

## 비동기형 고속모터를 사용한 공기부양식 터보블로워의 개발

박기철\* · 윤주식\* · 이기호\* · 김경수\* · 김동권\* · 김승우\*

### Development of Asynchronous High Speed Turbo Blower with Gas Bearing Supports

Kicheol Park\*, Jushik Yoon, Kiho Lee\*, Kyungsoo Kim\*, Dongkwon Kim\*, Seungwoo Kim\*

*Key Words* : High speed motor(고속모터), Gas bearing(공기 부양 베어링), Air cooling(공냉식), Turbo blower(터보 블로워),

#### ABSTRACT

Asynchronous high speed turbo blower of 100HP class with gas bearing supports is developed. The high speed motor is cooled by air and it's RPM is controlled by high frequency inverter to adjust inlet flow rate. Product family is ranged from 50 to 200HP and covered by three frames. Highly efficient impeller is designed and proved by performance test on system. Overall measured system efficiency is 82% including motor and inverter. The motor efficiency is about 95%. It is designed to guarantee to operate at ambient temperature of 35 Deg.C and max 45 Deg.C. Gas bearing with high load capacity is developed to support heavy rotor on low rotational speed.

#### 1. 서론

오늘날 매우 다양한 형태로 산업 분야 및 생활 주변에서 사용되고 있는 압축기는 압축방법에 따른 형식의 구분 외에 작동 영역에 따라 송풍기/팬, 블로워 및 압축기 등으로 구분하기도 한다. 이들 가운데 블로워는 상대적으로 넓은 압력 범위를 가지며 응용 분야가 가장 다양하다고 할 수 있다. 일반적으로 블로워의 대표적 형식으로는 루츠 블로워를 꼽을 수 있는데 저렴한 가격으로 손쉽게 구입할 수 있다는 점이 가장 큰 장점이라고 할 수 있다. 그러나 낮은 시스템 효율과 높은 작동 소음이 발생하는 단점을 가지고 있어 에너지 효율 및 작업 환경 문제가 발생할 수 있다. 또한 정기적인 유지 보수에 따른 비용이 지속적으로 발생하게 된다.

이를 개선하기 위한 방법으로 원심형 임펠러를 사용한 터보 블로워가 개발되었는데 루츠 블로워에 비하여 5~7배 이상의 높은 가격으로 인하여 제한된 시장에만 공급되고 있는 실정이다. 터보블로워의 경우 증속기어 및 입구안내깃을 사용한 방식(그림 1)과 고속모터에 직접 연결하여 회전수 조절에 의한 유량 조절 방식이 있다. 1990년대 초반 핀란드의 High Speed Tech Oy 회사(현재는 스웨덴 업체인 ABS 소유인 NOPOL 사로 합병)는 고속 모터를 사용하여 기어박스를 없애고 자기베어링을 사용하여 급유 장치 등의 보조기구를 제거함으로써 시스템 가격을 절감하고 사용 편의성을 크게 높인 고속 터보 블로워를 개발 하였다(그림 2). 이 제품의 경우 초기 시장 진입에는 어려움을 겪었으나 최근 고속모터를 사용한 터보 블로워(이후 고속 터보블로워라 한다)에 대한 관심이 높아지고 디지털 방식의 자기베어링 제어를 사용하여 최근에는 판매 대수가 크게 증가하고 있다. 최근 국내에서도 여

\* (주)뉴로스 부설 터보에너지 연구소  
E-mail : kcpark@neuros.co.kr

러 업체에서 고속 터보블로워 개발에 대한 연구가 많이 진행되고 있는데 대부분 가스베어링에 의한 로터 지지 방식을 채택하고 있다.

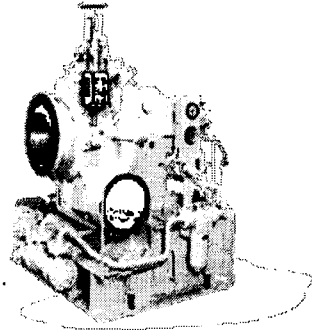


그림 1 기어박스를 사용한 터보블로워(한국 서원 풍력의 GM 시리즈)

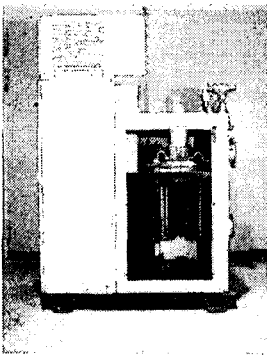


그림 2 고속모터 및 자기부상베어링을 사용한 터보블로워 (핀란드 High Speed Tech Oy. Ltd.)

