

Natural Ventilation Performance in Greenhouses

Lee, Suk Gun

Department of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

서 론

온실이 밀폐상태일 때 실내 기온은 겨울철에도 작물 생육의 적정온도 이상으로 상승하므로, 실내 기온의 과도한 상승을 방지하고자 환기가 요구된다. 또한 여름철에 온실내에서 작물을 재배할 경우 환기량은 작물 생육에 커다란 영향을 미치는 바, 적정 환기량이 확보되어야 한다.

온실에서 환기는 온실내외의 공기를 교환하여 온실 내부의 환경을 조절하는 수단으로 활용되고 있으나 조절 목표는 한계가 있기 때문에 보조수단의 역할을 한다. 주년재배용 대규모 온실 설계시 해결해야 할 문제 중의 하나가 여름철의 고온장애이며 이는 온실의 자연 환기 성능과 밀접한 관계를 가지고 있다. 본 연구는 온실의 자연환기에 관한 기본적인 내용을 요약하여 정리하고, 온실구조가 자연환기 성능에 미치는 영향을 분석하고자 시도되었다.

본 론

1. 환기의 목적

온실에서 환기는 온실내외의 공기를 교환하여 온실 내부의 기온, 이산화탄소 농도, 습도 및 공기유동 등의 환경조건을 어느 정도까지 조절하는 수단으로 그 효과는 다음과 같다.

1) 고온 억제

온실은 일사를 투과시킬 수 있는 구조물로서 자상부의 일부 공간을 피복하여 겨울철에도 공간 내부의 온도를 상승시켜 식물재배를 가능하게 하는 식물생산 시설이다. 이와 같이 온실은 외부와 격리된 공간을 제공하기 때문에 외기온이 높을 때에는 온실내부 온도가 작물생산에 부적합할 정도로 과도하게 상승한다. 온실 환기의 주목적은 온실내부 온도의 과도한 상승을 완화시키는 것이다. 특히 주년재배용 첨단온실에서 환기에

의한 여름철의 고온억제 문제는 온실의 환경조절 중에서 큰 비중을 차지하고 있다. 최대한의 환기를 실시하더라도 환기에 의한 고온억제는 온실내부의 온도를 외기온 이하로 하강시킬 수 없는 한계가 있지만 냉방설비를 도입할 때 냉방부하를 감소시키는 효과가 있다.

2) 이산화탄소 농도의 조절

광합성이 이루어지는 시간대에 온실내부의 이산화탄소 농도는 외기의 이산화탄소 농도보다 낮아진다. 일반적으로 외기의 이산화탄소 농도 수준에서는 광합성량이 이산화탄소 농도에 정비례하여 증대한다. 따라서 환기에 의하여 외기로부터 이산화탄소를 공급함으로써 광합성량을 증대시켜 식물생장에 촉진시킨다. 그러나 겨울철에 이산화탄소 공급을 위한 환기는 온실 내부기온을 하강시키기 때문에 작물생육에 지장을 초래하지 않는 범위 내에서 실시하도록 유의해야 한다. 광합성이 왕성한 시간대에는 최대한의 환기를 실시하더라도 온실내의 이산화탄소 농도는 외기보다 낮게 되는 한계가 있지만 이산화탄소의 인위적 공급량을 줄일 수 있는 효과가 있다.

3) 습도 조절

습도는 광합성이나 증산량에 영향을 미치고 온실내부의 공기유동에도 영향을 미친다. 저온기에 온실내부의 과습은 병충해가 발생되기 쉬우며 정식 직후인 묘는 저습상태에서 시드는 원인이 된다.

일반적으로 온실 내부의 절대습도는 외기보다 높기 때문에 환기를 실시하면 온실내의 절대습도는 낮아지게 되지만 외기온이 온실내부 기온보다 낮은 경우에는 환기시에 온실 내부기온과 절대습도가 동시에 저하되므로 온실내부의 상대습도가 반드시 낮아지는 것은 아니다. 환기는 온실 내부의 습도를 낮게 하는 수단으로 이용되지만 겨울철에는 온실 내부의 기온도 낮아지게 되므로 유의해야 한다. 이 때 온실 내부의 기온을 저하시키지 않고 제습을 시키고자 할 경우에는 열교환형 제습장치가 사용되기도 한다.

