

팬 설계 시스템에 의한 냉장고용 축류팬 개발

최동규*, 최원석**, 박성관***

Development of an axial flow fan for a refrigerator by in-house design system

D. K. Choi*, W. S. Choi** and S. K. Park***

ABSTRACT

An axial flow fan design system has been made by integrating the self-developed programs and I-DEAS. By using the system, an axial flow fan was designed, manufactured and verified through the wind tunnel experiments in cooperation with a refrigerator appliance division. It has been shown that the optimal design without the ambiguity of the design parameters can be possible by the three-dimensional flow simulations using a self-developed CFD code, FANS-3D^[1]. (*Flow Analysis code using Navier Stokes equations in Three-Dimensional curvilinear coordinates*). By virtue of the fluency of the data flow, an optimally designed fan which satisfies design conditions can be selected in a short time and less cost. The manufacturing processes of a Mock-up and an injection molding die have been automated through the self-made interface programs which connect from the start to the end. It has been shown that the newly developed fan by this system has a superior performance characteristics to an existing fan.

Key words : Axial flow fan, Fan design, CFD (Computational Fluid Dynamics), Solid modeling, NC (Numerical Control)

1. 서 론

축류팬은 구조가 간단하고 제작이 용이하므로 가전 제품 및 정보기기 제품등에 많이 사용되고 있으나 복잡한 3차원 유동현상과 다양한 설계변수 등으로 인하여 제품사양에 적절한 팬을 설계하여 실용화하는 데는 많은 어려움이 있다. 현재는 자체 설계에 의한 팬제작 및 설계의 최적화를 통한 성능 향상을 기하기 보다는 경험에 의해 팬을 제작하고 회전수 증가 및 유로구조 변경 등 외부 요인 변경을 통하여 설계 유량을 충족시키고 있는 실정이다. 따라서, 설계점 밖의 영역에서 팬이 작동하게 되므로 전체 시스템의 성능저하 및 소음등의 문제를 야기하고 있

며 잦은 설계변경 등에 의한 개발 비용 및 시간의 낭비가 초래되고 있다. 또한, 자체 팬 설계 기술이 확보되고 있지 못하므로 이와 같은 문제점이 개선되지 못하고 되풀이 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이를 개선하기 위해 축류팬의 설계 프로그램 즉, 전체적인 형상을 결정하는 개념설계 프로그램과 날개의 3차원 형상을 구현하는 상세설계 프로그램을 개발하였다^[1]. 설계된 팬이 주어진 설계조건을 만족하는지 여부를 알기 위해서는 실험용 시제품(mock-up)을 제작하여 풍동실험을 해보아야만 하나 이의 일부분을 CAE 해석을 통해 대신할 수 있다면 이는 팬의 개발 기간 및 비용의 측면에서 상당한 도움이 될 것이다. 또한 수치해석을 통해 실험에서 측정하기 힘든 유동의 특성이 파악될 수 있으며 이를 통해 팬 설계의 최적화가 가능하다. 이와 같은 장점에도 불구하고 팬과 같은 유체기계 주위의 유동은 3차원 자유곡면을 지나는 복잡한 유동이므로 이

*삼성전자 기술총괄 생활시스템 연구소

**삼성전자 공조기기 사업부 개발실

***정회원, 삼성경영기술대학 기계금형과

의 정확한 해석을 위해서는 고도의 수치해석 기법과 엄청난 계산 시간이 요구되므로 실용화되지 못하였으나 그간의 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)에 관한 수치해석 방법 및 컴퓨터의 발전으로 인해 최근에 와서야 Euler 방정식 또는 Navier-Stokes 방정식 의한 유체기계 주위의 3차원 해석이 시도되고 있다¹⁾. 본 연구에서는 Navier-Stokes 해석 유한체적법(finite volume method) 코드인 FANS-3D를 개발하여²⁾ 팬 주위의 3차원 해석을 수행함으로써 설계된 팬의 성능을 검증하고 최적의 팬을 구현할 수 있도록 하였다. 또한, 팬 주위의 자동 격자생성 프로그램을 개발함으로써 유동해석을 위한 전처리 작업(pre-processing)을 간편하게 하였다.

본 연구에서는 전술한 프로그램들을 통합하여 축류팬 설계 시스템을 구성하고 이를 활용하여 냉장고의 냉기 순환용 소형 축류팬을 설계하였다. 또한, 이를 냉장고 사업부와 공동으로 제작, 실험하여 설계된 팬의 성능을 확인함으로써 축류팬 설계, 해석, 제작 및 실험의 통합시스템을 구현하고자 하였다. 특히, 설계, 격자 생성, 유동해석의 일원화를 통해 설계 변경 및 확인의 작업이 단시간내에 이루어질 수 있으며 설계 데이터로부터 I-DEAS 상의 solid modeling이 가능하고 이로부터 NC 데이터가 자동생성되므로 시작품의 제작 및 금형제작을 자동화하였다.

2. 본 론

본 절에서는 전술한 축류팬 설계 시스템의 개발 및 각 모듈의 내용과 이론적 배경을 살펴보고 이의 적용 과정에 대하여 기술하고자 한다.