본 논문에서는 당사에서 지난 1년간 진행되어온 고속 터보블로워의 개발 결과 및 출시 예정인 제품군에 대하여 소개 하고 향후 예상되는 국내외 시장 및 기술 동향에 대하여 언급해 보고자 한다.

## 2. 개발사양 및 제품군

당사에서 개발된 터보블로워는 고속모터 및 가스베어링을 사용하여 간편한 시스템 운용 환경을 제공하며, 설치 편의성을 고려하여 공기냉각방식을 채택하였다. 또한 주요 전기적 부품은 필드에서의 안정성이 확보된 제품을 사용하여 충분한 시스템 신뢰도 확보를 위해 노력하였다. 다음의 표 1 및 그림 3 에 당사 개발 제

품의 사양 및 외관을 나타내었다. 현재 1차로 개발완료 제품은 소비전력 75KW의 제품이며 다른 용량의 제품으로 손쉽게 변경이 가능하도록 설계되었다.

Specific Heat Ratio	1.4
Gas Constant	287
Specific Heat	1004.5

입구온도(Deg.C)	35
입구압력(Pa)	99300
입구밀도(kg/m3)	1.1228072
임펠러 토출압(DP)	0.6521739
임펠러 효율	0.88
Diffuser end Scroll Loss	0.92
토출압	0.6
효율	0.8198054

인버터 효율	0.95
모터 효율	0.95
베어링 및 기타 손실 (kW)	

Model Family	T50	T75	T100	T150	T200
Input Power (kW)	37.5	56.25	75	112.5	150
Power(KW)	36.625	53.4375	71.25	106.875	142.5
Power(HP)	50	75	100	150	200
Aero Power(kW)	31.187018	46.78052	62.37403	93.56105	124.7481
System Efficiency	83.165375	83.16538	83.16539	83.16538	83.16538
유량(kg/sec)	0.5747858	0.862179	1.149572	1.724357	2.299143
유량(m3/min)	30.715111	48.07267	61.43022	92.14539	122.8604

Table 1 터보블로워의 개발 사양 및 제품군

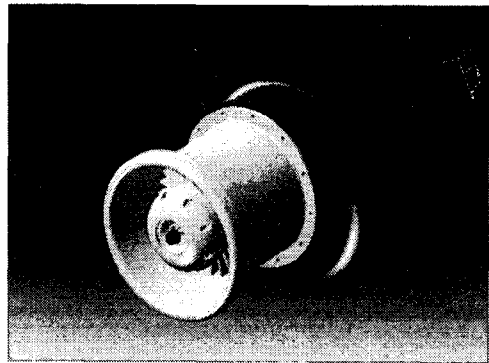


그림 3 100/150마력급 터보블로워의 외관

## 2. 고속 모터 및 인버터

지난 수십년간 항공용 또는 산업용 터보기계의 성능개선은 주로 회전수의 증가를 통해 이루어져 왔는데 대부분 고속에서 견딜 수 있는 구조 및 재료에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 구동용 터빈을 사용하지 않는 산업용 터보기계의 경우 고속을 얻기 위한 방법으로 증속기어를 사용하는 경우가 일반적이거나 이는 전체 시스템의 크기 및 비용을 증가시키는 단점이 있다. 최근에는 원하는 회전수를 간편하게 얻고 쉽게 제어하기 위한 방법에 대한 연구가 많이 진행되고 있는데 그 대표적인 예가 고속 모터 및 고속 인버터에 대한 연구

라고 볼 수 있다. 고속모터의 경우 영구자석을 사용하는 동기형 모터(Permanent Magnet Synchronous Motor:PMSM)와 비동기형 유도기 모터(Asynchronous Induction Motor: AIM)로 크게 구분이 된다. 일반적으로 PMSM은 AIM에 비하여 고회력에서 크기를 작게 하고 정밀한 속도제어가 가능하나 고속 로터에 영구자석을 취부하기가 까다로우며 모터를 구동하기 위한 인버터 개발이 기술적으로 어려워지는 단점이 있다.

