

# 농약 살포용 송풍팬의 유동해석을 통한 형상 최적화

곽남수, 심재록, 김태규  
 (주)한아 기업부설연구소  
 e-mail: kns8679@gmail.com

## Optimization of Shape using CFD analysis method of blowing fan for pesticide spraying

Nam-Su Kwak, Jae-Rok Sim, Tae-Kyu Kim  
 Dept. of research institute, Hana co.,Ltd.

### 요약

본 논문에서는 입목형 과수 등에 농약을 살포하는 스피드 스프레이(SS기)차량에 장착되는 농약 살포용 송풍팬의 형상 최적화를 위해 CFD 해석을 수행하여 운전속도, 결합각도, 개수, 폭, 소재 조건에 따라 유동 거동 특성을 분석하였다. 수치해석을 통해 송풍 블레이드의 형상 및 소재 변경이 송풍 성능효율에 변화 주는 변수를 도출하기 위해 블레이드의 결합각도, 개수 및 폭 길이 현상 변경을 통해 분사 영역에서의 약액 도달거리, 유동 균일도, 유속 분포도에 대해 분석하였으며 소재 변경에 따른 경량화 특성 및 구조적 특성을 수치해석을 통해 확인하였다.

## 1. 서론

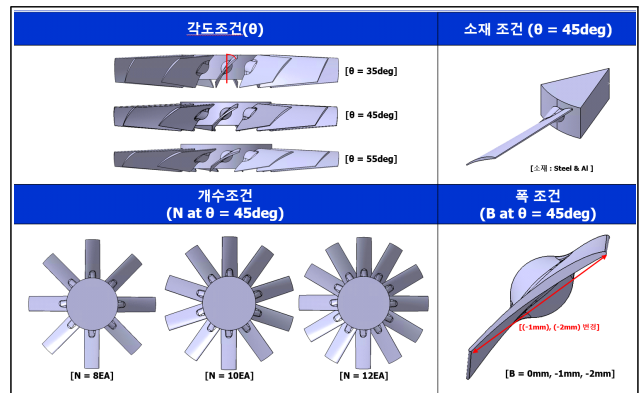
현재 국내외의 급격한 전기차 보급과 차량용 구동 모터 기술에 발달함에 따라 농업기계 및 차량 분야에서도 기존 엔진 방식의 파워트레인 방식에서 진동모터가 탑재된 진동화 타입의 농업기계 및 차량의 개발이 증가하고 있다. 따라서 본 논문에서 입목형 과수원에서 사용하는 SS기에 장착되는 송풍팬의 최적 설계를 위해 유동 해석을 수행하여 송풍팬의 약액 도달거리, 유동 균일도, 유속 분포도를 분석하고 소재 변경에 따른 경량화 특성과 구조적 안전성을 분석하였다.

## 2. 유동해석 조건

### 2.1 송풍팬 및 블레이드 형상

실제 SS기에 사용되는 송풍팬 및 블레이드 형상을 기준으로 직경 690 mm, 결합각도 45°, 블레이드 개수 12개 조건으로 해석용 모델을 그림 1과 같이 설계하였다.

송풍팬의 운전속도는 제조사에 제시하는 상용속도를 기준으로 2,800 rpm, 3,300 rpm, 3,800 rpm 조건으로 운전속도 변경에 대한 유속 분포 및 유입 질량에 대한 유동해석을 수행하였다.



[그림 1] SS기용 송풍팬의 유동해석 모델

### 2.2 유동해석 경계조건

송풍팬의 유동해석을 진행하기 위해 Blade, 고정익, Guide vane 영역을 Fluid 영역에서 제거한 뒤 해석을 진행하였다.

