

냉각탑용 축류팬 및 보스 설계를 위한 3차원 자동 모델링

강재관*, 이광일⁺, 김원일⁺⁺, 이윤경⁺⁺

(논문접수일 2002. 8. 19, 심사완료일 2002. 11. 26)

An Automated Design and 3-D Modeling System of Axial Fans and a Boss

Jae Gwan Kang*, Gwang IL Lee⁺, Won IL Kim⁺⁺, Yoon Kyung Lee⁺⁺

Abstract

In this paper, an automated design and 3-D modeling system of an axial fan and a boss for cooling towers was developed. API and parametric design provided by a commercial solid-modeler are engaged to automate modeling process. Design data of the boss are assumed to be given by a user with design experiences while the fan from the fan design program using three-dimensional flow analysis. An algorithm avoiding the interferences between fans and a boss is developed. The design data are registered on the database not only to remove duplicate design but also to transfer the data to ERP system.

Key Words : Cooling Tower(냉각탑), Axial Fan(축류팬), API(응용프로그램인터페이스), Parametric Design(파라메트릭 설계), Solid Modeler(솔리드 모델러)

1. 서론

냉각탑은 대형 제철공장의 공업 용수의 냉각이나 대형 빌딩의 실내 공기 냉각을 목적으로 실외에 설치된 타워 형태의 냉각 구조물로서 최근 산업 사회의 발전에 따라 그 수요가 크게 증가하고 있다(Fig. 1). 냉각탑의 핵심 부품은 냉각탑의 효율을 결정하는 축류팬과 냉각탑 운영비의 대부분을 차지하는 구동 모터이다. 보스는 냉각 팬을 고정시키고 모터로부터 전달된 토크를 날개에 전달해 주는 부품으로

모터 동력비의 상당부분을 차지한다.

냉각탑용 축류팬은 경량화를 위하여 F.R.P.를 사용하여 제작하고 보스는 주물 제작하는 것이 일반적인데 국내 대형 사업장에서 사용되는 냉각탑용 팬은 대부분 수입에 의존하고 국내 제작은 유지보수 시에만 이루어지고 있다. 국내 제작의 경우에도 독자 설계 기술을 보유하고 있지 않아 열악한 환경의 중소기업들이 외국산 수입팬을 데드 카피하는 것이 현 기술 수준이다. 특히 F.R.P.제조 현장은 비산되는 유리섬유 및 수지 젤코트 작업 등의 환경 문제 때문에

* 주저자, 경남대학교 기계자동화공학부 (jkkang@kyungnam.ac.kr)

주소: 631-701 경남 마산시 월영동 449

+ 경남대학교 대학원 기계공학과

++ 경남대학교 기계자동화공학부

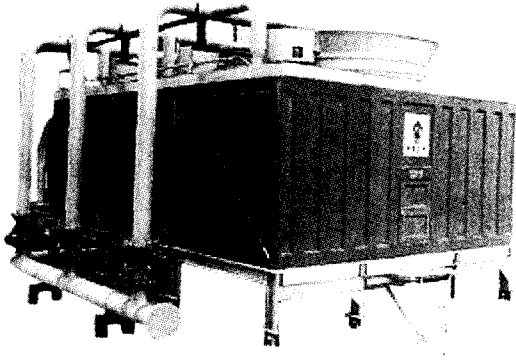


Fig. 1 Cooling tower

3D업종으로 인식되어 작업자를 구하기가 매우 어려운 실정이며 기술 개발 및 공정 자동화의 필요성이 매우 높다.

최근 저자들은 3차원 유동해석을 이용한 냉각탑용 축류팬의 설계 기술을 개발하고 3차원 CAD/CAM을 도입하여 급형제작 과정까지를 수행한 바 있다^(1,2). 그러나 열악한 환경의 중소기업이 개발된 기술을 수용하기 위해서는 3차원 CAD/CAM을 다룰 수 있는 전문화된 인력이 필요하며 다양한 종류의 팬 설계 및 잦은 설계 변경에는 여전히 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 연구는 냉각탑용 축류팬 제조공정의 자동화를 위한 시작으로서 상용 3차원 솔리드 모델러의 API(Application Programming Interface)를 이용하여 축류팬 및 보스 파트의 설계 자동화를 위한 3차원 형상 모델링 및 2차원 도면 자동 생성 문제를 다룬다.

