

냉각탑용 축류팬 설계 및 금형제작의 자동화†

강재관¹ · 이학선² · 오건제³ · 정종윤⁴

¹경남대학교 정보통신공학부/ ²경남대학교 대학원 산업공학과/ ³경남대학교 기계자동화공학부/
⁴창원대학교 산업시스템공학부

Optimal Design and Die Manufacturing of an Axial Fan for Cooling Towers

Jae-Gwan Kang¹ · Hak-Sun Lee² · Kun-Je Oh³ · Jong-Youn Jung⁴

In this paper, an integrated system of optimal design, performance evaluation, and die design and manufacturing of axial fans for cooling tower is presented. The design and performance evaluation are developed based on three dimensional flow analysis so as to ensure low noise and high efficiency. The methodologies are implemented on computer as a GUI system including 3-D surface modeling and 2-D drawing file output modules. The CAD/CAM system is engaged to design the die and generate NC tool path, but the processes are also automated and integrated into the system by means of a part program coded from the design data. It is shown that the newly developed fans have superior performance and shortened lead-time compared to the existing dead-copied fans.

1. 서론

산업 사회의 발전에 따른 건축물의 대형화로 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위한 공조용 냉각탑에 대한 수요가 증대하고 있다. 냉각탑이란 냉동기의 응축기용 냉각수를 재사용하기 위하여 물을 대기와 접촉시켜서 냉각하는 장치를 말하는데 포항 제철이나 광양제철과 같은 대단위 철강 사업장에는 현재 1,000여기 이상의 냉각탑이 가동되고 있다.

냉각탑을 구성하는 설비 중 가장 중요한 것은 <그림 1>과 같은 냉각 팬과 이를 구동하는 모터이다. 냉각탑용 팬으로는 여러 가지 팬 타입 중 대용량 저풍압의 축류식 팬이 많이 사용되며 초기에는 알루미늄을 소재로 팬을 제작하였으나, 최근 하중에 따른 동력 손실과 성형의 한계를 고려하여 대부분 F.R.P.(Fiberglass Reinforced Plastics)로 소재가 대체되고 있다.

현재 국내 대형 사업장의 냉각탑 초기 시설 설치에는 거의 외국 제품의 팬이 사용되고 국내 제품은 이후의 보수 유지에만 이용되고 있다. 팬 설계 기술을 보유하고 있지 않은 국내 팬 제작업체들은 설치된 외국산 팬의 외형을 수동으로 측정하여

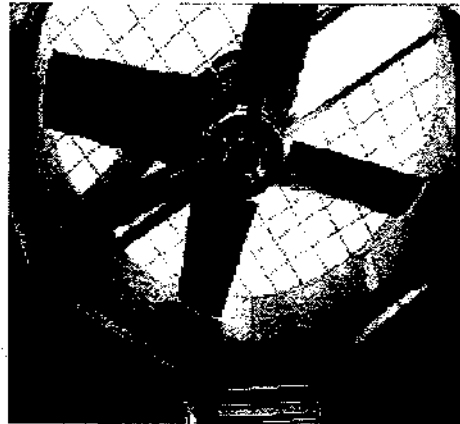


그림 1. 냉각탑용 팬.

팬 형상의 단면을 적절히 만든 뒤 이를 손으로 연결하여 목형 및 금형을 제작한다. 따라서 제작된 팬은 실제 형상과 일치하지 않아 냉각 효율의 저하, 소음 및 진동 증가, 이에 따른 동력 손실 등의 많은 문제점을 야기하고 있다. 축류팬의 설계 및 금형 제작에 관한 연구가 최근 국내에서 활발히 진행되고 있으나 수요가 많은 가전제품에 사용하는 소형 팬에 대한 경우가

† 본 논문은 1999년 경남대학교 학술연구조성비 지원에 의한 연구임.

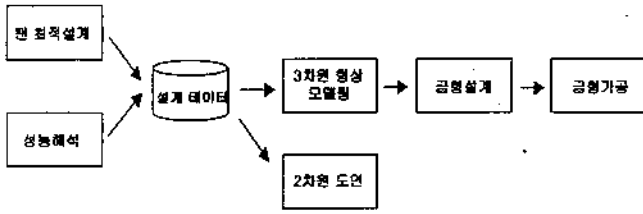


그림 2. 통합 시스템의 구성도.

대부분이다(최동규 외, 1997; 박성관, 최동규, 1998; 최상련 외, 2000).

선진국의 경우에는 팬 설계에 관한 많은 연구를 통하여 구축된 체계적인 엔지니어링 자료를 바탕으로 컴퓨터를 이용한 유동, 소음해석과 제작 평가로 이어지는 일련의 공정이 일괄적으로 이루어지는 전문가 시스템이 구축되어 있다. 또한 최근에는 기존 팬의 성능 향상뿐만 아니라 신소재를 응용하여 저소음 고효율의 팬을 설계하는 데 주력하고 있다고 한다. 따라서 국내에서도 냉각탑용 축류팬의 설계 및 성능해석 그리고 금형 제작에 이르는 전 과정에 관한 체계적인 연구와 이를 중소기업에서 쉽게 일괄적으로 수행할 수 있는 체계를 구축하는 것이 시급히 요구된다.

본 연구는 이러한 배경에서 냉각탑용 팬의 최적 설계 및 성능 평가 기술의 개발과 이를 바탕으로 CAD/CAM 시스템을 이용한 금형 설계 및 제작의 일련의 과정을 자동화하는 통합 시스템을 개발하는 데 연구의 목적이 있다. 본 연구에서 개발되는 냉각탑용 팬을 위한 통합 시스템의 구성은 <그림 2>와 같다.