당사에서 처음 터보 블로워 개발을 시작할 당시에는 PMSM을 사용한 설계를 검토하였다. 그러나 최근 용량대비 크기 및 효율 측면에서 PMSM과 대등한 AIM의 코어 및 스테이터가 상용 제품으로 개발되어 있어, 서로간의 여러 장단점을 비교 검토한 결과 터보 블로워와 같이 아주 정밀한 회전제어 및 빠른 가감속 제어를 필요로 하지 않는 분야에서는 PMSM보다는 AIM이 비용 및 기술적 완성도의 측면에서 월등하다고 판단되어 현재 개발된 제품의 경우 AIM을 적용하고 있다.

고속 모터 사양의 선정에 있어 가장 중요한 요소는 용량 및 회전수 인데 이는 개발하고자 하는 블로워의 용량과 깊은 관련이 있으며 용량이 커질 수록 고속을 얻기가 쉽지 않다. 블로워의 최적 용량을 선정하는 것은 결코 쉽지 않는 문제인데 이를 위해서는 시장 조사와 함께 향후 계속 개발될 제품군에 대하여도 충분한 고려가 필요하다. 당사에는 실제 터보블로워의 국내 판매를 담당하고 있는 업체들의 시장 조사결과 및 다른 업체의 개발 현황을 검토한 결과 100마력(75KW)의 개발 사양을 선정하고 이로부터 50마력에서 200마력의 제품군을 구성하였다. 이에 따라 기본 설계 회전수는 26,000RPM으로 선정되었는데 이는 100마력급 터보블로워의 임펠러 비속도를 최적으로 할 수 있는 속도이며 다른 용량의 제품으로 설계 변경 시 임펠러의 형상 변경을 최소로 할 수 있는 장점이 있다고 판단되었다. 그러나 이 회전수의 결정은 베어링의 설계에 있어 높은 기술적 수준을 요구하게 되었다.

### 3. 가스베어링

가스베어링의 경우 가급적 빠른 회전수 및 가벼운 로터를 요구하게 되는데 당사 터보블로워의 설계 회전수인 26,000RPM은 상당히 높은 기술적 수준을 필요로 하는 회전수라고 할 수 있다. 현재 국내 다른 업체에서 개발되고 있는 터보 블로워의 설계회전수는 대략 38,000~40,000RPM 내외인데 용량이 당사의 설계 용량보다 약간 작은 75마력임을 감안하더라도 로터의 크기

및 로터 선속도에 있어 보다 유리한 설계조건임을 알 수 있다. 그러나 당사 가스베어링의 경우 개발 초기부터 저속에서 충분히 무거운 로터를 견딜 수 있는 설계 개념을 가지고 개발 되었기에 임펠러의 효율 및 확장성을 최대로 할 수 있다고 판단된 26,000RPM으로 확정하였다. 그림 4에 당사에서 개발 완료된 가스베어링의 기술적 좌표를 나타내었다.

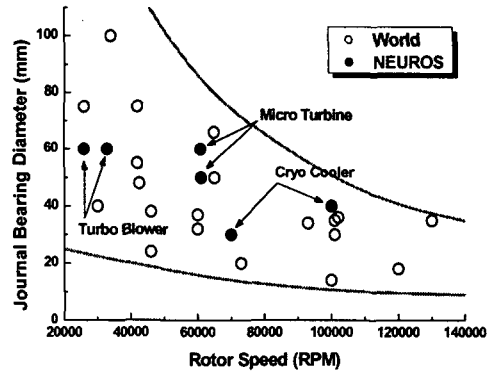


그림 4 로터 회전수에 따른 베어링 직경

그림 5에서 8에 축방향 하중을 지지하기 위한 Thrus gas bearing 및 로터를 지지하기 위한 Radial gas bearing의 형상 및 성능시험장치의 형상을 나타내었다.

