

연료전지 차량용 공기 블로워의 공력 설계

김 우준¹⁾, 박 창호²⁾, 지 용준³⁾, 조 경석⁴⁾, 김 영대⁵⁾, 박 세영⁶⁾, 오 창훈⁷⁾

Aerodynamic Design of Cathode Air Blower for Fuel Cell Electric Vehicle

Woojune Kim, Changho Park, Yongjun Jee, Kyungseok Cho, Youngdae Kim, Seyoung Park, Changhoon Oh

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

Abstract : FCEV uses electric energy generated from fuel cell stack, thus all consisting parts must be re-designed to be suitable for electricity based system. Cathode air blower which supplies compressed air into fuel cell stack has similar shape of turbocharger, but a radial turbine of traditional turbocharger is removed and high speed BLDC motor is installed. Generally, maximum 10% of electric power of fuel cell stack is consumed in air blower, therefore an effective design of air blower can improve the performance of FCEV directly.

This study will present an aerodynamic design process of an air blower and compare computational results with experimental data.

1. 서 론

공기 공급 시스템은 연료전지 스택에서 전기를 생성하는데 필요한 산소를 공급하는 장치로, 연료전지 시스템의 핵심 구성 부품이다. 스택으로 전달되는 과정에서 발생하는 유로 저항에 따른 손실을 줄이기 위해, 공기 공급 시스템은 대기를 압축하는 과정을 포함하게 된다. 스택이 필요로 하는 공기의 압력 및 유량 수준에 따라 적용되는 블로워의 형태가 결정되는데, 유량이 적고 압력이 높은 영역에서는 스크류 혹은 용적형 압축기를 적용하고, 상대적으로 유량이 많고 압력이 낮은 영역에서는 터보형 압축기를 사용하는 것이 일반적이다. 스크류 압축기의 경우 터보형 압축기 보다 낮은 회전수에서 동작하고, 직관적으로 이해할 수 있는 압축 구조를 갖고 있으나, 무접고 부피가 큰 것이 단점이다. 터보형 압축기는 작고 간단한 구조로 제품을 저렴하게 만들 수 있으나, 고속 회전에 적합한 윤활 구조 확보가 필요하다.

디젤 차량에 적용되고 있는 터보차저는 엔진에서 발생하는 배기 가스의 에너지를 이용하여 축을 구동한다. 가스의 유동에 의한 기계적 에너

지를 효과적으로 회전력으로 전환하기 위해 원심 형태의 터빈이 장착되고, 터빈과 동축에 연결된 임펠러가 공기를 압축하는 방식이다.

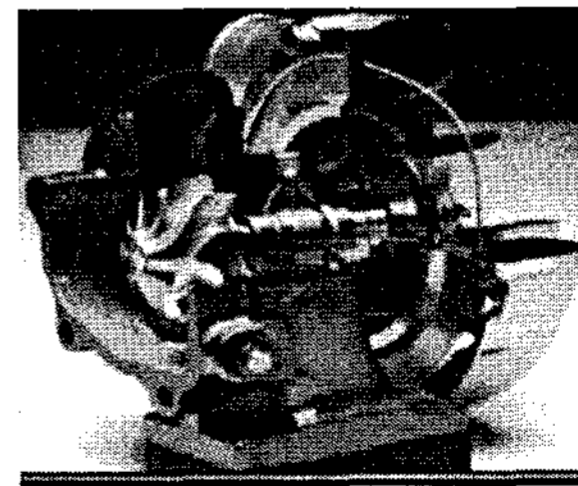


그림 1. 차량용 터보차저

그러나, 연료전지 차량에는 내연기관에서 발생하는 고온의 배기 가스가 없기 때문에 모든 구동력은 전기를 이용하여 구동되어야 한다. 즉, 스택에서 생성한 전기의 일부가 스택이 기능하는

