

## 레이저 센서를 이용한 냉각탑용 축류팬 형상 정밀도 측정 시스템

이광일\*(경남대 대학원 기계공학과), 강제관(경남대 기계공학과)

A Precision Measuring System using Laser Sensor for Axial Fans of Cooling Towers

K. I. Lee(Mech. Eng. Dept., KU), J. K. Kang(Mech. Eng. Dept., KU)

### ABSTRACT

In this paper, a precision measuring machine for large sized axial fans of cooling towers are developed. A laser sensor is used as a measuring device and aluminum profiles and stepping motors are engaged into the system as frame structure and driving devices respectively. 3-dimensional measuring data are compared to the design data to compute the distortion of the axial fans. Two distortions such as the axis of the fan and the airfoils along the axis are introduced to define the shape precision of axial fans. Genetic algorithm is used to solve the optimization problem during computing the distortion. Results of distortion are displayed 3 dimensionally in a solid-modeler as well as 2-D drawings to help users find it with ease.

**Key Words** : Cooling Tower(냉각탑), Axial Fan(축류팬), Airfoil(익형), Measurement(측정), GA(유전자알고리즘), Laser Sensor(레이저센서)

### 1. 서론

최근 추상복합 형태의 건물이 많아지고 건물 밀집화가 진행됨에 따라 냉각탑에서 발생하는 소음과 진동 등에 대한 민원이 빈번하여 냉각탑 제조업체는 더욱 고품질의 제품을 생산하도록 요구받고 있다. 냉각탑의 구성 요소 중 가장 중요한 부품은 냉각탑의 성능을 결정하는 축류팬이다. 축류팬의 소재로는 알루미늄이 사용되어 왔으나 최근 들어서는 내후성 및 강량화를 위하여 대부분 F.R.P. 를 사용하는 경우가 대부분이다.

그러나 F.R.P. 소재를 사용할 경우 소재의 특성상 제품의 경화 과정 및 경화 후 수축이나 뒤틀림 등의 변형이 일어나는 경우가 많다. 변형의 발생은 설계 시 설정된 성능을 충분히 발휘하지 못하게 할 뿐 아니라 고소음 및 진동 발생의 원인이 되기도 한다. 또한 변형된 팬을 오래 사용할 경우 팬에 피로 하중이 지속적으로 작용하여 축류팬의 심한 진동으로 이어지고 궁극적으로는 감속기 축과 같은 부가 장치와 충돌하여 파손되는 심각한 사고로 연결되기도 한다. 따라서 축류팬 제작업체에서는 가능한 한 변형이 적

게 발생하는 공법의 개발이 요구되며 이를 위해서는 축류팬의 변형을 측정하는 측정 시스템을 구축하는 것이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 냉각탑용 축류팬의 3차원 형상을 정밀 측정할 수 있는 시스템의 개발에 관하여 논의한다. 특히 본 연구에서는 직경이 1,200mm~5,000mm에 이르는 대형 축류팬을 측정할 수 있는 3차원 측정기의 개발과 측정데이터와 설계데이터를 비교하여 축류팬의 변형 정도를 정량적으로 계산하는 체계적인 방법이 제시된다.

축류팬에 관한 기존의 연구에는 냉각탑용 축류팬 설계 및 금형 제작에 관한 연구[1-2]와 가선제품에 사용되는 소형 축류팬에 관한 연구[3]가 있다. 또한 형상의 측정 및 분석에 관하여는 자유곡면의 3차원 측정데이터를 이용하여 형상을 모델링하는 역공학에 관한 연구[4-6]와 축류팬의 단면 형상인 에어포일의 측정에 관한 기존의 연구[7]들이 있다.

본 연구는 먼저 냉각탑용 축류팬 제조업체에 적용될 측정장치를 개발·제작하고 측정기로부터 취득된 측정데이터와 설계데이터를 비교·분석하여 측정 구간별 축류팬 형상의 변형 정도를 자동으로 계산하는 알고리즘의 개발한다. 그리고 계산된 결과

를 토대로 각 구간별 변형정도를 사용자가 쉽게 인식할 수 있도록 3차원 형상과 2차원 도면으로 표현한다. 이때 사용되는 팬 설계 데이터는 기존의 연구 [1,2]에서 개발된 냉각탑용 축류팬 설계 프로그램을 이용한다.(Fig.1)