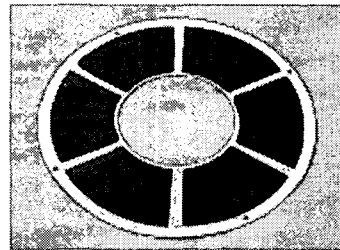


그림 5 Thrust gas bearing



그림 6 Radial gas bearing

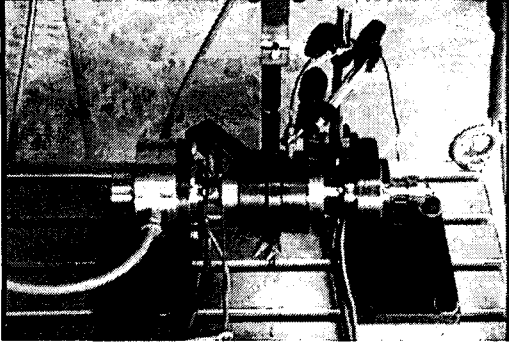


그림 7 Radial gas bearing의 성능시험기

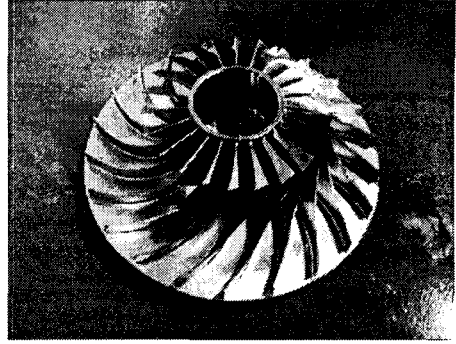


그림 9 100마력 터보블로워의 임펠러

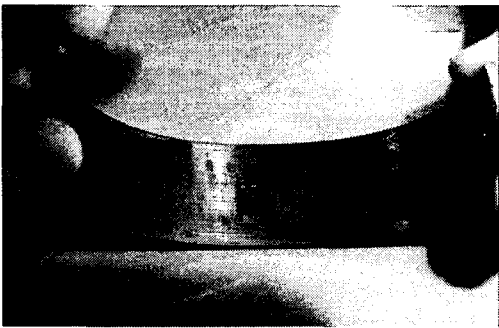


그림 8 성능시험을 마친 후의 Radial gas bearing의 top foil 상태

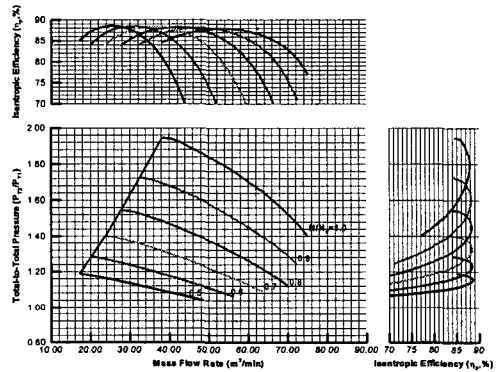


그림 10 100마력 터보 블로워의 성능 예측 곡선도

#### 4. 임펠러 및 Aerodynamics

블로워에서 주로 요구하는 압력의 범위는 일반적으로 0.5~2.5 barG 부근이라고 할 수 있다. 블로워는 운전 특성상 넓은 유량 범위를 가져야 하므로 요구 압력이 1.0barG 이하인 경우 Vaneless Diffuser를 사용하게 된다. 또한 임펠러의 공력 하중계수가 그리 크지 않기 때문에 제작상의 문제가 없다면 가급적 스플리터의 사용을 피함으로 공력성능을 향상 시키는 설계 개념을 채택하였다. 임펠러를 설계하기 전에 특히 고려되어야 할 사항 중 하나는 같은 설계로 동일 제품군 내에서 어느 범위의 제품용량까지 적용할 것인가 하는 점이다. 이를 충분히 고려치 않은 설계인 경우 제품 용량 모두에 대하여 각각 임펠러 개발을 해야 하는 문제점이 있다. 이는 비용 및 제작 상의 문제뿐 아니라 제품군이 일관되지 못한 성능을 가지게 되는 문제점을 보이게 된다. 당사의 임펠러는 Tip-Cut 및 Flow-Cut 등의 방법을 조합함으로써 동일한 임펠러 설계로 50~200마력까지의 용량에 적용 가능하다. 그림 9와 그림 10에 당사 임펠러의 형상 및 예측된 성능곡선을 나타내었다.

