

CFD 시뮬레이션을 이용한 송풍식 입제살포기의 붐관 내부 공기유동 분석

Air Flow Characteristics in Boom Pipe of Pneumatic Granule Applicator Using CFD Simulation

*김인주¹, #김영주¹, 강봉용¹

*I. J. Kim¹, #Y. J. Kim(ojoo@kitech.re.kr)¹, B. Y. kang¹

¹ 한국생산기술연구원 친환경부품소재센터

Key words : CFD, Applicator, Air Flow Characteristic, Granule Applicator, Pneumatic

1. 서론

송풍식 입제살포기에서 붐관에 설치된 분두의 형태에 따라 내부 공기의 흐름이 난류의 형태를 나타내기 때문에 붐관 내부의 공기 흐름을 이론적으로 분석하기에는 많은 어려움이 있다. 김 등(2006)은 균질형 비료이송의 기준으로 부양속도와 약동속도를 선정하고 공시비료의 경우 각각 14.3 m/s, 6.8 m/s로 계산하여 사용하였으며 붐관 내부의 공기유동을 실측하였고, 개발된 붐형 살포기에서 고속카메라를 이용해 비료의 이송형태를 확인한 결과 균질형이었다고 보고하였다.

붐관 설계에서 관의 직경이나 분두의 크기와 위치, 구조 등을 변경하면 공기유동도 달라지는데 이런 실험은 시작기가 필요하고 실험을 하더라도 붐관 내부 유동의 세부적인 특성은 파악하기 어렵다. CFD(Computational Fluid Dynamics)는 복잡한 조건에서 유체흐름을 분석하는데 유용한 수단으로 알려져 있다.

본 연구는 CFD 모델링과 모델 검증, 시뮬레이션을 통하여 붐관 내부의 공기 흐름을 분석하고 분두의 형상(수집판의 각도), 붐관의 직경 등이 공기 흐름에 미치는 영향을 분석하여 붐관 설계시 참고자료로 삼고자 수행되었다.

2. 붐관 및 분두의 형상

본 연구는 CFD 모델링과 모델 검증, 시뮬레이션을 통하여 붐관 내부의 공기 흐름을 분석하고 분두의 형상(수집판의 각도), 붐관의 직경 등이 공기 흐름에 미치는 영향을 분석하여 붐관 설계시 참고자료로 삼고자 수행되었다. 그림 1과 같이 송풍식 입제살포기에 설치된 붐관은 길이 2 m, 직경 54 mm인 아크릴관으로 총 4개의 분두가 설치되어 있다. 4개의 분두는 공기가 불어 들어오는 입구 쪽에서 순서대로 1번 분두, 2번 분두, 3번 분두, 4번 분두라 한다. 수집판은 1번 분두, 2번 분두, 3번 분두에 설치되었고 4번 분두에는 없다. 본 연구에서는 수집판의 삽입길이가 분두 순서별로 35-25-25 mm인 조건을 기준을 사용하였다.

붐관은 직경 38 mm, 길이 1.8 m의 주름관을 통해 송풍기로부터 공기가 이송된다. 실험에서 측정된 붐관의 공기 유량은 2.75 m³/min였고 이 값을 기준으로 주름관 입구의 풍속을 계산한 결과 40 m/s였다. 붐관과 주름관은 직경 44 mm, 길이 250 mm인 아크릴관으로 연결되어 있다.

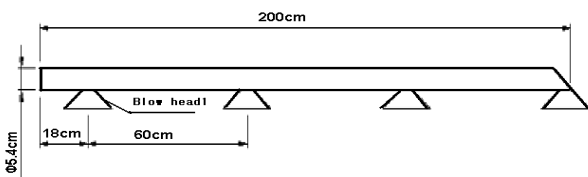


Fig. 1 Placement of blow heads in a boom section.