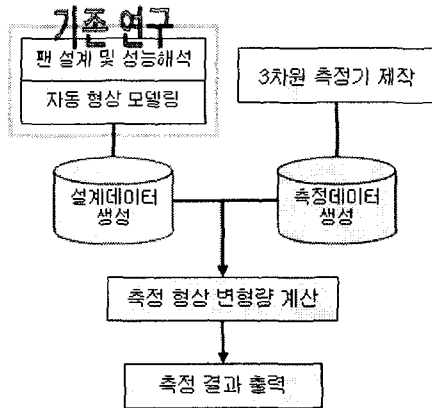


Fig. 1 Structure of systems

## 2. 축류팬 전용 3차원 측정기 개발

### 2.1 레이저 센서를 이용한 3차원 측정기 제작

1~3m에 이르는 축류팬 블레이드의 측정을 위해 알루미늄 프로파일을 이용하여 3m×1.5m×1.5 크기의 프레임용 제작하였다. 3차원 데이터 측정용 센서로는 측정 속도가 빠르고 자유곡면의 궤적을 추적해 나가기 쉽고 가격이 저렴한 비접촉식 레이저 센서를 사용하였다. 레이저 센서를 Z축의 끝단에 부착하고 X, Y, Z축은 LM가이드와 볼스크류, 스텝핑 모터를 부착하여 PC에서 자동제어가 가능하도록 하였다.

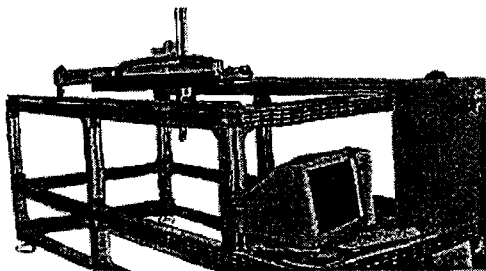


Fig. 2 3-D measuring machine for axial fan

### 2.2 측정기 제어 소프트웨어 제작

다양한 크기의 블레이드를 효율적으로 측정하기 위해 측정용 S/W를 개발하였다. 사용자가 측정범위

와 측정간격, 측정 방향, 측정속도 등을 쉽게 설정할 수 있으며 수동조작을 통하여 블레이드의 임의의 위치의 3차원 정보를 쉽고 빠르게 알아볼 수도 있도록 하였다.

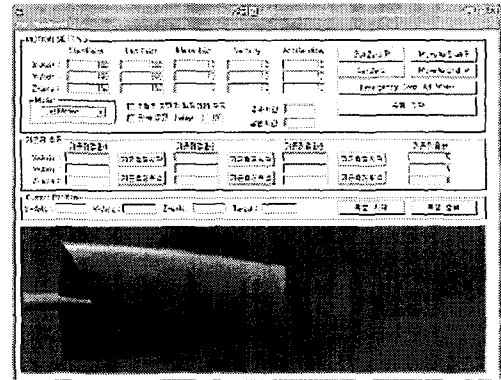


Fig. 3 Measuring S/W

## 3 설계형상과 측정형상의 비교

### 3.1 설계형상과 측정형상의 비교 방법

본 논문에서는 익형의 코드 라인의 중점을 익형의 중심축으로 정의하고(Fig. 4) 각 구간별 익형의 중심을 연결하는 선을 축류팬 블레이드의 중심축으로 정의한다(Fig. 5).

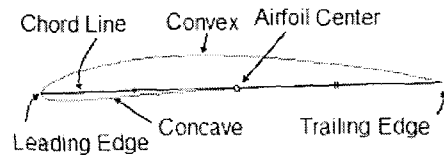


Fig. 4 NACA4409 airfoil

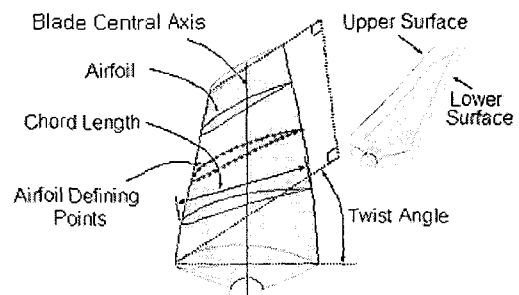


Fig. 5 Blade of axial fan

설계 블레이드 형상과 측정 블레이드 형상을 측

경 구간에 해당하는 위치에서 절단하여 단면 형상을 확인해 보면 Fig. 6과 같이 변형으로 인해 측정 형상이 -Y, Z방향으로 이동되었고 + $\theta$ 만큼 회전되어 있는 것을 알 수 있다. 측정 형상의 변형방향을 알아내기 위해 설계 Airfoil 형상을 Y, Z방향으로 이동하는 동시에 각도를 변화시키며 측정 Airfoil 형상과의 오차가 최소가 되는 자세를 찾아낸 후 이 때의 설계 Airfoil 형상의 각도와 위치를 이동 전 수치와 비교하면 그 차이가 측정형상의 변형량이 된다.

