

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
에너지 절감 시설재배 기술개발		화훼	'10~'12	농업기술원 원예산업연구과	이상덕
복합온실환경에너지관리 시스템 연구		화훼	'10~'11	농업기술원 원예산업연구과	이상덕
복합온실환경에너지관리 시스템의 현장실증 접목연구		화훼	'11~'12	농업기술원 원예산업연구과	이상덕
색인용어	난방, 복합환경제어, 관행제어, 에너지절감				

ABSTRACT

The objective of this study was to achieve both environmental control and energy management through comprehensive environment energy management system which utilizes greenhouse indoor thermal energy, exhaust gas thermal energy and lighting energy, and to evaluate the energy saving effects and the flower growth improvement effects. Even hot season in summer, it was possible to supply carbon dioxide via cooling system. The concentration of carbon dioxide was ranged from 1100 to 1400 ppm in 7:30 a.m. through 11 a.m. Energy cost resulted in saving by 45% in comprehensive environment-energy management system.

The number of shoots and flowers of pot rose in the environment energy management greenhouse were 0.5~3.0 and 1.6~6.7 more than that in the conventional greenhouse, respectively. This results was demonstrated via field test 2012. Temperature and humidity were higher in the environmental energy management(EEM) greenhouse. Controlling by environment energy management greenhouse gave 28.3% energy saving effect from March 12th to March 26th. Blooming time of cymbidium was shorten 16 days by EEM when compared to that of conventional greenhouse (Jan. 24th).

Key words : comprehensive environment-energy management system, rose, cymbidium

1. 연구목표

최근 국제 유가 상승으로 시설원에 농가의 수익 악화는 갈수록 심해지고 있다. 시설원에 농가가 경쟁력을 가지려면 에너지 절감기술이 필수적으로 그동안 시설원예의 에너지절감 연구는 난방을 위한 열원, 난방방법 등의 연구가 진행되었다(김영중 등, 2000, 장금춘 등, 2009).

우리나라의 평균적인 태양광 복사에너지는 평방미터당 하루에 2,000kcal 이상이 지면에 도달한다. 이러한 복사에너지 때문에 유리온실이나 비닐하우스에서는 겨울철에도 맑은 날씨에는 내부온도가 30℃ 이상의 고온이다. 온실 내부의 공기는 온도차에 따른 공기밀도의 변화로 인하여 뜨거운 공기는 상층부로 모이기 때문에 시설내 상층부의 열을 회수하여 활용한다면 유용한 에너지원이 될 수 있다.

본 연구는 에너지 절감 및 신재생에너지 활용에 대한 기술개발 내용으로 에너지의 열원인 온실내 공기열에너지, LPG CO₂ 발생기의 배기열에너지, 보광장치의 열에너지를 이용하여 난방에너지 절감과 시설내 환경을 복합적으로 제어할 수 있는 시스템을 개발하고, 농가 현장에서 실증하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 복합온실환경에너지관리 시스템 연구

본 연구는 2010 ~ 2011년 경기도농업기술원(화성시) 와이드스판 유리온실에서 수행하였다. 농가에서 가장 많이 사용하고 있는 관행제어방식은 경유보일러난방, CO₂ 무공급, 무보광, 타이머에 의한 환경제어 처리와 복합 환경 에너지제어방식은 공기열교환시스템, LPG 난방겸용 이산화탄소공급, 보광장치, 온실환경제어시스템 등 통합환경에너지관리시스템 처리를 설치하여 연구를 수행하였다. 에너지관리 프로그램은 에너지 현황을 실시간으로 확인할 수 있는 화면, 에너지 사용량 조회 화면, 제어장치 설정 화면, 카메라 감시 화면, 환경기록 조회 화면, CO₂발생기 운영상황 조회, 히트펌프시스템 운영상황 및 성능분석, USN 센서 계측값 조회 등이 가능하도록 하였다

공기열교환시스템은 시설내 상층부의 잉여 공기열에너지를 회수하고 히트펌프를 이용하여 온실의 난방에너지로 활용하는 시스템으로 열의 회수는 저온 물탱크의 물을 온실안에 설치된 Fan coil unit를 통하여 순환시켰다. 잉여 공기열에너지에서 부족한 열원은 지하수열 및 경유보일러를 설치하였다.