3. CFD 모델링 및 시뮬레이션

본 연구에서 사용된 CFD 프로그램으로는 붐관의 기하학적 형상 및 격자 형성을 위하여 GAMBIT(version 2.2.30)을 사용하였고 공기 흐름을 해석하기 위하여 Fluent(version 5.2.16)를

사용하였다. 난류모델은 난류의 흐름을 분석하는데 가장 널리 사용되는 표준 k-ε 난류 모델(Lauder and Spalding, 1974)을 사용하였다.

붐관의 mesh를 형성할 때 각 분두 부분의 형상이 복잡하고 또한 분두 부분의 공기의 흐름을 정확하게 파악하는 것이 중요하기 때문에 그림 2에서처럼 분두 부분의 mesh를 좀 더 세밀하게 형성하였다. mesh의 경우 육면체의 형태로 형성하는 것이 mesh의 균일성을 높여 정확한 시뮬레이션이 가능하게 하고 시뮬레이션의 처리 속도를 신속하게 하기 때문에 가능한 많은 부분을 육면체 형태로 만들고자 하였다. ①, ②번 부분의 경우 모두 육면체 형태로 mesh를 형성하였고 ③번 부분의 경우 육면체로 mesh를 형성하는 것이 불가능하여 사면체의 형태로 mesh를 형성하였다. ④번 부분은 먼저 형성된 부분을 참조하여 사면체 및 피라미드 형태가 조합된 mesh를 형성하였다.

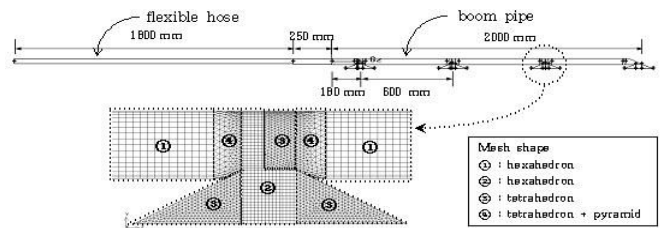


Fig. 2 Geometry and mesh generation

4. 모델 검증 및 시뮬레이션 실험

김 등(2006)은 풍속측정치를 이용하여 각 분두에서 입구 쪽으로 10 cm 떨어진 위치에서 풍속과 풍량을 측정하였다. 관의 입구를 기준점으로 하였을 경우 1번 분두에서 4번 분두 순으로 각각 8 cm, 68 cm, 128 cm, 188 cm 위치에 해당된다. CFD 시뮬레이션에서도 동일한 위치에서의 풍속을 측정하여 실측값과 비교하여 시뮬레이션의 정확도를 판단하였다.

송풍식 입제살포기의 붐관의 직경은 54 mm이고 붐관에 설치된 분두의 수집판의 각도는 120° 이다. 본 연구에서는 표 1에서처럼 붐관의 직경을 10 mm 간격으로 44 mm, 64 mm, 74 mm로, 수집판의 각도는 15°의 간격으로 90°, 105°, 120°, 135°로 변경해가며 시뮬레이션을 실행하였다.

Table 1 Simulation conditions

Treatment	Levels	Fixed conditions
Boom pipe diameter	44, 54, 64, 74 mm	air flow rate, flexible hose size, blow head number and location were fixed
Angle of collecting plate*	90, 105, 120, 135°	

* Note : Inserting length of collecting plates were adjusted to have the same height from the inner wall of the boom pipe with the standard condition

5. 실험 결과와 시뮬레이션의 비교

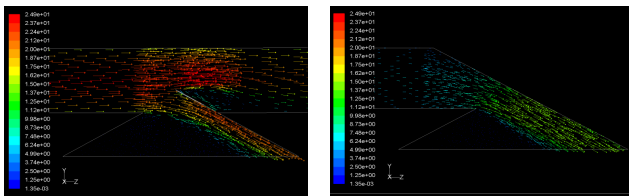
김 등(2006)이 송풍식 입제살포기의 실측한 풍속과 CFD 시뮬레이션의 풍속은 표 2와 같다. 실측한 풍속과 시뮬레이션의 풍속의 차이를 보면 1번 분두에서 0.3 m/s(1.5%), 2번 분두에서 0.8 m/s(7.2%), 3번 분두에서 0.6 m/s(6.8%), 4번 분두에서