먼저 3차원 유동 해석을 이용하여 팬의 최적 설계 및 성능해석 방법을 개발하고 이를 컴퓨터 상에 GUI 기반의 소프트웨어로 구축하여 사용자가 쉽게 원하는 사양의 팬 설계 데이터를 구할 수 있도록 한다. 이 설계 데이터를 기반으로 팬의 2차원 도면 자동 생성과 금형 설계 및 제작을 위한 CAM용 파트 프로그램이 자동 출력되도록 하며 생성된 파트 프로그램은 CAD/CAM 시스템의 입력이 되어 금형 가공에 필요한 NC 코드가 자동 출력된다. 생성된 NC 코드는 머시닝센터에 다운로드 되어 금형을 가공하게 된다.

2. 냉각탑용 팬의 최적 설계 및 성능 해석

냉각탑용 팬 설계의 중요성은 냉각탑 운전 관리비의 대부분을 팬의 동력비가 차지하고 있기 때문이다. 즉, 고효율 팬의 설계만이 동력비를 감소시킬 수 있으며 작업장 환경을 고려할 때 저소음 팬의 설계 또한 매우 중요하다. 일반적으로 고효율의 팬이 소음도 적다고 알려져 있다(Wallis, 1983).

냉각탑에서 사용되는 축류팬의 형상은 <그림 3>과 같이 크게 블레이드 부위와 목 부위로 나눌 수 있다. 블레이드는 팬의 성능에 직접적으로 영향을 미치는데, 중심축에서 블레이드 시작 위치까지를 허브(hub)라 부르고 블레이드의 단면을 익형

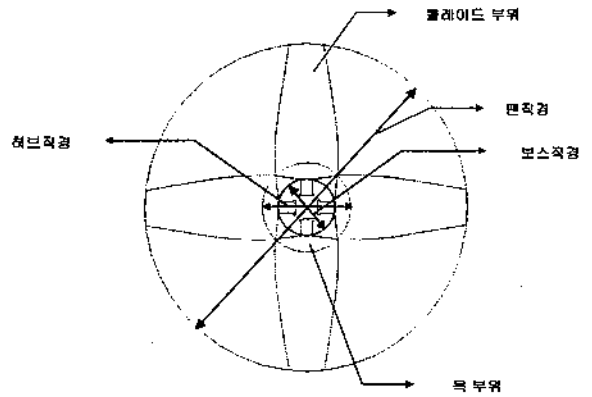


그림 3. 냉각탑용 팬 파라미터.

(airfoil)이라 부른다. 목 부위는 팬의 성능과는 크게 관계가 없으며 기능상의 강도를 유지할 수 있도록 설계한다. 팬의 목 부위는 보스(boss)에 의해 모터 축과 결합된다.

2.1 NACA4409 익형

블레이드 단면 형상인 익형은 여러 기관의 실험에 의해 개발되어 왔는데 <그림 4>와 같이 NASA의 전신인 NACA에서 설계한 익형이 가장 많이 사용된다. NACA 계열의 날개는 캠버선(camber line), 즉 중심선의 형상에 두께의 분포를 조화시키는 방법으로 날개를 생성시키며 캠버선은 코드선으로부터 일정한 수직에 의해 정의되는 거리만큼 떨어져 있으며 윗면과 아랫면 사이의 중점이 된다. 앞날과 뒷날은 각각 캠버선의 앞뒤 끝점이며 코드선은 앞날과 뒷날을 연결하는 직선으로 정의된다. NACA 계열의 날개 형상은 이러한 기하학적 인자로부터 캠버선의 궤적과 그에 따른 날개의 두께 분포를 산출해 냄으로써 윗면과 아랫면의 곡면을 구성하는 점들의 위치를 산출할 수 있다. 본 연구에서는 냉각탑용 축류팬의 익형으로서 NACA 4409를 사용하며 이 때 블레이드 상하곡면의 좌표 값은 <표 1>과 같다.

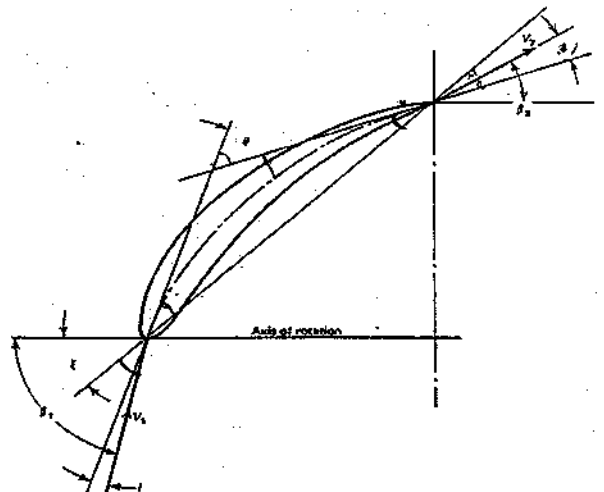


그림 4. NACA 익형의 모습.

표 1. NACA4409 의형

위치	0	1.25	2.5	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	95	100
상면	-	1.81	2.61	3.74	4.64	5.37	6.52	7.33	7.90	8.25	8.35	7.87	7.00	5.76	4.21	2.33	1.26	-
하면	-	-1.05	-1.37	-1.65	-1.74	-1.73	-1.55	-1.30	-1.02	-0.76	-0.35	-0.07	0.14	0.26	0.26	0.14	0.03	-

2.2 팬 형상 설계

일반적으로 팬을 설계하는 데 있어 좋은 성능을 낼 수 있도록 고려해야 할 변수는 팬의 회전속도, 블레이드 각도 및 날개 수, 블레이드 단면 형상 등이다. 팬을 설계하는 기술은 팬 주위의 유동 해석으로부터 유도되는데, 원하는 팬의 설계 조건인 순환되는 유량(Q)과 압력 손실(P), 팬의 회전수(N)를 이용하여 팬의 효율이 최고가 되도록 팬의 직경과 단면 형상, 상·하현 치수 값들을 결정하게 된다.