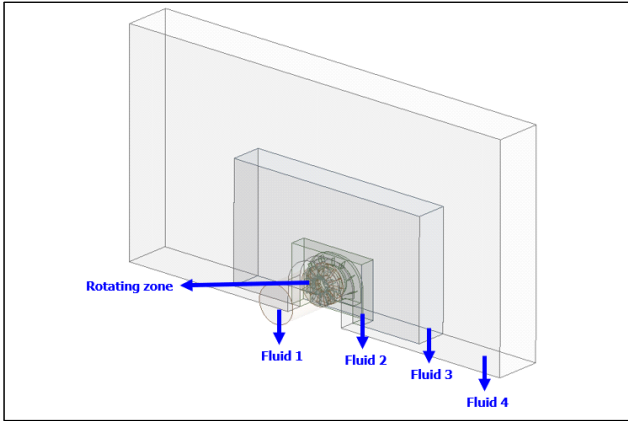
또한 Mesh 생성 및 해석 시간 단축을 위해 Solid 영역을 빈 공간으로 설정하고 5개 영역을 Outlet으로 설정하여 Guide vane을 통과한 유체의 유동 흐름 관측 및 분석을 유동해석을 통해 수행하였다.

그림 2는 유동 해석에 사용된 지배방정식이다. k- $\omega$  SST 난류 방정식 모델을 사용하였으며 질량 보존방정식, 운동량 보존 방정식이 지배방정식으로 사용하였다.

그림 3은 유동 해석의 경계조건을 나타내고 있다.

K- $\omega$ SST 난류 방정식	$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega$
질량보존방정식	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m$
운동량 보존 방정식	$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F}$

[그림 2] 지배방정식

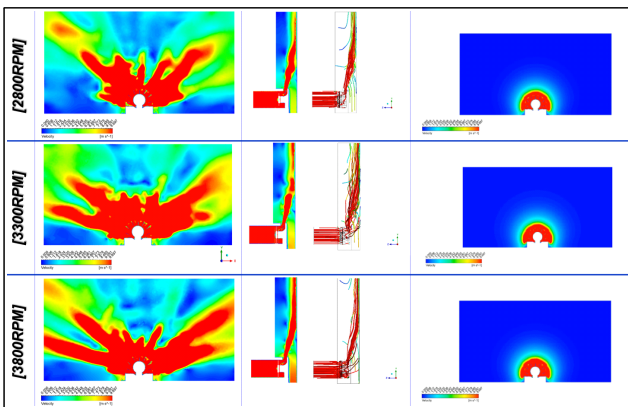


[그림 3] 유동 해석의 경계조건

Guide vane 영역에서 조밀한 Mesh를 생성하여 element는 22,549,920, Node는 4,064,385이며, Mesh element 수를 약 1/4 감소시킨 뒤 해석 진행 결과, 조밀한 Mesh인 경우와 경향성이 일치하여 해석 시간 관계상 Mesh element 수를 감소시킨 뒤 해석을 진행하였다.

### 3. 유동 해석 조건

#### 3.1 운전속도(rpm) 조건 해석 결과



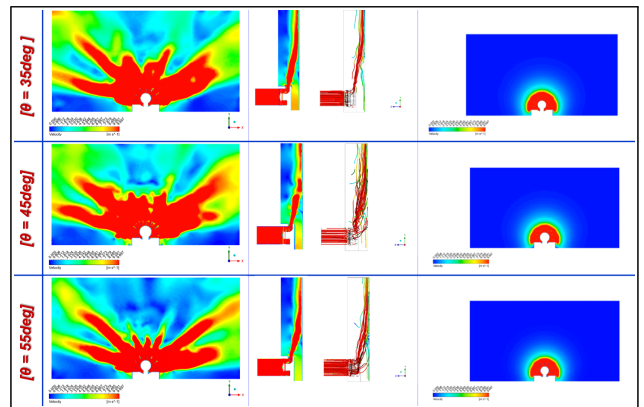
[그림 4] 운전속도(rpm) 조건 해석 결과

그림 4와 같이 운전속도에 따라 유동 해석을 수행한 결과, velocity range를 Max. 10m/s로 조정하여 관찰하였으며 Contour 상의 R은 4m의 반원 및 YZ plane Velocity contour로 Streamline을 통해 4m 이상 거리까지 송풍 도달거리를 확인하였다.

XY Plane 상 상단 영역으로의 유동이 흐르지 않는 contour로 확인되나, YZ Plane contour를 통해 상단으로 유동이 일어나는 결과를 확인할 수 있었다.

