

실내 상하부 온도편차 최소화를 위한 공기순환장치의 출구 형상 최적화에 관한 연구

박진영*, 김영춘**, 김옥환***, 유영준****, 최경진*****

*공주대학교 기계공학과

**공주대학교 미래자동차공학

***공주대학교 기계공학전공

****공주대학교 기전공학과

***** (주)디엘

e-mail:yckim59@kongju.ac.kr

A Study on the Optimization of the Outlet Shape of the Air Circulation System to Minimize the Temperature Difference in the Upper and Lower Indoors

Jin-Young Park*, Young-Choon Kim**, Ok-Hwan Kim***, Yeong-Jun Yu****,
Kyung-Jin Choi*****

*Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University

**Dept. of Future Automotive Engineering, Kongju National University

***Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

****Dept. of Mechanical&Electrical Engineering, Kongju National University

***** D.L corp.

요 약

최근 대규모 농사를 사는 사람은 줄고 소규모 농사를 하는 사람들이 증가하고 있는 추세이다. 이는 수도권으로 인구가 집중되면서 농업기술에도 변화가 진행되고 농업 자동화인 스마트 팜의 기술발전이 큰 역할을 하고 있다고 평가된다. 스마트 팜은 실내에서 식물의 성장에 영향을 미치는 온도, 습도, 광량 등을 자동으로 제어하여 사람이 별도로 신경을 쓰지 않아도 식물의 성장할 수 있도록 해주는 장치이다. 하지만 스마트 팜에서 온도를 조절한다고 하여도 상부와 하부의 온도편차가 발생하는 것까지 제어를 할 수는 없는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 상부와 하부의 온도편차를 줄이고 전체 공간에 공기가 고르게 순환시켜주기 위한 공기순환장치의 출구 형상에 대해 유한요소해석과 다구찌 기법을 활용하여 최적화 하고자 한다.

1. 서론

도시화가 진행으로 인해 젊은 세대들이 수도권으로 집중되며, 농촌 지역에는 젊은 세대의 유입이 줄어들어 지속적으로 인구가 감소하고 있다. 또한 기후 변화로 인해 농작물의 생산량 감소 및 인건비 증가로 인해 농가에 위협을 주고 있다. 이와 같이 지방 농가의 수는 점차적으로 줄어들고 있는 실정이다.

농림축산식품부에서 발표한 자료에 따르면 2018년에 2017년 대비 0.5ha 미만의 규모는 약 5% 증가한 반면 0.5ha 이상 규모는 약 1.1% 감소한 것을 알 수 있다. 대규모 농업은 줄어들고 소규모 농업이 증가하는 것은 실내 스마트 팜의 규모가 증가한다는 것으로 알 수 있다. 이와 같은 결과는 보다 효율적으로 농작물을 재배할 수 있는 스마트 팜에 대한 관심이 증가하고

있다.[1-3]

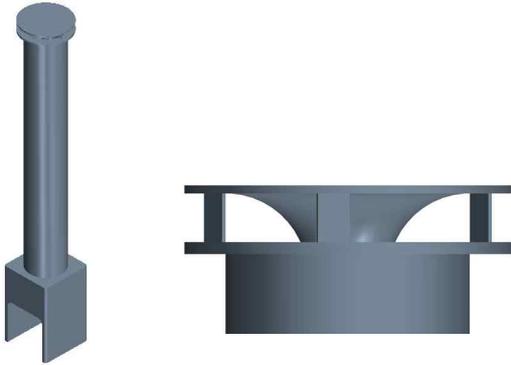
스마트 팜은 다양한 센서를 통한 제어계측 및 정보통신기술(Information and Communications Technologies, ICT) 기술을 적용하여 농작물의 수확량에 대한 편차가 줄일 수 있는 방법이기때문에 스마트 팜에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다.[4-7]

식물은 온도와 습도에 대하여 영향을 많이 받기 때문에 스마트 팜 내부의 온도 및 습도는 제어하고 있다. 하지만 스마트 팜 내부에서도 상부와 하부의 온도편차로 인해 작물의 성장속도가 다르게 나타나는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 식물의 성장속도에 영향을 주는 온도 분포를 균일하게 해주기 위한 공기 순환장치의 출구 부 형상에 대한 최적화를 진행 하고자 한다.