2.2.1 팬 직경의 결정

팬의 직경은 팬의 특성을 나타내는 비속도 n_s 를 구한 후에 경험식 또는 해당 도표 [5]로부터 구할 수 있다. 이때 비속도 n_s 는

$$n_s = NQ^{1/2}/H^{3/4} \quad (1)$$

로 표시되고, 도표 [5]로부터 K_u 를 구한 후 다음의 경험식을 이용하여 팬 직경(D_o)을 계산한다.

$$D_o = 60K_u(2gH)^{0.5}/(\pi N) \quad (2)$$

2.2.2 팬의 날개수와 팬 허브 직경의 결정

팬의 비속도를 이용하여 해당 도표 [5]로부터 날개수 z 와 허브의 직경 D_i 를 결정한다.

2.2.3 축 동력의 결정

비속도 n_s 를 이용하여 해당 도표 [5]로부터 팬의 효율(η)을 찾은 후 다음 식을 이용하여 축 동력을 계산한다.

$$L = (\rho g H Q) / 4500 / \eta \quad (3)$$

2.2.4 축 방향 유속의 결정

축 방향 유속은 다음의 식으로 계산된다.

$$v_m = Q/60/A, \quad A = \pi/4(D_o^2 - D_i^2) \quad (4)$$

2.2.5 날개 끝에 대한 날개 형상 결정

날개의 형상은 날개의 축심을 중심으로 하고 지름이 D 인 몇 개의 원통면으로 날개를 잘랐다고 가정하여 각 원통 표면 에 나타나는 날개의 형상을 결정하면 된다. 먼저 날개의 지름

과 같은 지름을 가진 원통면으로 잘랐다고 가정하면, 원통면 표면 위에 날개 끝의 날개 형상이 나타나고 이를 펼쳐서 생각 하여 다음과 같은 형상 변수들을 결정한다.

(1) 원주 속도의 결정

$$u = \pi DN/60 \quad (5)$$

(2) 원주 방향의 유속 증가 결정

$$v_u = gH/(0.9u) \quad (6)$$

(3) 상대 유속의 각도 결정

$$\beta_\infty = \tan^{-1}(V_m/(u - 0.5v_u)) \quad (7)$$

(4) 양력계수×솔리디티의 결정

$$C_L \sigma = C_L \left(\frac{1}{t}\right) = 2 \left(\frac{v_u}{v_m}\right) \cos(I^*) \sin^2(\beta_\infty) / \sin(\beta_\infty + I^*) \quad (8)$$

(5) 솔리디티의 결정

비속도를 이용하여 해당 도표 [5]로부터 솔리디티 $\sigma = (1/t)$ 를 결정한다.

(6) 날개 길이와 피치(t)의 결정

$$t = \pi D / z D_o \quad (9)$$

(7) 날개의 양력계수(C_L)와 영각(α)의 결정

양력계수는 다음의 식에 의해 결정되고

$$C_L \sigma = C_L \left(\frac{1}{t}\right) \quad (10)$$

영각은 날개의 형상에 따라 좌우되는데, 가장 간단한 형상인 평판 형상(Plate)의 경우에는

$$\alpha = \sin^{-1}(C_L/2/\pi) \quad (11)$$

이 되고 원호 형상의 경우에는

$$C_L = 2\pi \sin(\alpha + 2h/l) \quad (12)$$

으로부터 계산된다.

(8) 날개 설치각(β)의 결정

$$\beta = \beta_\infty + \alpha \quad (13)$$

(1)에서 (8)의 과정을 D 값을 달리하면서 여러 가지 원통면 에 대하여 구하면 날개의 형상이 결정된다.

이 때 이를 가장 쉽게 할 수 있는 방법은 (1) 부터 (8)에서 구한 날개 끝 형상과 D 를 D_i 로 하여 구한 날개 허브 쪽 형상을 이용하여 중간의 형상은 선형적으로 가정하는 경우이다.

2.3 팬의 성능 해석

팬의 성능 해석은 냉각탑의 운전 조건을 결정하기 위해 매우 중요하다. 팬은 일정한 조건에서 최적화되어 설계되지만 실제의 경우 운전 조건이 가변적이므로 운전 조건이 변함에 따라서 팬의 성능 변수의 변화를 나타내는 팬 성능 곡선은 팬을 사용하는 데 꼭 필요한 자료이고 팬을 제작할 경우 항상 첨부해야 한다.

팬 성능 곡선이란 주어진 팬에 대하여 날개의 설치각이 변함에 따라서 유량과 전압상승의 관계, 유량과 팬 효율의 관계, 유량과 모터 동력과의 관계 등을 나타내는 곡선을 의미한다. 보통 횡축을 유량으로 하고 종축을 전압상승, 팬 효율, 모터동력으로 하여 여러 가지 설치각에 대한 곡선으로 나타나게 된다. 팬의 성능 곡선 해석은 팬의 기하학적 조건(팬 지름, 허브 지름, 날개수, 팬 날개의 단면 형상 등)이 주어진 상태에서 팬 주위에 형성되는 유동으로부터 유도되며 다음과 같이 구한다.