2. 시스템 구조

3차원 솔리드 모델러를 이용하여 설계 자동화 시스템을 구현하는 데에는 API 프로그래밍을 이용하는 방법과 부품 및 피쳐 라이브러리를 이용하여 편집하는 방식 두가지가 있다^(3,4,5). 본 연구에서는 피쳐 라이브러리를 정의할 수 없는 팬 모델링에는 API를 사용하고 보스 모델링에는 부품 및 피쳐 라이브러리를 이용하는 방식을 사용한다.

본 연구에서 개발되는 시스템의 구성 절차는 다음과 같다. 먼저 냉각탑용 축류팬의 설계데이터는 기존의 연구⁽¹⁾에서 개발된 설계 프로그램을 통하여 제공받는다. 설계 데이터를 기반으로 상용 모델러가 제공하는 API를 이용하여 팬 형상을 자동 모델링한다. 그리고 보스를 구성하는 각 부품을 파라메트릭 설계 기법을 이용하여 모델링한 후 부품 치

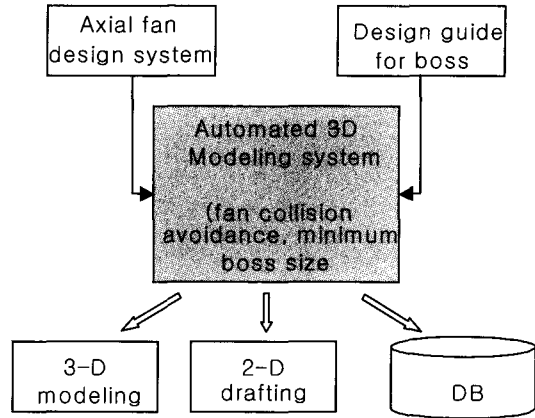


Fig. 2 Structure of systems

수에 관한 정보를 사용자로부터 입력 받아 보스를 모델링하고 축류팬과 조립한다. 이 때 조립되는 축류팬들 간에 간섭이 발생하지 않도록 하며 보스의 구성 부품은 허용 강도 하에서 보스 사이즈가 최소가 되도록 각 부품의 치수를 결정한다. 설계 및 모델링이 완성되면 각 구성 부품 및 조립 형상에 대한 2차원 도면을 생성하고 설계 정보를 데이터베이스에 등록한다. Fig. 2에 시스템의 개념도가 나타나 있다.

2.1 축류팬 설계 및 모델링

가전제품 등에서 사용되는 소형 축류팬^(6,7)과 달리 냉각탑에서 사용되는 축류팬 형상은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 크게 블레이드 부위와 목 부위로 나눌 수 있다. 블레이드는 팬의 성능에 직접적으로 영향을 미치는 핵심 부분으로 특히 블레이드의 단면을 익형(airfoil)이라 한다. 목 부위는 팬의 성능과 크게 관계가 없으며 기능상 강도를 유지할 수 있는 것이 중요하다.

팬 설계는 순환되는 유량과 압력 손실, 그리고 팬의 회전수를 이용하여 팬의 효율이 최대가 되도록 팬 직경(fan diameter)과 허브비(hub ratio), 익현길이(chord length), 날개 개수, 비틀림각(twist angle), 설치각(setting angle) 등을 결정하는 것이다(Fig. 4).

본 연구에서 설계 데이터를 얻기 위하여 사용하는 팬 설계 방법은 앞서 언급한 바와 같이 3차원 유동해석을 이용한 기존의 연구 결과⁽¹⁾를 이용한다. 그리고 익형(airfoil)은 NASA의 전신인 NACA에서 설계한 NACA4409타입을 사용한다⁽⁸⁾. 이 익형을 팬 설계 데이터와 결합시키면 팬 블레이드 형상의 3차원 위치 정보를 모두 얻을 수 있으며 그

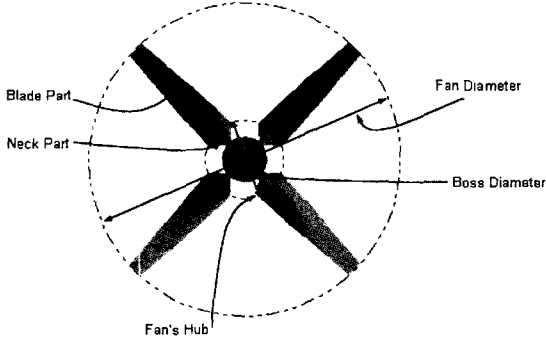


Fig. 3 Terminology of axial fans and a boss

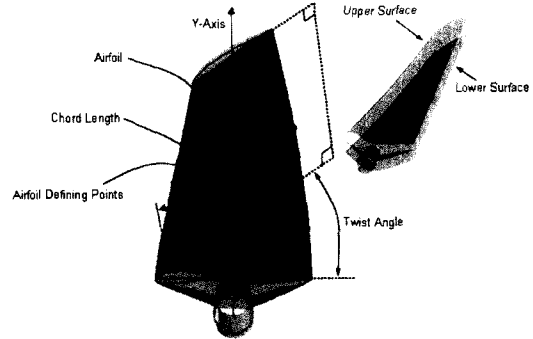


Fig. 4 Terminology of an axial fan

과정은 다음과 같다.