#### 3.2 블레이드 결합 각도별 유동 해석 결과

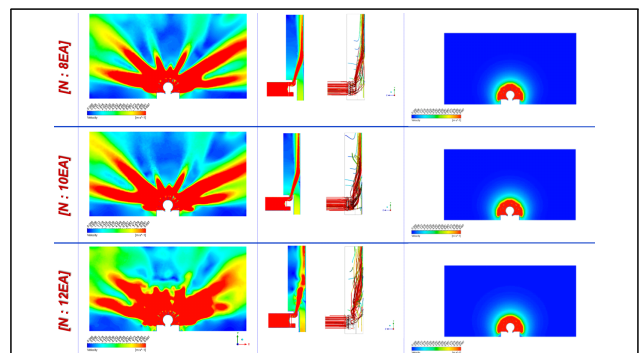
그림 5와 같이 35deg 결과에 비해 상단으로의 유동 흐름이 약한 Contour 경향이 확인되나, YZ plane Velocity, streamline contour 결과를 통해 상단으로의 유동 흐름이 일어나는 것을 확인하였다. 또한 55deg 경우 35deg, 45deg 결과에 비해 유동이 균일하지 않으며 상단 영역으로의 유동 흐름이 일어나나 전체적인 유동이 균일하지 않은 것으로 확인되었다.



[그림 5] 블레이드 결합 각도별 해석 결과

#### 3.3 블레이드 개수 조건에 따른 해석 결과

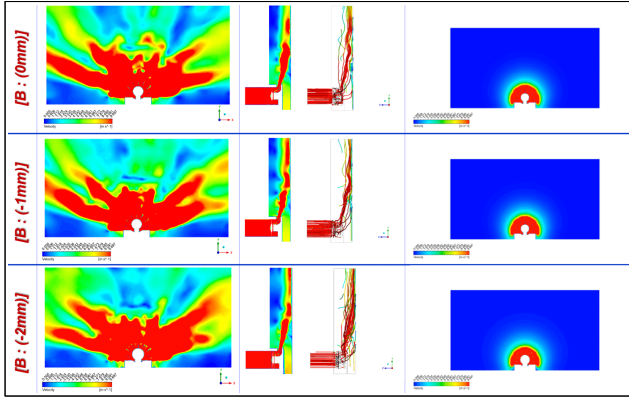
그림 6과 같이 블레이드 개수가 8개일 때 45deg 결과에 비해 특정 영역으로 유동 편향이 일어나는 결과가 확인되었으며 Streamline contour 상 유동이 일직선으로 뻗어 가는 경향을 확인하였다. 10개의 경우 8개의 조건 해석과 비슷한 경향을 보이나 우측 영역으로의 유동 편향이 있으며 상단 영역으로의 유동 흐름을 확인할 수 있으나, X축으로의 유동 편향으로 인해 대부분의 유동이 좌측, 우측 영역으로 유동이 분포되고 있음을 알 수 있었다. 12개의 경우 8개 및 10개의 해석 결과에 비해 유동이 균일하게 분포되고 있는 것을 확인하였다.



[그림 6] 블레이드 개수별 해석 결과

### 3.4 블레이드 폭 길이에 따른 해석 결과

그림 7과 같이 폭 길이가 줄어드는 해석 결과와 경향이 비슷한 Contour 확인이 가능하나, Mass flow rate 확인시 폭 길이가 줄어들지 않은 Base 형상일 때 성능이 가장 좋은 것으로 판단된다. 또한 폭 길이 감소 조건에 있어 유동 특성에 대한 영향이 크지 않은 것으로 확인되었다.

