

## 평판의 후연의 형상에 따른 후류 특성

장 춘만\* · Ahmad Imteyaz\*\* · 김 광용\*\*\*

### Characteristics of Wake Flow in a Flat Plate Blade Having TS and TP Cutting

Choon-Man Jang\*, Imteyaz Ahmad\*\*, Kwang-Yong Kim\*\*\*

*Key Word : Flat-Plate Blade(평판의), Navier-Stokes Analysis(나비아스톡스 해석), Karmann Vortex(카르만 와류), Flow Separation(유동박리), Pressure Coefficient(압력계수), Lift Coefficient(양력계수)*

#### ABSTRACT

The influence of wake flow on a flat-plate blade having different shapes near the trailing edge has been investigated in this paper. Two different shapes near the trailing edge namely the pressure surface cutting (TP) and the suction surface cutting (TS) have been used. The calculation has been performed for two different angles of attack ( $\alpha = 10$  and 15 degree) in both the cases. RANS equations have been solved using SST-model as a turbulence closure.  $C_p$  and  $CL$  values obtained for TS are higher compared to those obtained for TP. Also, the vorticity distribution obtained in case of TS is stronger as compared to that obtained in the case of TP. The Karmann Vortex is observed in both the cases but it is more clear in TS case. It is found that in the case of TS, flow separation does not occur upto the trailing edge on both the suction and the pressure sides of the blade while in the case of TP, the flow separates on the pressure surface near the trailing edge of the flat-plate blade.

#### 1. 서 론

일반적으로 측류환의 유동소음 중에 있어서, 날개후류의 와류생성으로 인하여 발생하는 난류소음은 날개후연(trailing edge)의 형상에 따라 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다.<sup>(1~3)</sup>

Fukano<sup>(1)</sup> 등은 두 종류의 다른 후연형상을 갖는 회전 평판의(flat-plate blade) 후류의 속도섭동치값을

회전열선 센서를 이용하여 실시간으로 측정하고, 주파수 특성을 분석하였다. 그 결과, 후연형상에 따라 상대적으로 큰 후류의 속도섭동치 영역에서 피크값을 갖는 주파수가 존재한다는 것을 밝혔다. 즉, 날개 후류에서는 광대역 난류소음 뿐만 아니라 이산 주파수(discrete frequency)도 존재하며, 이는 카르만와류(Karmann vortex)에 의해 발생한다고 하였다.

본 연구에서는 Fukano 등<sup>(1)</sup>이 연구대상으로 한 평판의의 후연 형상이 후류에 미치는 영향 및 유동특성을 고찰하기 위하여, 두 종류의 고정 평판의 후연 형상을 대상으로 받음각에 따른 내부흐름 특성을 삼차원 유동해석방법을 이용하여 고찰하였다.