실제 성능시험 결과 임펠러의 단일 효율은 88% Vaneless Diffuser를 통한 전압력 손실은 8% 정도로 분석 되었다. 인터터 및 모터에 인가되는 전력 측정결과 모터 및 인버터의 효율은 각각 95% 이상을 나타내고 있어 전체 시스템 효율이 82%에 달하고 있음을 알 수 있다. 그림 11과 그림 12에 설계된 임펠러의 유동해석 및 구조해석 결과를 나타내었다.

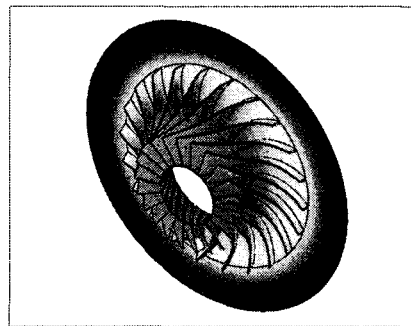


그림 11 100마력 터보 블로워의 정압력 분포

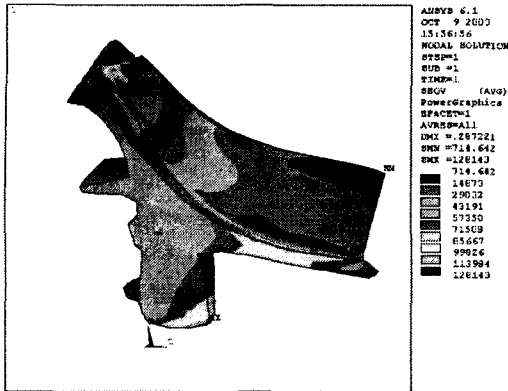


그림 12 100마력 터보 블로워의 진동해석 결과

열평형 시험 결과를 나타내었는데, 실험실 조건이 섭씨 25인 점을 고려하면 섭씨 45도 이상의 외기온도에 대하여서도 열적 안정성을 보장하고 있음을 알 수 있다.

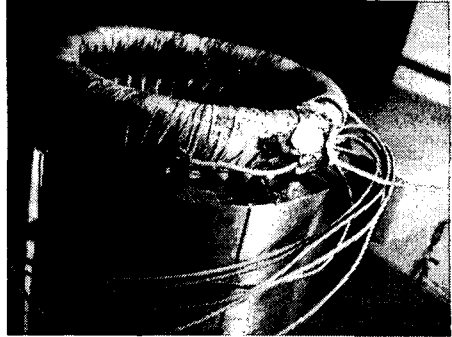


그림 13 모터 온도 측정용 센서 부착 장면

## 5. Heat Transfer

현재 고속모터를 사용하는 대부분의 제품은 물을 사용한 냉각 방식을 택하고 있다. 이는 고속모터에서 발생하는 많은 열을 흡수할 수 있는 매우 강력한 냉각 장치가 필요하기 때문이다. 더구나 블로워의 경우 운용 환경이 한 여름에는 섭씨 40도 이상의 실내에서 작동해야 하는 경우가 있으므로 안정된 냉각장치의 확보는 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러나 물을 사용한 냉각 시스템은 설치 및 유지 보수 측면에서 매우 귀찮은 방식이어서 공랭식 냉각 방법에 대한 시장의 요구가 계속 있어 왔다. 당사는 이러한 시장의 요구를 적극 반영 개발 초기부터 공랭식 제품으로 설계를 진행하여왔다. 이는 임펠러가 흡입하는 공기로 모터를 냉각시키고 출구로 배출되는 방식으로 별도의 외부 냉각 팬을 사용하는 방식과는 비교할 수 없을 정도의 강력한 냉각 성능을 가지고 있으며 흡수된 열이 블로워 외부로 전달되지 않아 시스템 패키징의 측면에서 매우 유리하다. 또한 비동기식 유도기 모터의 경우 회전자에서 상당한 열이 발생하는 반면 공극 증가에 따른 성능저하를 무시하기 힘들어 적절한 냉각 방법을 구현하기가 힘들다. 이를 해결하기 위해 당사에서는 항공기용 엔진의 복잡한 냉각유로 설계 경험을 바탕으로 최적의 냉각유로를 구성하고 이를 실제 시험을 통하여 해석결과와 비교 검증함으로써 열적으로 안정된 시스템 개발이 가능하였다. 그림 13에 모터 권선의 온도를 평가하기 위한 온도 센서가 부착된 고정자의 사진을 나타내었다. 그림 14에는 당사에서 수행된 모터 권선의