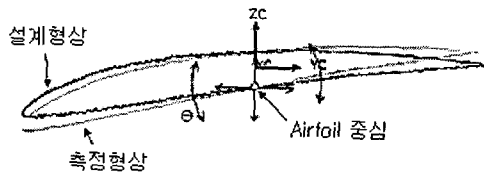


Fig. 6 Section of blades

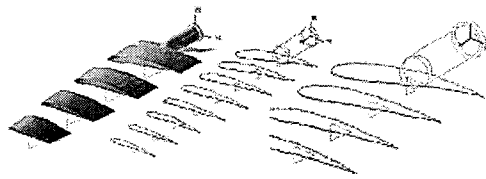


Fig. 7 Extraction of curves and points

두 Airfoil의 오차 계산을 위해 필요한 데이터를 얻기 위해 UG/OPEN API를 이용하여 설계 블레이드 형상의 3차원 형상을 생성하고 각 측정 구간에 대응하는 위치에서 생성된 3차원 형상을 절단하여 절단면의 보서리에 나타나는 Airfoil의 곡선을 정의하는 점열을 추출하였다(Fig. 7). 두 형상간의 오차 계산을 위해 추출된 설계형상 점열데이터와 측정기로부터 획득된 측정형상 점열데이터를 이용하여 각 Airfoil 곡선을 Cubic Splines으로 정의하였다.

두 Airfoil의 오차가 최소가 되는 조건을 찾기 위해 설계 Airfoil 곡선의 위치를 변화시키기에 있어서 오차 계산 시간을 단축하기 위해 Chord Line상에 놓일 한 간격으로 30개의 점을 선정하고 이점들을 지나면서 Chord Line에 수직인 직선들이 Airfoil 곡선과 만나는 60개의 점을 샘플링 하였다(Fig. 8). 선정된 60개의 점과 측정 Airfoil 곡선과의 거리의 합을 두 Airfoil 형상간의 총오차로 정의한다.

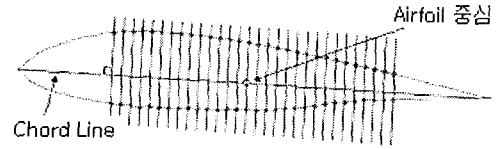


Fig. 8 Sampled points considering airfoil

하지만 총오차가 최소가 되는 조건을 찾기 위해 60개의 점이 무수히 많은 위치로 이동·회전하며 계산이 수행되어야 한다. 일반적으로 블레이드 하나의 전체적인 변형방향을 알기 위해 8개의 구간을 측정한다고 가정할 때 측정에 필요한 시간은 제외하더라도 대략 200일 가량의 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 형상 비교를 위해 필요한 계산횟수를 획기적으로 줄이기 위해 최적화 기법중의 하나인 유전자 알고리즘을 이용하였다.

### 3.2 유전자 알고리즘의 이용

유전자 알고리즘은 적자 생존법칙을 응용한 탐색 알고리즘으로써 초기에 생성된 모집단이 여러 세대를 거치면서 우수한 개체의 교배와 돌연변이 출현 등을 통해 원하는 최적해를 가지는 개체를 찾아가는 방식이다.[8-9] 본 연구에서 유전자 알고리즘의 초기 모집단을 생성함에 있어서 각 개체의 특징을 나타내는 파라미터는 설계 Airfoil 중심의 Y, Z 좌표와 회전 각도  $\theta$ 로 한다. 각 파라미터의 값이 다양한 개체들이 여러 세대를 거치 복제, 교배, 돌연변이 생성을 반복하면서 측정 Airfoil과 가장 일치하는 최적 개체를 찾아 나간다.

3개의 파라미터를 2진 문자열로 부호화하여 개체의 염색체로 표현하였다. 모집단의 크기는 300개체로 하고 교차율은 80%로 하였으며 나머지는 그대로 복제되어 다음 세대로 넘어간다. 돌연변이 발생률은 5%로 하였으며 1000세대에서 종료되도록 하였다.

측정 Airfoil 곡선과 샘플링 된 60개 점의 각 오차 계급의 총합을 계산하여 적합도를 평가한다. 교차연산자는 2점 교차를 선택하였으며 돌연변이는 염색체의 각 비트의 0과 1을 역으로 바꾸어 생성하였다.

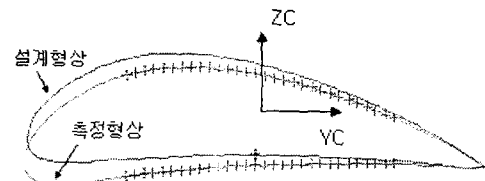


Fig. 9 Matched points with airfoil

Fig. 9는 유전자 알고리즘을 이용하여 축류팬 블레이드 끝단의 측정구간에서 측정 Airfoil의 위치를 찾아낸 결과이다. Table 1은 각 측정구간별 변형량을 나타낸다.