- (1) 각 익형의 중심(50 percentile)을 팬 중심축(y축)에 일치시킨다.
- (2) 익현길이를 고려하여 상연 하연의 3차원 좌표값을 계산한다.
- (3) 계산된 3차원 좌표값을 비틀림각(twist angle)만큼 회전시킨다.

2.2 보스 설계 및 모델링

보스는 일반적으로 주물 제작하는데 냉각팬의 소비 동력을 줄이기 위해서 가능한한 소형 경량이어야 하며 날개의 중량 및 날개 회전에 의해 발생하는 원심력과 진동에 견딜 수 있을 정도의 사이즈를 확보하여야 한다.

보스는 감속기 축에 고정되는 허브(hub), 날개의 목부를 고정하는 클램프(clamp), 클램프와 허브를 연결해 주는 플레이트(plate), 그리고 이들을 고정하는 볼트(bolt)와 너트(nut) 등의 부품으로 구성된다(Fig. 5). 축류 팬 설계와 달리 보스 설계에 필요한 각 부품의 선택은 현장의 경험에 의한

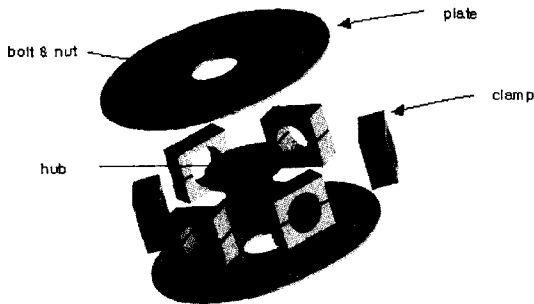


Fig. 5 Parts of a boss

설계 지침을 이용하는 것으로 가정한다.

그러나 지나치게 보수적인 설계는 보스의 사이즈를 크게 하여 팬 동력비를 증가시키는 원인이 된다. 따라서 강성을 유지하는 범위내에서 가능하면 작은 사이즈로 설계하는 것이 좋으나 때로 각 부품들간에 간섭이 발생하여 현장에서 심각한 문제가 되기도 한다. 따라서 본 연구에서는 부품간의 간섭을 피하면서 최소 사이즈의 보스를 계산하는 방법을 개발한다.

조립시 발생하는 간섭에는 크게 클램프 간섭과 팬 간섭이 있다. 클램프 간섭은 플레이트 상에 배열되는 클램프의 수가 많아 인접한 클램프끼리 간섭을 일으키는 경우를 말하고 팬 간섭은 팬을 보스에 조립할 때 인접한 팬 간에 간섭이 발생하는 것을 말한다. 부품 간의 기하학적인 위치 관계를 이용하여 두 종류의 간섭을 제거하는 알고리즘은 다음과 같다.

1) 클램프 간섭

감속기 샤프트의 크기 r_s , 볼트 크기 d_b , 허브 두께를 t_0 , 볼트자리 여유를 t_1 라 하면 보스 중심에서 허브까지의 반경(r_1)은

$$r_1 = r_s + d_b + t_0 + 2t_1 \quad (1)$$

이다(Fig. 6). 이 때 사용자가 입력한 클램프의 가로, 세로의 크기를 a, b라 하고, 클램프에 주어지는 여유를 t_2 라 하면 클램프 간의 간섭은 다음의 경우 발생한다.

$$\frac{a}{2} > (r_1 + t_2) \tan \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

따라서 다음의 식 (3)가 만족하지 않도록 t_2 를 설정하여야 하며 간섭이 발생하지 않는 플레이트의 최소 반경은

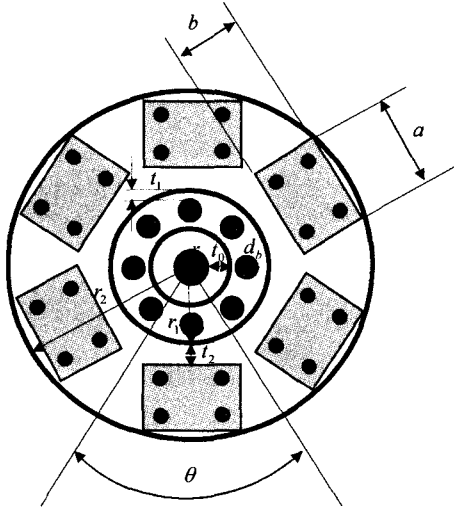


Fig. 6 Placement of boss parts

$$r_2 = \sqrt{(r_1 + t_2 + b)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} \quad (3)$$

가 된다.