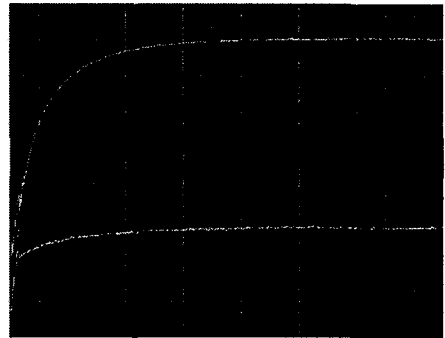


그림 14 모터 및 베어링의 온도 상승 곡선

## 6. Rotordynamics

현재 출시된 고속 터보 블로워를 크게 구분해 보면 PMSM 과 AIM 또는 가스베어링과 자기베어링으로 구분할 수 있다. 자기베어링을 사용한 대표적 제품인 핀란드 High Speed Tech Oy. 제품의 경우 개발 초기에는 가스베어링의 사용을 신중히 검토하였던 것으로 알려져 있다. 그러나 당시 보유한 가스베어링의 기술로는 저속에서 무거운 로터를 지지하기 어렵다는 결론에 이르렀고 자기베어링으로 방향을 전환하였다. 그러나 자기베어링의 사용은 별도의 제어기를 필요로 하였고 이 제어기의 오작동은 오랜 시간 문제점으로 남아 제품의 신뢰도를 확보하기까지 많은 시간이 걸리는 주원인이었다. 또한 아직도 자기베어링 제어기는 블로워 용량이 작아질수록 가격 경쟁력을 저하시키는 요인이

되고 있다.

그림 14는 당사에서 개발된 가스베어링을 장착한 로터의 진동값을 측정한 결과인데 20 미크론 이하(그림에 표시된 값은 진동 센서의 초기 offset 값을 고려하지 않은 수치임)의 매우 양호한 진동을 보이고 있어 가스베어링이 로터를 충분히 지탱하고 있음을 확인 할 수 있다.

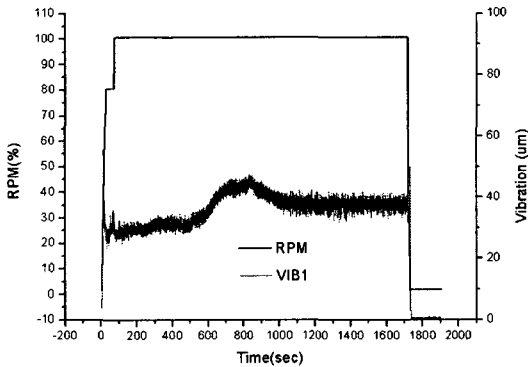


그림 14 회전수에 따른 로터 진동 측정 결과

## 7. 결론

지난 20년간 중대형 압축기 시장에서 스크류 압축기가 왕복동 압축기를 대체하고 다시 터보형 압축기가 스크류 압축기를 대체하기 위해 노력해왔으나 아직 전체 압축기 시장에서 터보형 압축기가 차지하는 부분은 그리 크지 않다고 판단된다. 그러나 최근 계속되고 있는 고속모터 및 가스 또는 자기베어링과 같은 무급유 시스템의 기술적 진보는 향후 터보형 압축기의 시장을 보다 확장 시키는데 큰 역할을 할 것으로 보인다. 특히 터보 블로워 분야에서 고속모터 및 무급유 시스템의 적용을 통한 비용 절감 및 사용 환경의 개선은 현재 증속기어 방식의 터보 블로워가 점유하고 있는 시장은 물론, 루츠 블로워의 시장에 진입함으로써 보다 큰 시장을 만들어갈 수 있을 것으로 보고 있다.