

개량아취연동 1-2W형 온실의 천창완전개폐시스템 개발 Development of a fully-open-roof system for a multi-span arch-typed greenhouse

김경원, 이성현, 윤남규, 이인복¹⁾, 윤진하, 박영환²⁾

농촌진흥청 농업공학연구소, ¹⁾ 서울대학교 농업생명과학대학, ²⁾ (주)그린하우징

Kim, K.W., Lee, S.H., Yun, N.K., Lee, I.B., Yun, J.H., Park, Y.W.

National Institute of Agricultural Engineering, R.D.A., Suwon, 441-858

서 론

우리나라는 지리적으로 북반구의 극동지역에 위치하여 사계절이 뚜렷하다. 겨울은 비교적 추위 시설원에 난방을 위한 연료비용이 많이 들고, 여름은 무더운 날이 많아 고온에 의한 작물 피해 때문에 시설재배에 매우 불리하다. 그럼에도 불구하고 전체 경지면적의 약 4.8%인 97.6천ha가 시설재배 면적이다. 그러나 많은 온실이 여름철 온도를 낮추기 위한 환기면적이 적어 여름철 환기불량에 의한 고온 스트레스로 고전을 면치 못하고 있다. 본 연구는 현재 농가에 널리 보급되고 있는 개량아취연동 1-2W형 온실의 지붕환기 구조를 개선하여 온실의 자연환기 능력을 향상시킬 목적으로 수행되었다. 이 연구는 연동온실의 자연환기능력을 CFD를 사용하여 온도를 중심으로 분석 및 검증과정을 수행하여 지붕개폐별로 온실내부의 온도 적체 현상을 구명함으로써 개량아취연동 1-2W형 온실의 천창구조 설계를 위한 기본자료로 이용하였다. 이러한 설계를 거쳐 지붕개폐 메커니즘을 개발하였으며, 개발된 천창완전개폐 온실을 농가에 설치하여 시스템의 안정성과 온도강하 효과 등을 분석하였다.

재료 및 방법

가. 1-2W 연동형 온실의 CFD 시뮬레이션

일반적으로 연동의 수가 증가함에 따라서 자연환기는 지붕환기에 의존하게 되고 자연환기 효과는 더욱 저하하므로 이를 극복하기 위해서는 필연적으로 환기구의 범위를 증대 시킬 필요가

있다. 이러한 대형 연동온실에서 지붕열림별로 온도변화 효과를 구명하고자 2차원 CFD 시뮬레이션을 수행하였다. 해석모델의 규격은 측고 2.7m, 동고 4.55m, 동폭 7m, 11연동형이며 유동장의 규격은 충분한 예비실험에 의해 결정하였다.

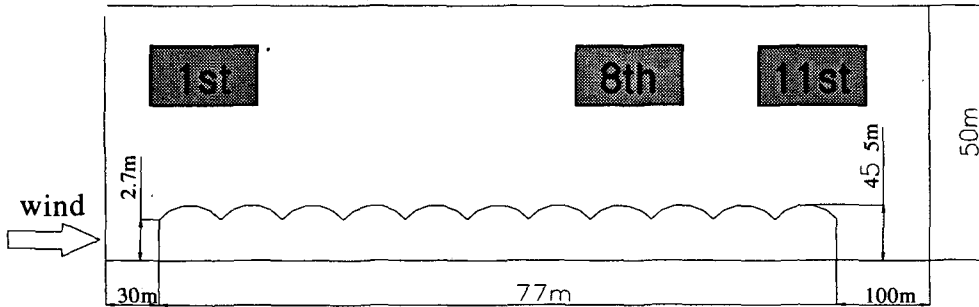


그림 1. 1-2W형 11연동 온실의 2D 해석모델의 유동장 규격

CFD 시뮬레이션을 위해 Fluent 5.5v를 사용하였고 해석모델은 2D 난류모델(K-ε standard) 및 복사모델(ROSSELAND)을 사용하였다.

나. 1-2W 연동형 온실의 CFD 공기온도 검증

CFD 시뮬레이션에 사용된 대형 11연동 온실에 대한 2D 난류모델(K-ε standard) 및 복사모델(ROSSELAND)과 경계조건들에 대한 해석결과치의 타당성을 검증하기 위해 경북 성주 소재의 측고 2.2m, 동고 4.0m, 동폭 7m인 1-2W형 4연동 온실을 이용하여 CFD 분석 결과를 실제 온실의 측정값과 검증하였다.