2. 해석 모델링 및 다구찌 기법 활용

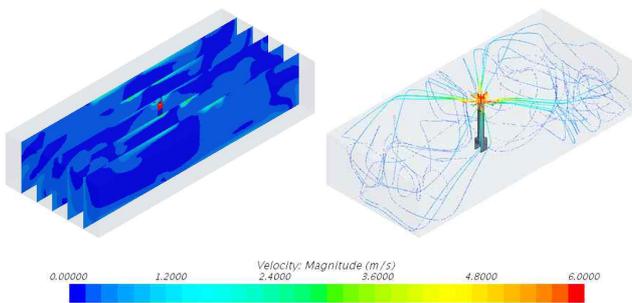
2.1 유동해석 모델링

공기순환장치의 유동해석을 수행하기 위해 먼저 최하부에서 최상부로 공기를 순환시켜주기 위한 형태로 하부에 흡입구 2개와 상부에 배출구 1개로 하였으며, 해석의 단순화를 위해 Fan의 형상은 제외하였다. 공기순환장치의 해석 모델은 3D 설계프로그램인 Catia를 이용하여 그림 1과 같이 모델링 하였다.



[그림 1] 공기순환장치 모델

공기순환장치의 출구 형상에 따른 공기 유속 및 흐름을 확인하기 위해 유동해석을 수행 하였다. 유동해석은 실측 크기로 수행되었으며, 방의 부피는 약 m^3 로 설정하였고 유동해석에 사용된 요소는 polyhedron으로 하였으며, 계산격자수는 약 400만개로 설정하였다. 또한 Fan의 유속은 6m/s로 설정하고 유체 모델은 $k-\epsilon$ 모델을 적용하여 해석을 수행한 결과는 그림2에 나타내었다.



[그림 2] 유동해석 결과

2.2 다구찌 직교배열법 적용

다구찌기법은 실험계획법에서 활용되는 방법 중 하나이며, 기존의 실험계획법에 비하여 제어가 불가능한 조건들이 실험결과에 미치는 영향의 크기를 평가특성치화 하여 산포에 유의하게 영향을 미치는 조건의 조합을 찾아내는 강건 설계 방안이다.

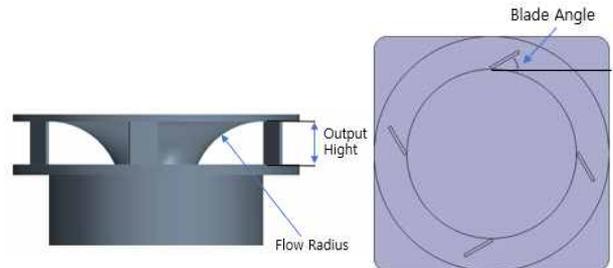
다구찌 기법은 직교배열법을 이용하며, 여기서 직교는 어떤 요인이 무슨 수준에 대해서나 다른 요인 수준이 같은 횡수로 나타나는 상태를 말한다. 이와 같은 직교배열법은 최적조건 결정 및 안정성에 대한 평가가 가능하고 설계변수 사이에 발생하는 교호작용을 기속적인 의미가 없는 2인자 및 고차의 교호작용을 주효과와 교락시켜 실험 횟수를 감소시킬 수 있기 때문에 가장 큰 장점이라고 할 수 있다. 따라서 인자가 많을 때 반 요인배치로 할 경우 너무 많은 실험을 수행해야하기에 직교배열법을 이용하여 적은 횟수의 실험으로 큰 효과를 얻기 위해 많이 사용되고 있다.[8]

본 연구에서 사용된 인자를 조합하여 실험을 하게 되면 3^4 개로 81회의 유동해석을 수행하고 결과를 분석해야하지만 다구찌 직교배열법의 $L_9(3^4)$ 직교배열표를 사용하게되면 9번의 유동해석 및 결과분석을 수행하게 되어 최적화를 위한 시간 및 비용을 줄일 수 있다.

