

터빈 블레이드의 형상 측정

*강재관¹, 강병수², 이흥주³, 염경섭⁴

¹⁻³경남대학교 대학원 기계공학과, ⁴경남대학교 기계자동화공학부

Profile Error Measurement of Turbine Blade

*J. G. Kang¹, B. S. Kang², H. G. Lee³, K. S. Yeom⁴

¹⁻³ Dept. of Mech. Eng. Kyungnam Univ.,

⁴ Div. of Mech. Engineering and Automation, Kyungnam Univ.

Key words : 3-D Scanner(3차원 스캐너), CMM(3차원 측정기), Turbine Blade(터빈 블레이드), Reverse Engineering(역공학), Profile Error(형상 오차)

1. 서 론

터빈발전기의 핵심 부품인 블레이드는 2천도 이상의 고온고압에서 연소된 공기를 회전력으로 바꾸는 역할을 하는 부품으로 고온고속 회전에 견딜 수 있도록 설계되어 있다. 터빈블레이드 제조공정에서 가공오차가 발생하거나 변형이 생길 경우 블레이드 사이에 밸런스가 깨지면서 소음, 진동이 발생하고 성능저하는 물론 블레이드가 다른 장치와 충돌하여 파손되는 사고로 연결되기도 한다. 따라서 블레이드 형상을 가공 공정의 중간 또는 조립 전 단계에서 형상 정밀도를 측정하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 터빈 블레이드의 형상 측정을 위해서 접촉식 3차원 형상스캐너를 이용하여 터빈 블레이드를 측정하는 방법과 측정 데이터를 해석하여 형상 정밀도를 추출하는 방법을 제시한다.

2. 블레이드 에어포일의 형상과 규격

2.1 에어포일 형상과 규격

블레이드의 품질검사에서는 블레이드의 효율과 양력 발생에 직접적으로 관련이 있는 압력면과 흡입면의 윤곽도 오차와 곡률 변화가 가장 심한 리딩에지와 트레일링 에지의 형상오차에 대해 검사를 하는 것이 일반적이다.⁽¹⁾ 이외에도 현장에서는 각 제조공정 과정에서의 공정중 검사(in-process inspection)을 위하여 Fig. 1에서 보는 바와 같은 주요 치수(A, B, C, D, H)에 대한 검사를 병행한다. 이는 각 공정에서 블레이드의 정확한 형상측정을 하는 것이 쉽지 않기 때문에 중간공정에서 간단하게 가공 정밀도를 확인하기 위한 치수로 이용된다.

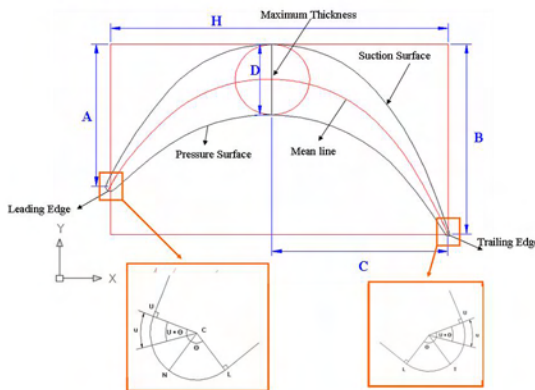


Fig. 1 Principle parameters of a turbine blade

2.2 접촉식 3차원 형상 스캐너

본 연구에서 사용한 접촉식 3차원 형상스캐너는 Renishaw사의 Cyclone이다. 측정 영역은 600mm x 500mm x 400mm로 본 연구의 대상인 800mm 사이즈의 터빈 블레이드의 직접 측정은 불가능하다. 따라서

본 연구에서는 1m 이상의 대형 터빈 블레이드 형상도 측정 가능한 장치를 개발하여 부착하였다. 부가장치는 측정기의 테이블과 동일한 높이를 갖는 정반으로 구성된 보조 테이블을 제작하고 인덱싱 장치인 연동척(scroll chuck)과 X축 방향으로 이송이 가능한 LM가이드로 구성되어 있다.