\* 인하대학교 기계공학부

E-mail : jangcm@munhak.inha.ac.kr

\*\* 인하대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 인하대학교 기계공학부

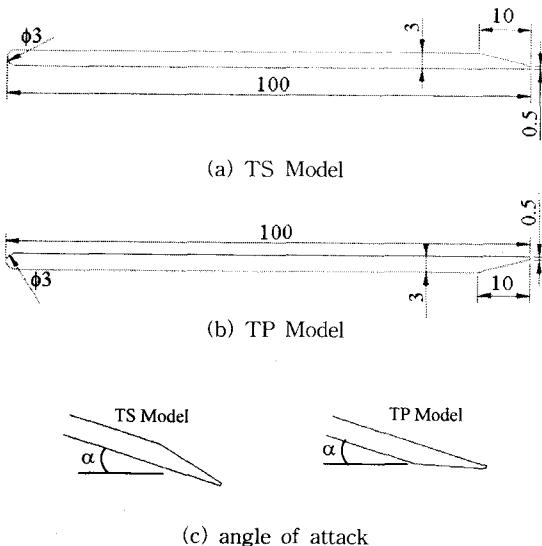


Fig. 1 Flat-plate blade

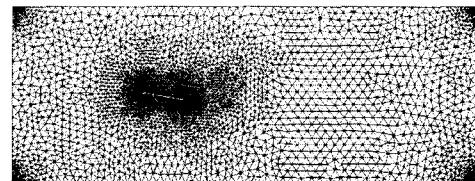
## 2. 평판익의 제원

본 연구에서 사용한 두 종류의 평판익 제원은 Fig. 1에 나타내었다. 평판익의 전연부는 반경이 1.5mm이며, 후연의 절단방법에 따라 TP 및 TS의 두 종류로 분류하였다. 즉, TS 모델은 받음각(angle of attack)이 Fig. 1(c)와 같이 주어졌을 때 날개의 부암면에 상당하는 상면의 후연을 절단한 모델이고, TP 모델은 날개의 압력면에 상당하는 하면의 후연을 절단한 모델을 각각 의미한다. 평판익의 전체길이는 100mm로 Fukano 등<sup>(1)</sup>이 연구한 모델과 동일하며, 3mm 두께를 갖는 평판익을 사용하였다.

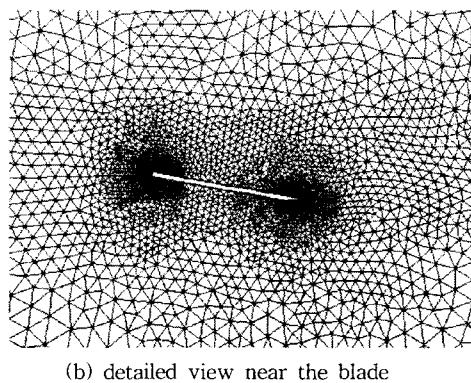
평판익의 받음각은 10도 및 15도인 두 경우에 대하여 각각 해석하였다.

## 3. 유동해석

본 연구에서는 삼차원 열 및 유동해석을 위하여 상용 소프트웨어인 CFX-5.7<sup>(4)</sup>을 사용하였다. 연속방정식, 운동량 방정식 등의 지배방정식은 유한체적법으로 이산화되며, 대류형과 확산형의 이산화방법으로는 각각 수정된 상류차분도식과 중심차분법이 사용되었다. 기본적인 격자구조는 사면체를 이용한 비정렬격자로 구성하였으며, 속도구배가 큰 벽 근처의 정확한 해석을 위해 벽면에서는 10개의 프리즘을 이용한 육면체 격자



(a) total grid system



(b) detailed view near the blade

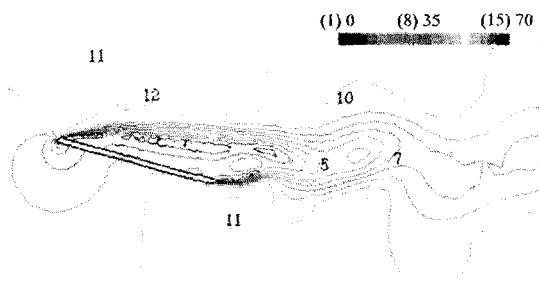
Fig. 2 Computational grid

를 이용하였다.

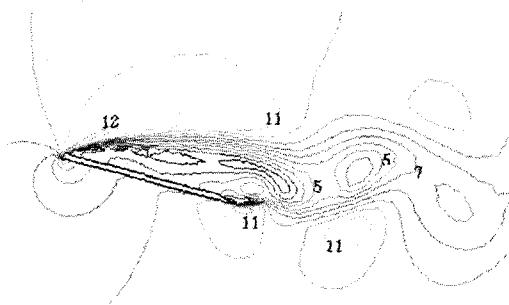
레이놀즈 응력항의 계산을 위하여 SST (Shear Stress Transportation) 모델<sup>(5)</sup>을 사용하였다. SST 모델은  $k-\omega$  모델과  $k-\epsilon$  모델의 장점을 결합한 모델로, 벽 근처에서는  $k-\omega$  모델이 사용되며, 나머지 영역에서는  $k-\epsilon$  모델이 사용된다. SST 모델은 역압력구배로 인한 유동박리의 예측에 상당히 효과적인 것으로 보고되었는데, 이를 통해 난류 열전달 성능의 예측에 필수적인 벽 근처 난류유동해석의 정확성을 높일 수 있다.