LPG 난방겸용 이산화탄소공급 장치는 오전 7시~10시에 1300ppm 농도로 공급하였으며, 이산화탄소 공급시간에 배기열을 저온 물탱크를 이용하여 회수할 수 있도록 하였다.

보광장치는 250W 고압나트륨등을 설치하여 밤 10시부터 익일 새벽 5시까지 보광하였다.

에너지를 회수, 저장, 공급해줄 수 있는 히트펌프시스템 및 배기열 회수식 이산화탄소 발생기, 보광등에서 발생하는 에너지를 열원으로 구성하였다. 또한 각각의 장치들을 효율적으로 운영하기 위해서 에너지관리시스템과 원격제어시스템을 설치하였으며, 대조는

경유보일러를 이용한 관행방식을 처리하였다.

시험작물은 분화장미(*Rosa hybrida*) 칼리브라, 알로하, 핫키스, 바닐라, 스마일, 키스 등 6품종을 10cm 포트에 2010년 4월 1일과 9월 25일에 정식하여 재배하면서 시험을 수행하였고 생육상황은 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준에 준하여 실시하였다.

나. 복합온실환경에너지관리 시스템의 현장실증 접목연구

2011 ~ 2012년 경기도 화성시 우정읍 1-2W형 비닐하우스에서 시험을 수행하였다.

현장실증 접목연구의 재료 및 방법은 복합온실환경에너지관리 시스템 연구에 준하여 실시하였다. 시험작물 심비디움(*Cymbidium hybrida*)을 18cm 화분에 2011년 6월 10일에 정식하여 재배하면서 시험을 수행하였고 생육상황은 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준에 준하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 복합온실환경에너지관리 시스템 연구

봄철과 여름철의 환경제어 결과는 그림1, 2와 같다. 봄철인 2011년 4월 23일의 환경제어 결과를 보면(그림 1) 오전 7시부터 CO₂ 농도는 상승하기 시작하였다. 태양광 복사 에너지에 의해서 오전 9시 30분 경 온실의 온도는 25℃를 초과하여 공기열 회수(냉방)가 시작되었다. 따라서 오전 9시 30분에서 11시까지 온실의 온도는 25 ~ 26℃를 유지하는 것이 확인되었다. 공기열 회수로 인하여 온실의 밀폐 상태가 유지되기 때문에 CO₂ 농도는 오전 7시30분에서 11시까지 1,100 ~ 1,400 ppm으로 유지되었다.

여름철인 2011년 7월 31일의 경우(그림 2) 오전 7시경 이미 외기 온도가 27℃를 초과하기 때문에 기존 방식에서는 이산화탄소 공급이 어렵지만 본 시스템을 이용하여 공기열 회수를 통하여 온실의 온도를 26 ~ 27℃를 유지하였고 온실의 밀폐상태가 유지되었다. 따라서 외기 온도가 30℃까지 상승하는 기상 상태에서도 1,200 ~ 1,400 ppm의 고농도 CO₂ 농도를 유지할 수 있었다.