3. 설계형상과 측정형상의 비교

3.1 터빈블레이드 형상 측정

장착된 터빈 블레이드의 상면을 먼저 측정하고 인덱싱 장치를 이용하여 180도 회전시킨 후 하면을 측정한다. 이를 위하여 본 연구에서는 상·하면 측정 데이터의 정합을 위하여 Fig.2와 같은 측정에 앞서 3개의 작은 구(sphere)를 블레이드의 모서리 부위에 부착 하였다. 상·하면에서 스캔된 반구의 중심을 서로 일치시키면 상·하면이 정합된 형상을 얻을 수 있다. 상·하면 측정 데이터의 정합에는 스캔데이터 처리상용 S/W인 Rapidform의 데이터기반정합(Datum Based Register) 기능을 사용하였다.

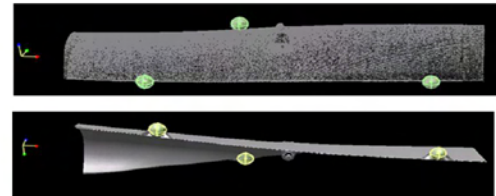


Fig.2 Registration of upper and lower scanning data

3.2 측정 형상으로부터 단면별 에어포일 추출

측정 블레이드 형상으로부터 구간별 에어포일을 추출하기 위하여 블레이드의 모멘텀의 기준점인 스테킹 포인트를 중심으로 설계 도면에 나타나 있는 구간별로 평면을 생성하고 이평면을 이용하여 블레이드 형상을 절단하였다. Fig. 3에 곡면의 절단 과정과 추출된 에어포일의 형상 곡선이 나타나 있다.

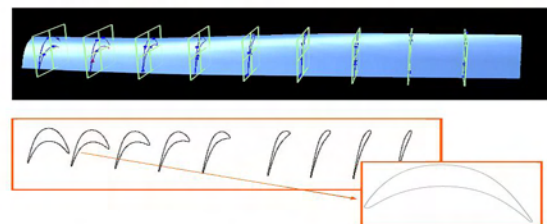


Fig. 3 Airfoil curve of each section of a blade

3.3 설계 에어포일과 측정 에어포일의 정렬

본 연구에서는 두 에어포일간의 오차를 최소화하는 방법으로서 오인배치법을 이용하였다.^(2,3) 오인배치법을 이용하여 설계 에어포

일 곡선과 측정 에어포일 곡선 간의 오차가 최소가 되는 위치를 탐색하는 절차는 설계 에어포일 중심점에 Fig. 4와 같은 정사각형 실험영역(δ)을 설정하고 실험점 ②, ③, ④, ⑤를 중심점으로 하여 두 에어포일간의 편차를 계산한다. 이 때 두 에어포일간의 편차는 에어포일을 구성하는 스플라인 곡선을 일정한 개수로 분할한 후 분할 점들 사이의 거리 값의 합으로 정의하였다. 만약 편차가 중앙점에서 최소가 될 때는 작업영역을 반으로 줄이면서 탐색을 수행하다 정사각형의 크기가 측정기 오차보다 작아질 때 탐색을 중지한다. Fig. 5는 정렬전과 후의 설계 데이터와 측정데이터의 모습이 나타나 있다.

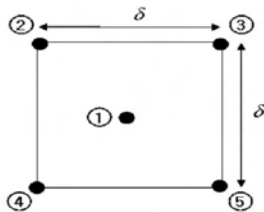


Fig. 4 Test points in 2^2 factorial design

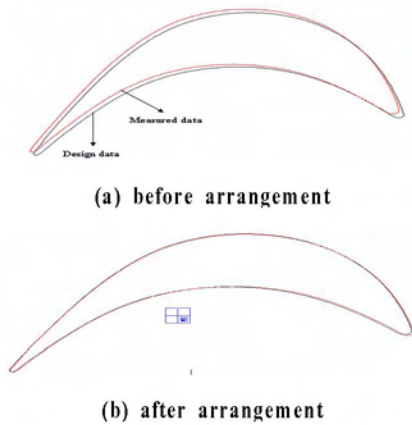


Fig. 5 Arrangement of two airfoils

3.4 리딩 에지와 트레일링 에지의 형상 오차

Fig. 6에 임의의 에어포일에 대하여 Fig. 1에서 정의된 리딩 및 트레일링 에지의 반경(L_R, T_R) 및 에어포일을 구성하는 파라미터(A,B,C,D,H)를 측정데이터로 계산한 모습이 나타나 있다.