본 연구에서 사용한 격자 시스템을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 두께방향으로는 3개의 격자를 분포시켰으며, 격자계에 사용한 전체 노드수는 40, 925이다. 가로방향 계산격자 영역은 평판익 전연에서 상류측으로는 평판익 코드길이의 3배를, 평판익 후연에서부터 하류측으로는 평판익 코드길이의 7배로 각각 정하였다. 또, 높이방향으로는 평판익 코드길이의 4배를 계산영역으로 설정하였다.

입구부 속도는 45m/s의 균일유동 속도분포를, 평판익의 익면 상에서는 점착조건(no slip condition)을, 상하판면에서는 slip condition을 각각 경계조건으로 하



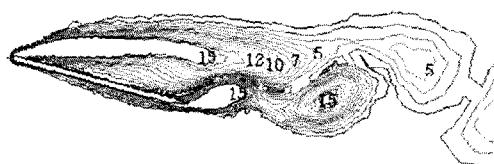
(a) TP Model



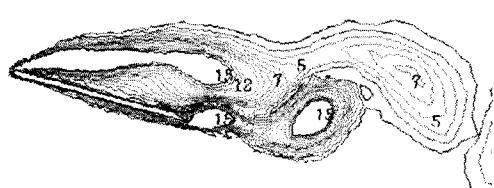
(b) TS Model

Fig. 3 Velocity contours (angle of attack=15 degree)

(1) 0 (8) 1500 (15) 3000



(a) TP Model



(b) TS Model

Fig. 4 Vorticity contours (angle of attack=15 degree)

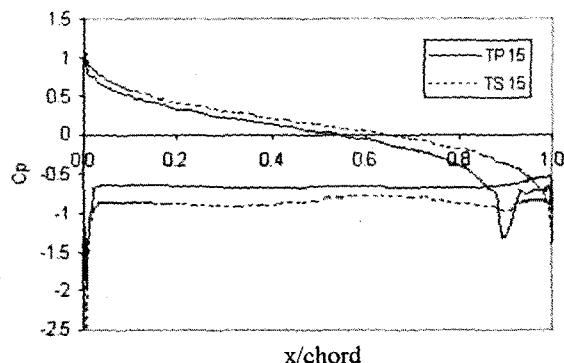


Fig. 5 Pressure coefficient (angle of attack=15 degree)

였다. 측면은 주기조건을, 출구면은 Neumann 조건을 출구경계 조건으로 적용하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 3은 평판익의 받음각이 15도인 경우의 TP 및 TS 모델의 등속도선을 나타낸 것이다. 두 경우 부암면 영역에서의 역류영역(저속도 영역)의 크기나 위치는 유사하나, TP 모델의 경우 날개 후연 압력면의 절단으로 후연의 압력면에서 TS모델에 비하여 상대적으로 큰 속도를 갖음을 알 수 있다.

Fig. 4는 Fig. 3과 같은 방법으로 나타낸 것으로, TP 및 TS 모델의 등와도선을 나타낸 것이다. 와도의 세기는 전반적으로 TS 모델이 TP 모델보다 날개의 후류측에서 크게 나타남을 알 수 있다. 또, 두 모델에서 카르만 와류(Karman vortex)에 의한 와류의 분포를 확인 할 수 있다. Fukano<sup>(1)</sup> 등이 열선센서를 이용한 실험적 연구에 의하면, TP 모델에서는 하류측의 난류강도가 큰 영역에서 Karman vortex에 의한 피크 주파수(peak frequency) 가 관찰되었다. 반대로 TS 모델에서는 날개의 후류영역에서 이러한 피크 주파수가 관찰 되지 않았다고 보고 하고 있는데, 본 연구에서는 이점을 확인하여 날개 후류에서의 비정상 특성을 계속하여 연구하고 있는 중이다.