2) 팬 간섭

Fig.4에서 보는 바와 같이 팬은 보스를 중심으로 방사형으로 설치되고 팬 형상은 목에서 점점 커져 허브에서 최대 사이즈가 되었다가 끝부분으로 갈수록 폭이 좁아지기 때문에 팬 간의 간섭은 팬의 허브 부분에서 발생한다. 따라서 팬 허브 위치에서의 익형 간에 간섭이 발생하는지를 체크하면 팬들 간의 간섭 여부를 알 수 있다.

동심원 상에 정의되는 두개의 인접한 팬 허브의 익형을 평면상으로 전개시키면 Fig.7와 같이 나타난다. 그림에서 l_0 는 익형 중심점에서의 상연값을 지나고 골격선(camber line)에 평행한 직선을 나타내고 l_1, l_1' 은 각각 A_0, A_1 익형에서 골격선과 최대 편차를 가지는 하연 위치를 지나고 골격선에 평행한 직선을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 익형 A_0 와 익형 A_1 사이의 간섭은 l_1 가 l_0 보다 좌측(또는 아래쪽)에 위치할 경우에 발생하게 된다.

두 익형 중심간의 거리를 W , 그리고 l_0, l_1 사이의 수평 거리를 G 라고 하면 W 와 G 는 각각

$$W = 2r_h \sin \frac{\theta}{2} \quad (4)$$

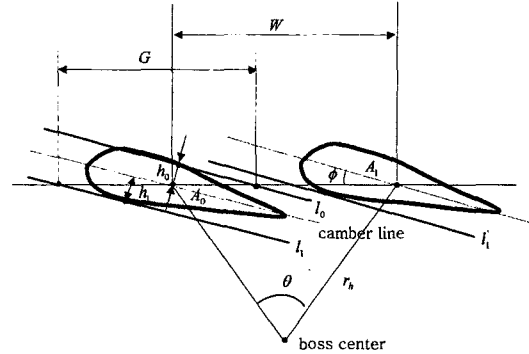


Fig. 7 Interference of fans

$$G = \frac{(h_0 + h_1)}{\sin \phi} \quad (5)$$

이 된다. 여기서 ϕ 는 팬의 설치각을 θ 는 인접한 두 팬사이의 각도를 나타낸다. 따라서 팬 간의 간섭이 발생하지 않기 위해서는 $W > G$ 의 조건이 만족하여야 한다. 팬 사이에 간섭이 발생하면 클램프 여유 t_2 를 증가시켜 간섭이 발생하지 않도록 플레이트 크기를 수정하여야 한다.

보스 부품의 모델링에는 파라메트릭 설계 방식을 이용하여 부품 라이브러리를 구축하여 사용한다. 즉 각 부품을 Sketch와 Expression 기능을 이용하여 모델링하고 Sketch에서 지정한 파라미터들을 Expression의 변수로 등록하여 모델링한 후 피쳐 라이브러리로 저장해 두고 새로운 모델을 생성할 때에는 필요한 치수값을 부여함으로써 자동으로 모델링되도록 한다. 단 볼트 너트와 같이 표준 부품을 사용해야 할 경우에는 KS 규격에 의하여 각 부품들을 설계하고 이를 라이브러리에 저장해 둔다.

2.3 자동 2차원 도면 생성

3차원 솔리드 모델러를 사용하는 경우에도 2차원 도면은 발주회사 제출 또는 현장 작업을 위하여 필요하다. 생성하여야 할 2차원 도면은 보스 부품 도면과 전체 조립 도면이며 발주처에 따라 표제란 양식과 용지 사이즈 등이 서로 다르기 때문에 이를 지원하는 것이 필요하다.