1), 3-7) 한라공조 기술연구소
E-mail : wjkim3@mail.hcc.co.kr
2) 한라공조 기술연구소 연구개발담당

데 필요한 주변 구성품을 작동시키는 데 소모되므로, 구동모터로 공급되는 동력의 손실이 발생하게 된다. 공기 블로워는 연료전지 차량의 주변 구성품 중 가장 많은 전력을 소비하는 부품으로, 100kW 스택 기준시 전력 소비량은 최대 10%에 이른다. 따라서 공기 블로워의 효율 향상은 연료전지 차량 시스템 전체의 성능 향상과도 직결되는 중요한 과제이다. 스택에서 요구하는 공기의 압력 및 유량 수준에서 블로워의 효율 향상 방안은 크게 압축부와 구동 모터부로 나누어 생각할 수 있다. 일반적으로 압축부가 확정이 되어야 구동에 필요한 모터의 상세 설계가 가능하므로, 요구 성능 달성을 위한 정확하고 효율적인 압축부 설계가 선행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 압축부의 핵심 구성부품인 임펠러의 설계 인자를 변경하면서 공력 효율 향상 방안을 검토하겠다.

2. 본 론

본 연구에서 검토한 공기공급시스템의 압축부는 크게 임펠러, 베인리스 디퓨저, 볼루트의 3개 부분으로 구성되어 있다. 흡입 공기는 임펠러에서 가속되며 운동에너지를 얻고, 디퓨저 및 볼루트를 통과하며 운동에너지를 압력으로 전환한다. 임펠러를 회전시키기 위해 차량이나 선박에서는 임펠러와 동축에 연결된 원심형 터빈을 사용하는 것이 일반적이거나, 연료전지 시스템에서는 고속 BLDC 모터를 이용하여 임펠러를 구동한다. 모터를 이용하여 블로워를 구동하는 경우 사용 조건에 맞게 속도를 정교하게 제어할 수 있는 장점이 있다.

2.1. 해석용 설계 변수 선정

임펠러의 크기 및 회전 속도에 따라 토출 압력, 유량 및 모터의 소모 동력이 결정되므로, 압축부 설계시 임펠러의 형상을 가장 먼저 결정해야 한다. 임펠러의 주요 설계 변수는 블레이드의 입출구 각도, 날개의 스윙 각도, 날개 갯수 및 스플리터 유무 등이 있으나 형상에 관한 설계 자유도가 대단히 높기 때문에 설계자의 경험 및 실험 자료에 대한 의존도가 높다. 원심형 공기압축기의 경우 블레이드의 입구각 60도, 출구각 30도 부근에서 임펠러 형상을 결정하는 경우가 많지만, 설계 타겟 및 작동 조건 제약에 따라 설계값이 결정된다.

본 연구의 성능 타겟은 압력비 1.5, 유량 0.15 kg/s 이며, 직경 140mm 기준 임펠러에 대해 블레이드 입출구의 각도를 변경하며 성능 해석을 실시하였다. 기준 임펠러는 블레이드의 입구각 60도, 출구각 30도의 제품으로 설계 회전수 30,000 RPM에서 압력비 1.3, 유량 0.1 kg/s 를 만족하도록 설계되었다. 본 연구에서 요구하는 압력비 및 유량이 기준 임펠러의 설계점 보다 높은 수준이므로 유동 해석은 40,000 RPM 회전하는 조건에서 비교하였다.

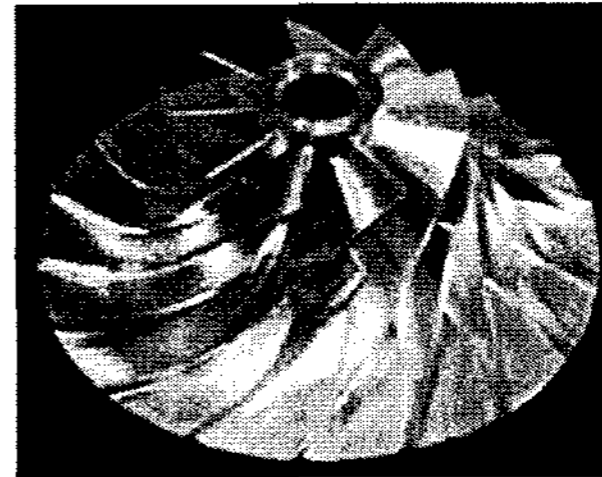


그림 2. 기준 임펠러

임펠러 입출구각의 변화는 기준 임펠러 대비 +/- 10° 로 결정하였고, 총 9개의 임펠러 설계안에 대해 유동 해석을 수행하였다. 각이 너무 큰 경우 임펠러의 형상이 심하게 왜곡되는 조합이 발생하는 문제가 있다. 입출구 각의 변경에 따른 임펠러 설계 조합은 아래 표와 같다.