0.4 m/s(6.8%)의 차이를 나타내고 있다. 4개의 분두 중 2번 분두에서 가장 큰 오차를 나타내는데 그 값이 0.8 m/s(7.2%)로 비교적 정확하게 시뮬레이션 되었다고 볼 수 있다. 이 결과를 바탕으로 붐관의 직경 및 수집판의 각도를 변경해가면 추가 시뮬레이션을 실행하였다.

Table 2 Results of the measured and simulated values

velocity (m/s)	Blow head 1 (8 cm)			Blow head 2 (68 cm)			Blow head 3 (128 cm)			Blow head 4 (168 cm)		
	meas.	simul.	er(%)	meas.	simul.	er(%)	meas.	simul.	er(%)	meas.	simul.	er(%)
	19.9	19.6	1.5	11.1	11.9	7.2	8.7	9.3	6.8	5.9	5.5	6.8

그림 3은 각 분두의 붐관 단면에 대한 공기 이송의 속도벡터의 모습이다. CFD 시뮬레이션을 수행한 결과, 분두 1에서 풍속은 23.7 m/s였고, 분두 4에서는 6.3 m/s로 Digital Micromanometer 측정기로 측정된 분두 1에서 24.6 m/s와 분두 4에서 6.1 m/s의 값과 비슷한 경향으로 보였다. 그리고 수집판 뒤에는 와류가 발생하였고, 관내에서 밖으로 나가는 공기는 분두의 오른쪽으로 치우쳐서 이송되며 왼쪽에는 공기의 이송되지 않음을 볼 수 있었다. 이와 같은 현상으로 인해 분두에 반사판을 설치하여 왼쪽으로 입체가 살포되게 설계함으로 인해 균등한 살포되게 한 것은 적절한 결과로 판단된다.



(a). First blow head (b). Last blow head

Fig. 3 View of air velocity vectors by velocity magnitude(unit: m/s)

6. 붐관의 직경과 수집판 각도에 따른 속도 비교 분석

송풍식 입체살포장치의 붐관의 직경을 44, 54, 64, 74 mm로 변경해가며 시뮬레이션을 한 결과 풍속의 변화는 그림 4와 같다. 붐관의 직경이 54 mm 인 경우 1번 분두에서는 19.6 m/s, 4번 분두에서는 5.5 m/s 의 속도를 나타내었다. 붐관의 직경이 44 mm인 경우 1번 분두에서는 27.4 m/s, 4번 분두에서는 8.3 m/s 로 풍속이 증가하였고 직경이 74 mm인 경우 1번 분두에서는 15.2 m/s, 4번 분두에서는 3.2 m/s로 감소하였다. 붐관의 직경이 작아짐에 따라 풍속은 당연히 증가하지만 분두를 통과할 때마다 붐관내 평균 풍속의 감소량은 직경이 커질수록 작아지는 경향을 보였다.

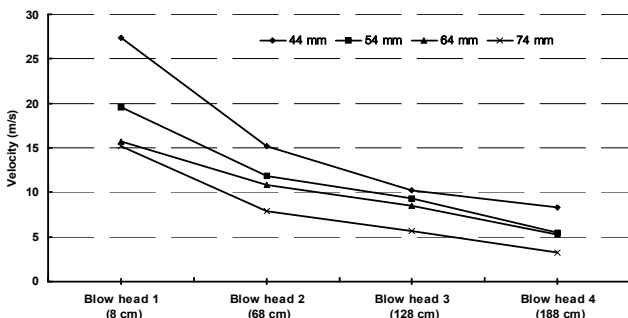


Fig. 4 Air velocity according to boom pipe diameter

붐관의 직경이 커질수록 풍속이 감소되는 것을 볼 수 있는데 이것은 송풍기에서 불어나오는 유량이 일정하다고 가정하였기 때문이다. 만약 시뮬레이션에 팬이 포함되었다면 송풍저항에 따라 송풍량이 변화하여 위에서 분석한 결과보다는 차이가 줄어들 것으로 판단된다. 따라서 분석된 수치를 설계에 바로 적용하

는데는 한계가 있다고 판단된다.

