

## 송풍기분야 연구동향

양상호\*

### 1. 서 언

2007년도 국내에 발표된 웬 및 송풍기 분야의 주요 연구동향을 요약하여 소개하고자 한다. 2007년도에는 국내 전문 학술지를 통해 다수의 논문들이 발표되었지만, 본 원고는 그 중에서도 국내의 터보기계 관련 전문 학술지인 유체기계저널 2007년도에 게재된 웬 및 송풍기 분야의 논문을 중심으로 이 분야의 연구동향을 분석하였다. 특히 발표 논문 들 중에서 웬 및 송풍기가 전체 시스템의 단순한 부품으로 사용된 경우는 제외하고, 논문의 내용상 웬 및 송풍기 자체가 중요한 부분을 차지하는 논문에 대해서 언급하기로 한다.

2006년도에 유체기계저널에 발표된 논문은 총 7편이었지만 2007년도 유체기계 저널에 발표된 논문은 총 6편으로 양적으로는 1편이 줄었으나 논문을 내용적으로 분류하여보면 에어콘 실외기용 프로펠러 웬의 기술개발, 시스템 전자냉각팬의 선정 및 소음 평가기법, 쓰레기 판로이송시스템의 판로 압력강하 평가, 최적화 기법을 이용한 축류형 송풍기 개발에 관한연구, 고압 대풍 4단 블로워의 설계 및 제작에 관한 연구, 반도체 공장 Toxic 라인에 사용되는 FRP 웬 임펠러의 부식 대체방법에 관한 연구 등 웬과 송풍기와 관련된 다양한 분야에서 심도 있는 연구 및 기술 개발에 질적으로 많은 노력이 있었음을 알 수 있었다.

그러므로 본 원고는 2007년도 우리학회 학술지에 게재된 6편의 논문을 분석 요약하여 웬 및 송풍기 관련 산업계, 연구계 및 학계의 향후 연구 활동에 길라잡이 역할을 하고자 한다.

### 2. 연구 내용의 분석

먼저, 2007년도에 발표된 총 6편의 논문들은 가정용

\* (주) 삼원이엔비 기술연구소, 상무이사

E-mail : turboh5@hanafos.com

에어컨의 실외기용 프로펠러 웬의 기술개발, 시스템 전자냉각 팬의 선정 및 소음 평가기법, 쓰레기 판로이송시스템 판로에서의 압력강하 평가기법, 축류형 송풍기의 최적화 설계기법, 고압 4단 블로워의 설계 및 제작기법, FRP 웬 임펠러의 내부식 대체방법 제안에 대한 연구 내용을 포함하고 있다.

양상호 등<sup>(1)</sup>에 의해 발표된 “에어콘 실외기용 프로펠러 웬의 기술개발”은 3차원 설계 방법의 하나인 유선곡률법에 주안점을 두고 에어컨 실외기의 프로펠러 웬을 개발 한 것이 특징이다. 이 기술을 잘 활용하면, 3차원 유동장해석등의 번잡한 작업을 실시하지 않아도, 임펠러의 설계를 지극히 간단하게 행할 수 있다. 게다가 미국 항공우주국(NASA)이 개발한 항공기날개 이론을 기본으로 하고, 야프사(일본)가 독자 개발한 2차유동이론 응용에 의한 날개 최대두께 분포 최적화법과 작동원반 이론 응용에 의한 허브Hub부 주변 형상의 최적화로 심플하고, 초고효율, 경량·저비용 웬의 실현에 성공했다. NACA 4시리즈 계열에서 최대 양력 계수의 두께비에 대한 변화를 그림으로 나타내고 있다. 이러한 변화는 꼭 NACA 4시리즈 계열에만 국한되지 않고 대부분 익형의 최대 양력 계수는 두께비가 늘어나는 것과 동시에 급격하게 증가해, 두께비가 12~13%로 거의 최대가 되고, 이것을 넘으면 완만하게 감소한다. 즉 두께비 13%이하의 영역에서는, 양력증가와 경량화(두께감소)는 트레이드오프 관계가 된다. 단, 날개 최대두께가 익현장의 12~13%의 프로펠러 웬이 되면, 그 중량은 매우 크고, 재료비 및 수송비의 증대, 성형 리드 타임의 연장 등, 어쩔 수 없이 현저한 비용증가가 뒤따르게 되는 문제점을 해결하고자 지금까지 해오던 설계방식을 탈피하여 기존의 翼이론에 독자적인 노하우를 가미한 것으로, 에어컨 실외기용 프로펠러 임펠러에 가장 적합한 신개념의 항공기날개 이론을 적용하여 연구 한 결과, 최대두께 분포비 및 캠버 분포를 독자 개발하여 양력의 대폭적인 향상에