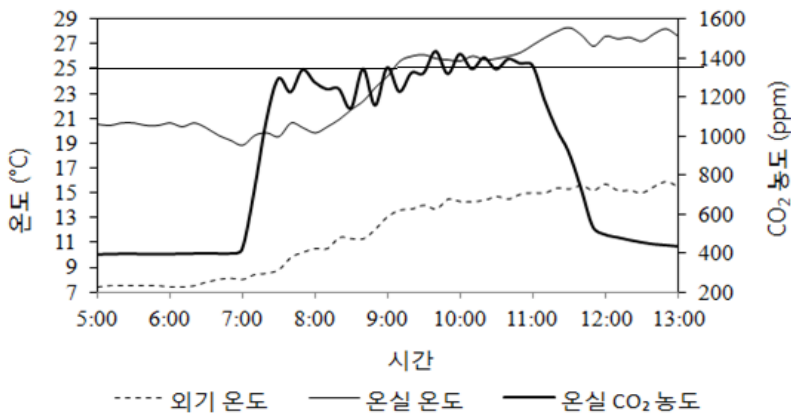
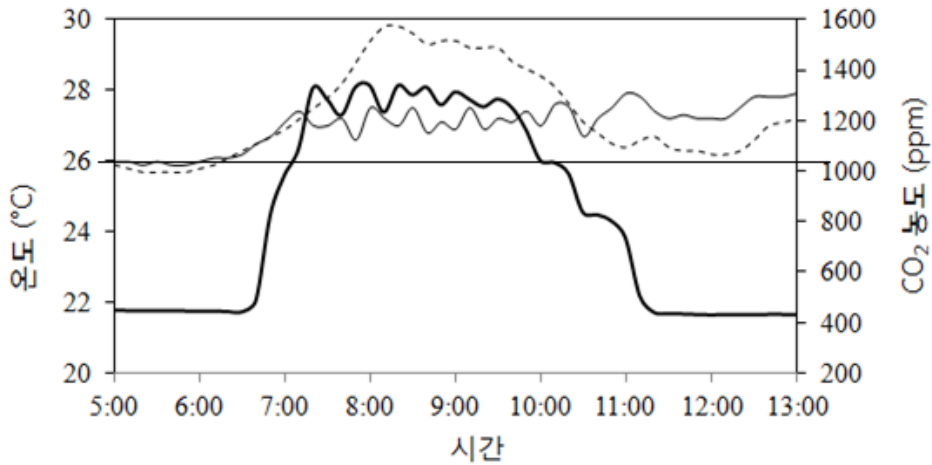


그림 1. 봄철 이산화탄소 공급 시 환경 변화 (2011년 4월 23일)



----- 외기 온도 — 온실 온도 — 온실 CO₂ 농도
 그림 2. 여름철 이산화탄소 공급 시 환경 변화 (2011년 7월 31일)

에너지관리 프로그램(그림 3)에서는 전기사용량, 열량, LPG량 등의 에너지 사용량을 실시간으로 확인할 수 있고, 동시에 에너지 사용량을 비용으로 환산하여 보여 준다. 조회는 일별, 시간별로 과거 자료를 조회하여 보여줄 수 있다. Excel 파일로 다운로드 할 수 있는 기능을 구현해 놓았기 때문에 분석된 에너지 사용량 자료를 쉽게 저장할 수 있다.

