

## CFD 시뮬레이션을 이용한 시설원예단지 여름철 외부 열환경 특성 및 개선방안

손진관 · 공민재 · 최덕규 · 강동현 · 박민정 · 윤성욱 · 이승철 · 이시영

농촌진흥청 국립농업과학원

## A Characteristics and Improvement of Thermal Environment in Summer of Protected Horticulture Complex Using CFD Simulation

Son, Jin-Kwan · Kong, Min-Jae · Choi, Deuggyu · Kang, Dong-Hyeon · Park, Min-Jung

Yun, Sung-Wook · Lee, Seungchul · Lee, Si-Young

National Institute of Agricultural Sciences, RDA

**CDUVICEV** : Agricultural or rural landscape provides various ecosystem services. However, the ecosystem services function is declining due to various environmental problems such as climate change, land use change, stream intensification, non-point pollution and garbage. The AIB scenario predicts that the mean air temperature of South Korea will rise 3.8°C degrees celsius in 2100. Agricultural sector is very vulnerable to climate change, so it must be thoroughly predicted and managed. In Korea, the facility horticulture complex is 54,051ha in 2016 and is the 3rd largest in the world(MAFRA, 2014). Facilities of horticultural complexes are reported to cause problems such as groundwater decrease, vegetation and insects diversity reduction, landscapes damage and garbage increase, compared with the existing land use paddy fields. Heat island phenomenon associated with climate change is also accelerated by the high heat absorption of horticultural sites. Therefore, we analyzed the heat island phenomenon occurring in the facility of horticultural complex in Korea. As an improvement measurement, I examined how much air temperature is reduced by putting the channel and the open space. In the case of the Buyeo area, the Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation was analyzed for the average summer temperature distribution in the current land use mode at 38.9°C. As an improvement measurement, CFD simulation after 10% of 6m water channel was found to have an effect of lowering the summer temperature of about 2.7°C compared with the present average of 36.2°C. In addition, CFD simulations after analyzing 10% of the open space were analyzed at 34.7°C, which is 4.2°C lower than the present. For the Jinju area, CFD simulations were analyzed for the average temperature of summer at 37.8°C in the present land use pattern. As an improvement measure, CFD simulations after 10% of 6m water channel were found to have an effect of lowering the summer temperature of about 2.6°C compared to the current average of 35.2°C. In addition, CFD simulations after analyzing 10% of the open space were analyzed at 33.9°C, which is 3.9°C lower than the present. It can be said that the effect of summer temperature drop in open space and waterway has been proven. The results of this study are expected to be reflected in sustainable agriculture land use and used as basic data for government - level policy in land use planning for climate change.

**Mg!** **yqtfu** : Agricultural Landscape, Climate Regulation, Computational Fluid Dynamics(CFD),Ecosystem Service, Heat Island.

### I. 서 론

농업, 농촌 경관은 기후완화, 지하수함양, 생물다양성,

작물생산 등 다양한 생태계서비스를 제공하는 공간으로 평가되어 지속가능한 농업 및 농업생태계에 대한 유지, 보전에 대한 중요성이 부각되고 있다(Kim et al., 2003; Lee et al., 2003; A.G. Power, 2010; Kong et al., 2013; TEEB, 2016). 더불어 최근 국민에 인기를 얻고 있는 웰빙, 안전 먹거리 등의 영향으로 친환경농업에 대한 관심

Corresponding Author : Lee, Siyoung

Tel: 82-63-238-4090

E-mail: leesy42@korea.kr

이 고조되어 농림축산물 생산 시 천연자원의 오염 및 투입자재 관리를 통해 안정성, 소득성과 더불어 자연생태계의 보존에도 기여 하는 형태로 인식이 전환되고 있다(Choi, 2005). 하지만, 기후변화 등 다양한 환경문제로 인해 농업, 농촌이 가지는 자연생태계는 더욱 중요하게 보존되어야 하지만, 최근의 농업, 농촌경관은 무분별한 토지이용 변경, 하천의 직강화, 비점오염, 쓰레기 등 다양한 문제점이 제기되고 있어(Heo et al., 2001; Wang et al., 2009), 농업, 농촌경관은 기후변화에 대비한 다양한 환경보전 등에 대한 연구가 필요한 실정이다.