2.3.1 유량과 전압상승과의 관계식

팬의 축심을 중심으로 하고 지름이 D 인 몇 개의 원통 면을 잘랐다고 가정하여 각 원통 표면에 나타나는 날개 주위의 유동을 해석하면 된다. 먼저 유량 Q 로부터 축방향 유속 v_m 과 원주속도 u , 날개 유입속도 w_∞ 를 결정한다.

$$v_m = Q/60/A, \quad A = \pi/4 * (D_o^2 - D_i^2) \quad (14)$$

$$u = \pi DN/60 \quad (15)$$

$$w_\infty = \sqrt{v_m^2 + u^2} \quad (16)$$

또한 날개수 Z , 날개의 코드 길이 l 을 이용해서 다음 식을 만족하도록 뉴턴 방법을 사용해서 상대 유속의 각도 β_∞ 를 결정한다.

$$2u \left(u - \frac{v_m}{\tan \beta_\infty} \right) = C_L \frac{lZ}{2\pi D} \frac{u}{v_m} w_\infty^2 \sin \beta_\infty \quad (17)$$

여기서 양력계수 C_L 은 날개의 설치각 β_s 에 따라 좌우되는데 가장 간단한 형상인 평판 형상(Plate)인 경우에는

$$C_L = 2\pi \sin \alpha = 2\pi \sin(\beta_s - \beta_\infty) \quad (18)$$

이 되고 원호 형상의 경우에는

$$C_L = 2\pi \sin(\alpha + 2h/l) = 2\pi \sin(\beta_s - \beta_\infty + 2h/l) \quad (19)$$

이 된다. 또한 팬에 걸리는 토크는 날개면에 작용하는 토크를 전체에 대하여 적분하면 구할 수 있다.

$$T = \int_{R_i}^{R_o} \frac{Z C_L \rho w_\infty^2 l \sin(\beta_\infty + 1^\circ)}{2 \cos(1^\circ)} u dr \quad (20)$$

따라서 날개면 전후의 전압상승은 다음과 같이 표시된다.

$$\Delta P = \frac{T}{Q} = \rho g H \quad (21)$$

2.3.2 유량과 팬 효율과의 관계

팬의 효율은 팬의 특성을 나타내는 비속도 n_s 를 구한 후에 경험식 또는 해당 도표 [5]로부터 구할 수 있다. 이 때 비속도 n_s 는

$$n_s = NQ^{1/2}/H^{3/4} \quad (22)$$

로 표시되고, 비속도 n_s 를 이용하여 해당 도표 [5]로부터 팬의 효율 η 를 구할 수 있다.

2.3.3 유량과 모터동력과의 관계식

모터동력 L 은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$L = (\rho g H Q) / 4500 / \eta \quad [\text{HP}] \quad (23)$$

3. 팬 3차원 모델링 및 금형 설계

축류팬의 설계 데이터를 이용하면 팬 형상의 3차원 모델링이 가능하다. 앞서 언급한 바와 같이 축류팬의 모델링은 블레이드의 모델링과 목부위 모델링으로 구분된다.

3.1 블레이드 모델링

팬 블레이드의 모델링을 위해서는 먼저 <표 1>의 NACA 4409 익형에 설계의 출력 값인 코드랭스와 비틀림각을 대응시켜 계산할 수 있다. <그림 5>와 같이 i 번째 익형 상의 j 번째 점 P_{ij} 의 위치는 다음의 식으로 계산된다.

$$P_{ij}' = P_{ij} \cdot \text{Rot}_y(\theta_i) \quad (24)$$

여기서 θ_i 는 i 번째 익형의 비틀림각을 나타내고 $\text{Rot}_y(\theta)$ 는 y 축을 기준으로 θ 만큼 반시계 방향으로 회전을 나타낸다.

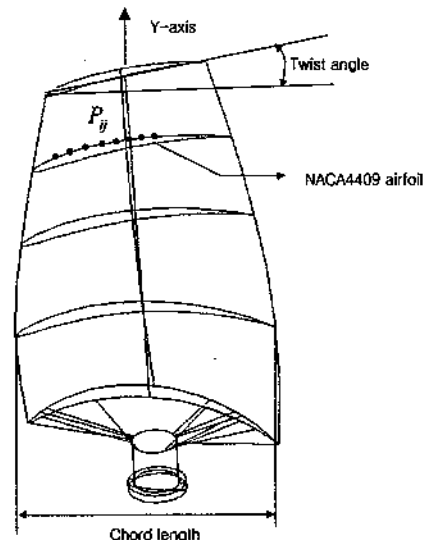


그림 5. 팬의 3차원 곡면 모델링.

출력된 설계 데이터와 NACA4409 익형에 의해 익형 상의 위치 데이터 P_j 가 계산되면 CAD/CAM 시스템을 이용하여 블레이드의 3차원 곡면 모델링이 가능하다(곡면 모델링에 관한 수학적 배경은 참고문헌(강재관 외, 2000)에 자세히 설명되어 있다). 먼저 각 익형을 구성하는 점($P_j, j \in [1, 18]$)을 부드러운 곡선으로 연결한 후 각 단면 곡선들을 연결하여 부드러운 곡면을 형성한다. 본 연구에서 사용한 OMEGA 시스템의 경우 SMOOTH 곡선으로 익형의 곡선을 생성하고 곡면은 동일한 중심축에 수직으로 위치한 단면들을 부드럽게 연결하는 SPINE 곡면을 이용한다(OMEGA reference manual, 1993).

3.2 목 부위 모델링

설계 단계에서 팬의 하중과 회전에 따른 전단력과 이에 따른 목 두께 및 길이의 설계치는 주어지지만 목과 블레이드를 연결하는 접합부위에 대한 설계 데이터는 제시되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 현장의 경험을 최대한 고려하여 접합부위를 팬의 회전 및 진동에 따른 부하를 견딜 수 있도록 설계한다. 접합부위에 대한 모델링 방법은 다음과 같다.