4) 공기 유동

온실 내부의 공기 유동은 온실내의 열, 이산화탄소, 수증기의 이동에 영향을 미치며 환기나 자연대류에 의하여 발생한다. 따라서 온실 내부 기온, 습도, 이산화탄소 농도 및 일사량이 동일하더라도 공기유동 속도에 따라 작물 체온, 광합성 속도 및 증산속도가 달라진다. 일반적으로 생육적온 하에서 습도가 높고 일사가 강할 경우에는 공기유동 속도가 0.5~1.0 m·s⁻¹의 범위에서는 광합성 속도와 증산속도가 공기유동 속도에 정비례하여 증가한다.

2. 자연환기의 발생

자연환기는 풍압력에 의하여 발생하는 풍력환기와 온실내외의 기온차에 의하여 발생하는 중력환기로 구분할 수 있다.

1) 풍력환기

풍력환기는 풍압력에 의한 공기의 이동이다. 이동하고 있는 공기는 운동으로 인한 동압을 가지고 있으며 그 크기는 풍속의 제곱에 정비례하므로 풍속이 증가함에 따라 급격히 증가한다. 풍압력은 동압에 정비례하고 비례상수를 풍력계수라 한다. 풍력계수는 온실구조, 풍향 및 환기창의 개도에 따라 상이하므로 바람이 불어오는 쪽에서는 정(+), 바람이 불어나가는 쪽에서는 부(-)가 되고 절대값은 1보다 작다. 바람은 불어오는 쪽의 온실 벽면에 정압을 발생시키고 불어나가는 쪽의 온실 벽면에는 부압을 발생시킨다. 따라서 외기는 정압이 발생하는 벽면의 개구부로 유입되고 부압이 발생하는 벽면의 개구부로 유출된다. 풍력환기량은 풍압력의 제곱근에 비례하여 증가하기 때문에 풍속에 거의 정비례하게 된다.

2) 중력환기

중력환기는 온도차에 의하여 발생하는 공기의 비중량 차이로 인한 공기의 이동이다. 공기의 비중량은 온도, 압력, 수증기압에 따라 상이하지만 온도의 영향을 가장 많이 받는다. 공기의 비중량은 온도가 높을수록 가벼워지기 때문에 상승하려는 부력이 발생하여 공기가 위로 이동하게 되며 무풍시에도 발생한다. 즉 온실 내부의 온도가 외기온보다 높을 경우에는 부력에 의하여 온실내부의 공기는 온실 하부의 개구부로부터 상부의 개구부로 이동하게 된다.

중력환기는 온실내외의 온도차, 개구부간의 높이(천

창과 측창의 높이차) 및 천창과 측창의 개구부 면적이 클수록 양호해진다. 천창과 측창의 개구부 면적의 합이 일정할 경우는 천창과 측창의 개구부 면적이 동일할 때 환기량이 최대가 되므로 천창의 개구부 면적이 적을 경우에는 측창의 개구부 면적을 증가시키더라도 환기량은 크게 증가하지 않는다.

3. 온실의 환기회수

온실의 환기성능은 일반적으로 환기율 또는 환기회수로 표현한다. 환기율이란 단위시간 및 바닥의 단위면적당 온실내로 유입되는 외기유입량(m³·m⁻²·h⁻¹)을 의미하고, 환기회수는 단위시간당 총 외기유입량을 온실체적으로 나눈 값(회·h⁻¹)에 해당한다.

온실의 환기회수는 온실 구조, 창개도, 풍향, 풍속, 실내외의 기온차 등에 따라서 큰 차이가 있다. 무풍시에는 풍력환기는 일어나지 않고, 온도차에 의한 중력환기만 나타난다. 일반적으로 풍속 1~2 m·s⁻¹인 경우에도 중력환기가 우세하며 환기회수는 풍속에 관계없이 거의 일정하지만 풍속 2 m·s⁻¹이상인 경우에는 풍력환기가 중력환기보다 우세하며 환기회수는 거의 풍속에 비례한다.