2.3 다구찌 실험계획법 해석

최적화를 위해 공기 순환장치의 설계변수는 그림3과 표1에 나타내었으며, 표 2는 실험계획법을 적용한 직교배열표이다. 상부, 중부, 하부의 공기의 유속을 특성치로 지정하고 특성치에 대한 최적의 설계 인자의 구하기 위해 계량특성치 중 망대특성을 이용하고자 한다.

다구찌기법에서는 S/N비, 평균분석을 통해 특성치 값에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 여기서 S/N비는 2차식으로 주어지는 품질손실함수로 구해진 값으로 평균과 산포를 동시에 고려하는 척도가 된다. 따라서 본 연구에서는 실내 전체적으로 공기순환이 원활해져야하기에 유속이 클수록 좋은 망대특성을 사용하였다.



[그림 3] 공기순환장치 출구 설계변수

[표 1] 수준 및 설계변수

Factor Level	Blade Angle [°]	Blade Number [ea]	Output Hight [mm]	Flow Radius [mm]
1	30	4	60	200
2	60	8	70	240
3	90	12	80	280

[표 2] FEM 해석 결과와 직교배열을 이용한 분석 표 L9

Exp.	Blade Angle [°]	Blade Number [ea]	Output Hight [mm]	Flow Radius [mm]	Top. mean [m/s]	Middle. mean [m/s]	Bottom. mean [m/s]
1	30	4	60	200	0.2605	0.2938	0.2561
2	30	8	70	240	0.2326	0.2170	0.1986
3	30	12	80	280	0.1840	0.1855	0.1491
4	60	4	70	280	0.2293	0.1982	0.1879
5	60	8	80	200	0.2145	0.1831	0.1687
6	60	12	60	240	0.2133	0.2060	0.1731
7	90	4	80	240	0.2194	0.2224	0.1682
8	90	8	60	280	0.2143	0.2006	0.1646
9	90	12	70	200	0.2231	0.2257	0.1730

3. 결과 및 고찰

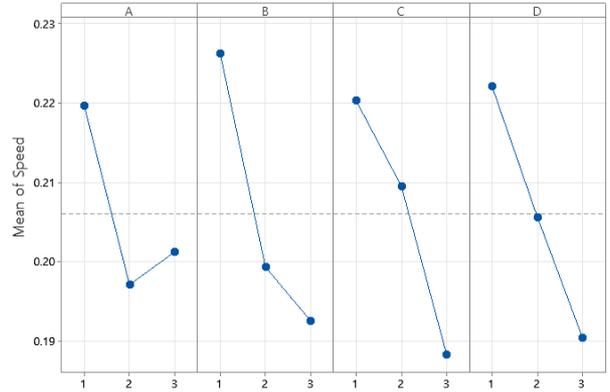
특성치가 설계변수의 수준에 대한 영향을 확인하기 위해 실험계획법을 이용하여 평균분석을 실시하였다. 특성치에 대한 최적수준은 수준별 평균값과 각 설계변수의 조합으로 추정하였다. 상부, 중부, 하부의 특성치에 대한 평균분석 결과는 표3에 나타내었다. 또한 실험결과로부터 설계인자들의 평균 분석 및 신호대 잡음에 대한 주효과를 구하였다.

다구찌 직교배열법을 통해 얻은 결과에서 공기의 풍속에 가장 큰 영향을 주는 설계인자는 Blade Number, Output Hight, Flow Radius, Blade Angle순으로 나타나는 것으로 확인된다.