성공했다. 또한 양력 향상분의 두께비를 낮추어, 경량화와 고유효화를 동시 달성하는데 성공하였으며, 선형 안정성 이론을 이용하여 익간의 불안정 세로소용돌이(縱渦流)의 거동파악에 성공, 팬의 중심 보스부 주위 형상을 미세 조정함으로써 순환 흐름을 최적화시킴으로써, 익간의 불안정 세로소용돌이 거동을 강제적으로 안정화 시키는데 성공했다. 이러한 연구 결과에 따라 궁극적으로 최고효율의 2매 날개 프로펠러 팬이 실현되었으며 날개를 2매로 줄이는 것이 가능하기 때문에, 날개의 솔리디티를 최적화하여 고효율화로 설계함으로써 설계시간의 대폭 단축, 종래효율 대비 200%상승, 소음 에너지 85%저감, 코스트 50%절감으로 초고효율과 초경량·저비용화가 동시에 실현된 프로펠러 팬이 개발 완료되었음을 보여준다.

이찬<sup>(2)</sup> 등에 의해 발표된 “시스템 전자냉각 팬의 선정 및 소음 평가기법”은 최근 들어 눈부시게 발전하고 있는 전자, 정보통신 및 반도체 산업은 전자부품들의 고집적화, 고성능화를 가속화시키고 있으며 이로 인한 전자부품의 발열문제가 매우 심각한 상황임을 고려하여 전자 부품, 기기 및 시스템의 냉각을 위한 팬의 선정 및 소음 평가기법을 연구한 논문으로써 각 시스템의 열을 제거하는데 장애요인으로 작용하는 열저항(thermal resistance) 들을 전자 부품 및 전자 시스템 차원에서 최대한으로 줄이는 전자 냉각 설계 과정이 필요하며, 이를 통해 좀더 쉽게 열이 시스템 내부로 부터 빠져나가도록 설계하는데 주안점을 둔 연구이다.

시스템 차원의 전자냉각 열 설계란 시스템 내부에 실장되는 다수의 전자 부품들로부터 발생하는 열을 무한 열 흡수원(heat sink)으로 효과적으로 방출하기 위해 시스템 차원의 열저항을 줄이는 작업을 의미하며, 이때 무한 열 흡수원은 대상으로 다루는 전체 컴퓨터 시스템의 내부 환경을 의미한다. 그러므로 시스템차원의 열저항을 줄이기 위해서는 시스템내의 온도와 같은 환경변수 뿐만이 아니라 및 기류(air flow) 분포를 적절히 제어할 필요가 있다. 즉 시스템 내부 기류분포의 최적화를 통해 각 전자부품들에 필요한 공기의 양을 적절히 분배공급하고, 공기의 유속 및 흐름 형태를 조절하여 전자부품들의 냉각을 위한 최적의 환경조건들을 제공할 수 있다. 그리고 이러한 환경조건은 각 전자부품들에 대한 냉각설계를 효과적으로 수행하는데 있어 매우 효과적으로 작용하며, 더 나아가 이