측정구간	Y축 방향 변형량(mm)	Z축 방향 변형량(mm)	Twist Angle 변형량(°)
#1	-0.62	-3.86	2.40
#2	-0.48	-2.45	1.29
#3	-0.26	-1.21	0.59
#4	-0.11	-0.40	0.06
#5	-0.09	-0.12	0.01
#6	0.00	0.00	0.00
#7	0.00	0.00	0.00
#8	0.00	0.00	0.00

Table 1 Result of measuring

6번째에서 8번째 측정구간은 두 형상의 총오차가 오차범위 내 존재하여 측정형상에 변형이 없는 것으로 결과가 나왔다.

#### 4. 측정 형상 출력

##### 4.1 3차원 형상으로 표현

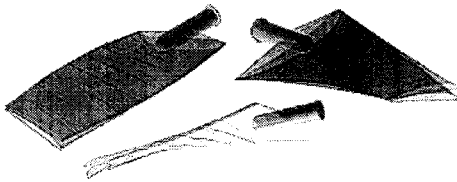


Fig. 10 Fan modeling using API

상용 3-D 모델러인 Unigraphics에서 제공하는 API(이하 UG/OPEN API) 기능을 이용하여 각 측정구간별로 계산된 변형량을 토대로 3차원 View상에 설계형상과 측정형상을 동시에 표현하였다. 측정형상의 변형정도를 한 눈에 파악할 수 있었다.

##### 4.2 2차원 도면으로 출력

UG/OPEN API를 이용하여 사용자가 원하는 포맷에 맞추어 각 측정구간별 단면 형상을 2차원 도면에 자동으로 표현하였다.

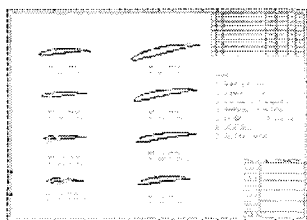


Fig. 11 2-D drafting using API

#### 5. 결론

본 연구에서는 직경 5,000mm에 이르는 대형 냉각탑용 축류팬의 3차원 형상 정밀도를 측정하기 위한 3차원 정밀 측정 시스템을 개발하였다. 측정 장치로는 비 접촉 레이저 센서를 사용하였고 구조물은 강량의 알루미늄 프레임용, 구동 장치는 스텝핑 모터를 사용하여 저렴한 가격으로 측정기를 구성할 수 있도록 하였다.

팬 형상의 3차원 측정데이터는 설계데이터와 비교하여 형상의 변형 정도를 계량적으로 계산하도록 하였다. 비교는 팬의 중심축을 따라 일정 구간 별로 설계 Airfoil 곡선에 대하여 측정 Airfoil 곡선의 비틀림 정도와 팬 중심축의 뒤틀림 정도로 하였다. 뒤틀림의 양을 찾아내기 위해 요구되는 방대한 계산 시간의 단축을 위하여 최적화 방법 중의 하나인 유전자 알고리즘을 이용하였다. 산출된 각 측정구간별 변형량을 가지적으로 나타내기 위하여 3차원 형상과 2차원 도면으로 출력하였다.

#### 참고문헌

- 강재관, 이학선, 오건재, 정중윤, "냉각탑용 축류팬 설계 및 금형 제작의 자동화, IE Interface, Vol. 13, No. 4, pp.714~724, 2000.
- 이학선, "CAD/CAM 기반의 냉각탑용 축류팬 설계 및 금형제작 시스템, 경남대학교 대학원 석사논문, 2001.
- 박성관, 최동규, "최적 축류팬 개발을 위한 통합공정, 한국 CAD/CAM학회 논문집, Vol. 3, No. 3, pp.201~209, 1998.
- 허성민, 최재원, 이석희, "자유곡면 생성을 통한 역공학 적용에 관한 연구, 한국정밀공학회지 Vol. 18, No. 10, 2001.
- 조제형, 조병우, "역공학을 위한 자유곡면 형상의 NURBS Approximation", 한국 정밀공학회지, Vol. 19, No. 8, 2002.
- 황중대, 정중윤, 정윤교, "기능성곡면의 역공학 적용에 관한 연구, 한국공작기계학회 2002춘계학술대회 논문집 pp.319~324.
- 강진우, 변재현, "3차원 측정기를 이용한 Airfoil Edge 형상의 Fitting 방법에 관한 연구, IE Interface, Vol. 13, No. 4, pp.703~708, 2000.
- 이원창, 주지환, 성환경, "클러스터링 컴퓨터 시스템을 이용한 명령화 유전자 알고리즘의 효율성 증대에 대한 연구, 한국정밀공학회지, Vol. 20, No. 4, 2003.
- 김승우, 임두완, 안경관, 양순용, 이병봉, 유전자 알고리즘을 이용한 2차원 릴리드 맵의 최적설계, 한국정밀공학회 2002년도 춘계학술대회논문집, pp.501~506.