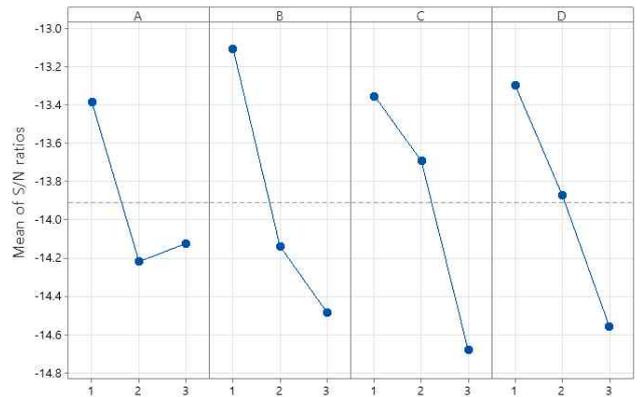
[표 3] 상, 중, 하부의 유속에 대한 평균 분석

Level	Blade Angle [°]	Blade Number [ea]	Output Hight [mm]	Flow Radius [mm]
1	0.2197	0.2262	0.2203	0.2221
2	0.1972	0.1994	0.2095	0.2057
3	0.2013	0.1926	0.1884	0.1904
Delta	0.0226	0.0336	0.0319	0.0317
Rank	4	1	2	3

그림 4와 그림 5는 풍속에 대한 설계 인자들의 평균에 대한 주효과도와 신호대 잡음비 (S/N 비)이며, 주효과도에서 Blade Angle의 1수준, Blade 개수의 1수준, 출구부 높이의 1수준, Flow Radius의 1수준이 최대 유속 특성치를 나타냈으며, S/N비 또한 주효과도와 동일한 결과가 도출되었다.



[그림 4] 평균에 대한 주효과도



[그림 5] 신호대 잡음 비에 대한 주효과도

4. 결론

본 연구에서는 실내 공기를 강제대류 시켜 방 전체에 공기순환이 원활하게 되도록 하기위해 다구찌 직교배열법과 전산유체해석을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 모든 경우의 수에 대해서 확인하려면 84회의 전산 유체해석을 수행해야 하지만 다구찌 실험계획법인 직교배열법을 적용하여 9회의 해석만으로 최적화된 설계변수 값을 도출할 수 있어 개발에 소요되는 비용 및 시간을 감소할 수 있었다.

- 출구 부 형상이 없이 설계한 모델의 해석 결과 대비 최적화된 모델의 해석 결과는 무게는 증가하지만 공기의 상, 중, 하부의 평균 유속은 각각 약 0.256m/s, 0.294m/s, 0.261m/s로 기존 출구 부 형상이 없는 모델에 비하여 약 17배 좋은 효과를 얻을 수 있었다.

- 향후 다구찌 직교배열법을 통해 최적화된 출구 부 형상으로 시제품을 제작하고 실내공간에 설치하여 실험을 진행하여 온도 분포를 분석할 예정이다.

후기

이 논문은 2020 년 중소벤처기업부의 생활혁신형 기술개발사업(G21S303594301)의 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

- [1] 강정균, 이종원, 김동익, “수직형 공기순환팬을 이용한 온실 내부 온도변화 분석”, 한국농업기계학회 추계학술대회, pp. 190, 2020.
- [2] 유인호, 조명환, 이시영, 전희. 이인복, “순환팬이 온풍난방 온실의 기상분포 균일화에 미치는 영향”, 생물환경조절학회지, 14(2), pp. 291-296, 2007.
- [3] 이규남, 정근주, “공기순환장치를 이용한 실내 환기성능 및 온열환경 개선에 대한 실험적 연구“, 한국친환경설비학회 논문집, 12(3), 212-222, 2018.
- [4] 이지용, “아두이노를 이용한 저가형 스마트팜 제어시스템 구현“, 전남대학교 산업대학원 전자컴퓨터공학과, 석사학위논문, 2019.
- [5] 이태석, 강금춘, 장재경, 백이, 임류갑, “동절기 대향류형 환기장치의 온실 내 습도 조절 효과 분석“, 한국생물환경조절학회, 19(3), 259-564, 2020.
- [6] 임류갑, 강태경, 장재경, 이태석, 박민정, “공기순환팬 및 포그시스템 운용에 따른 온실 내 온습도 분석“, 한국농업기계학회 추계공동학술대회, pp. 178, 2020.
- [7] 심현섭, 정운성, “남녀 대학생의 겨울철 실내 쾌적온도 및 적정온도“, 한국지역사회생활과학회지, 22(3), pp. 485-491, 2011.
- [8] 장운근, “다구찌 직교배열법을 이용한 포물러 레이스카 전륜 업라이트의 최적설계“, 한국생산제조학회지, 22(1), 112-118, 2013.