2.1 시스템 개요

Fig. 1에 축류팬 설계 시스템에 의한 팬 개발과정을 도시하였는데 그 과정에 대해 기술하면 다음과 같다.

팬을 탑재할 시스템의 특성이 파악되면 팬의 설계 조건 즉, 순환되는 유량 Q , 유량에 수반되는 압력손실 ΔP , 적절한 팬의 크기 D 등이 주어진다. 이 조건에 대해 설계 프로그램은 팬의 날개수, 허브 크기 등의 대체적인 형상과 날개의 3차원 형상을 구하게 된다. 이 형상 데이터는 격자 생성 프로그램에 넘겨져 팬 주위의 비직교 윤곽 격자계(nonorthogonal body-fitted grid system)를 생성하며 FANS-3D에 의해 이 격자계에서 3차원 난류 유동해석이 이루어진다. 유동해석 결과에 의해 주어진 유량에서 적절한 압력 상승값이 얻어지는지를 확인할 수 있으며 원하는 조건을 충족

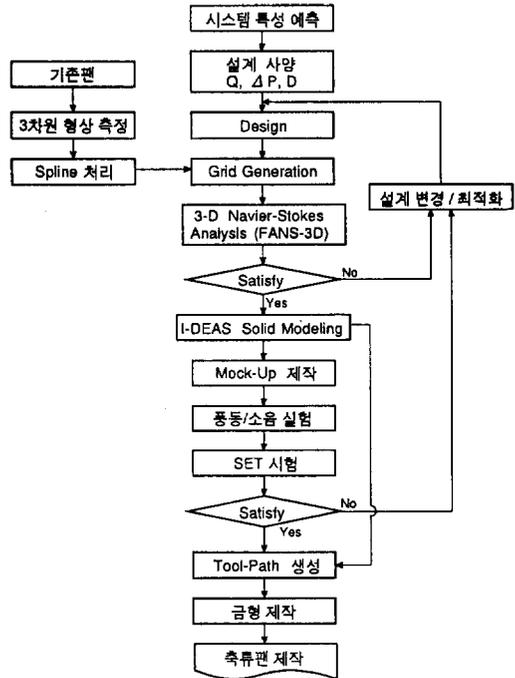


Fig. 1. Fan developing process.

시키지 못할 경우에는 설계변경 및 해석을 반복함으로써 최종적으로 원하는 사양의 팬을 선정할 수 있다.

설계된 팬이 아닌 기존의 팬 특성을 파악할 필요성이 있을 경우에는 3차원 측정기에 의해 팬의 형상을 측정하고 이로부터 스플라인(spline) 처리 프로그램에 의해 매끈한 곡면이 형성되며 이 형상 데이터로부터 격자생성 및 유동해석이 수행되게 된다. 설계된 팬의 형상데이터로부터 I-DEAS 상의 solid model 파일이 생성되고 이를 시작품 제작 업체에 제공함으로써 풍동 실험용 시작품 제작상의 수작업이 배제된다. 제작된 시작품에 의해 풍동실험과 소음실험을 수행하여 성능을 검증한 후 실제 세트에 장착하여 문제가 없을 경우 solid model 파일에 의해 I-DEAS 상에서 NC 데이터를 생성하여 금형을 제작함으로써 축류팬이 제작되게 된다.

2.2 각 모듈의 이론적 배경

2.2.1 설계 프로그램

축류팬의 설계는 개념설계 및 상세설계로 나누어지며 개념설계, 성능, 효율계산 및 날개의 3차원 형상데이터 생성등의 기능을 가지고 있다. 본 설계 프로그램에서 개념설계 부분과 상세설계 부분은 각각 참고 문헌^{4, 5)}에 의했으며 프로그램의 이론적 배경

및 검증에 관한 상세한 내용은 기 발표된 논문¹¹⁾을 참고하기 바란다. 본 절에서는 각각의 입력 및 출력 등에 관해서만 간단히 기술하고자 한다.

(1) 개념설계: 주어진 조건에서 팬을 작동시킬 경우 가장 좋은 효율을 가질 수 있는 팬의 전체적인 설계 인자를 찾아내는 과정으로서 압력상승, 유량, 팬 외경등을 입력하여 이 조건에서 최적의 성능을 갖는 팬의 회전수, 팬 내경, 날개수 등을 구한다.

(2) 상세설계: 설계점에서 원하는 유량과 압력상승을 얻을 수 있도록 중앙단면($(R_r+R_h)/2$)에서의 날개 형상(입구각, 출구각, 설치각, solidity 등)을 설계하고 손실 이론에 근거하여 탈설계점의 압력상승과 유량을 계산하여 성능곡선을 구한다. 또한 중앙단면 설계에서 얻은 값을 기초로 하여 반경에 따른 날개의 입구각, 출구각, 설치각 등을 계산하여 최종적으로 날개의 3차원 형상을 얻는다.

2.2.2 격자생성 프로그램

상세설계로부터 얻어진 3차원 날개형상으로부터 Navier-Stokes 해석을 위한 격자생성을 수행한다. 축류팬의 경우 일정 반경에 대해서 2차원 익렬이 되므로 각각의 반경에서 Poisson방정식에 의해 annular 격자를 생성하여 최종적으로 3차원 격자를 얻게 된다. 대부분의 해석은 50,000 개 정도의 격자점을 가진 격자계에서 수행되었다.