한편, NIMR(2009)에서 A1B 시나리오를 기준으로 한반도의 기후변화를 예측한 결과 20세기말 (1971~2000) 대비 21세기말 (2071~2100)의 기온변화는 한반도 전 지역에 대하여 4°C 상승하고 남한 내륙지역에서는 3.8°C 상승할 것으로 전망하고 있다(Kim et al., 2013). 기후변화에 매우 취약한 농업부문은 기상조건과 밀접하게 연결되어 있어 온난화와 이상기상 등으로 인해 작물생육 환경에 변화를 가져올 것으로 예상된다(KREI, 2015). 기후변화는 고온이나 저온 등 생산 환경 변화로 농업의 파종 시기(planting times), 개화조건(vernalization requirement), 관개량 및 시기(amounts and timing of irrigation), 비료구성비(fertilizerrate), 수확기(timing of cropping activities) 등에 영향을 주며(Howden et al., 2007), 작물과 가축의 생산성 저하, 가뭄, 폭설과 같은 기상재해 피해, 병해충 발생 증가로 인한 손실을 야기한다(KREI, 2009; KREI, 2015). 실제로 기후변화로 인해 기온 상승 폭이 2°C를 넘어서면 농업의 곡물 생산량이 크게 감소할 것이라는 연구결과가 있으며(Challinor et al., 2014), 생태계에서는 육상 및 담수 종의 멸종위험 증가될 것이라는 전망이 있다(KREI, 2015).

우리나라는 2010년 4월부터 시행된 저탄소 녹색성장 기본법(Low carbon green growth act) 48조에 따른 기후변화 영향평가 및 적응대책의 추진에 따라 국가차원의 기후변화 영향 및 취약성 평가, 그에 따른 적응대책 수립 및 시행은 필수적이며(OPM 2017), 농업·농촌 및 식품산업기본법(The organic law about agriculture, farming village & food industry) 47조의 2의 기후변화 영향평가 등 및 동법 시행규칙 5조의 영향 및 취약성평가 등의 내용 및 방법 등에 의해 농업분야에서도 기후변화에 대한 영향 및 실태조사는 법적 필수 부분임이 근거로 마련되어 있다(MAFRA, 2017a).

우리나라 농업경관의 변화 중 시설원예단지 조성은 1971년 767ha로 시작하여 2016년 기준 54,051ha가 조성되어 농업 소득에 큰 비중을 차지하고 있지만(MAFRA, 2017b; MAFRA, 2017c), 기존의 토지이용인 논이 생태계

서비스 기능에 긍정적 역할을 수행한 반면 시설원예단지는 지하수(Kong et al., 2017), 식생(Son et al., 2016), 곤충(Son et al., 2016), 경관(Kong et al., 2017), 쓰레기(MOE, 2012) 등에 문제를 야기 시키는 것으로 보고되고 있다.

기후변화와 관련 된 기후순화 즉 여름철 열섬현상 또한 시설원예단지 조성 이전의 토지이용인 논이 경우 탄소를 흡수하고 대기를 조절하는 순기능을 발휘하지만(Seo, 2005), 시설원예단지 조성은 해당지역의 열을 흡수하고 정체시켜 온실효과를 높이는 부정적인 공간이 될 수 있다. 이러한 이유로 시설원예농업의 경우 6~8월 고온시기에 냉방을 실시하여 작물을 재배하는 것을 경제적으로 부담스러워 하며(Arbel et al., 1999; Kitta et al., 2003; Choi et al., 2015), 냉방을 하지 않는 조건에서의 작물생산 시 농산물이 고온장해를 입어 품질에 문제가 발생하는 것이 현실이다(Choi et al., 2000; Choi et al., 2004). 여름철 높은 온도로 형성되는 시설원예단지의 온도를 조금이나마 저감시킬 수 있다면 재배 작물 생산에 다소 효과적일 수 있다고 판단된다.