		에너지 사용량										열량 (kcal)					비용 (원)				
		전력량 (kWh)					LPG (kg)	열회수 공급					전기								
No.	날짜	히트 펌프	보광	지하수	펌프/팬	기타	CO ₂ 기	냉방/열회수	난방/열회수	CO ₂ 열회수	지하수 열회수	히트 펌프	보광	지하수	펌프/팬	기타	합계	LPG	합계	총비용	
1	2011-02-18 00	0.84	5.64	0.00	0.23	0.02	0.00	0	5781	13	0	30.6	148.3	0.0	8.4	0.7	188.0	0.0	188.0		
2	2011-02-18 01	0.88	5.72	0.00	0.30	0.01	0.00	427	6716	0	0	32.0	150.4	0.0	10.9	0.4	193.8	0.0	193.8		
3	2011-02-18 02	0.94	5.70	0.00	0.26	0.02	0.00	-0	6755	0	0	34.2	149.9	0.0	9.5	0.7	194.3	0.0	194.3		
4	2011-02-18 03	1.02	5.65	0.00	0.31	0.01	0.00	-24	6266	0	0	37.1	148.6	0.0	11.3	0.4	197.4	0.0	197.4		
5	2011-02-18 04	1.62	5.62	0.00	0.35	0.02	0.00	-0	6055	0	0	59.0	147.8	0.0	12.7	0.7	220.2	0.0	220.2		
6	2011-02-18 05	3.16	5.64	0.00	0.36	0.01	0.00	-0	7349	-172	0	115.0	148.3	0.0	13.1	0.4	276.8	0.0	276.8		
7	2011-02-18 06	5.99	0.22	9.65	0.51	0.02	0.00	-0	9967	1	8050	218.0	5.8	351.3	18.6	0.7	594.4	0.0	594.4		
8	2011-02-18 07	2.41	0.00	12.02	0.59	0.16	0.35	-0	11617	1761	10027	87.7	0.0	437.5	21.5	5.8	552.6	668.7	1221.3		
9	2011-02-18 08	5.09	0.00	11.64	0.64	0.33	0.77	-0	13557	5496	9710	185.3	0.0	423.7	23.3	12.0	644.3	1455.5	2099.8		
10	2011-02-18 09	3.87	0.00	11.86	0.23	0.27	0.54	-0	4178	3752	9894	140.9	0.0	431.7	8.4	9.8	590.8	1022.8	1613.5		
11	2011-02-18 10	5.32	0.00	11.86	0.03	0.29	0.56	-0	4443	9894	193.6	0.0	431.7	1.1	10.6	637.0	1062.1	1699.1			
12	2011-02-18 11	6.94	0.00	11.95	0.07	0.20	0.37	186	0	3191	9969	252.6	0.0	435.0	2.5	7.3	697.4	708.1	1405.5		
13	2011-02-18 12	5.92	0.00	11.82	1.30	0.02	0.00	10521	0	33	9860	215.5	0.0	430.2	47.3	0.7	693.8	0.0	693.8		
14	2011-02-18 13	7.18	0.00	1.61	1.45	0.01	0.00	11960	0	0	1343	261.4	0.0	58.6	52.8	0.4	373.1	0.0	373.1		
합계		51.18	34.19	82.41	6.63	1.39	2.59	23070	78241	18518	68746	1863.0	899.2	2999.7	241.3	50.6	6053.8	4917.2	10971.0		

그림 3. 에너지 통합 관리 프로그램 (에너지 사용량)

경제성 분석은 사용한 전력량(장치 운영 및 보광), LPG, 경유 사용량의 비용을 환산하여 관행제어 온실과 비교분석 하였다. 표 1은 겨울철 복합환경제어 온실과 관행제어 온실의 에너지 사용량과 비교분석 한 것으로 복합환경제어 온실에서 주로 전기를 소모하였고 관행제어 온실에서는 경유를 주로 소모하였다. 비용으로 환산할 경우 복합환경제어 온실의 경우가 관행제어 온실에 비하여 11월 64.9%, 12월 37.5%, 1월 43.0%, 2월 33.7%, 3월 47.1%, 4월 43.2%가 절감되어 겨울철 전체 비용 절감율은 45.0% 이었다. 1월에 비용 절감 효과가 컸던 것은 난방량이 많아짐에 따라서 대조 온실의 경유 사용량 증가에 따른 것이고 3월에 비용 절감 효과가 큰 것은 복합환경에너지관리 시스템의 효율이 크게 증가하는 기상 조건에 따른 것으로 판단된다.

겨울철 일별 에너지 비용 절감율 분석에 대한 결과는 그림 4와 같다. 에너지 비용 절감율은 기상 조건에 따라서 30 ~ 50% 수준에서 비용 절감 효과가 있었다.