2.2.3 3차원 Navier-Stokes 해석 코드 (FANS-3D)

설계된 팬 또는 기존의 팬에 대한 성능의 검증을 위해서는 팬 주위의 난류 점성유동 해석이 필수적이며 이를 위해 3차원 Navier-Stokes 코드를 개발하였다. 이 코드의 정확성을 다양한 유동에 대한 해석에 의해 검증한 바 있다¹²⁾. 본 절에서는 개발된 코드의 이론적 배경 및 특징에 대해 간단히 기술하고자 하며 구체적인 사항은 참고문헌¹³⁾을 참고하기 바란다.

(1) 코드의 이론적 배경 및 수치계산 상의 세부사항: 팬과 같이 복잡한 형상을 지나는 유동을 해석하기 위해서는 윤곽좌표계(body-fitted coordinate)에서의 해석이 필수적이며 복잡한 3차원 형상내의 직교 격자계(orthogonal grid system)의 생성은 불가능하므로 상대적으로 격자생성이 쉬운 비직교 격자계에서의 해석이 가능하여야 한다. 또한, covariant 혹은 contravariant 속도성분을 종속변수로 하는 해석방법에 의하면 지배방정식이 매우 복잡하게 되고 곡률항(curvature term)이 생성항에 나타나게 되어 격자계에 의 의존도가 커지게 된다. 따라서 Cartesian 좌표계의 속도성분을 종속변수로 하는 것이 바람직하다.

본 코드는 전술한 이론적 근거를 배경으로 Carte-

sian 속도성분을 종속변수로 하고 비직교 윤곽 좌표계에서의 해석이 가능하도록 개발되었다. 지배방정식은 좌표변환에 의해 변환된 좌표계에서 기술되며 유한체적법(finite volume method)에 의해 미분방정식을 이산화(discretization)함으로써 대수방정식을 얻게 된다. 유한체적법은 미분방정식을 미소 제어체적에 대해 적분함으로써 원하는 이산화된 방정식을 얻는 방법으로서 제어체적의 표면에서 변수들의 값을 근사하는 방법에 의해 scheme 이 결정되는데 본 코드에서는 확산항의 근사는 중앙차분법을 사용하였고 대류항은 차분시 발생할 수 있는 수치적 불안정성을 방지하기 위해 hybrid scheme¹⁴⁾을 사용하였다.

비압축성 유동의 경우에는 압축성 유동의 경우와 달리 압력에 관한 외재적(explicit)인 방정식이 존재하지 않고 압력은 연속방정식에 의해 내재적(implicit)으로 속도장과 결합되어 있으므로 이를 처리하는 것이 매우 중요하다. 본 코드는 이를 SIMPLE 알고리즘¹⁵⁾에 의해 처리하게 되며 엇물림격자계(staggered grid system)에 비해 프로그램의 작성이 용이하고 기억용량 및 계산시간의 절감을 기할 수 있는 비엇물림 격자계(colocated grid system)를 사용하였다. 이 격자계에 의해 비압축성 유동을 해석할 경우 압력과 속도의 decoupling에 의해 압력의 공간적 요동(checkerboard pressure field)이 발생할 수 있는데¹⁶⁾ 본 코드에서는 이를 Rhie 와 Chow¹⁷⁾의 PWIM(Pressure Weighted Interpolation Method)에 의해 해결하였다. 이 방법은 SIMPLE 알고리즘 적용시 압력수정 방정식의 생성항의 계산에서 제어체적 표면에서의 유속을 선형적 평균을 사용하여 구하는 것이 아니라 운동량 가중(momentum-weighted) 평균을 사용하는 것이다.

난류유동 해석을 위해 벽합수를 사용하는 표준 k-ε 모델, Launder와 Sharma¹⁸⁾의 저 Reynolds 수 k-ε 모델 및 Chen 과 Patel¹⁹⁾의 2층(two-layer) k-ε 모델의 사용이 가능하도록 하였으나 다양한 문제에 관한 수치 해석 결과 수렴성 및 정확성의 측면에서 2층 k-ε 모델이 가장 우수하였으므로 모든 계산은 이 모델에 의해 수행되었다. 이 모델은 완전 난류 영역에서는 표준 k-ε 모델을 사용하고 벽 근처의 저 Reynolds 수 영역에서는 1-equation 모델을 사용하게 된다.

팬 주위의 유동장을 해석할 때에는 팬과 같이 회전하는 좌표계에서의 해석이 편리하므로 회전 좌표계(rotating frame of reference)에서 해석하게 된다. 따라서, 좌표변환에 의해 운동량방정식에 원심력 및 Coriolis 힘이 포함되며 shroud는 팬과 반대 방향으로

회전하는 벽으로 모델링된다.

