

# 이중필름 수막시스템의 보온효과

## Thermal Insulation Effect of a Double Film Water Curtain System in Greenhouse

남상운 · 허연정 · 심옥자 · 심상일 · 이호상\*  
안성산업대학교 농촌공학과, \*덕산농장

Nam, Sang Woon · Heo, Yeon Jeong · Sim, Ok Ja · Sim, Sang Il · Lee, Ho Sang\*  
Department of Rural Engineering, Ansung National University, \*Deoksan Farm

### 1. 서 론

우리나라는 시설재배 난방용 에너지로 경유를 90%이상 사용하고 있는데 최근 급격한 유가의 상승으로 생산비중 난방비가 차지하는 비중이 20~25%에서 30~40%로 높아져 시설원예 농가의 경제성이 크게 악화되고 있다. 이를 극복하고 안정적인 생산을 계속하기 위하여 보온력 향상이나 자연에너지 이용 기술에 관한 지속적인 기술개발과 보급이 필요할 것으로 생각된다.

지하수를 이용한 수막하우스는 보온효과가 커서 난방비를 크게 절약할 수 있는 시설로 알려져 있다. 보통 수막하우스는 하우스내에 커튼을 설치하여 커튼 위에서 지하수를 살수하므로 고르게 수막을 형성하지 못하여 방열면적이 줄어들 가능성이 있다. 그러나 이중필름 속에 지하수를 흘려주면 고른 수막을 형성할 수 있기 때문에 보온효과가 증진될 수 있을 것으로 생각된다. 본 논문은 경기도 안성시 양성면 소재 덕산농장(선인장)에 설치된 이중필름 수막시스템을 대상으로 1998년 1월 16일~2월 4일까지 20일간 보온효과를 실측하여 분석한 것이다.

### 2. 재료 및 방법

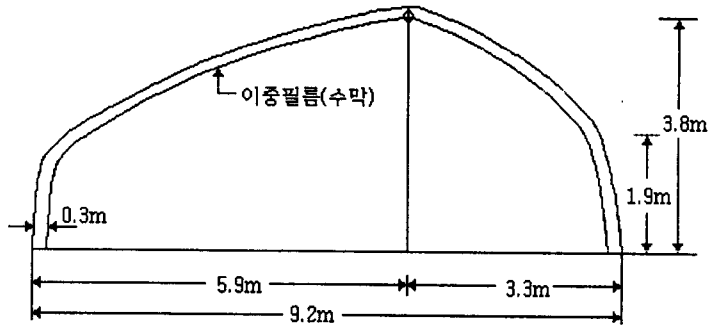
이중필름 수막시스템이 설치된 2종류의 온실을 대상으로 보온효과를 실측하여 분석하였다. 수막온실의 특징은 표1 및 그림1과 같다. 실측항목은 지하수온도(급수, 배수), 온실 내외의 기온, 습도, 온실 내외의 일사량, 수막가동시간 및 지하수 유량 등이다. 보온효과와 난방부하계수, 난방부하, 연료절감율 등은 원예시설의 환경설계 기준(김 등, 1997)과 열전달 이론을 근거로 분석하였다.

표 1. 수막온실의 특징

구 분	면 적 (m <sup>2</sup> )	피복면적 (m <sup>2</sup> )	지하수살수량 (l/hr)	비 고
온실 A	350	558	2448	외피(PE0.07mm) 내피(PE0.06mm, 2중)
온실 B	190	296	810	남측면 : 온실A와 동일 북측면 : 카시미론 3중

주) 온실 A : 2/3아치형, 온실 B : 삼각형 (그림 1 참조)

[온실 A]



[온실 B]