러한 적절한 공기흐름의 제어는 냉각 팬의 소음저감을 위해서도 매우 유용하다. 시스템 내부에 여러 가지 전자부품(열원)들이 설치, 배열되어 있는 경우는, 각 부품들의 발열량과 설계온도(또는 허용기능온도)를 감안하여 부품의 냉각을 위한 공기의 양 및 속도를 결정하고, 이로부터 시스템 내부의 전체 부품들에 필요한 공기를 충분히 공급해 줄 수 있는 성능을 가지는 팬을 선정할 수 있는 기법을 연구하였다. 팬이 선정되면, 시스템 내부 전자부품들의 형상, 설치 위치 및 배열을 고려하여, 팬으로부터 전자부품들까지 냉각 공기가 원활히 유동될 수 있도록 팬의 설치 위치 및 방향을 결정한다. 그리고 팬으로 유입되는 공기와 유출되는 공기의 유동경로 및 유동배분에 대한 해석을 통해 선정된 팬의 성능과 팬의 설치 위치, 방향이 적합한지 검토하여야 한다.

시스템 내부의 공기 유동경로 및 유동배분 해석은 유동가시화 기법, 3차원 CFD 해석 등을 통해서도 가능하지만, 이러한 방법들은 기본설계 단계에 사용하기에는 많은 시간, 비용과 노력을 필요로 하므로, 본 연구는 좀더 사용하기에 간편하면서도 신뢰성 있는 유동회로망 모델(FNM: Flow Network Modeling)을 사용하였다. 유동회로망 모델에 있어서, 일반적으로 전자 시스템 내부 유동경로상의 모든 전자부품들은 유동요소들로 간주될 수 있으며, 유동요소를 통과하는 기류들의 질량보존 관계식과 압력/유동 저항관계식을 이용하여 시스템 내부의 복잡한 유동을 근사할 수 있다.

연구 결과, 유동회로망 모델과 팬 소음예측 모델을 결합하여 시스템 전자냉각을 위한 유동경로 및 유동배분 설계를 할 수 있는 해석방법과 팬 소음 특성을 평가하는 기법을 제안하였다. 유동회로망 모델에 의한 유동 설계 결과는 3차원 CFD 계산결과와 잘 일치하였고, 팬 소음평가 결과도 실제 측정결과와 잘 일치하는 것을 확인하였다. 그러므로 본 방법론은 팬을 이용하는 공랭식 시스템 전자냉각 설계과정에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 평가된다.

장춘만<sup>(3)</sup> 등에 의해 발표된 “쓰레기 관로이송 시스템의 관로 압력강하 평가”는 건물 내부 또는 외부에 설치된 쓰레기 투입구로 투입된 쓰레기를 지하로 연결된 매설 관로를 이용하여 자동으로 수거하는 방식에 대한 관로 압력강하 평가를 연구한 논문으로, 최근 우리나라에서도 대형 아파트단지나 신축건물 등을 대상으로 적용이 확대되고 있는데 반해 국내에서는 이에

대한 정확한 설계기준이 없어 각 건물 특성에 맞는 설계가 불가능하였으나 쓰레기 관로이송 시스템을 대상으로 쓰레기를 투입한 관로 내의 압력강하를 평가하기 위한 음식물 쓰레기의 수치해석 모델, 이를 이용한 평가 사례 그리고 내부유동장 특성을 3차원 나비에-스톡스 방정식을 이용하여 수행하였다. 쓰레기 관로이송 시스템은 쓰레기 발생원 부근의 투입구, 공기흡입구, 이송관로, 각종 댐퍼, 계측장치, 중앙 집하장, 분류설비(사이클론 등), 압축설비, 흡입송풍기, 방향설비 및 중앙제어장치 등으로 구성되어 있다. 이 중에서 쓰레기를 이송하는 통로가 되는 관로이송 시스템 및 흡입송풍기의 적절한 사양 결정은 각종 쓰레기의 이송뿐만 아니라 운전에너지의 절약에도 중요하다.

한편, 쓰레기 관로이송 시스템을 개발하고 사용하고 있는 외국의 경우에는 자국의 쓰레기 성상에 맞는 관로이송 시스템 개발을 수행하여 왔다.