(2) 후처리 및 효율의 계산: 유동의 가시화를 위해 해석 결과를 I-DEAS의 universal 파일 형식으로 바꿔 I-DEAS의 supertab 상에서 볼 수 있도록 하였다. 팬의 효율을 계산하기 위해서는 팬 주위의 제어체적에 대해 각운동량 보존 법칙을 적용함으로써 팬에 작용하는 토크 T 를 계산하고 다음식에 의해 효율 η 를 얻게 된다.

$$\eta = \frac{Q \Delta P_t}{T \omega}$$

여기서 Q 는 유량, ΔP_t 는 전압력 상승, T 는 토크, ω 는 팬의 회전수를 나타낸다.

2.2.4 Solid model 생성 및 NC 가공 데이터 추출

축류팬은 여러 각도에 의해 이루어진 3차원 자유 곡면이므로 설계된 팬의 형상확인 및 제작에는 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 상세설계에서 만든 점 데이터를 이용하여 3차원 solid model을 만들어 설계된 팬의 형상 확인, 풍동실험용 시제품 제작 및 금형제작을 위한 금형 데이터 추출등의 작업을 수행하도록 하였다.

즉, solid model에 의해 설계된 팬의 형상을 확인하고 shading 등의 방법으로 곡면의 정도를 검증할 수 있다. 또한, SLA(Stereo Lithography Aparatus)와 직접 연결되어 별도의 작업없이 실험용 시제품 제작을 위한 형상데이터로 활용된다. solid modeling시 생성된 곡면을 이용하면 금형제작을 위한 NC 가공데이터를 자동으로 추출할 수 있게 되므로 실험 및 가공에 있어서 시간 및 원가 절감에 기여 할 수 있다.

이러한 일련의 작업들을 I-DEAS Master series 상에서 수행하였으며 I-DEAS 자체의 언어인 I-DEAS program file을 작성하여 설계로부터 solid modeling에 이르는 전과정을 자동적으로 수행할 수 있도록 하여 3차원 모델링에 익숙하지 않은 사용자의 편의를 도모토록 하였다. 그 과정에 대한 구체적인 사항은 냉각고 팬의 개발에 관해 기술한 3절에서 언급하고자 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기존팬

팬 설계에 앞서 기존 냉각고 모델에 적용되었던 팬 직경 110 mm인 팬에 대해 해석을 수행하고 예측값과 서울대 부설 터보, 동력기계 연구센터에서 행한 실험치^[10]를 비교함으로써 팬 주위의 3차원 유동

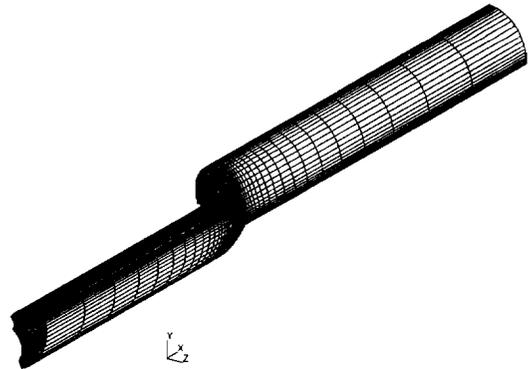


Fig. 2. Three-dimensional grids.

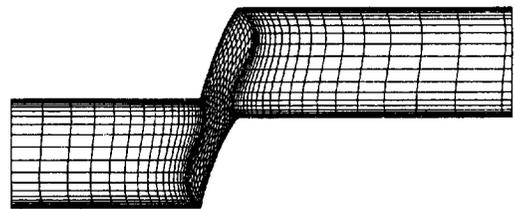


Fig. 3. Blade to Blade grids near the blade tip.

장에 대한 FANS-3D의 정확도를 검증하였다.

앞서 언급한 바와 같이 이 유동의 해석을 위해, 팬의 3차원 형상을 측정하여 이를 스플라인 처리하고 이 데이터를 이용하여 격자생성 프로그램에서 Fig. 2와 같은 비직교 운과 격자체를 형성하게 된다. 해석의 정확성을 위해 벽 근처와 날개의 전, 후면 및 tip 근처에는 밀집 격자를 구성하였고 tip clearance를 고려하였다. Fig. 3은 팬의 날개 tip 근처에서의 이차원 격자를 보인 그림으로 팬의 입구각이 매우 크게 설계되어 있는 관계로 이의 해석을 위해서는 격자생성시 주의하여야 함을 보여준다.

팬의 회전속도를 2000과 2500 rpm으로 고정시키고 유량을 변경시켜가며 해석하여 성능곡선을 구하였고 이를 전술한 실험치와 비교 도시하였다(Fig. 4). 실험치로부터 팬의 성능이 일정유량 이상에서 급격하게 떨어지는 경향을 보임을 알 수 있다. 이와 같은 경향을 보이지 않는 저유량 영역에서는 해석 결과와 실험치가 잘 일치하나 유량이 이 보다 커질 경우 수치해석 결과는 압력증가 값의 급격한 저하를 예측하지 못하므로 예측치와 실험치가 상당한 차이를 보이게 될 수 있다. 이와 같이 압력증가 값이 급격히 저하되어 예측값이 실험치와 오차를 갖는 부분이 팬의 회전속도가 커지면 유량이 큰 부분으로 이동하는 것은 유체기계의 상사법칙(similarity)에 의해 일정 회전속