- 1) 허브 양 끝점과 목 높이의 중간점을 연결하는 면을 생성한다.
- 2) 연결면의 강도를 더하기 위해 목의 연장선을 생성 후 이를 1)에서 생성한 곡면에 투영하여 곡선을 생성한다(<그림 6(a)>).
- 3) 허브 곡선과 2)에서 생성된 곡선으로 곡면을 형성한다(<그림 6(b)>).
- 4) 3)의 곡면 모서리선과 허브 양 끝점과 목 양 끝점을 연결하는 직선으로 아직 완성되지 않은 하위 부위 면을 생성한다(<그림 6(c)>).
- 5) 3)에서 생성한 곡면과 4)에서 생성된 면 사이를 부드럽게

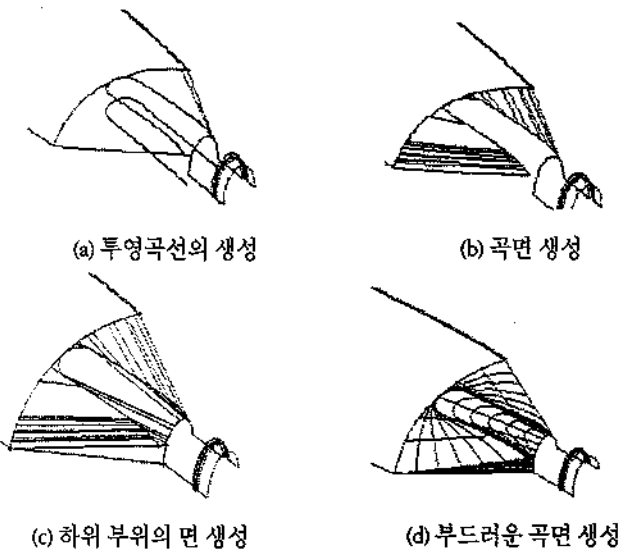


그림 6. 목 부위 모델링 절차.

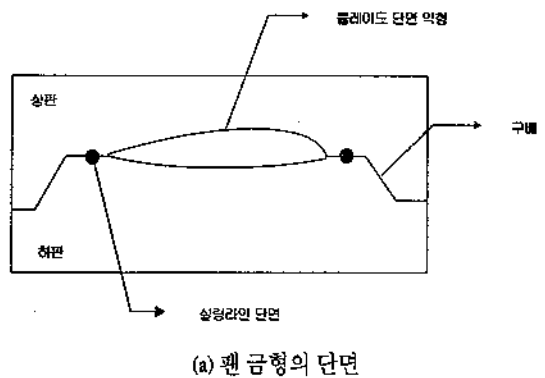
연결시키기 위하여 두 면을 라운딩 처리한다(<그림 6(d)>).

3.3 금형 설계

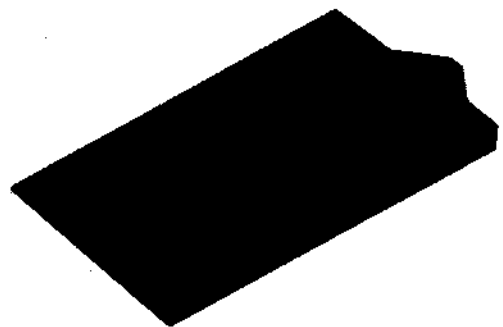
팬의 금형 설계에는 팬을 어떻게 성형하는가에 따라 두 가지 방법이 있다. 첫번째는 상·하판 양 금형을 가공한 후 F.R.P. 시트를 금형 표면에 집착시킨 후 상·하판을 결합하여 팬을 만드는 방법이고, 두 번째는 금형 상·하판을 F.R.P.로 제작하는 방법으로서 목형을 먼저 가공한 후 F.R.P.를 목형에 적층시켜 F.R.P. 금형을 만드는 방법이다.

첫번째 방법은 금형 소재에 따라 다시 두 가지로 분류되는데, 금형 소재로 목재를 사용하는 경우와 알루미늄과 같은 금속 소재를 사용하는 경우이다. 목재를 사용하는 경우는 시제품이나 특수한 형상의 팬을 1~2개 생산하는 경우에 적합하고 대량 생산일 경우에는 알루미늄과 같은 금속 소재를 이용하게 된다. 두 번째 방법인 F.R.P.를 금형 소재로 이용하는 경우는 가격 대비로 보아 10~20개 정도의 소량 생산의 경우에 적합하다.

금형의 단면 모습은 <그림 7(a)>와 같다. 상하판이 결합하는 접합면이 있고 상하판의 결합 및 분리가 용이하도록 접합면에 구배를 주게 된다. 또한 F.R.P. 소재가 밀려나오는 것을 방지하기 위하여 팬 윤곽을 따라 일정한 폭과 깊이의 실링 라인을 삽입한다. 실링 라인은 등근 홈이 되도록 볼 앤드 밀을 이용하여 가공한 뒤 홈을 고무 패킹하여 접합면 사이에 빈 공간이 없도록 한다. <그림 7(b)>는 설계된 금형의 상판을 솔리드 모델링한 모습이다.



(a) 팬 금형의 단면



(b) 금형의 솔리드 모델링

그림 7. 팬 금형.

4. 팬 설계 및 금형 제작을 위한 통합 자동화 시스템

2절과 3절에서 개발된 방법을 이용하여 냉각탑용 축류팬의 설계 및 성능해석 그리고 금형 설계 및 제작의 일련의 과정을 통합하여 처리하는 시스템을 다음과 같이 개발하였다. 먼저 팬 설계 및 성능해석 소프트웨어를 Pentium-III 상에서 Visual Basic 과 AutoLISP를 이용하여 개발하였으며 시스템은 1) 팬 설계 모듈, 2) 팬 성능해석 모듈, 3) 3차원 형상 모델링 모듈, 4) 2차원 도면 자동 생성 모듈, 5) 금형 설계 및 가공을 위한 파트 프로그램 생성 모듈로 구성된다.