우리나라의 경우에는 외국과는 달리 일반쓰레기 외에도 수분함량이 높은 음식물 쓰레기가 관로이송을 통해 배출되는 주요한 쓰레기 중에 하나이며, 이에 대한 연구는 세계적으로 전무한 실정이다. 현재 국내에 설치되는 쓰레기 관로이송 시스템의 대부분이 외국 설계회사의 기술을 바탕으로 설치된다는 점에서, 국내 음식물 실정에 맞는 쓰레기 관로이송 시스템의 타당성 검토는 중요한 설계요소 중에 하나라고 볼 수 있다.

본 연구에서는 쓰레기 관로이송 시스템 중에서 투입구측의 이송관로에서부터 쓰레기의 분리기와 흡입송풍기(터보 블로어)의 상부 관로까지를 해석영역으로 하였다. 즉, 본 해석영역은 실제의 이송관로의 총 길이를 포함하고 있으며, 관로해석을 통하여 관로 하류측에 설치된 송풍기의 성능을 결정하기 위한 압력강하 특성을 연구하였다. 연구결과 쓰레기를 투입한 관로내의 압력강하를 평가하기 위한 음식물 쓰레기의 수치해석 모델을 개발하고, 실제 이송관로에 적용하여 개발모델의 타당성을 확인하였고, 음식물 이송관로의 형상이 곡관 등으로 복잡하게 구성된 구간에서의 압력강하는 공기 단독의 경우에 비해 음식물 쓰레기가 이송되는 경우 압력강하의 기울기가 상대적으로 크게 됨을 알 수 있었다. 또한 음식물 쓰레기가 곡관 내부를 통과할 때는, 대부분의 쓰레기가 곡관의 외측벽면에 부딪혀서 마찰로 인한 속도감소가 발생하며, 이로 인하여 시스템의 저항이 증가됨을 확인한 논문으로 평가된다.

조봉수<sup>(4)</sup> 등에 의하여 발표된 “최적화 기법을 이용한 축류형 송풍기개발에 관한연구”는 축류형 송풍기의 설계기술에 대하여 연구한 논문으로 설계 소프트웨어에서 사용하는 고전적인 설계기법은 일반적으로 요구사양을 바탕으로 평균반경에서 설계조건을 만족하도록 기본형상을 설정하고, 준 3차원 설계방식으로 3차원유동을 예측하고, 반경방향으로 와류의 형상을 조절하여 3차원의 익형을 설계한다. 하지만 최근에는 컴퓨팅 기술의 발달과 전산유체기법의 정확도가 향상되어 기존의 설계기법으로부터 설계되어진 형상에 최적화기법을 적용하여 익형의 형상을 목적하고자하는 방향으로 개선하고 있다. 목적함수는 사용조건에 따라서 작동압력, 소음, 효율 등을 선정하거나 여러 개를 선정하여 상호간 가중치를 주어 향상하기도 있다. 설계변수의 개수는 최적화를 위한 계산시간에 상당한 영향을 미치므로 적절한 설계변수를 선정함이 타당하다. 따라서 성능에 크게 영향을 미치는 설계변수를 선정하여 최적화를 수행하여야 하나 높은 풍압에서 작동하는 압축기와는 달리 낮은 풍압에서 작동하는 축류형 송풍기에서는 여러 설계변수가 성능에 영향을 미치게 되므로 본 연구에서는 동익의 형상과 직접 관련된 12개의 설계변수를 선정하였으며 동익의 뒷부분에 위치한 정익의 경우는 모터를 지지하는 역할로 사용되므로 정익의 전단 익형각만 설계변수로 선정하여 최적화를 수행하였다. 최적화된 형상을 제작하여 시험을 수행하고 수입되는 제품과의 성능비교를 하여, 최적화기법에 의한 3차원 익형의 개발 및 최적화가 성능향상에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행한 것이다. 최적알고리즘에 대한 연구는 주어진 제약조건을 위배하지 않으면서 목적함수를 최적화(최대화, 최소화, 목표화)하는 설계변수( $\vec{X}$ )를 찾는 과정이다. 일반적으로 목적함수가 설계변수 전역에 대하여 최적성을 보장하지 못하는 경우에는 반응면법이 유리하지만 많은 설계변수를 가진 경우에는 차원의 증가에 따라 해석하여야 할 개수가 급격히 증가하여 아주 값비싼 해석 방법이 된다. 뿐만 아니라 차원의 증가로 인하여 모델의 정확성이 감소하게 된다. 따라서 본 연구에서는 기울기기관의 최적화기법을 적용하였으며 설계변수의 전역에 대하여 최적성을 얻기 위하여 초기설계 형상에 상당히 주의를 요하여 이러한 문제를 해소할 수 있도록 하였다. 최적화를 위하여 Vanderplaats에 의하여 개발된 최적화 상용 코드인 VisualDOC의 Modified Method of