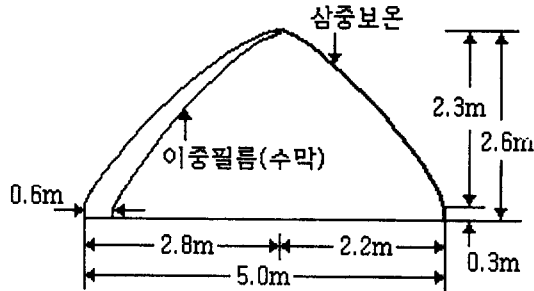


그림 1. 이중필름 수막시스템을 설치한 온실의 규격

### 3. 결과 및 고찰

#### (1) 온실A(2/3아치형)

실험기간동안의 외기온은 최저  $-16.7^{\circ}\text{C}$ , 일최저평균  $-10.9^{\circ}\text{C}$ , 수막가동시간 평균  $-6.5^{\circ}\text{C}$ 였다. 수막가동시간은 1일평균 15시간 21분으로 36.6톤의 지하수를 사용하였으며, 지하수온도는 평균  $13.9^{\circ}\text{C}$ 로 급수되어  $8.3^{\circ}\text{C}$ 로 배수되는 것으로 나타났다. 20일동안 지하수로부터 공급된 총열량은 4,254,746 kcal (일평균 212,737 kcal)로 계산되었으며, 실내기온은 최저  $1.9^{\circ}\text{C}$ , 일최저평균  $4.5^{\circ}\text{C}$ , 수막가동시간 평균  $6.5^{\circ}\text{C}$ 로 유지되는 것으로 나타났다.

적산온도차와 공급열량으로부터 추정된 난방부하계수는 평균  $1.97 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 이것은 플라스틱하우스의 난방부하계수  $5.7 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}$ 에 대하여 65.4%의 열절감율을 보이는 것으로 2층커텐(폴리에틸렌필름+알루미늄필름)의 열절감율 65%와 거의 같은 값이다.

표 2. 수막시스템에 의한 2/3아치형온실의 열특성

날 짜	외기온(℃)		실내기온(℃)		수막가동시간 (시간:분)	지하수온도 <sup>1)</sup>		평균지하수온	
	최 저	평 균	최 저	평 균		급 수	배 수	급 수	배 수
1/16	-2.6	-0.3	5.1	7.5	14:50	14.5	8.2	14.4	9.6
1/17	-3.1	-0.4	9.0	8.1	14:20	14.4	9.7	14.8	9.9
1/18	-5.3	0.2	4.8	7.9	14:40	15.0	7.7	14.7	9.8
1/19	-13.0	-10.1	2.0	4.5	15:00	14.0	5.6	13.9	6.8
1/20	-12.5	-9.1	4.6	6.0	16:00	14.0	7.0	13.9	8.3
1/21	-16.7	-7.3	3.9	6.5	15:30	14.2	7.0	13.8	8.1
1/22	-10.5	-6.7	4.9	6.5	15:30	14.2	7.5	14.2	8.6
1/23	-11.7	-4.2	3.4	6.7	15:20	14.1	6.0	13.9	8.0
1/24	-14.0	-10.5	1.9	4.3	15:00	13.3	5.4	13.6	6.4
1/25	-15.4	-13.1	2.3	4.6	15:20	13.6	5.7	13.6	6.5
1/26	-9.8	-4.9	6.8	7.9	16:20	14.1	7.9	14.1	9.3
1/27	-13.0	-9.6	3.8	6.2	15:50	13.8	6.3	13.6	7.6
1/28	-13.0	-7.8	3.3	6.1	14:20	13.8	6.4	13.9	7.8
1/29	-15.9	-9.5	3.0	6.6	17:30	13.6	5.9	13.1	7.3
1/30	-9.8	-5.2	7.2	8.0	15:30	13.9	8.2	14.0	9.4
1/31	-8.0	-2.9	4.7	7.5	14:40	13.8	6.9	13.9	8.9
2/1	-11.1	-8.1	4.8	6.2	16:00	13.7	7.0	13.8	8.0
2/2	-12.6	-9.3	3.8	5.9	14:30	13.8	6.8	13.8	7.8
2/3	-8.6	-5.5	5.8	7.6	16:00	13.8	7.9	13.9	9.0
2/4	-11.7	-5.8	4.1	6.2	15:00	13.7	7.0	13.7	8.3
평균	-10.9	-6.5	4.5	6.5	15:21	14.0	7.0	13.9	8.3

주) 수막가동시간(야간) 동안의 관측자료임. 1) 최저 외기온시의 지하수온도

난방온도를 10℃로 설정했을 경우의 난방부하는 5,473,014 kcal로서 1,218,268 kcal의 보조난방이 필요하며, 이경우의 연료절감율은 78.1%나 된다.