Fig. 5은 평판익의 받음각이 15도인 경우에 날개면 상의 압력값 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, TS 모델이 TP 모델에 비하여 거의 모든 코드 영역에서 상하면 압력차가 큰 값을 갖음을 알 수 있다. 또, TP 모델의 경우에는 압력면상에서 후연근방의 날

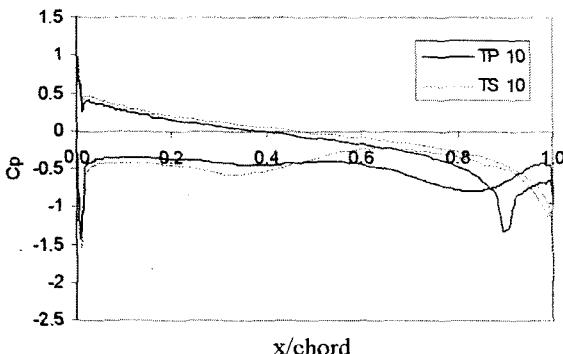


Fig. 6 Pressure coefficient (angle of attack=10 degree)

개 절단 단면의 시작점 위치(평판의 전연에서부터 90 퍼센트 코드 위치)에서 압력이 급격히 떨어짐을 알 수 있는데, 이것은 이 지점에서 유동박리가 일어나서 나타난 현상이다.

Fig. 6은 Fig. 5와 같은 방법으로 나타냈으며, 평판의 반음각이 10도인 경우이다. 전체적인 압력분포의 특성은 반음각이 15도인 경우와 유사하나, 평판의 상 하면에서의 압력차는 반음각의 영향으로 상대적으로 작음을 알 수 있다. 또, TP 모델의 경우에는 Fig. 5에서와 같이 날개 전연에서부터 90 퍼센트 코드영역에서 유동박리에 의한 저압영역이 나타남을 알 수 있다.

Fig. 7은 평판의 반음각이 10도 및 15도인 경우에 두 모델에 대한 양력계수의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 TS모델이 TP모델보다 두 반음각 모두에서 큰 양력값을 갖음을 알 수 있으며, 그 크기의 차는 반음각이 큰쪽이 크게 나타남을 알 수 있다.

이상에서 살펴보았듯이, 평판의 후연의 형상에 따라 평판의 후류의 유동특성이 크게 달라짐을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 고정 평판의 후연 형상이 후류에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 두 종류의 후연형상에 대하여 반음각에 따른 유동특성 및 압력계수 그리고 양력계수를 각각 분석하였다. 그 결과, 평판의 부압면 후연 끝단을 절단한 형상이 전반적으로 익면상에서 유동박리가 적으며, 양력계수도 큰 값을 가짐을 알 수 있었다.

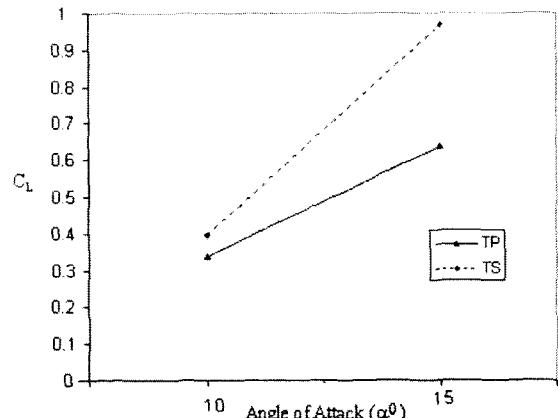


Fig. 7 Lift coefficient

## 참고문헌

- (1) Fukano, T., Saruwatari, H., Hayashi, H. Isobe, H., and Furukawa, M., 1995, "Periodic Velocity Fluctuations in the Near Wake of a Rotating Flat-Plate Blade and Their Role in the Generation of Broadband Noise," J. Sound and Vibration, Vol. 181, No. 1, pp. 53~70.
- (2) Fukano, T., Hamakawa, H., and Saruwatari, H., 1995, "Prediction of Sound Pressure Level of Broadband Noise due to Periodic Velocity Fluctuations in the Near Wake of a Rotating Flat-Plate Blade," Transactions of JSME, Vol. 61, No. 581, pp. 173~180.
- (3) Turkyilmazoglu, M., 2003, "Instability of the Flow in the Vicinity of Trailing Edge of a Class of Thin Aerofoils," Computer and Fluids, Vol. 321, pp. 353~371.
- (4) CFX-5.7 Solver Theory, Ansys Inc., 2004.
- (5) Menter, F., and Esch, T., 2001, "Elements of Industrial Heat Transfer Predictions," 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering (CPBEM), Uberlandia, Brazil.