2차원 도면 생성을 자동화하기 위하여 기존에는 AutoCAD가 제공하는 AutoLISP를 이용하였으나⁽¹⁾ 새로운 도면 양식이 생길 때 프로그래밍의 부하가 심한 문제점이 있다. 이에 반하여 3차원 솔리드 모델러는 2차원 도면 생성을 기본적으로 제공해 준다. 단 도면의 표제란 양식과 용지사이즈

등을 자동으로 삽입되도록 하기 위해서는 솔리드 모델러의 API를 이용하는 것이 필요하다.

부품의 2차원 도면 생성 시 축류팬은 자유 곡면 형상이기 때문에 2차원 도면 생성이 용이하지 않지만 3차원 형상 생성시 2차원 도면 상에서 치수가 표시되어야 할 위치에 이름을 부여해 두면 이를 이용하여 2차원 도면을 생성할 수 있다. 조립 형상에 대한 2차원 도면 역시 솔리드 모델러에서 제공하지만 축류팬은 모델링 형상이 라이브러리로 존재하지 않고 설계 과정에서 직접 생성되기 때문에 모델러가 제공하는 2차원 도면 생성 기능을 사용할 수 없다. 따라서 이를 위해서는 축류팬의 허브와 끝단, 냉각팬 중심 위치, 보스 테두리 등 각 부의 위치를 알아내어 API를 사용하여 치수가 자동으로 표시되도록 하여야 한다.

2.4 데이터베이스 저장 및 조회

설계가 완성되기까지는 많은 시간과 시행 착오를 거치게 되므로 설계에 필요한 많은 정보가 완성된 설계도면에 포함되어 있다. 또한 설계 도면은 공정계획, 원가 계산, 생산 계획 등을 수립하는 근간이 된다. 따라서 새로운 팬의 설계가 완성되면 설계 정보를 데이터베이스에 저장하여 유사한 팬을 설계할 때 중복 설계를 방지하고 ERP시스템과 연동이 될 수 있도록 데이터베이스화하는 것이 필요하다.

본 시스템에서는 설계가 완료되면 설계에 사용된 축류팬 성능 데이터인 유량, 정압, 회전수, 목부 사이즈 등의 데이터를 도면과 함께 데이터베이스에 저장하도록 한다. 또한 이 때 사용된 보스 각 부품의 치수들도 DB에 함께 저장하고 사용된 금형 번호도 입력하도록 한다. 저장된 데이터베

이스는 새로운 설계를 시작하기 전에 조회를 할 수 있도록 하여 중복 설계를 방지하고 기존의 설계 시 얻은 설계 정보를 최대한 활용할 수 있도록 한다.

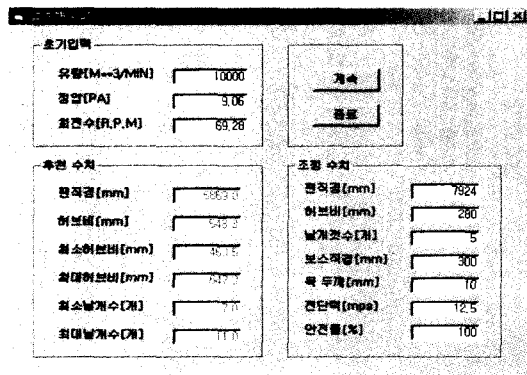
단 일반적인 데이터베이스 구축과 달리 본 연구에서는 3차원 솔리드 모델러에서 데이터베이스를 직접 액세스하는 기술이 요구된다. 이를 위해서는 일반 데이터베이스 언어를 사용하여 필요한 DB 프로그램을 작성한 후 이를 동적라이브러리(Dynamic link library)로 변환한 후 솔리드 모델러의 API에서 이를 호출하는 기술을 사용한다.

3. 시스템 구현

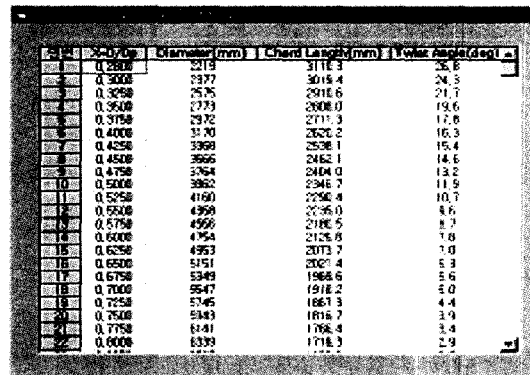
본 시스템을 구현하기 위하여 상용 솔리드 모델러로는 Unigraphics V16를 사용하였고 UG/Open API 및 UG Styler와 Microsoft Visual C++을 이용하여 팬 및 보스의 3차원 형상을 자동 모델링하였다. 데이터베이스는 오라클 DB를 사용하였으며 DB등록, 조회를 위한 Dialog Box와 모든 DB 처리 부분은 Delphi를 이용하여 프로그래밍 하였고, 네트워크지원과 다중 사용자 접근이 가능하도록 ODBC를 이용하여 DB에 접근하도록 하였다.