커튼위에 살수하는 일반 수막하우스의 시험결과와 비교하면 표3과 같다. 약 1/2의 지하수 살수량으로 기존방식에 비하여 2.1%나 높은 연료절감 효과를 거두는 것으로 나타났다.

평균 광투과율은 53.5%로서 일반온실의 겨울철 광투과율(동서단동 67%, 연동 58%)에 비하여 다소 낮게 나타났다.

적정유량을 찾기 위해서는 유량을 변화시키면서 지하수 배수온도 측정실험을 반복해야하지만 본 실험해서는 실시하지 못하였다.

표3. 커튼위 살수방식과 이중필름방식의 시험결과 비교

항 목	기존방식-커튼위살수 (원예시험장, 1985)	이중필름방식 (안성, 1998)	비 고
살수량(ℓ/hr/평)	52.8	23.1	
연료절감율(%)	76.0	78.1	난방설정온도 10℃

표 2. 수막시스템에 의한 2/3아치형온실의 열특성(계속)

날 짜	평균지하 수온도차 (°C)	공급열량 (kcal)	적산온도차(°C·hr)		난방부하 계수 (kcal/m <sup>2</sup> ·hr °C)	난방부하 T=10°C (kcal)	연료 <sup>1)</sup> 절감율 (%)
			T=실온	T=10°C			
1/16	4.8	174297.6	115.5	154.1	2.70	232167.1	75.0
1/17	4.9	171931.2	121.6	152.0	2.53	214584.5	80.0
1/18	4.9	175929.6	112.6	147.5	2.80	230454.0	76.3
1/19	7.1	260712.0	217.7	304.6	2.15	365428.6	71.5
1/20	5.6	219340.8	242.9	310.9	1.62	281041.2	78.1
1/21	5.7	216280.8	206.8	263.3	1.87	274743.0	78.5
1/22	5.6	212486.4	200.7	255.9	1.90	271305.2	78.4
1/23	5.9	221462.4	166.0	220.3	2.39	293796.5	75.4
1/24	7.2	264384.0	222.6	312.2	2.13	371062.2	71.3
1/25	7.1	266505.6	270.4	357.5	1.77	353088.5	75.6
1/26	4.8	191923.2	209.3	248.8	1.64	227681.9	84.1
1/27	6.0	232560.0	248.8	312.8	1.68	293231.2	79.5
1/28	6.1	214036.8	199.6	259.0	1.92	277482.2	77.1
1/29	5.8	248472.0	281.6	343.7	1.58	303019.7	81.9
1/30	4.6	174542.4	205.0	237.1	1.53	202421.8	85.5
1/31	5.0	179520.0	151.7	188.1	2.12	222514.8	80.6
2/1	5.8	227174.4	229.4	291.1	1.77	287507.8	78.8
2/2	6.0	212976.0	219.8	282.4	1.74	274187.8	77.8
2/3	4.9	191923.2	209.7	252.7	1.64	231250.8	83.0
2/4	5.4	198288.0	179.4	240.8	1.98	266045.5	74.5
계	5.7	4254746.4	4011.1	5134.8	1.97	5473014.3	78.1

주) 연료절감율은 난방온도 10°C로 설정한 경우의 난방부하에 대한 실난방부하의 비율

## (2) 온실B(삼각형)

삼각형온실은 그림 1과 같이 남측에만 이중필름 수막시스템을 설치하고, 북측은 카시미론으로 3중보온을 하고있다.

온실A(2/3아치형)에 비하여 보온효과가 약 27% 더 크게 나타나고 있으며, 난방부하계수는 1.44 kcal/m<sup>2</sup>·hr °C로 추정된다. 실내기온은 최저 7.8°C, 일최저평균 9.9°C, 수막가동시간평균 12.3°C로 유지되는 것으로 나타났다.