다. 지붕 완전개폐시스템 동력전달 메커니즘 설계

연동아치형 비닐온실의 지붕을 완전히 개폐하기 위해 우선 지붕비닐개폐방식은 현재 일반적으로 사용되는 권취형으로 하고, 지붕개폐시 권취축의 방향성 유지를 위해 온실외각 양면에 별도로 설치된 가이드프레임을 따라 구름운동을 하는 가이드롤러를 권취봉에 연결하였으며, 지붕비닐의 권취는 권취모터→가이드롤러→권취봉에 의해 동력이 전달 되도록 하였다. 또한 바람에 대한 안정성 및 기밀성을 유지하기 위해 1~2m간격으로 내풍밴드가 설치되도록 하였다. 그림 1은 지붕완전개폐시스템의 구조를 나타낸 것이고, 그림 2는 현장에 설치하여 천창을 완전히 개폐한 모습을 나타낸 것이다.

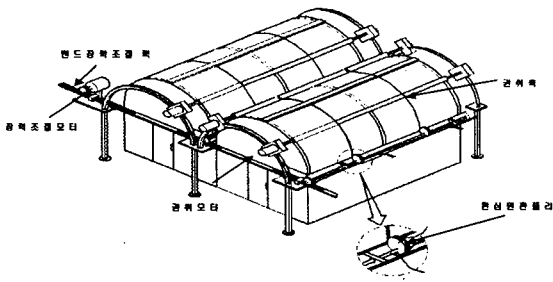
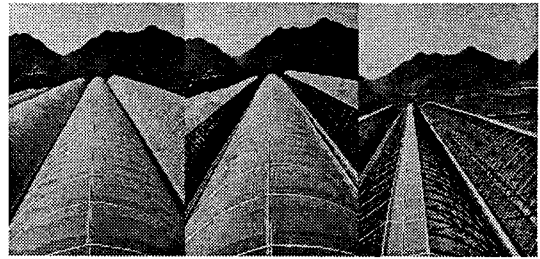


그림 1. 지붕완전개폐 시스템 구조도



열림 반열림 완전열림

그림 2. 현장설치 광경

결과 및 고찰

가. 1-2W 연동형 온실의 CFD 시뮬레이션

바람이 온실의 좌측에서 우측으로 2m/s로 불 때 지붕 환기구의 열림을 1m로 했을 때 온실내 공기의 온도는 그림 3에서 보는바와 같이 외기온도 보다 높고 전반적으로 연동 전체구간에서 온도의 적체가 일어남을 확인 할 수 있었다.

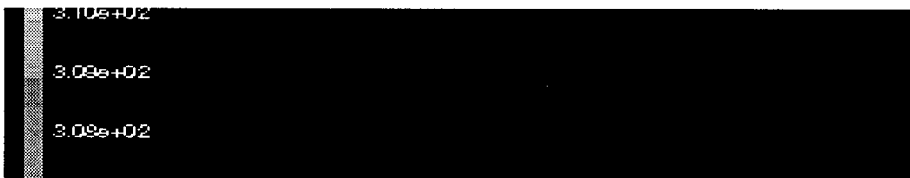


그림 3. 바람 2m/s, 지붕 1m 열림 상태의 공기온도분포

지붕 환기구의 열림을 3.8m로 완전히 열었을 때는 그림 4에서 보는 바와 같이 온실바다으로부터 0.5m 및 1.8m 높이에서의 온도는 제 1동에서는 33.0℃ 및 32.9℃, 제 8동에서는 32.6℃ 및 32.7℃ 그리고 제 11동에서는 32.6℃ 및 32.6℃로 분석되었다. 온실내 공기 적체는 지붕이 완전히 열림으로 인해 거의 외기온 수준으로 낮아졌음을 알 수 있었다.



그림 4. 바람 2m/s, 지붕 3.8m(완전 열림) 상태의 공기온도분포

나. 1-2W 온실의 CFD 공기온도 검증

CFD분석결과와 실제온실에서 측정한 온도를 분석한 결과 각각의 위치에서 1.2~13.5%의 차이로 비교적 정밀한 것으로 나타났다.

표 1. CFD와 실험치의 공기온도 비교 평가

거리 (m, from No1)	바닥으로부터 0.5m위치			바닥으로부터 1.5m위치		
	CFD 온도(°C)	실험 온도(°C)	평가(%)	CFD 온도(°C)	실험 온도(°C)	평가(%)
3.5	32.8	33.3	1.5	32.4	32.8	1.2
10.5	31.0	34.2	9.4	30.7	33.9	9.4
17.5	29.6	33.9	12.7	28.9	33.4	13.5
24.5	28.1	31.1	9.6	27.2	31.0	12.3

다. 지붕 완전개폐 시스템 개발

그림 5는 1-2W형 연동형 온실 천창완전개폐시스템의 동력전달 흐름을 나타낸 것이다. 지붕을 닫을 때에도 지붕을 열 때와 같이 내풍밴드 장력조절모터는 권취모터를 구동하기 전에 먼저 열어서 내풍밴드를 느슨하게 하고 지붕이 완전히 닫히면 내풍밴드가 인장되도록 설계하였다.