팬 설계 데이터는 앞서 언급한 바와 같이 기존에 개발되었던 축류팬 설계 프로그램을 이용한다(Fig. 8). 이 예에 사용된 팬은 유량 1,000m³/min 정압 9.06PA, 회전수 69.28 rpm으로 설계된 팬이다. 설계 프로그램의 출력 파일을 입력으로 하여 NACA4409 익형 데이터를 결합하여 블레이드를 구성하는 익형의 3차원 좌표값을 계산한다.

익형을 구성하는 점데이터가 계산되면 spline 곡선을 생



(a) input



(b) output

Fig. 8 Axial fan design program

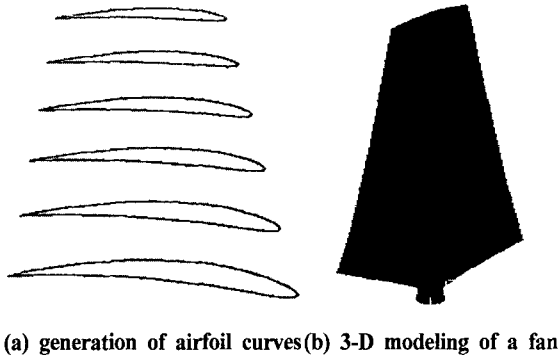


Fig. 9 Fan modeling using API

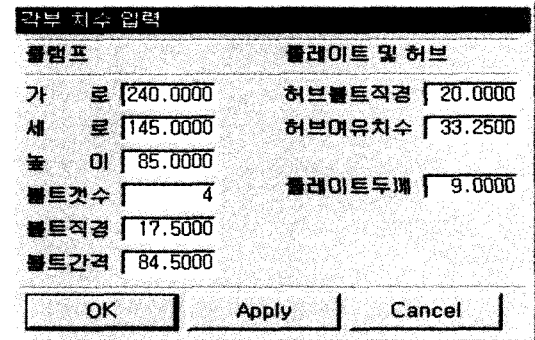
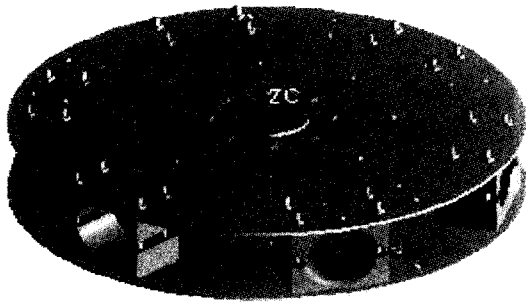
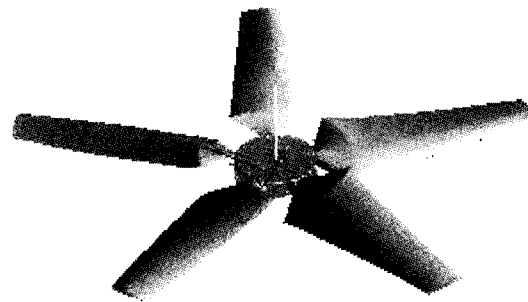