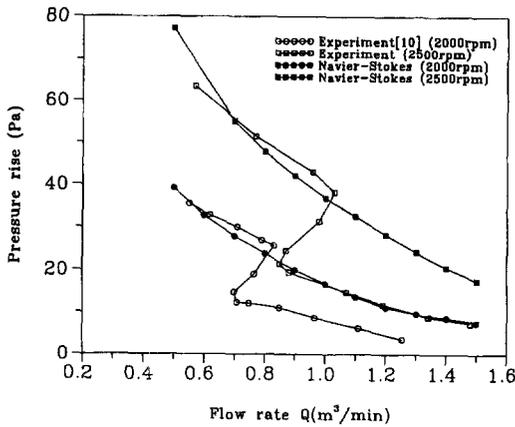


Fig. 4. Performance curves for an existing fan (D=110 mm).

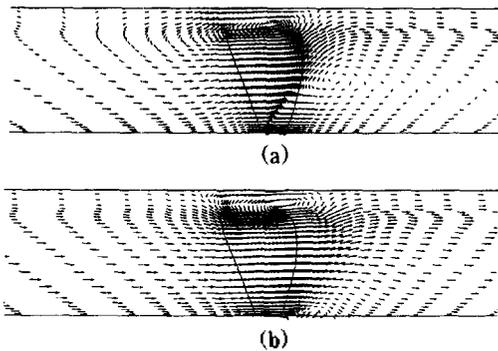


Fig. 5. Velocities at mid-pitch plane for N=2000 rpm: (a) Q=0.6 m³/min; (b) Q=1.2 m³/min.

도 성능곡선 위의 한점은 더 큰 회전속도에서는 유량 및 압력상승이 더 큰점에 대응되기 때문이다¹⁴.

이와같은 팬 성능의 급격한 저하는 유동형태의 정성적 변화에 기인하며 이를 설명하기 위해 Fig. 5, 6에 각속도 2000 rpm에서 두 유량조건에 대한 중앙 피치면에서의 속도 및 압력선도를 도시하였다. 여기서, 속도 및 압력은 무차원량이며 압력은 수치해석 영역 상의 특정점에 대한 상대적인 값이다.

두 조건 모두에서 공통적으로 tip clearance 영역에서의 재순환영역(recirculating flow region)이 존재함을 볼 수 있는데 이는 이 영역에서 유체는 날개에 의해 운동량을 공급받지 못하므로 팬 전후의 역압력구배를 이기지 못하고 shroud면에서 유동의 박리가 발생하기 때문이다. 유량이 작을 경우에는 팬 출구의 허브 부분에서 상당히 큰 재순환영역이 존재하는 Fig. 5(a)의 유량 0.6 m³/min에서와 같은 유동형태를 갖게 된다. 이와 같은 유동형태는 이 조건에서 축류

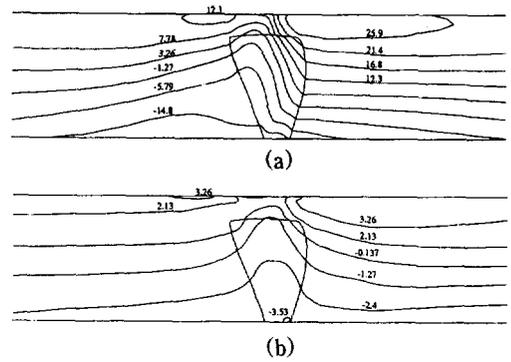


Fig. 6. Pressure contours at mid-pitch plane for N=2000 rpm: (a) Q=0.6 m³/min; (b) Q=1.2 m³/min.

팬이 사류팬(mixed flow fan)의 형태로 작동한다는 것을 보여준다. 유량이 커질수록 원심력에 대한 관성력의 비가 커지므로 팬 출구에서의 재순환 영역의 크기는 작아지며 결국 Fig. 5(b)의 유량 1.2 m³/min에서와 같이 이 영역이 거의 사라져서 유동이 축방향으로 유입되어 축방향으로 유출되는 전형적인 축류팬의 유동형태를 갖는다. 이와같이 저유량 영역에서 축류팬은 사류팬의 형태로 작동하게 되므로 원심력의 영향에 의해 압력상승값은 축류팬으로 작동하는 조건에서보다 상대적으로 커지게 되며 이를 Fig. 6의 압력선도로부터 확인할 수 있다.

Fig. 4의 수치해석에 의한 압력상승치의 기울기가 유량 0.9 m³/min 이전과 이후가 달라지는 것은 이와같은 유동의 정성적 변화에 기인한다. 이와같은 유동형태의 변화가 실험에서는 급격하게 나타나나 수치해석시에는 점진적으로 나타나므로 해석에 의한 예측이 정확하게 실험치를 따라가지는 못하는 것으로 생각된다. 다만, 이 팬은 냉장고내에서 사류팬의 유동특성을 보이는 저유량영역에서 작동하는데 이 부분에서 수치해석이 상당히 정확한 예측을 하며 수치해석에 의한 성능곡선으로부터 성능저하점의 예측이 가능하다. 이로부터 본 코드가 이와같은 팬의 설계시 상당히 유용한 정보를 제공한다는 것을 알 수 있다.