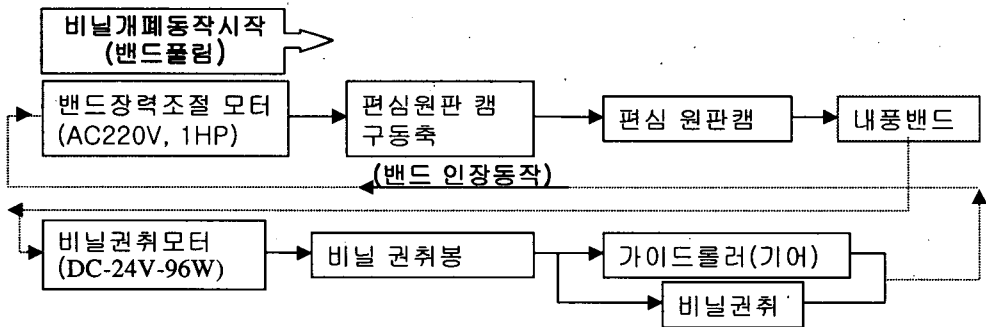


그림 5. 지붕완전개폐의 동력전달 흐름도

라. 1-2W형온실의 지붕완전개폐 시스템 개폐안전성

완전개폐형 천창구조시스템의 권취모터의 적정용량을 평가하여 하기위해 권취길이 101m에서 권취모터의 부하시험을 한 결과 표 2에서 나타낸 바와 같이 무부하 30.5W, 열림 55.4W, 닫힘 14.2W로 나타나 정격용량 80W에 비해 70%수준으로 안전하였다. 이때 지붕 개폐시 소요되는 이론부하는 53.3W로 계산되며 실측치와 비교하여 3.9%의 차이를 보여 시스템의 설계가 잘 되었음을 알 수 있었다.

표 2. 권취모터의 부하 평가

구 분	무부하(W)	부하(W)		
		상승(이론)	상승(계측)	하강
시작기(33m)	30.5	38.5	38.8	33.1
현장시험(101m)	30.5	53.3	55.4	14.2

마. 완전개폐형 온실의 자연환기 효과시험

온도를 기준으로 온실의 지붕열림별로 자연환기효과를 평가한 결과 온실 바닥으로부터 0.5m, 1.8m 높이에서 측정된 온실 수평단면 온도분포는 온실지붕이 1m 열렸을 때는 각각 33.6~36.7℃, 33.7~35.1℃ 절반 열렸을 때는 각각 32.8~35.7℃, 33.0~33.8℃ 지붕이 완전히 열렸을 때는 각각 32.3~33.9℃, 32.6~33.3℃로 지붕열림 형태별로 경향이 뚜렷하게 나타났다.

요약 및 결론

개량아취연동 1-2W형 온실의 지붕환기 구조를 개선하여 온실자연환기 능력을 향상시킬 목적으로 11연동 온실에 대한 CFD 온도분석 및 검증과정을 수행하고, 지붕을 완전히 개폐할 수 있는 천창구조를 개발하고, 현장에 적용하여 개발시스템의 안전성과 자연환기효과를 검증하였다. 개발한 천창완전개폐시스템은 동력의 소모가 적고, 천창을 완전히 개폐함으로써 여름철 고온기 온실의 내부온도를 외기온에 가까운 수준으로 낮출 수 있는 것으로 나타나 자연환기 능력을 극대화 할 수 있었다. 또한 곡부의 기밀성을 증대하여 겨울철에도 섯바람에 의한 에너지 손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 외풍이 셀 때도 개폐시스템의 안정성이 우수한 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

- 가. 정인규, 장유섭, 유병기, 전종길. 1996. 원예시설의 효율적 환기구조 개선 연구. 농업기 계화연구소 시험연구보고서. pp 345~359.
- 나. Lee In-Bok, Ted H, Short, Sadanori Sase, Limi Okushima, Gue Yu Qiu. 2000. Evaluation of Structural Characteristics of Naturally Ventilated Multi-Span Greenhouse Using Computer Simulation. JARQ 34(4). PP247-256