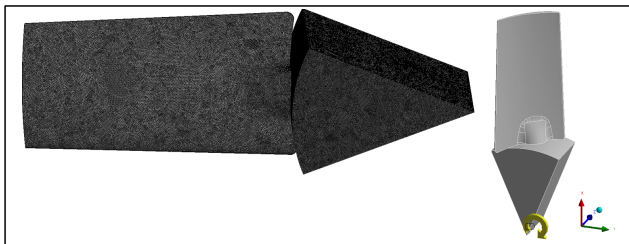


[그림 7] 블레이드 폭 길이별 해석 결과

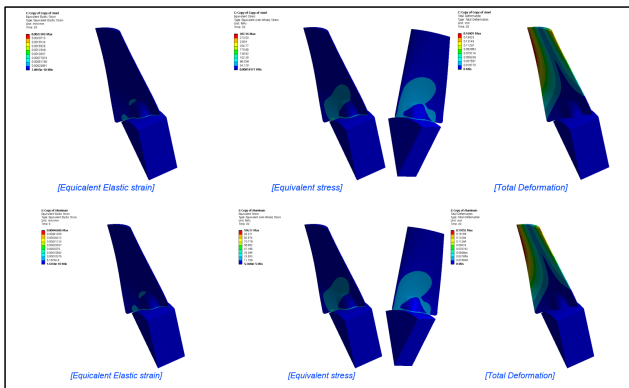
### 3.5 블레이드 소재 조건 변화에 따른 해석 결과

블레이드 소재는 일반 SM45C, AL60 계열 소재를 적용하였다. 해석 시간 단축을 위해 1개의 블레이드에 대한 해석을 진행하였으며 2개 소재의 경우, 운영 조건에 따른 블레이드 변형이 미미한 것으로 확인되었다.

그림 8은 블레이드 해석 모델을 나타내고 있으며 그림 9는 소재별 응력분포, 변형량을 해석한 결과를 나타내고 있다.



[그림 7] 블레이드 해석 모델



[그림 7] 블레이드 소재별 구조해석 결과

## 4. 결론

결합각도 변경 조건 해석 결과, Mass flow rate 결과값 비교를 통해 45deg 결합 각도 조건일 때 Mass flow rate 결과가 가장 큰 경향을 보이며, 이는 Inlet, Outlet 간 차압이 크게 발생 다른 조건들에 비해 많은 양의 Mass flow rate이 Inlet으로 유입되는 영향으로 판단된다.

Blade 개수가 적어짐에 따라 Inlet으로 유입되는 Mass flow rate 양 감소 경향 및 유동 편향이 생성되는 결과 확인하였다.

폭 길이 조건 변경에 따라 유동 편향 및 유동 특성 결과가 변하는 결과를 예상하였으나, 45deg Velocity contour 결과와 비슷한 경향이 도출 및 폭 길이가 줄어들때 따라 Mass flow rate 양이 감소하는 결과 확인하였으며 이는 동일 RPM 조건에서 유체를 밀어내는 Blade는 표면적이 감소하여 Inlet, Outlet 간 차압이 감소한 영향으로 보인다.

Blade 형상 조건 변경에 따른 해석 Mass flow rate 비교 결과, 결합각도 45deg, Blade 개수 12 EA, 폭 길이 변경이 없는 조건일 때 성능이 가장 우수한 것으로 판단된다.

Material 변경 해석 결과 Steel, Aluminum Total Deformation 결과값 차이가 미미하여 Material 변경에 따라 Deformation 변화에 끼치는 영향이 무의미한 것으로 판단되고 Equivalent stress 해석 결과 Steel, Aluminum 조건일 때 항복 강도보다 낮은 Stress가 작용하는 것으로 확인되었으며, Aluminum 조건일 때 Steel 조건에 비해 낮은 Equivalent stress가 작용하는 결과 확인되었다. Blade 조건 변경에 따른 해석 결과, 결합각도 45deg 기준 Aluminum Material일 때 성능이 가장 우수한 것으로 확인하였다.

### 후기

본 연구는 2023년 농림식품기술기획평가원 친환경 동력원 적용 농기계 기술개발 사업(과제번호: 322043-3)의 지원을 받아 수행되었음

### 참고문헌

- [1] C. G. Kim and J. B. Lim, "GHG emissions reduction and absorption increase in agriculture and rural areas", GS & J, No. 293, pp. 1-19, 2021.
- [2] K. H. Lee, "Rotor dynamic analysis of brush seal according to various design parameters using 3D CFD", Gachon University, 2019.
- [3] H. Wen, L. Zhou and H. Zhang, "Mode interpretation of blade number effects on wake dynamics of smallscale horizontal axis wind turbine", Energy, Vol. 263, No. A, 2022.