유량 0.6 m³/min 에 대해 중앙 단면에서의 유동의 모습을 Fig. 7에 도시하였다. 압력선도에서 압력면에서의 압력은 흡입면에 비해 전반적으로 크며 날개 대부분의 영역에서 압력이 유동방향으로 증가하고 압력이 감소하는 영역은 날개 후연부분으로 제한되어 있음을 알 수 있다. 이로 인해 흡입면에서 압력면으로 갈수록 유속은 감소하며 압력면 전반부에서 강한 역압력 구배로 인한 유속의 감소가 두드러짐을

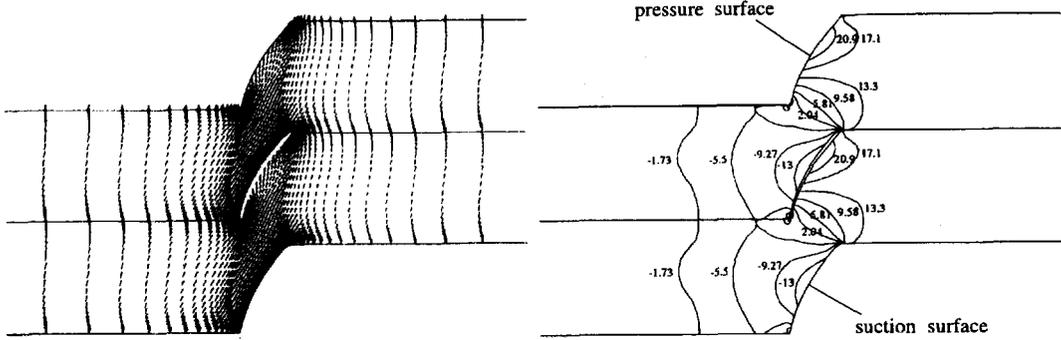


Fig. 7. Velocities and pressure contours at mid-span plane for N=2000 rpm, Q=0.6 m³/min.

알 수 있다. 흡입면에서 압력은 코드 방향으로 가면서 감소하다가 다시 증가하는 경향을 갖게되므로 유동은 가속되다가 다시 감속되게 된다. 압력이 증가하는 영역에서 역압력구배에 의해 경계층이 성장하게 되며 이로인한 봉쇄효과(blockage effect)는 속도 분포에서 볼 수 있는 날개 출구에서의 유동각과 날개 출구각이 일치하지 않는 원인중의 하나이며 주요한 손실이다. 이와 같이 해석에 의해 유동의 3차원 특성이 파악될 수 있으므로 이는 향후 팬의 최적설계에 큰 도움이 될 것이다.

3.2 냉장고용 팬의 설계

전술한 설계 시스템을 사용하여 지름이 90 mm인 소형 축류팬을 설계하고 이를 냉기 사업부와 공동으로 제작, 실험하여 개발 시스템의 신뢰성 및 효율성을 검증하였다.

이 팬은 당사의 대형 냉장고에 채용될 예정인 팬으로 설계조건은 유량 0.6 m³/min, 회전수 2400 rpm, 압력상승 20 Pa 이고 팬 지름이 90 mm이며 장착되는 공간의 제약으로 인해 날개 높이를 28 mm로 제한하였다.

주어진 설계조건을 만족하는 팬을 설계하기 위해 팬 설계의 중요한 인수들인 incidence 각 *i*와 deviation 각 δ 를 변경해가면서 설계와 해석을 수행한 결과를 Table 1에 도시하였다. Incidence각은 날개의 상설계에서 팬 입구에서의 유속 분포를 정확히 알 수 없기 때문에 날개로 유입되는 유동각과 팬의 입구각을 정확히 일치시키는 것이 불가능하므로 발생한다. 반면, deviation각은 날개수가 무한히 많지 않고 점성에 의한 경계층의 성장등에 의해 유동이 날개에 의해 정확하게 안내되지 못하는 슬립(slip)현상에 의해 날개의 출구각과 출구에서의 유동각의 차이로서 발생하며 팬 성능에 큰 영향을 미친다는 것이 알려

Table 1. Performance variations according to the changes of the incidence and deviation angles

<i>i</i> (deg)	δ (deg)	ΔP (Pa)	Efficiency (%)	Height (mm)
0	0	1.25	28.7	15.5
0	15	7.62	52.3	22.3
0	20	11.9	53.1	24.1
2.3	15	14.8	58.9	24.9
2.3	20	15.4	56.4	26.7
2.3	25	20.1	56.3	28.3
2.3	15→25	18.6	57	28.1
5	15	14.8	58.9	28.0
5	20	19.2	58.8	29.9
5	25	23.4	58.3	31.4

져 있다¹⁾. 이 각들의 정량적 예측은 거의 불가능하므로 통상 팬에 따라 적절한 값을 주고 설계하게 되므로 본 연구에서는 이 값들을 설계변수로 하여 팬 설계를 수행하였다.