Inlet \ Outlet	50	60	70
20	(2)	(3)	(4)
30	(5)	(1) baseline	(6)
40	(7)	(8)	(9)

표 1. 임펠러 설계 조합

2.2. 격자 생성 및 해석 조건

해석을 위한 임펠러 모델링, 격자 생성에는 CFX-BladeGen 및 TurboGrid 를 이용하였다. 아래 그림과 같이 1개의 메인 블레이드와 1개의 스플리터로 구성된 유로가 반복되므로, 1개의 유로에 대해서만 계산하였다. 입구에는 대기 조건을 적용하였고, 출구는 질량 유량으로 설정하였다. 앞서 기술한 바와 같이 40,000 RPM에서 k-e 난류 모델을 이용하였다.

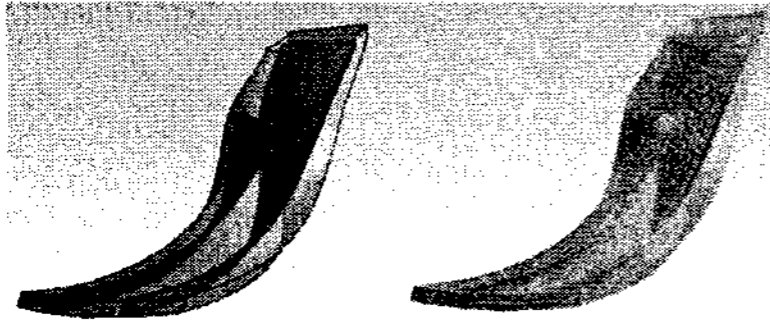


그림 3 . 블레이드 형상 및 격자

Inlet Total Pressure	101325 Pa
Inlet Total Temperature	300 K
Outlet Mass Flow Rate	0.15 kg/s
Turbulence Model	k-e
Rotating Speed	40,000 RPM

표 2. 해석 조건

2.3. 해석 결과

임펠러 설계안 9종에 대한 유동 해석 결과를 표3 에 정리하였다. 각각의 경우 순서대로 전압력, 전온도, 전효율을 나타낸다.

		Inlet		
		50	60	70
Outlet	20	199,169	200,519	201,204
		371.1	371.2	371.3
		89.7	90.7	91.1
	30	193,163	194,946	195,589
		367.7	343.9	368.0
		89.6	90.8	91.2
	40	185,775	187,642	188,450
		363.4	363.6	363.9
		89.4	90.9	91.1

표 3. 해석 결과

해석 결과에서 보는 것 처럼 기준 임펠러와 출구각은 동일하나, 입구각이 10도 증가한 경우 미세하게 효율이 증가하였으나, 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나, 입구각은 작아지고 출구각은 커지는 경우 효율이 약 1.4% 감소하였다. 또한, 입구각이 일정할 때는 출구각의 변화하여도 전체 효율은 거의 변하지 않았지만, 출구각을 동일하게 유지하면서 입구각을 변경시키는 경우 효율은 약 2% 가량 차이를 보인다. 전효율 계산 결과로 추론해 볼 때 임펠러의 전효율에 미치는 영향은 블레이드의 입구각이 더 큰 것으로 판단된다.

블레이드의 출구각이 작아질수록 전압력이 상승하는 것은 임펠러의 백스윙이 작아지면서 출구의 절대 속도가 커지기 때문이다. 출구의 전압력

이 높으면 상대적으로 디퓨저 및 볼루트에서 회복해야 할 압력의 양이 많아지므로, 전체 시스템 효율은 낮아지는 것이 일반적이다.

가장 효율이 좋은 것으로 예측된 입구각 60도, 출구각 30도의 임펠러에 대한 주요 해석 결과를 아래 그림에 정리하였다.