Fig. 10 Input for boss design

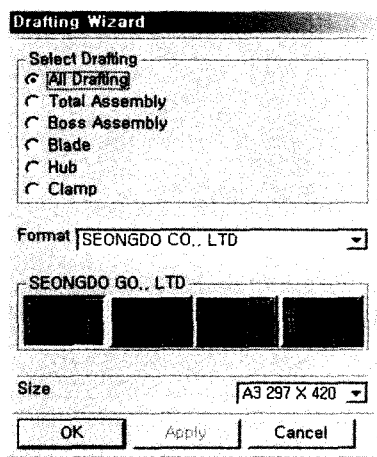


(a) boss

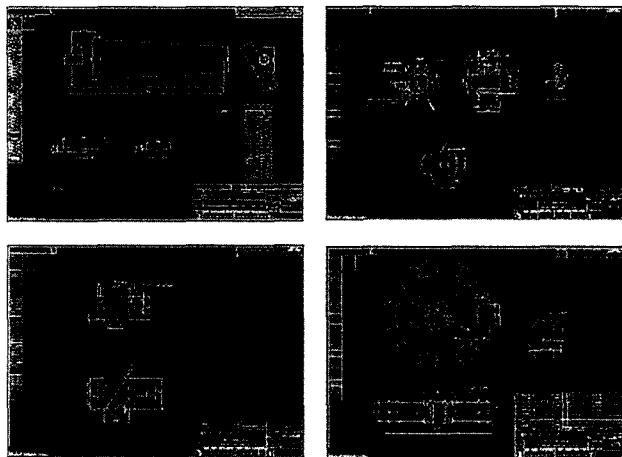


(b) assembled shape

Fig. 11 Assembly of a boss and fans



(a) selection of drafting type



(b) various types of 2-D drafting

Fig. 12 Drafting of a boss and fans

성하는 API함수를 이용하여 익형 curve를 생성하고(Fig. 9 (a)) 각각의 curve는 곡선들을 통과하는 곡면을 생성하는

API함수를 사용하여 곡면을 모델링한다⁽⁹⁾. 목부는 허브 익형 곡선과 목 부분의 연결은 룰드 곡면으로 생성하고 목부

는 원을 extrude시키는 함수를 사용하여 모델링한다. Fig. 9(b)에 자동 모델링된 팬 형상이 나타나 있다.

보스를 자동 모델링 하기 위해서는 먼저 보스의 구성 부품을 파라메트릭 설계로 모델링하는 것이 필요하다. 즉 감속기 축의 크기 및 선택되는 볼트, 클램프의 종류에 따라 형상의 치수가 자동으로 변경될 수 있도록 변경해야 할 각 부품의 치수를 파라메트로 설정해 둔다. 그리고 Fig. 10과 같이 사용자가 설계 정보를 입력하면 그 때 파라메트로 정의되어 있는 각 부품의 치수들에 값을 할당하는 API함수를 사용하여 형상을 모델링한다.

보스 및 팬을 조립하기 위해서는 각 부품들에 mating 조건을 설정해야 한다. 이 때 클램프 부품은 팬의 수에 따라 그 개수가 결정되므로 plate 상에 배열(array)의 개수를 파라메트로 설정한 뒤 팬 개수가 입력되면 배열 생성 API함수를 사용하여 자동으로 변경될 수 있도록 한다. 또한 부품 간의 간섭 문제가 발생하지 않도록 조립 위치 및 보스 사이즈를 결정하여 보스를 설계한다. Fig. 11에 조립 모델링된 보스의 모양과 팬과 조립된 최종 형상이 나타나 있다.

Fig. 12(a)는 설계 완성된 형상에 대하여 2차원 도면을 생성할 때 부품 및 표제란 양식, 용지 사이즈 등을 선택하는 화면이고 Fig. 12(b)는 다양하게 생성된 2차원 도면이다.

Fig. 13에는 축류팬의 최대사이즈, 허브 치수 등이 나타나 있는 자동 생성된 조립도면의 모습이다.

Fig. 14(a)는 설계 완료된 축류팬 구성 부품의 데이터와 품목 코드 등을 DB에 등록하는 화면이고 Fig. 14(b)는 기존에 설계된 팬을 검색하는 화면이다. 정해진 설계 데이터와 유사한 성능을 가진 팬을 검색하여, 검색 조건을 만족하

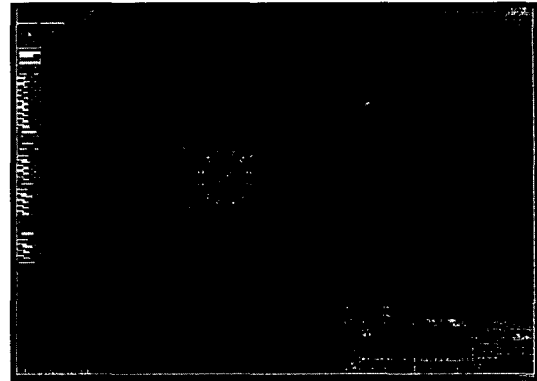
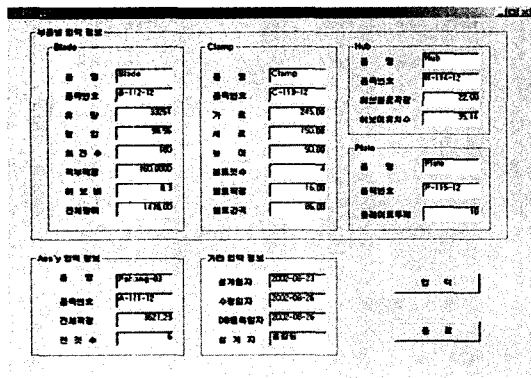