온실의 환기회수는 연동수에 따라서도 큰 차이가 있다. 그림 1은 온실내외의 기온차가 5°C일 때 풍속과 연동수의 변화에 따른 환기회수를 비교한 것이다. 그림에 의하면, 중력환기만 발생하는 무풍시에는 연동과 단동의 환기회수가 거의 비슷하고 풍속 1 m·s⁻¹ 이하인 경우에는 연동이 단동에 비하여 환기회수가 감소하지만 연동간에는 큰 차이가 없다. 그러나 풍속이 1 m·s⁻¹ 이상인 경우의 환기회수는 풍속에 정비례하고 동일

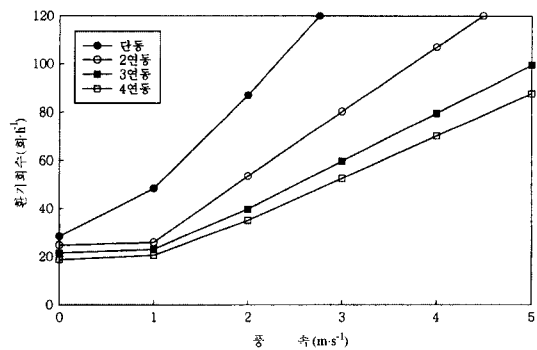


그림 1. 연동수와 풍속이 온실의 환기성능에 미치는 영향(Kozai et al., 1980)

온실의 자연환기 성능

한 풍속일 때 연동수가 증가할수록 감소하며, 풍속이 빠르고 다연동일수록 환기회수의 감소폭이 더욱 커진다. 따라서 온실 폭이 아주 큰 다연동 온실에서는 풍력환기의 효과를 기대하기 어려우므로 환기성능을 향상시키기 위해서는 환기창의 면적을 크게 하여 중력환기를 양호하게 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4. 온실의 자연환기성능 분석

온실의 환기성능은 외부 기상조건(풍향, 풍속, 일사량, 기온, 습도 등), 온실 구조(형태, 설치 방위, 환기설비, 풍력계수, 유량계수 등), 작물조건(군락 형태, 무성도, 광합성 및 생리 특성 등)에 따라 상이하다.

온실의 환기설계는 필요환기량을 산정하여 그에 적합한 환기방식과 환기설비(환기창 또는 환기팬)를 선택해야 한다. 이 때 필요환기량은 적정수준의 온도, 습도 및 이산화탄소 농도를 유지하는데 필요한 환기량을 의미한다. 환기는 공기를 이동시키는 원동력에 따라 강제환기와 자연환기로 구분하며 강제환기량은 필요환기량에서 자연환기량을 뺀 환기량으로 환기팬의 선정기준이 된다.

전술한 바와 같이 풍속이 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 이하인 경우에는 중력환기가 우세하고, $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상인 경우에는 풍력환기가 우세하다. 우리나라의 지역별 1일 평균풍속을 분석한 결과, 제주를 제외한 다른 지역에서 평균풍속이 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 이하인 일수가 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상인 일수보다 훨씬 많다. 따라서 자연환기 시설을 설계할 경우에는 우리나라의 지역별 1일 평균풍속과 안전성을 감안할 때 중력환기만을 고려하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

주년재배를 전제로 한 대규모 첨단온실의 보급이 확대됨에 따라 여름철에 온실의 고온억제가 중요한 과제로 대두되고 있다. 온실의 고온억제를 위한 1차적인 수단은 차광과 환기이고 보조수단으로 반사필름, 열흡수 피복재, 지붕 살수, 증발냉각법 등이 이용되고 있다. 이 중 반사필름이나 열흡수 피복재는 특수한 경우 이외에는 실용화에 어려움이 있고 지붕 살수나 증발냉각법은 실용화되어 다수 보급되고 있다. 그러나 일사가 강한 여름철에 무차광, 무환기 온실의 내부기온은 외기온보다 높게 상승하여 시설작물의 적온범위보다 훨씬 높아지기 때문에 지붕 살수나 증발냉각법 등 냉각설비 이용시 냉각부하가 매우 커진다. 따라서 온실의 내부기온이 외기온보다 높은 경우에는 적절한 차광이나 환기

를 실시하여 온실내부의 기온을 외기온에 최대한 근접시켜 냉방부하를 줄인 후 냉각설비를 운전하는 것이 바람직하다.