4.1 팬 설계 모듈

팬 설계 파라미터인 유량률, 정압, 회전수 등의 값을 사용자가 입력하면 입력을 만족시키는 팬직경, 허브비, 팬 블레이드 수를 계산하여 <그림 8>과 같이 사용자에게 추천치로 보여준다. 이 추천치는 설계자의 현장 경험치와 기타 요구 사양을 고려하여 수정할 수 있으며 수정된 값에 의해 최종 팬 설계 파라미터 값들이 <그림 9>와 같이 계산된다. 출력되는 팬 설계 파라미터는 팬 중심으로부터 팬 블레이드의 끝단까지의 거리에 따른 코드랭스값과 비틀림 각도값이다.

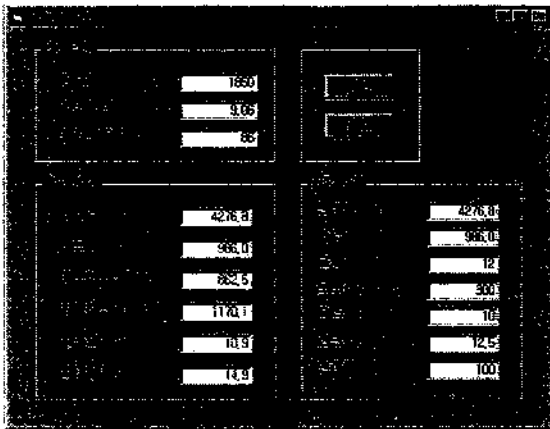


그림 8. 팬 설계 초기 입력 화면.

0.255	118	51.3	21.7
0.258	118	52.0	21.7
0.261	118	52.7	21.7
0.264	120	53.4	19.8
0.267	126	54.1	17.1
0.270	130	54.8	15.5
0.273	1425	55.5	14.0
0.276	1490	56.2	12.7
0.279	1555	56.9	11.5
0.282	1520	57.6	10.5
0.285	1585	58.3	9.5
0.288	1650	59.0	8.5
0.291	1715	59.7	7.7
0.294	1780	60.4	7.1
0.297	1845	61.1	6.6
0.300	1910	61.8	6.1
0.303	1975	62.5	5.7
0.306	2040	63.2	5.3
0.309	2105	63.9	5.0
0.312	2170	64.6	4.7
0.315	2235	65.3	4.4
0.318	2300	66.0	4.1
0.321	2365	66.7	3.8
0.324	2430	67.4	3.5
0.327	2495	68.1	3.2
0.330	2560	68.8	3.0
0.333	2625	69.5	2.7
0.336	2690	70.2	2.5
0.339	2755	70.9	2.3
0.342	2820	71.6	2.1
0.345	2885	72.3	1.9
0.348	2950	73.0	1.7

그림 9. 팬 설계 데이터.

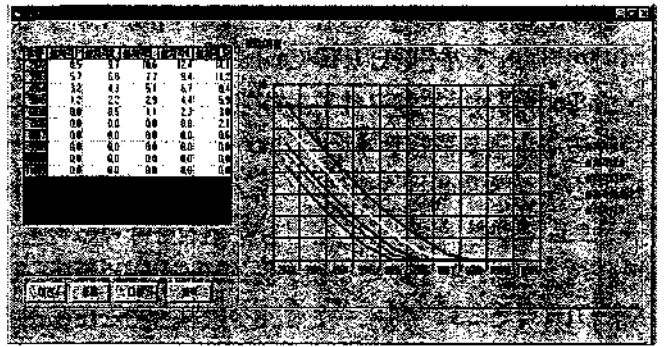


그림 10. 팬 성능 곡선 그래프.

4.2 팬 성능해석 모듈

팬 설계 파라미터인 팬 직경, 허브비, 날개 수, 회전수와 형상을 결정하는 코드랭스와 비틀림각 및 목내경과 외경, 설치각을 입력하면 유량에 따른 전압상승, 팬효율, 모터동력, 전단력 등의 관계 및 성능곡선이 <그림 10>과 같이 출력된다. 성능곡선은 형축을 유량으로 하고 종축을 전압상승, 팬 효율, 모터동력으로 하여 여러 설치각에 대하여 이들의 관계를 그래프로 표현한다.

4.3 3차원 형상 모델링 모듈

설계 모듈에서 구해진 설계 파라미터 값에 NACA4409 익형을 적용하면 블레이드 단면 데이터가 구해진다. 이를 3차원 컴퓨터 그래픽을 이용하여 3차원 와이어 프레임 형상으로 모델링하여 설계한 팬의 3차원 형상으로 사용자가 볼 수 있도록 한다. <그림 11>에 설계된 팬의 3차원 형상 및 블레이드 길이에 따른 익형의 모습이 나타나 있다.

4.4 2차원 도면 자동 생성 모듈

2차원 도면은 수주처 제출 또는 금형 제조업체에 보내기 위

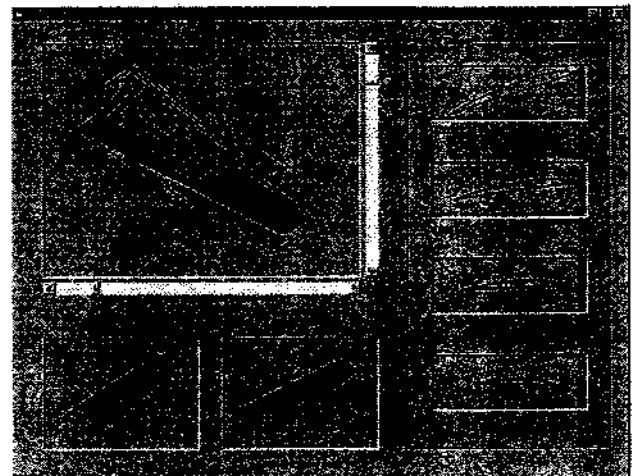


그림 11. 팬 블레이드의 3차원 형상 모델링.