Feasible Directions의 기울기기반 알고리즘으로 최적화를 수행하였으며, gradient는 central difference를 relative finite difference는 1%를 적용하였다. 차후 익형의 설계와 관련된 보다 많은 설계변수를 적용하여 성능에 영향을 미치는 변수들의 연구와 이를 익형설계에 적용하기 위한 토대가 될 수 있는 논문으로 평가 된다.

탁봉열<sup>(5)</sup> 등에 의하여 발표된 “고압 대풍 4단 블로워 설계제작에 관한 연구”는 국내 최초로 4단 고압 링블로워를 개발한 과정을 소개한 논문으로, 대형 플랜트에서는 기존의 루츠 블로워와 2단 링블로워의 사용압력 범위보다 더 높은 2,000~12,000 mmAq의 압력범위와 함께 저소음, 저진동 특성을 갖는 경제성 높은 저가격의 고효율 고압 블로워 제품 출현을 원하고 있다. 이는 폐수처리장을 적은공간으로도 깊게 건설할 수 있게 되며, 산업용으로는 더 멀리 분체를 수송할 수 있는 등의 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 여기서는 4단 링블로워에 관한 연구개발 과정 중에서 핵심 주제인 임펠러, 회전축, 베어링 냉각시스템에 관한 설계 및 제작에 관해 중점을 두었다. 임펠러 이론설계의 계산식은 무한히 얇고 무한수의 베인에서 유동손실이 없는 경우로 가정된 오일러 이론식으로 계산한다. 그러나 실제로는 마찰손실이나 손실수두가 발생하여 이론식과 일치하지는 않는다. 설계 자료를 도출함에 있어 실제 설계목표 및 운전조건을 만족시키기란 거의 불가능한 일이다. 그래서 실험결과를 이용한 확인 방법을 취하여 설계목표를 유도하고 있다. 그러나 이러한 방법은 실험모델의 형상변형에 상당한 제약을 받는다. 따라서 유동해석 전용 상용 패키지인 CFD (Computational Fluid Dynamics) 코드를 이용하여 이러한 초기설계 및 상세설계 자료를 바탕으로 블로워 해석모델을 구성한 후 최종 실험전 단계까지는 컴퓨터 시뮬레이션의 결과를 활용하는 것이다. 컴퓨터를 이용한 설계개념은 많은 장점을 갖고 있어 실제 산업현장에서 활발히 사용하고 있다. 또한 모든 설계 자료들은 CAD로 데이터베이스화하여 직접해석을 하는데 적용하고 있다. 본 연구에서도 각 부분의 형상을 CAD화 하였으며, 최종 블로워 모델에 대한 형상을 Fig. 1에 나타냈다. 이 자료는 실제 유동장 해석을 위한 기초모델자료로 활용되게 된다. 이 논문에서 연구된 결과는 기존의 루츠 블로워와 2단 링블로워의 사용 압력 범위인 2,000~6,000 mmAq 보다 더 높은

2,000~12,000 mmAq 의 사용압력인 고압 대풍 4단 링블로워 개발로 산업의 대형화에 부응하게 되었고, 4단 링블로워에서 구조적으로 가장 취약한 부분인 베어링부에 냉각시스템을 채택하여 베어링의 수명이 증가되도록 하였다. 또한 이러한 제품을 활용하여 바이오 가스발전시스템에서 축산분뇨를 이송시키거나 슬러지 배출과정 등의 특수 분야에 이르기 까지 폭넓은 활용이 기대되고 있다.