온실에서 환기는 온실내외의 물질교환을 유발시켜 온실내부의 환경을 조절하는 수단으로 강제환기와 자연환기로 구분하며, 환기창을 통하여 이루어지는 온실의 자연환기의 성능은 온실 구조에 따라 크게 다르다.

온실구조가 자연환기 성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 중력환기만을 고려하여, 차광율의 변화에 따른 필요환기량, 측창과 천창의 면적비가 자연환기 성능에 미치는 영향 및 온실의 폭이 자연환기 성능에 미치는 영향을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 피복재의 일사투과율의 변화에 따른 필요환기량

온실의 내부기온을 상승시키는 가장 큰 요인은 일사이므로 피복재를 통한 외부일사의 투과율은 온실내부의 설정온도 유지를 위한 필요환기량에 큰 영향을 미친다. 그림 2는 여름철에 외기온(T_o)이 $20\sim 32^\circ\text{C}$ 의 범위내에서 변화하고 온실내부의 설정온도를 35°C 로 한 경우에, 외기온과 투과율에 따른 필요환기량의 변화를 계산하여 도시한 것이다. 이 때 무차광시의 일사투과율은 90%(차광율 0%)로 가정하였고, 차광율은 (90-일사투과율)을 의미한다.

온실내부의 기온을 일정하게 유지하기 위한 필요환기량은 투과율이 증가하고 외기온이 높을수록 증가한다. 유리로 피복된 온실에서 외부나 내부에 차광시설이 없는 경우에, 온실내부의 온도를 35°C 로 유지하기 위한 필요환기량은 외기온이 32°C 일 때가 외기온이 20°C 일 때에 비하여 5배 정도로 나타 나, 외기온이 증가함에 따라 필요환기량이 크게 증가함을 알 수 있다.

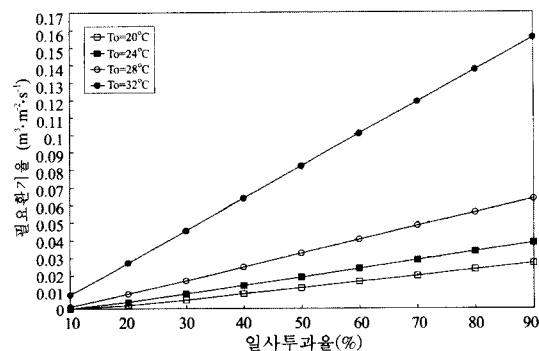


그림 2. 피복재의 일사투과율의 변화에 따른 필요환기량.

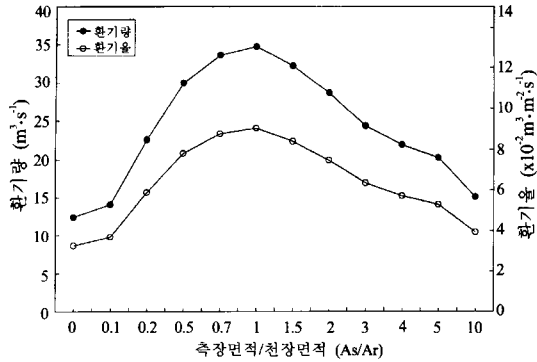


그림 3. 천창과 측창의 면적비에 따른 환기성능

또한, 일사투과율 50%인 경우의 필요환기량은 무차광시에 비하여 절반정도로 나타나, 여름철에 온실내부의 기온을 일정한 온도로 유지하는데 차광은 큰 효과가 있음을 알 수 있다.