Fig. 13 2-D drafting of assembled parts

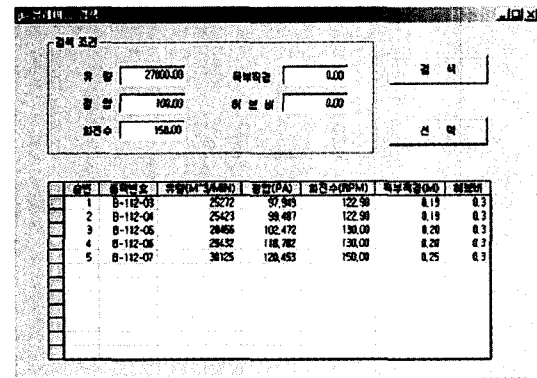
는 제품이 있을 경우 그 제품을 그대로 사용하거나 설계 데이터만을 설계에 반영할 수도 있도록 하였다.

4. 결 론

상용 솔리드 모델러가 제공하는 파라메트릭 설계 기법과 API를 이용하여 냉각탑용 축류팬 모델링 및 보스 설계 그리고 2차원 도면 생성을 자동화하는 시스템을 개발하였다. 본연구에서 개발된 시스템은 기존의 축류팬 설계 프로그램과 연동되어 사용자가 원하는 팬을 쉽게 설계하고 3-D 형상을 모델링할 수 있도록 하였다. 특히 보스 설계 시 보스 부품 간의 간섭이 발생하지 않도록 자동으로 보스 사이즈를 결정하고 인접한 팬들 간의 간섭도 제거할 수 있는 알고리



(a) registration of design data



(b) search of pre-designed fans

Fig. 14 Database interface

즘을 개발하였다. 최종 설계된 팬 및 보스 설계 데이터는 데이터베이스에 저장하여 새로운 팬 설계 시 검색할 수 있도록 하여 중복 설계를 방지하도록 하였으며 ERP 시스템과도 연동될 수 있도록 하였다.

본 시스템이 개발됨에 따라 축류팬 제작회사는 설계에서 2차원 도면 생성까지 소요되는 시간이 기존의 3일에서 1시간 이내로 이내로 단축하는 효과를 얻게 되었다. 또한 보스 부품간의 간섭 제거 알고리즘을 적용한 결과 기존의 수작업에 의한 보스 설계에 비하여 10%이상 크기가 축소되는 효과를 가져왔다. 본 연구의 결과는 열악한 환경의 F.R.P. 냉각팬 제조업에 독자 설계 기술을 바탕으로 설계 자동화 시스템을 구축하게 되었고 향후 축류팬 금형 설계 자동화, 3차원 스캐너를 사용한 축류팬 형상 검사 자동화 및 로봇을 이용한 겔코트 작업 자동화 등으로 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 2000년 경남대학교 학술논문게제 연구비 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

- (1) 강재관, 이학선, 오건제, 정종윤, "냉각탑용 축류팬 설계 및 금형 제작의 자동화", IE Interface, Vol. 13, No. 4, pp. 714~724, 2000.
- (2) 이학선, "CAD/CAM 기반의 냉각탑용 축류팬 설계 및 금형제작 시스템", 경남대학교 대학원 석사논문, 2001.
- (3) 이상혁, 강희석, 윤태석, 류승태, "CRT 부품 설계자동화 시스템 개발", 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 57~61, 2000.
- (4) 황용근외 7인, "발전기 설계자동화 시스템 개발", 한국 CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 51~55, 2000.
- (5) 유우식, 정종철, "기계부품의 파라메트릭 모델링 시스템", 산업경영시스템학회지, Vol. 25, No. 1, pp. 16~19, 2002.
- (6) 박성관, 최동규, "최적 축류팬 개발을 위한 통합공정", 한국CAD/CAM학회논문집, Vol. 3, No. 3, pp. 201~209, 1998.
- (7) 최동규, 최원석, 박성관, "팬설계 시스템에 의한 냉장고용 축류팬 개발", 한국CAD/CAM학회논문집, Vol. 2, No. 2, pp. 85~92, 1997.
- (8) 하재현, 손병진, 김춘식, 유체기계, 대학도서, 1993.
- (9) UNIGRAPHICS V16 UG online HTML Help, Unigraphics Solutions, 2000.