Table 1에서 볼 수 있듯이 이 값들에 의해 팬 성능이 크게 좌우되므로 주어진 팬 성능의 확보를 위해서는 적절한 값의 선택이 필수적임을 알 수 있다. 현재의 범위 내에서 두 각 모두 커질 수록 팬의 압력상승이 커짐을 알 수 있으며 *i*가 일정한 값(2.3°) 이상에서는 δ 가 커지면 압력상승은 증가하나 효율은 감소하는 경향을 가짐을 알 수 있다. 팬의 압력상승을 키우기 위해 *i* 또는 δ 를 증가시킬 경우 팬 높이가 커지므로 팬 높이 제한 및 압력상승 값을 만족하면서 효율이 큰 팬을 선택하기 위해 이와같은 수치해석이 설계에 큰 도움이 됨을 알 수 있다. 주어진 설계 및 구속조건과 팬 효율을 고려하여 최종적으로 *i*=2.3°이고 δ 가 허브에서 15°로부터 tip에서 25°로 선형적으로 변화하는 팬을 선택하여 실험용 시제품을 제작하였다.

Fig. 8에 회전수 2400 rpm에서 해석 결과와 실험치 및 이전에 사용되었던 팬의 성능곡선을 비교 도시하였다. 기존팬이 설계점인 유량 0.6 m³/min에서 14Pa의 압력상승을 얻을 수 있는데 비해 설계된 팬

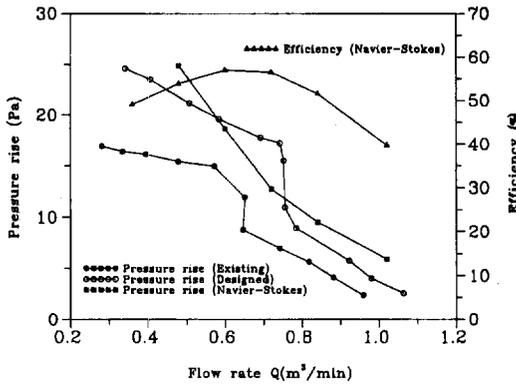


Fig. 8. Performance and efficiency curves for designed and existing fans (D=90 mm).

은 19.3Pa의 압력상승을 얻을 수 있으므로 팬 성능이 상당히 개선되었으며 주어진 설계조건에 부합되게 설계되었고 이를 수치해석이 잘 예측하고 있음을 알 수 있다. 또한, 해석에 의해 예측된 효율값이 설계점에서 최대가 되며 압력상승이 급격히 떨어지는 점도 기존팬의 경우 설계점 근처인데 비해 설계된 팬은 설계점에서 많이 벗어나 있으므로 바람직하게 설계되었다고 보여진다. 설계된 팬의 성능곡선의 기울기가 기존의 것에 비하여 크다는 것을 알 수 있는데 이는 냉장고 작동중 부하의 크기가 변할때 유량의 변화가 더 적다는 것을 의미하므로 냉장고용 팬으로서 기존의 팬에 비해 좋은 특성을 가졌다는 것을 보여준다고 하겠다.

팬의 성능 향상으로 인한 냉장고 자체의 성능 변화를 확인하기 위해 기존의 냉장고에서 팬만을 교체하여 세트 성능 시험을 수행하였는데 동일 소음레벨에서 냉각속도가 시료에 따라 10~16% 향상되는 만족할 만한 결과가 얻어졌다.

본문에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 설계된 팬의 시작품 및 금형제작을 자동화하였는데 그 과정을 요약하면 다음과 같다.

(a) 상세 설계에서 만든 팬 상, 하면의 point data (x, y, z)를 I-DEAS 상에서 자동 생성시킨다(Fig. 9a).

(b) 팬을 이루는 상, 하면에 대하여 회전축으로부터 동일 반경 상에 있는 점군을 연결하여 각각의 스플라인을 만든다. 이 때 윗면과 아랫면의 스플라인은 각각 하나의 곡선으로 이루어진 단면을 이루게 된다(Fig. 9b).

(c) Master surface module에서 단면을 loft 시키는 방법을 사용하여 solid model을 생성한다. 이는 팬의 상, 하면으로 이루어진 각각의 단면을 연속적으로

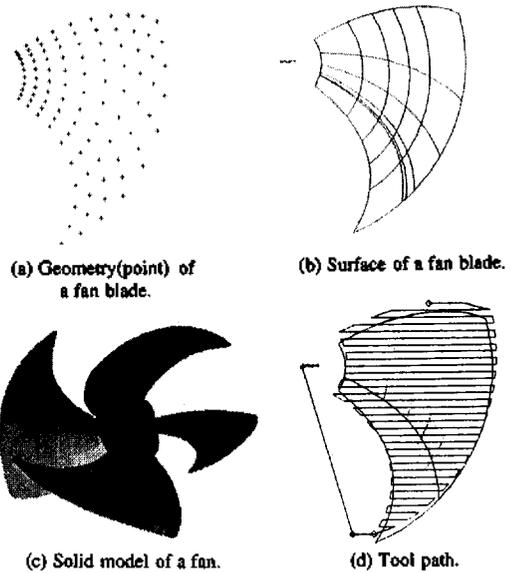


Fig. 9. Manufacturing processes of a fan.