표 1. 에너지 사용량 비용분석

연.월	복합환경제어				관행제어			비용 절감율 (%)
	전력량 (kWh)	보광 (kWh)	LPG (kg)	비용 (원)	전력량 (kWh)	경유 (L)	비용 (원)	
2010.11	867.2	1420.9	53.5	170,584	106.7	508.0	486,484	64.9
2010.12	5598.9	1424.3	78.1	389,649	168.3	649.6	623,231	37.5
2011. 1	8595.3	1278.7	89.0	515,596	220.3	943.2	904,059	43.0
2011. 2	3921.4	1254.7	72.3	313,104	163.4	491.0	472,398	33.7
2011. 3	2958.9	1394.1	80.6	297,513	171.8	585.6	562,574	47.1
2011. 4	1710.8	1303.4	66.6	223,090	85.5	409.9	392,517	43.2

* 년 평균 45% 에너지절감

* 산출근거

전력량 : 36.4원/kWh(농사용 병), LPG : 1900원/kg, 경유 : 950원/L (면세유)

전력량(보광) : 26.3원/kWh(농사용을)

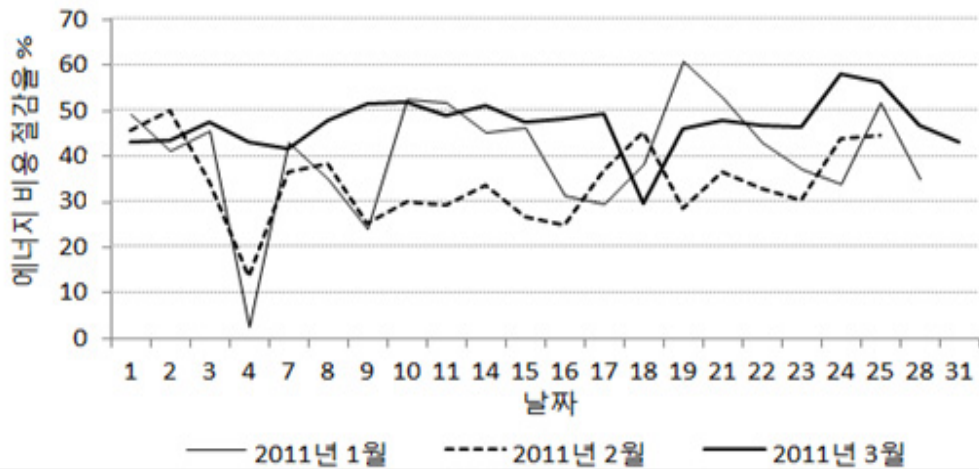


그림 4. 저온기에너지 비용 절감효과

분화장미 생육(표2)은 복합환경제어 온실의 경우 관행제어 온실의 경우 보다 신초수는 0.5 - 3.0 개 많았으며, 꽃수는 1.4 - 6.7 개가 많아 상품성이 우수하였다. 또한 복합환경제어 온실에서 생체중과 건물중이 더 높았다.

표 2. 분화장미 생육성적

품종	처리구	신초수	꽃수 (개/분)	생체중 (g/분)			건물중 (g/분)		
				계	지상부	지하부	계	지상부	지하부
칼리브라	복합환경	8.1a	6.6a	24.5	20.7	3.8	6.5	5.5	1.0
	관행제어	6.9b	5.2a	14.8	12.0	2.8	4.5	3.6	0.9
알로하	복합환경	9.2a	6.6a	22.5	20.6	1.9	5.8	5.1	0.7
	관행제어	7.3b	4.2b	17.1	14.6	2.5	4.9	4.1	0.8
햇키스	복합환경	6.9a	6.1a	26.2	22.5	3.7	7.1	5.8	1.3
	관행제어	6.3a	2.9b	16.3	12.6	3.7	4.9	3.7	1.2
바닐라	복합환경	7.8a	6.7a	24.9	21.9	3.0	6.6	5.7	0.9
	관행제어	7.3a	3.4b	14.1	11.5	2.6	4.1	3.4	0.7
스마일	복합환경	7.8a	10.6a	46.9	39.2	7.7	11.7	9.4	2.3
	관행제어	5.2b	5.6b	36.9	31.0	5.9	9.5	7.4	2.1
키스	복합환경	6.7a	10.4a	52.5	44.2	8.3	14.1	11.2	2.9
	관행제어	3.7b	3.7b	37.2	30.1	7.1	10.1	7.4	2.7