2) 측창과 천창의 면적비가 자연환기에 미치는 영향

온실의 자연환기 성능은 환기창의 크기와 위치에 따라 현저한 차이가 있다. 측창 면적과 천창 면적이 일정할 때 자연환기 성능은 측창 면적과 천창 면적이 동일할 때 가장 우수하다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다.

그림 3은 측창 면적(A_s)과 천창 면적(A_r)의 합이 일정할 때, 측창과 천창의 면적비(A_s/A_r)에 따른 자연환기 성능을 구체적으로 계산하여 도시한 것이다. 그림에서 측창과 천창의 면적이 같을 때($A_s/A_r=1$) 자연환기 성능이 최대임을 확인할 수 있고, 이 경우의 환기량은 측창이 없고 천창만 설치한 경우($A_s/A_r=0$)에 비하여 3배 정도이다. 반면에 측창 면적이 천창 면적의 10배인 경우의 환기량도 면적비가 0인 경우와 비슷하게 나타났다.

이러한 사실로 미루어 볼 때, 온실의 자연환기 성능을 향상시키기 위해서는 온실형태나 연동수에 따라 제한을 받을 수 있지만 가능한 한 천창과 측창의 면적을 동일하게 설계해야 한다.

3) 온실의 폭이 자연환기에 미치는 영향

최근 국내에도 주년재배용 대규모 첨단온실이 많이 보급됨에 따라 연동수와 환경조절의 효율성에 관한 논란이 제기되고 있으며 막연한 의견들이 회자되고 있는 실정이다. 일반적으로 광폭의 다연동 온실은 작업성, 보온비, 공사비, 내풍성, 환경 완충성 및 관리 등의 측

표 1. 온실의 자연환기 성능 계산을 위한 온실 형태

인자	베로형	와이드 스펜형
온실 길이(m)	30.0	30.0
온실 폭(m)	3.2	12.8
스팬수	1~30	1~10
동고(m)	4.45	6.5
측고(m)	3.8	3.5
천창 길이(m)	30.0	30.0
천창 중심높이(H_r , m)	4.295	6.29
천창 폭(D_r , m)	0.825	1.0, 1.5
측창 길이(m)	30.0	30.0
측창 중심높이(H_s , m)	1.525, 2.325	1.55
측창 폭(D_s , m)	0.0, 1.65	0.0, 1.5
온실내부 기온(T_i , °C)	25	25
온실외부 기온(T_o , °C)	20	20
환기창 개도(°)	측창: 30°, 천창: 22°	50°

면에서는 장점이 있으나 자연환기 성능, 여름철의 고온 억제, 환경이나 재배의 균일성, 내설성 등의 측면에서는 불리하다.

주년재배용 대규모 온실에 대한 논란 중에서 빈번하게 거론되고 있는 문제는 여름철의 고온장해이며 이것은 광폭의 다연동 온실에 대한 자연환기 성능과 밀접한 관계를 가지고 있다.

국내에 보급되어 있는 대표적인 대규모 첨단온실중에서 표 1과 같은 베로형 및 와이드 스펜형 온실을 대상으로 온실 폭이 자연환기 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

1) 와이드 스펜형 온실의 폭변화에 따른 환기율

그림 4는 와이드 스펜형 온실의 폭 변화에 따른 환

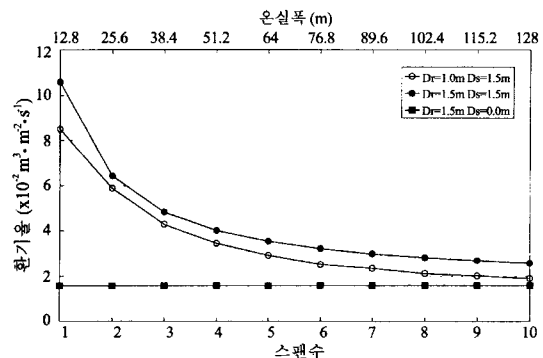


그림 4. 와이드 스펜형 온실의 폭변화에 따른 환기율.