연결한 매끈한 곡면으로 이루어진 solid model을 완성하는 것이다(Fig. 9c).

(d) Manufacturing module에서 가공정도 및 공구의 종류등 가공에 필요한 정보를 선택한 후, 공구가 움직이는 경로인 tool path(Fig. 9d)를 만들고 작성된 tool path에 따른 공구의 이동경로를 확인한 후 CL (Cutter Location) 데이터를 구한다. CL 데이터가 생성되면 post-processing 과정을 수행하여 NC machine 종류에 따른 NC 데이터를 구하고 이를 이용하여 금형을 제작하게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 설계, 격자생성 및 유동해석 프로그램을 개발하여 축류팬 설계 시스템을 구축하고 이를 사용하여 냉장고 냉기 순환용 소형 축류팬의 최적 설계를 수행하였으며 이를 냉장고 사업부와 공동으로 제작, 실험함으로써 당사 자체의 축류팬 설계, 해석, 제작 및 실험 기술을 확보하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 축류팬에 대한 설계, 격자생성, 유동해석에 의한 검증의 설계 flow를 확립하고 이를 실험과 비교 검토함으로써 신뢰성 있는 자체 팬 설계 시스템을 확보하였다.

2. 자체 CAE tool(FANS-3D)에 의한 3차원 해석에 의해 설계 변수의 임의성을 배제한 최적 설계가 가

능하고 설계 시스템 간의 데이터 흐름이 원활하므로 설계 변경 및 확인의 작업이 단시간 내에 이루어질 수 있다. 이를 통하여 시작품 제작 갯수를 최소화 함으로써 개발 기간 및 비용의 낭비를 줄이고 최적의 팬을 설계할 수 있음을 확인하였다.

3. 개발된 시스템에 의해 설계된 팬이 기존 팬에 비해 그 성능이 우수함을 풍동 및 세트 실험을 통해 확인하였으므로 이 시스템의 효율성과 신뢰성이 입증되었다.

4. 설계 데이터로부터 자동적으로 I-DEAS상의 solid modeling이 가능하고 이로부터 tool path 가 자동 생성되므로 시작품 및 금형 제작이 자동화 되었다.

참고문헌

1. 최동규, 최원석, 이영창, "축류팬 최적 설계 시스템 개발", 삼성그룹 CAD/슈퍼컴 사용자 대회 논문집, 1994.
2. Lakshminarayana, B., "An Assessment of Computational Fluid Dynamic Techniques in the Analysis and Design of Turbomachinery -The 1990 Freeman Scholar Lecture", *ASME J. Fluids Eng.*, Vol. 113, pp. 315-352, 1991.
3. 최동규, 최원석, 이영창, "비엇물림 격자계를 사용한 3차원 Navier-Stokes 코드 개발", 삼성 그룹 CAD/슈퍼컴 사용자 대회 논문, 1994.
4. 하재현, 손병진, 김춘식, 유체기계, 대학도서, 1993.
5. Wallis, R.A., *Axial Flow Fans and Ducts*, John Wiley & Sons, Inc, 1983.
6. Patankar, S.V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere, Washington, D.C, 1980.
7. Rhie, C.M. and Chow, W.L., "Numerical Study of the Turbulent Flow Past an Airfoil with Trailing Edge Separation", *AIAA J.*, Vol. 21, pp. 1525-1532, 1983.
8. Launder, B.E. and Sharma, B.I., "Application of the Energy Dissipation Model of Turbulence to the Calculation of Flow Near a Spinning Disc", *Letters in*

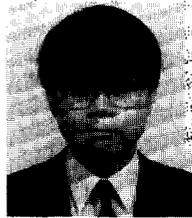
Heat and Mass Transfer, Vol. 1, pp. 131-138, 1974.

9. Chen, H.C. and Patel, V.C., "Near-Wall Turbulence Models for Complex Flows Including Separation", *AIAA J.*, Vol. 26, No. 6, pp. 641-648, 1988.
10. 강신형, 김진권, "프로펠러 및 원심형 송풍기의 성능향상 및 회전차 내부유동 해석 프로그램 개발", 서울대학교 부설 터보·동력기계연구센터, 1995.



최 동 규

1987년 서울대학교 조선공학과 학사
1989년 한국과학기술원 기계공학과 석사
1994년 한국과학기술원 기계공학과 박사
1993년~현재 삼성전자 기술총괄 선임연구원
관심분야: 전산유체역학, 대류열전달, 난류모델링, 터보기계 설계 및 해석



최 원 석

1988년 연세대학교 기계공학과 학사
1988년~1996년 삼성전자 기술총괄
1997년~현재 삼성전자 공조기기 사업부 선임연구원
관심분야: 전산유체역학, 터보기계 설계 및 해석



박 성 관

1985년 성균관대학교 기계공학과 학사
1988년 오대공주립대 기계공학과 석사
1993년 오대공주립대 기계공학과 박사
1993년~1995년 삼성전자 냉기사업부 선임연구원
1996년~현재 삼성경영기술대학 기계금형과 조교수
관심분야: CAD/CAE, 유체계측 및 가시화, 전기장치대의 열전달