난방온도를 10°C로 설정할 경우의 보조난방 소요시간은 총 47시간(하루평균 2시간 21분)에 난방부하 24,083 kcal로서 경유난방기를 이용할 경우 약 4ℓ의 연료만으로 보조난방이 가능한 것으로 나타났다. 삼각형온실 1동(약 58평)에서 20일동안 약 336ℓ의 기름(경유)을 절약한 것으로 나타났다.

따라서 본 형태의 온실은 규모가 작아서 작업성이 떨어지지만 에너지절약형 원예시설로는 매우 우수한 것으로 판단된다.

한편, 배수시설이 잘되어 있어서 실내로 유입되는 지하수는 없었으며, 실내의 상대습도는 최고 85%, 평균 72.4%로 나타나 과습의 문제는 없는 것으로 나타났다.

표 4. 수막시스템을 설치한 삼각형온실의 열특성

날 짜	외기온(°C)		실내기온(°C)		수막 가동시간 (시간:분)	적산 온도차 (°Chr)	10°C이하 적산온도 (°Chr)	상대습도(%)	
	최 저	평 균	최 저	평 균				최 고	평 균
1/16	-2.6	-0.3	9.5	12.1	14:10	180.7	0.7	81.8	77.3
1/17	-3.1	-0.4	12.3	13.4	15:00	207.7	0.0	82.8	68.5
1/18	-5.3	0.2	9.5	13.1	14:40	189.5	0.5	82.8	78.7
1/19	-13.0	-10.1	8.0	10.6	16:20	361.1	9.2	83.5	75.0
1/20	-12.5	-9.1	11.0	12.0	15:00	324.2	0.0	83.4	72.9
1/21	-16.7	-7.3	8.9	11.9	15:10	287.6	3.3	83.3	77.1
1/22	-10.5	-6.7	10.5	12.3	14:40	291.5	0.0	82.0	71.0
1/23	-11.7	-4.2	9.0	12.8	15:30	269.8	1.2	83.0	75.3
1/24	-14.0	-10.5	7.8	10.4	14:30	309.0	11.1	83.5	64.6
1/25	-15.4	-13.1	8.5	11.2	15:10	380.2	6.1	82.5	70.8
1/26	-9.8	-4.9	12.2	13.7	14:50	292.0	0.0	84.5	69.9
1/27	-13.0	-9.6	8.5	11.3	16:00	273.0	6.7	85.0	71.6
1/28	-13.0	-7.8	8.0	10.7	14:20	286.9	11.5	85.0	72.3
1/29	-15.9	-9.5	8.1	12.0	16:00	375.6	6.2	85.0	73.1
1/30	-9.8	-5.2	12.1	13.2	14:45	279.6	0.0	84.3	66.8
1/31	-8.0	-2.9	11.0	13.4	15:10	248.0	0.0	84.0	73.6
2/1	-11.1	-8.1	10.2	12.2	16:00	326.2	0.0	83.0	64.8
2/2	-12.6	-9.3	10.0	12.5	14:10	313.1	0.0	83.5	77.0
2/3	-8.6	-5.5	12.4	14.4	16:00	329.1	0.0	84.0	73.5
2/4	-11.7	-5.8	10.0	12.9	14:40	265.8	0.0	84.0	79.5
평균	-10.9	-6.5	9.9	12.3	15:06	274.5	2.8	83.6	72.4