DMRT at 5% level

나. 복합온실환경에너지관리 시스템의 현장실증 접목연구

복합환경제어 온실과 관행제어 온실의 온도와 습도의 변화는 그림 6과 같다. 야간 온도가 15 ~ 16℃에서 조절 되었는데 관행제어가 다소 낮았다. 주간에는 온도가 올라갈 경우 복합환경제어 온실의 경우 온실 내부 열에너지를 FCU를 이용하여 회수하였기 때문에 창이 열리지 않았던 반면에 관행제어 온실의 경우 환기를 통하여 온도가 낮아졌다. 따라서 습도는 복합환경제어에서 50% 이상을 유지할 수 있었으나 관행제어에서는 40% 수준까지 떨어졌다. 따라서 복합환경제어를 수행한 온실에서 식물 생육에 더 적합한 환경에 조성되었다고 평가된다.

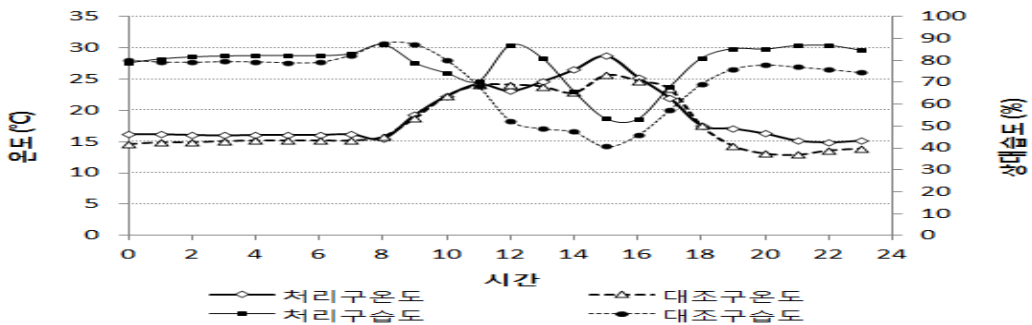


그림 5. 복합환경제어 온실과 관행제어 온실의 환경제어 결과 비교 (2012년 3월 17일)

2012년 3월 12일부터 26일까지의 일별 에너지 사용량을 확인해 보면 표 3과 같다. 복합환경제어 온실에서 사용하는 에너지는 전기와 LPG이고 관행제어 온실에서 사용하는 에너지원은 경유와 전기이다. 일별 비용은 복합환경제어 온실의 경우 15,000 ~ 24,000 원으로 산출되었고, 관행제어 온실의 경우 16,000 ~ 43,000 원으로 산출되었다. 따라서 복합환경제어에너지관리 기술을 활용할 경우 비용 절감 효과가 최대 44.9%까지 나타나는 것으로 평가되고 평균 비용 절감 효과는 28.3%이었다.

표 3. 복합환경제어 온실과 관행제어 온실의 에너지 사용량 현장 평가

날 짜	복합환경제어			관행제어			비용절감(%)
	전기 (kWh)	LPG (kg)	비용 (원)	경유 (L)	전기 (kWh)	비용 (원)	
2012-03-12	369.1	2.1	15948	9.4	468.0	21276	25.0
2012-03-13	251.6	3.8	14939	8.4	468.0	20296	26.4
2012-03-15	267.1	7.5	22646	7.4	469.1	19344	-17.1
2012-03-17	254.1	3.2	13851	4.7	468.0	16777	17.4
2012-03-18	223.1	7.8	21616	21.4	468.0	32670	33.8
2012-03-19	255.8	7.8	22808	22.2	468.0	33381	31.7
2012-03-20	253.3	7.1	21346	26.3	468.0	37319	42.8
2012-03-21	262.3	7.1	21711	6.4	468.0	18428	-17.8
2012-03-23	248.7	7.9	22658	30.3	469.1	41138	44.9
2012-03-24	270.8	7.9	23466	17.6	468.0	29024	19.2
2012-03-25	289.3	7.9	24064	32.4	468.0	43131	44.2
2012-03-26	287.9	7.6	23477	22.6	469.1	33816	30.6
합계	3230	77.7	24858	209.3	56191	34600	28.3