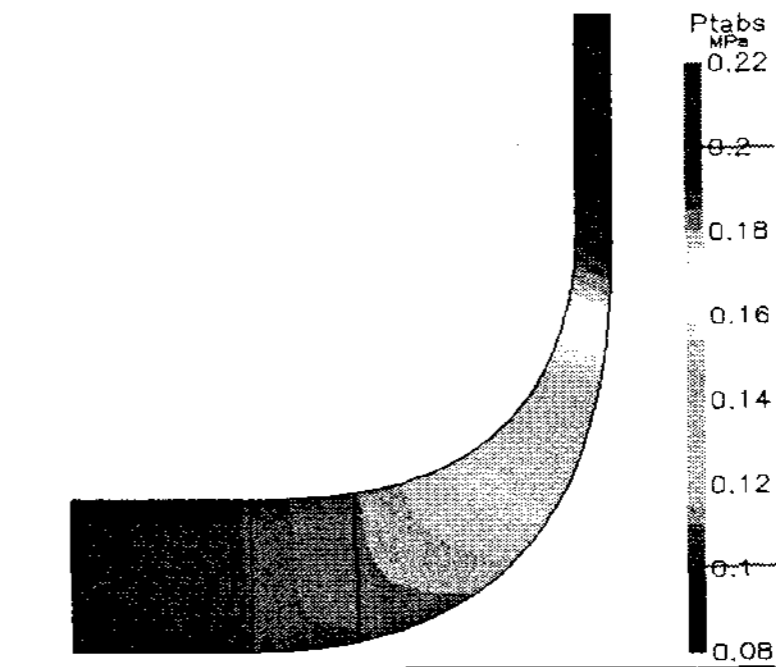


그림 4 . 전압력 분포 (case 6)

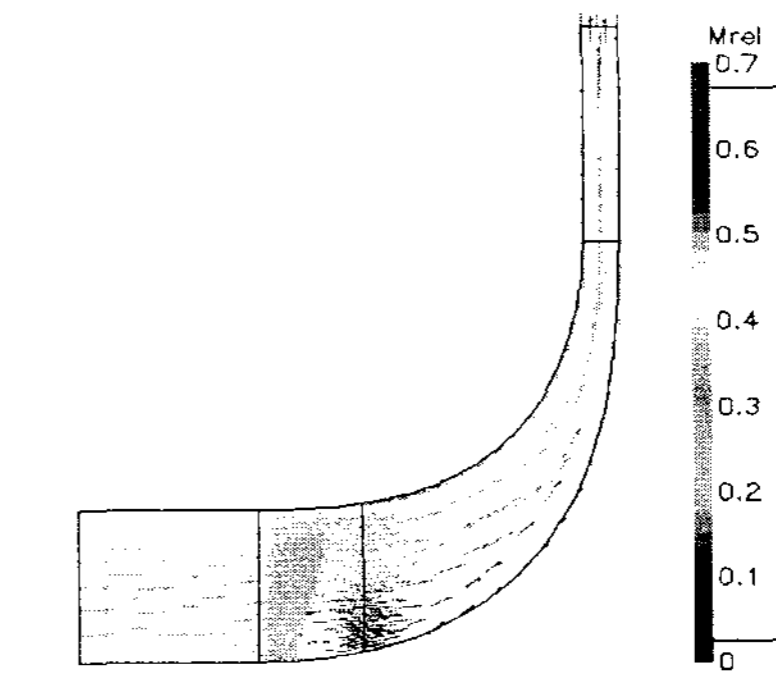


그림 5 . 유선 및 상대 마하수 (case 6)

3. 결론

기준 임펠러와 입출구 유동각을 변경한 임펠러 총 9종에 대한 유동 해석을 실시하였다. 기준 임펠러보다 부하가 많은 쪽으로 설계점이 변하면서, 블레이드의 입구각이 큰 경우 효율이 약간 상승하였다. 또한, 임펠러의 전효율은 블레이드의 출구각보다 입구각의 영향을 더 많이 받는 것을 확인하였다.

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