송풍식 입체살포장치의 수집판의 각도를 90°, 105°, 120°, 135° 로 변경해가며 시뮬레이션을 한 결과 풍속의 변화는 그림 5와 같다. 1번 분두에서는 18.6 m/s ~ 19.6 m/s 범위 내에서 풍속이 비슷한 값을 나타내었으며 분두를 통과하면서 붐관내 풍속이 감소하는 크기는 120° 인 경우가 최대였다. 수집판의 각도가 90 ~ 135° 내인 경우 부양속도와 약동속도의 기준은 모두 만족하는 것으로 나타났다. 현재 설계된 분두는 분두의 살포각을 기준으로 설계된 것이므로 수집판의 각도에 대한 시뮬레이션만으로 설계를 할 수는 없다고 판단된다.

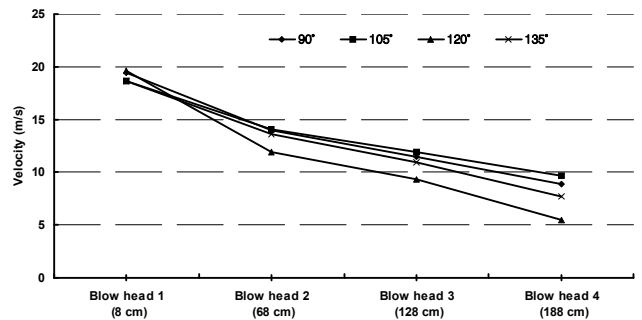


Fig. 5 Air velocity according to angle of collecting plate

7. 결론

본 연구는 친환경 정밀농업 기술의 일환으로 개발된 송풍식 불형 입체 변량살포기의 붐관 내부의 공기흐름을 CFD 시뮬레이션을 이용하여 분석해 보았다.

송풍식 입체살포기의 붐관 내 공기유동을 분석하기 위한 CFD 모델을 개발하고 실측한 풍속 프로파일과 비교하여 검증한 결과 시뮬레이션의 최대 오차는 0.8 m/s(7.2%)로 나타났다.

송풍기에서 불어나오는 유량이 일정한 경우 붐관의 직경이 커질수록 공기의 풍속은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 현재 설계된 살포시스템을 기준으로 할 때 44 ~ 64 mm 의 직경의 경우 입체의 원활한 이송을 위한 부양속도와 약동속도의 설계기준에 적합하나 74 mm의 경우는 분두 4번의 속도가 약동속도에 크게 미치지 못하는 것을 볼 수 있다.

붐관의 수집판의 각도에 따라 시뮬레이션 한 결과 1번 분두에서는 풍속의 차이가 거의 없었으나 분두를 지남에 따라 풍속의 감소는 차이를 보였다. 수집판의 각도가 90 ~ 135° 내인 경우 현재 설계된 살포시스템을 기준으로 입체의 원활한 이송을 위한 부양속도와 약동속도의 설계기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

참고문헌

- Kim, Y. J., M. Seo and J. Y. Rhee. Development of Variable Rate Granule Applicator for Environment-Friendly Precision Agriculture(II)-Development of Pneumatic Fertilizer Blow Head and Application System-. Journal of Biosystems Engineering 31(6):474-481. (In Korean)
- Kim, Y. J. and J. Y. Rhee. Development of Variable Rate Granule Applicator for Environment-Friendly Precision Agriculture (III)-Analysis of Pneumatic Conveying System and Improvement of Fertilizer Application Uniformity-. Journal of Biosystems Engineering 31(6):482-488. (In Korean)