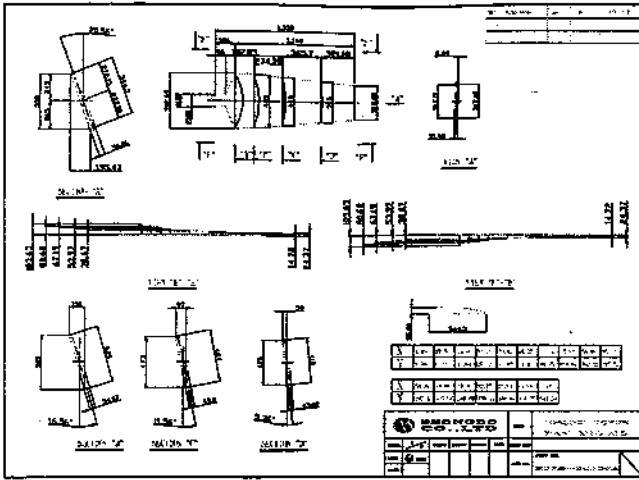


그림 12. 팬 형상의 2차원 도면.

해 작성하게 된다. 그러나 팬 형상의 특성상 3차원 자유곡면 형상을 2차원 도면으로 표현하는 것은 용이하지 않다. 예를 들어 <그림 12>와 같은 2차원 팬 설계 도면을 생성하는 데 소요되는 시간은 숙련자의 경우에도 약 4시간 이상이 소요되고 있다.

본 연구에서는 AutoCAD의 API인 AutoLISP를 이용하여 AutoCAD 상에서 팬의 2차원 도면이 자동으로 생성되도록 한다. 즉, 출력된 설계 데이터를 이용하여 팬의 정면도, 평면도, 측면도 및 단면도가 자동으로 그려지도록 하며, 특히 팬의 사이즈와 상관없이 도면의 배치가 자동으로 이루어지도록 한다. <그림 12>는 설계 데이터로부터 자동 생성된 2차원 도면의 모습이다.

4.5 금형 설계 및 가공을 위한 자동 파트 프로그램 생성 모듈

일반적으로 금형 설계 및 제작은 형상에 대한 2차원 도면을 바탕으로 금형 업체에서 이루어지는 것이 보통이나 본 연구의 대상업체인 경우, 금형 제작을 위한 머시닝 센터를 보유하고 있어 금형 설계 및 제작을 직접 처리할 필요가 있다. 그러나 열악한 중소기업 환경에서 CAD/CAM 시스템을 직접 운영할 인력을 확보하는 것은 용이하지 않으며 숙련된 CAM 작업자라 할지라도 설계 데이터를 이용하여 금형의 설계 및 가공 정보 산출까지의 시간이 상당히 필요하다. 따라서 금형 설계 및 가공 정보 산출 프로세스를 자동화하는 것은 중소기업의 원가 절감 및 생산성 향상에 큰 영향을 미친다.

국산 CAM 소프트웨어인 OMEGA 시스템은 타 시스템과 달리 GUI 기반의 형상 모델링 방법 외에도 텍스트 기반의 파트 프로그램을 작성하여 형상을 모델링할 수 있는 기능을 보유하고 있다. 이를 이용하면 출력된 설계 데이터를 이용하여 사용자가 원하는 금형을 설계하고 가공하는 파트 프로그램을 자동으로 생성하는 것이 가능하다. 즉, 금형 설계에서부터 최종 NC 코드 생성까지가 자동으로 처리된다. <그림 13>은 설계 데이터로부터 자동으로 생성된 OMEGA 시스템 입력용 파트 프로그램의 일부이다.

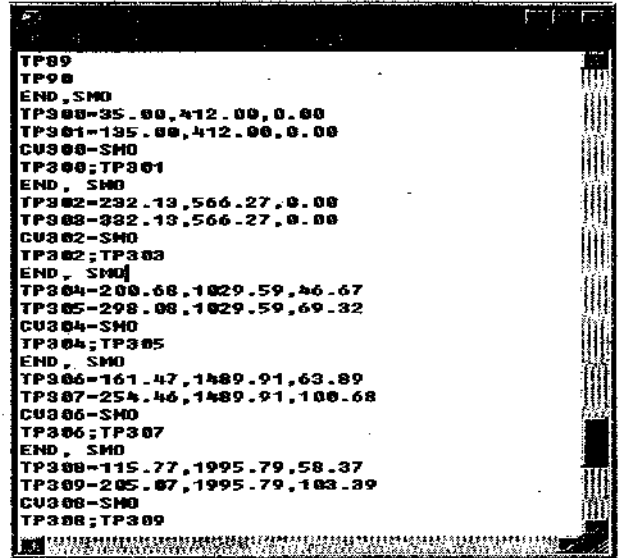


그림 13. 금형 설계 및 가공을 위한 파트 프로그램.

4.6 금형 가공 및 팬 제작

냉각탑용 팬은 일반적으로 F.R.P. 시트를 적층하여 성형하기 때문에 사출 금형이나 프레스 금형과 달리 금형 소재의 선택에 특별한 제약조건이 없다. 본 연구에서는 이러한 특성을 이용하여 금형 소재로 가격이 저렴한 MDF 보드를 사용한다. 시중에서 쉽게 구할 수 있는 MDF 보드를 공업용 본드로 결합하여 원하는 소재 두께를 맞추었다. 팬 사이즈가 적경 2m인 경우에 대하여 황삭, 중삭, 정삭 및 실링 가공에 사용한 가공 조건 및 가공 시간이 <표 2>에 나타나 있다. <그림 14>는 가공이 완료된 팬 금형의 모습이고, <그림 15>는 성형한 팬의 시제품 모습이다.