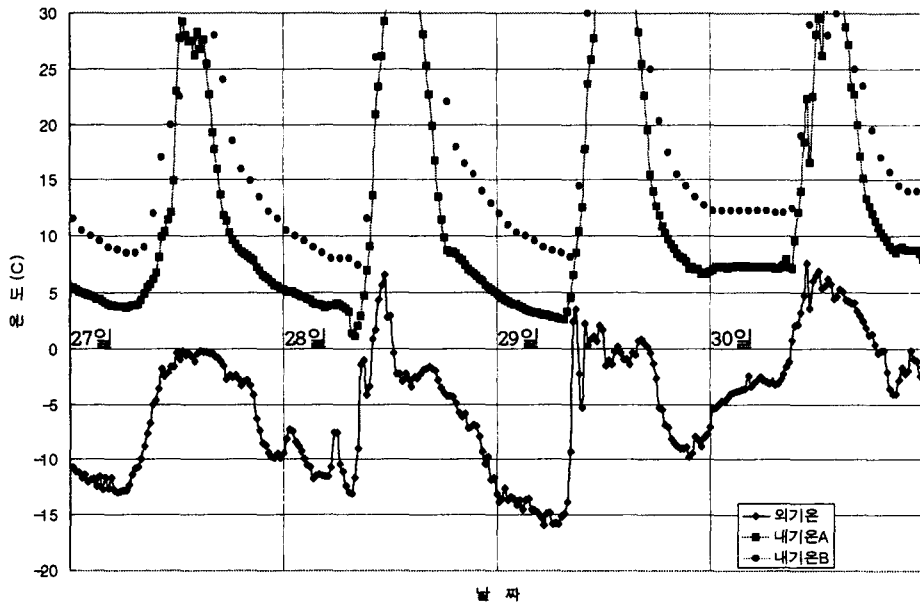


그림 2. 이중필름 수막시스템을 설치한 온실의 온도 관측예(1/27~1/30)

#### 4. 요약 및 결론

이중필름 수막시스템을 설치한 온실을 대상으로 1998년 1월 16일~2월 4일까지 20일간 보온효과를 실측하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

온실A(2/3아치형) : 350m<sup>2</sup>(약 106평)

1. 실험기간동안의 외기온은 최저 -16.7℃, 야간평균 -6.5℃였고, 실내기온은 최저 1.9℃, 수막가동시간 평균 6.5℃로 유지되는 것으로 나타났다.
2. 수막가동시간은 1일평균 15시간 21분으로 36.6톤의 지하수를 사용하고 있으며, 지하수온도는 평균 13.9℃로 급수되어 8.3℃로 배수되는 것으로 나타났다.
3. 적산온도차와 공급열량으로부터 추정된 난방부하계수는 평균 1.97 kcal/m<sup>2</sup>hr℃로서 일반 플라스틱하우스에 대하여 65.4%의 열절감율을 보이는 것으로 나타났다.
4. 난방온도를 10℃로 설정했을 경우의 연료절감율은 78.1%로 추정된다.
5. 평균 광투과율은 53.5%로서 일반온실의 겨울철 광투과율에 비하여 다소 낮게 나타났다.

온실B(삼각형) : 190m<sup>2</sup>(약 58평)

1. 온실A에 비하여 보온효과가 약 27% 더 크게 나타나고 있으며 난방부하계는 1.44 kcal/m<sup>2</sup>hr℃로 추정된다.
2. 실내기온은 최저 7.8℃, 일최저평균 9.9℃, 수막가동시간평균 12.3℃로 유지되는 것으로 나타났다.
3. 난방온도를 10℃로 설정할 경우의 보조난방 소요시간은 총 47시간(하루평균 2시간 21분)으로 나타났다.
4. 실내 상대습도는 최고 85%, 평균 72.4%로 나타나 과습의 문제는 없는 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 고태균, 김문기, 김용현, 남상운, 조용백. 1990. 플라스틱 온실의 효율적 이용에 관한 연구. 서울대 농업개발연구소. pp.31-124.
2. 권영삼. 1997. 난방에너지 절감 기술과 대응방안. 시설원예연구 10(1) : 1-17.
3. 김문기 외. 1997. 원예시설의 환경설계기준 작성연구. 농어촌진흥공사. pp.347.
4. 농촌진흥청. 1998. 에너지 절약형 시설농업기술. 농림수산정보센터.
5. 이용범. 1997. 보온력 향상기술의 국내현황과 개발방향. 시설원예연구 10(1) : 39-55.
6. 편집부. 1991. 시설원예핸드북. 한국원예기술정보센터. pp.198-281.