양상호<sup>(6)</sup>에 의해 발표된 “FRP 웬 임펠러의 파손 복구사례”는 실제 현장에서 많은 문제점을 안고 있는 부식성 가스를 취급하는 FRP 웬의 파손사례에서 강도 증가와 함께 반영구적으로 사용할 수 있는 대체 방안을 제시한 논문으로써 이론적인 배경보다는 사고 사례를 중심으로 심도 있게 문제점을 분석한 논문으로 평가된다. 지금까지 산업현장에서 많이 쓰이던 FRP 웬이 제조상의 결함으로 인하여 파손된 사고를 계기로 부식이 극심한 장소의 FRP 웬 대체품으로 ETFE 테프론 코팅 임펠러 사용이 가능함을 알게 되었다. 테프론 수지의 특성은 FRP가 갖는 장점을 모두가지며, 기계적 안전성이 충분히 보장된 카본 스틸 위에 내부식을 위한 테프론 코팅을 하게 되므로 FRP제 임펠러보다 훨씬 강도가 보장되어 안정적으로 사용이 가능하다는 결론을 얻었다. 또한 ETFE 테프론 수지 재질을 사용하여 500 $\mu$  두께로 코팅하여 사고를 복구한 후 최근까지 약 2년여에 걸쳐 테프론 코팅부위의 이상 유무를 세심히 관찰 하였으나, 임펠러의 부식이나 마모, 코팅 박리가 없이 매우 양호한 상태로 운전되고 있음을 확인하였다. 그러나 테프론은 코팅 완료후 용접이 불가능하고 어떠한 재질과의 접착융합도 곤란하여 임펠러의 웨이트 바란싱 방법에 많은 연구가 필요하며, 부분 보수 이외에 광범위한 코팅부 박리는 전혀 현장복구 불가능하다는 단점도 함께 지적하고 있다.

### 3. 결론

지금까지 2007년도 유체기계 저널에 발표된 송풍기 관련 논문을 중심으로 기술적 진보성과 핵심기술에 대해서 살펴보았다. 2007년 한해도 국내 송풍기 분야 연구의 수준과 깊이가 설계, 해석은 물론 현장사례를 중심으로 한 분야에 있어서 한층 더 심화되었음을 알 수 있었다. 올 한해도 대부분의 기업이나 연구기관, 학교에서 기업과의 산학협동 등을 통해 회원들의 연구 활동이 대폭 증대되어 학문적 연구가 활발해 지기를

기대하며, 이러한 연구 결과를 바탕으로 논문을 위한 연구가 아니라 상용화 될 수 있는 연구를 통하여 송풍기 산업현장에서 발생하는 기술적 문제를 산학협동의 체계적 연구로 해결 해 나가는 계기가 되기를 기대하는 바이다.

### 참고문헌

- (1) 大塚雅生, 양상호 譯著, 2006, “에어콘 실외기용 프로펠러 휠의 기술개발,” 유체기계저널, 제 10권, 2호, pp. 54~59.
- (2) 이찬, 윤재호, 권오경, 2006, “시스템 전자냉각 팬의 선정 및 소음 평가기법,” 유체기계저널, 제 10권, 3호, pp. 33~38.
- (3) 장춘만, 이상윤, 서상호, 2006, “쓰레기 관로이송 시스템의 관로 압력강하 평가,” 유체기계저널, 제 10권, 4호, pp. 55~60.
- (4) 조봉수, 조종현, 정양범, 조수용, 2006, “최적화 기법을 이용한 축류형 송풍기개발에 관한연구,” 유체기계저널, 제 10권, 6호, pp. 7~15.
- (5) 탁봉열, 한기영, 서철, 2006, “고압 대풍 4단 블로워 설계·제작에 관한 연구,” 유체기계저널, 제 10권, 6호, pp. 63~68.
- (6) 양상호, 2006, “FRP 휠 임펠러의 파손 복구사례,” 유체기계저널, 제 10권, 6호, pp. 69~75.