생육 결과(표 4)는 복합환경제어 온실에서 초장이 69.2 cm, 엽수가 9.6개, 꽃수는 38.9개 였고, 개화율은 30.7%이었으며, 관행제어 온실에서는 초장이 68.7 cm, 엽수가 9.1개, 꽃수가 41.3개 였고 개화율은 37.3%로 생육의 차이는 거의 없었으나 개화기는 복합환경제어에서 16일 단축 되었다.

표 4. 심비디움 생육 결과

구분	초장 (cm)	엽수 (매)	벌브폭 (mm)	벌브높이 (mm)	꽃대수 (개)	꽃 수 (개)	개화기 (년.월.일)	비 고
복합환경에너지 제어방식	69.2	9.6	37.6	9.4	3.8	38.9	'12. 1. 8.	조사일 '12. 1. 9.
관행제어방식	68.7	9.1	36.1	8.0	3.7	41.3	'12. 1.24.	조사일 '12. 1.29.

4. 적 요

에너지 절감을 위하여 에너지의 열원을 온실내 공기열에너지, LPG CO₂ 발생기의 배기열에너지, 보광장치의 열에너지를 이용한 난방비 절감 및 환경제어를 복합적으로 제어할 수 있는 시스템 연구 및 현장실증 연구 결과는 다음과 같다.

가. 복합온실환경에너지관리 시스템 연구

- CO₂ 농도는 오전 7시 30분부터 11시까지 1,100ppm~1,400ppm 수준이었으며, 여름철 고온기에도 냉방에 의한 CO₂ 공급이 가능하였다.
- 에너지관리 프로그램은 전기사용량, 열량, LPG사용량 등을 실시간으로 확인할 수 있고, 에너지 사용량을 비용으로 환산할 수 있다.
- 에너지 비용은 관행제어에 비하여 복합환경제어에서 년 평균 45% 절감되었다.
- 분화장미 생육은 복합환경제어에서 신초수는 0.5~3.0개가 많았으며, 꽃수는 1.4~6.7개가 많아 상품성이 우수하였다.

나. 복합온실환경에너지관리 시스템의 현장실증 접목연구

- 온도는 복합환경제어에서 관행제어에 비하여 다소 높았으며, 습도는 복합환경 제어에서 50%이상 유지하였으나, 관행제어에서는 40% 수준까지 낮아졌다.
- 2012년 3월 12일부터 3월 26일까지 에너지 비용은 복합환경제어에서 관행제어에 비하여 28.3% 절감 되었다.
- 심비디움 개화기는 복합환경제어에서 1월 8일로 관행제어 1월 24일에 비하여 16일 단축 되었다.

5. 인용문헌

강금춘, 강연구, 유영선, 김영중, 이시영, 백이. 2009. 온풍난방기의 열효율 증대를 위한 열교환기 구조개선. 바이오시스템공학 34(5): 363-370.

김영중, 유영선, 장진택, 강금춘, 이건중, 신정웅. 2000. 온풍난방기의 배기열을 이용한 지중 난방용 온수공급시스템의 열회수특성. 한국농업기계학회지 25(3): 221-226.

6. 연구결과 활용제목

- 복합온실환경에너지관리시스템을 이용한 에너지절감 및 상품성향상 효과('11년 영농활용)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도
						'10~'12
복합온실환경에너지관리시스템 연구및현장실증 접목연구	책임자	농업기술원 원예산업연구과	농업연구관	이상덕	세부과제총괄	○
	공동연구자	"	농업연구사	이상우	자료조사	○
		"	농업연구사	심상연	자료조사	○
		"	농업연구관	김성기	시험자문	○
		"	무기직	백미영	시험보조	○
	서울대	교수	이중용	시험자문	○	