5. 결론

본 논문에서는 냉각탑용 축류팬의 최적 설계 및 성능 해석과 CAD/CAM을 이용한 팬 금형의 설계 및 제작의 과정을 자동화하는 통합 시스템의 개발을 다루었다. 팬 설계에 있어서는 팬

표 2. 절삭조건

소재		MDF 보드		소재 사이즈		1200×600×195		
가공 조건	공구	공구 직경	회전 수	FEED	PITCH	가공 여유	DEPTH	가공 시간
황삭	FEM	26	2000	1500	12	5	25	1시간 05분
중삭	BEM	20	3000	2000	10	0	0	1시간 30분
정삭	BEM	10	3000	3000	1	0	0	2시간 20분
실링 가공	BEM	6	3000	3000	0	0	0	3분

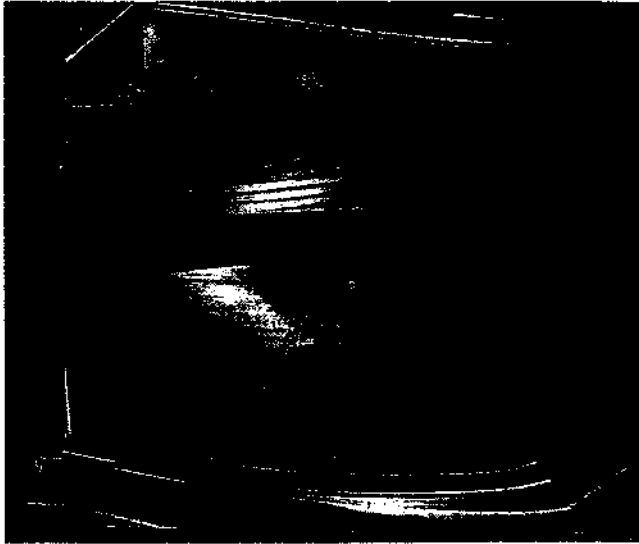


그림 14. 가공이 완료된 팬 금형.



그림 15. 축류팬 시제품.

주위의 유동해석을 바탕으로 고효율 저소음 팬을 개발하도록 하였으며 팬의 성능 해석은 날개의 설치각 변화에 따라 유량과 전압상승, 팬효율, 모터동력, 전단력 간의 관계를 계산하는 방법을 개발하였다.

개발된 이론은 GUI 기반의 소프트웨어로 전산화하여 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하였으며 특히 3차원 곡면 모델링 기법을 이용하여 설계된 형상을 눈으로 확인할 수 있도록 하였다. 또한 설계 데이터를 이용하여 AutoCAD의 2차원 도면이 직접 생성될 수 있도록 하였으며 금형 설계 및 제작에 있어서는 설계 데이터로부터 파트 프로그램이 자동으로 생성되도록 함으로써 3차원 곡면 모델링 및 NC 공구경로 산출 부분을 자동화시켰다.

본 연구에서 개발한 제품을 필드 테스트한 결과, 모방 제작 방식의 기존 팬에 비해 우수한 성능을 확인할 수 있었다. 또한 기존의 수작업인 경우 금형 설계에서 제작까지 1개월 이상이 소요되었으나 통합 시스템의 도입으로 직경 2m 팬 제작의 경우 1일, 직경 6m의 대형 팬의 경우에도 3일 이내에 금형을 제작할 수 있게 되었다.

본 연구의 결과는 지금까지 외국 제품을 모방 설계 제작해 온 국내 냉각탑용 팬 생산 중소기업에 독자적인 팬 설계 기술을 제공하고 수작업으로 이루어져 왔던 금형 제작을 CAD/CAM 시스템을 이용함으로써 금형 설계 및 제작 시간에 획기적인 단축을 가져올 것으로 기대한다.

참고문헌

강제관, 정종윤, 이학선 (2000), 산업용 축류팬을 위한 3차원 곡면 모델링, 2000 한국CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, 365-370.
 박성관, 최동규 (1998), 최적 축류팬 개발을 위한 통합조정, 한국 CAD/CAM 학회논문집 3(3), 201-209.
 최동규, 최원석, 박성관 (1997), 팬설계 시스템에 의한 냉장고용 축류팬 개발, 한국 CAD/CAM 학회논문집 2(2), 85-92.
 최상련, 한철엽, 박근 (2000), 마이크로 팬의 최적 금형 파팅면 생성에 관한 연구, 금형저널, 181, 152-159.
 하재현, 손병진, 김춘식 (1993), 유체기계, 대학도서.
 OMEGA reference manual (1993), 큐빅테크.
 Wallis, R. A. (1983), Axial Flow Fans and Ducts, John Willey & Sons. Inc.



강제관
 서울대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 산업공학과 석사
 포항공과대학교 산업공학과 박사
 현재: 경남대학교 정보통신공학부 교수
 관심분야: CAD/CAM, 생산자동화



오건제
 서울대학교 기계공학과 학사
 서울대학교 기계공학과 석사
 서울대학교 기계공학과 박사
 현재: 경남대학교 기계자동화 공학부 교수
 관심분야: 유체역학



이학선
 경남대학교 산업공학과 학사
 현재: 경남대학교 산업공학과 석사과정
 관심분야: CAD/CAM



정종윤
 한양대학교 산업공학과 학사
 Ohio State University 산업공학과 석사
 West Virginia University 산업공학과 박사
 현재: 창원대학교 산업공학과 부교수
 관심분야: CAD/CAM, 컴퓨터통합생산시스템