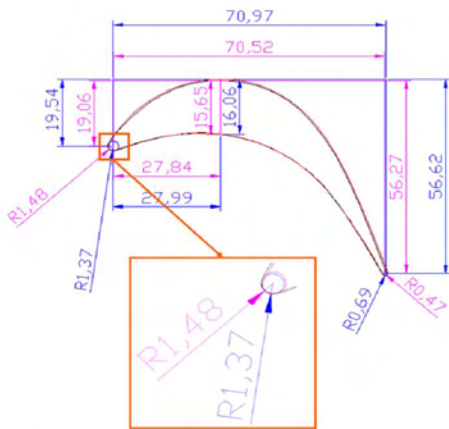


Fig. 6 Circle fitting of the leading edge

3.5 측정 결과

앞 절에서 제시한 방법에 의하여 블레이드의 측정구간별 특징형상의 치수를 계산한 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Parameter values estimated by measured data

Design Data							
	A	B	C	D	H	L_R	T_R
W1	41.21	50.28	44.11	19.39	88.87	1.04	0.46
U	30.53	53.15	35.94	17.78	80.19	1.49	0.47
S	19.06	56.27	27.84	15.65	70.52	1.48	0.47
P	10.57	60.75	18.48	13.29	60.08	1.56	0.47
M	5.25	65.44	9.19	10.62	49.63	1.99	0.46
G1	71.24	-	34.19	-	-	1.91	0.45
C	73.37	-	25.42	-	-	1.78	0.43

Measured Data							
	A	B	C	D	H	L_R	T_R
W1	40.65	49.67	43.8	19.31	88.93	1.01	0.51
U	30.98	53.4	35.94	18.11	80.51	1.34	0.60
S	19.54	56.62	27.99	16.06	70.97	1.37	0.69
P	10.75	60.97	18.75	13.23	60.61	1.42	0.53
M	4.99	65.39	9.59	10	50.01	2.03	0.55
G1	71.38	-	34.96	-	-	2.22	0.51
C	73.97	-	26.17	-	-	1.78	0.61

4. 결론

본 연구에서는 접촉식 3차원 스캐너를 이용하여 직경 800mm에 이르는 대형 터빈 블레이드의 3차원 형상 정밀도를 측정하는 방법을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 접촉식 3차원 형상스캐너는 3차원 측정기(CMM)과 달리 프로브가 측정 대상물의 접촉하여 일정속도로 이송하면서 3차원 형상의 위치데이터를 연속으로 획득함으로써 더욱 정밀한 터빈 블레이드의 측정이 가능하였으며 비접촉 측정기로는 측정이 용이하지 않은 날카로운 블레이드 에지 부위의 측정도 비교적 잘 이루어졌다.
- (2) 각 단면에서의 형상오차를 정밀하게 계산하기 위하여 측정데이터의 단면 에어포일과 설계 에어포일을 정렬하는 단계를 추가하였으며 요인배치법을 사용하여 두 단면 정보간의 최적 정렬을 수행하였다.
- (3) 터빈 블레이드의 형상오차를 쉽게 알아보기 위하여 최적 정렬을 수행한 후에 블레이드의 주요 설계 파라미터 및 리딩에지와 트레일링 에지의 반경을 계산하였으며 각 측정구간별 단면 형상을 2차원 도면으로 출력하였다.

참 고 문 헌

- (1) H. J. Park, W. J. Ahn, and W. D. Kim, 1996, "Development of Precision Inspection Technique for Aircraft Parts Having Very Thin Feature Based on CAD/CAI Integration", *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 20, No. 6, pp. 1743-1752
- (2) J. N. Kang and J. H. Byun, 2000, "A Study on Fittig the Edge Profile of Airfoil with Coordinate Measuring Machines", *IE interfaces*, Vol. 13, No. 4, pp. 703-708
- (3) S. H. Joung and J. H. Byun, 2002, "An Experimental Study on Selecting the Diameter of Probe Stylus of a Coordinate Measuring Machine in Measuring the Edge Profile of High Pressure Compressor", *IE interfaces*, Vol. 15, No. 4, pp. 432-438
- (4) N. F. Hubele, D. C. Montgomery and W. H. Chih, 1991, "An Application of Statistical Process Control in Jet-Turbine Engine Component Manufacturing", *Quality Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 197-210
- (5) M. M. Dowling, P. M., Griffin, K. L. Tsui, and C. Zhou, 1997, "Statistical Issues in Geometric Feature Inspection Using Coordinate Measuring 374Machines", *Technometrics*, Vol. 39, No. 1, pp. 3-24