온실의 자연환기 성능

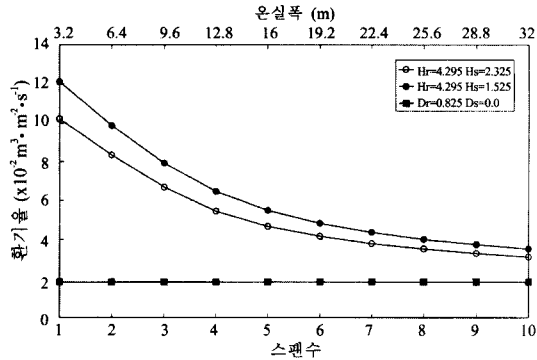


그림 5. 벤로형 온실에 대한 스패수의 변화에 따른 환기율.

기율의 변화를 도시한 것이다.

측창이 없는 경우($D_s=1.5$ m, $D_s=0$ m)에는 온실 폭(스팬수)에 관계없이 환기율이 거의 일정하게 나타났다. 또, 측창의 폭이 일정한 경우($D_s=1.5$ m), 환기율은 천창의 폭이 1.5 m일 때가 1.0 m일 때보다 25% 정도 더 크게 나타났다. 측창이 있는 경우의 환기율은 온실 폭이 증가할수록 감소하여 결국 측창이 없는 경우와 거의 같게 되기 때문에, 폭이 대략 50 m 이상인 온실에서는 측창환기의 효과를 기대하기 어려움을 알 수 있다. 아울러 Fan & Pad System을 설치할 경우에도 온실 내부의 온도분포가 불균일하고 우수한 냉방효과를 기대할 수 없다.

2) 벤로형 온실의 폭변화에 따른 환기율

그림 5는 벤로형 온실의 폭 변화에 따른 환기율의 변화를 도시한 것으로, 천창의 폭(D_s)이 0.825 m이고 측창이 없는 경우($D_s=0$ m)와 폭 1.65 m인 측창을 설치한 경우에 측창의 중심까지의 높이에 따른 환기율의 변화를 나타낸 그림이다.

온실 폭에 따른 환기율의 변화 경향은 와이드 스패형과 유사하며 측창이 없는 경우에는 온실 폭에 관계 없이 환기율이 거의 일정하게 나타났다. 측창이 있는 경우의 환기율은 온실 폭이 증가할수록 측창의 효과가 크게 감소하여 결국 측창이 없는 경우와 거의 비슷하게 된다. 또, 천창의 위치가 고정되었을 때, 측창의 위치가 낮을수록 환기율이 더 높게 나타났다. 벤로형 온실에서도 와이드 스패와 유사하게 온실 폭이 50 m 이상일 때는 측창환기의 효과를 기대하기 어려움을 알 수 있다.

Literature cited

1. 이석건 역. 2000. 농업환경조절공학. 일일사. p. 163-183.
2. 三原義秋. 1980. 溫室設計の基礎と實際. 養賢堂. p. 145-152.
3. Kozai, T., Sase, S., and Nara, M. 1980. A Modeling approach to greenhouse ventilation control. Acta Horticulture 106:125-136.

온실의 자연환기 성능

이 석 건

경북대학교 농업토목공학과

적 요

온실에서 환기는 온실내외의 공기를 교환하여 온실내부의 환경을 조절하는 수단으로 활용되고 있으나 조절 목표는 한계가 있기 때문에 보조수단의 역할을 한다. 주년재배용 대규모 온실 설계시 해결해야 할 문제 중의 하나가 여름철의 고온장해이며 이는 온실의 자연환기 성능과 밀접한 관계를 가지고 있다. 본 강좌에서는 온실의 자연환기에 관한 기본적인 내용을 요약하여 정리하고, 온실구조가 자연환기 성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수치해석으로 온실의 필요환기량, 측창과 천창의 면적비와 온실 폭이 자연환기 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 온실의 자연환기 성능을 향상시키기 위해서는 주어진 조건하에서 가능한 한 측창과 천창의 면적을 동일하게 설계해야 하고 주년재배용 대규모 온실에서는 폭이 대략 50m 이상이 되면 자연환기성능을 기대하기 어렵기 때문에 유의해야 할 것으로 판단된다.