugal Compressors," Journal of Turbomachinery, Vol. 121, pp. 603-608
- 2) David Japikse and Nicholas C. Baines, 1994, "Introduction to turbomachinery," Concept ETI.
- 3) David Japikse, 1996, "Centrifugal Compressor Design and Performance," Concept ETI.
- 4) S.L. Dixon, 1998, "Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery," Butterworth Heinemann Publications