이와 같이, 온실 조성에 있어 겨울철 혹한과 여름철 혹서에 의한 냉난방 부하는 가장 중요한 온실 조성 요건 중 하나로 알려져 있으며(Kang et al. 2015), 작물별로 상이하지만 통상적 시설원예작물의 생육 적정온도는 21~28°C로 30°C 이상일 때 냉방 부하가 발생하는 것으로 알려져 있다(Nicolas, 2013; Kang et al., 2016). 이러한 이유로 Kang et al.(2015)의 연구에서는 여름철 온도가 낮은 지역을 온실 조성 조건 중 중요한 조건으로 선정하였으며, 실제로 기온이 1°C 상승하면 한국농가의 농업 총 수익은 ha당 260-400만원이 감소한다는 평가결과가 있다(Kim et al., 2008). 여름철 열섬 발생은 냉방을 실시해야 하므로 농가소득에 직접적으로 부담을 주며, 에너지를 사용하게 되므로 저탄소 녹색성장과도 다소 거리가 멀어질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 시설원예단지 중 가장 큰 비중을 차지하는 비닐온실을 대상으로 여름철 열섬발생 특성을 분석하고 이에 대한 개선방안을 알아보하고자 하였다. 연구를 통해 시설원예활동이 외부 열환경에 미치는 영향 정도를 분석함으로써 여름철 냉방 에너지 사용 저감을 통한 지속가능 농업에 기여하고자 하였다. 또한 본 연구에서 제시된 개선점은 미래 시설원예단지 개발 사업에 반영될 수 있는 정책 입안 및 예산편성의 기초자료로 활용 할 수 있을 것으로 기대한다. 이러한 연구를 통해 농업생태계에서 시설원예단지 조성에 따른 생태계서비스 가치가 저하되지 않고 보전, 향상되는데 기여하고자 한다.

## II. 연구방법

### 2.1 연구대상지 및 기상자료 수집

시설원예 재배시설은 MAFRA(2017)에 따라 시설원예 단지 중 가장 많은 비율을 차지하고 있는 비닐온실 단지를 대상으로 실시하였다. 비닐하우스단지는 Table 1과 Figure 1에 표시한 바와 같이 충남 부여군 세도면에 위치한 토마토 재배단지과 경남 진주시 대곡면 덕곡리 약 80ha 규모로 대상지를 선정하였다.

Table 1. The present conditions at 8 study sites.

Site		Buyeo	Jinju
Type		Vinly Greenhouse	Vinly Greenhouse
Location		Chungnam Buyeo	Gyeongnam Jinju
Size	Total (m <sup>2</sup> )	794159.6	812709.7
	Impervious (m <sup>2</sup> )	493508.5	437058.8
	Impervious (%)	62.1	53.8

연구대상지가 속한 지역의 열섬 및 온난화 특성을 분석하기 위해 연구대상지 주변인 부여와 진주 지역 기상 관측소를 참조로 최근 30년간(1981~2010년)간 기상자료를 분석하였다. 관측된 기상자료 중 평균 온도는 진주가 1월 -1.9℃, 2월 0.4℃, 3월 5.3℃, 4월 11.7℃, 5월 17.3℃, 6월 21.5℃, 7월 25.1℃, 8월 25.7℃, 9월 21.0℃, 10월 15.5℃, 11월 7.7℃, 12월 2.0℃로 30년간 연평균 전체 13.1℃ 로 분석되었다. 부여는 1월 -0.1℃, 2월 2.1℃, 3월 6.8℃, 4월 12.8℃, 5월 17.6℃, 6월 21.9℃, 7월 25.



Buyeo - Vinyl Greenhouse



Jinju - Vinyl Greenhouse

Figure 1. The map of study sites.

0℃, 8월 25.5℃, 9월 20.4℃, 10월 13.5℃, 11월 6.6℃, 12월 0.5℃로 30년간 연평균 전체 12.2℃ 로 분석되었다. 연중 최고기온의 평균은 작물생육 적정온도가 21~

Table 2. The weather data of Buyeo and Jinju district(1981-2010).

Month	Buyeo						Jinju					
	Temperature (℃)			Rainfall (mm)	Wind velocity (m/s)	Humidity (%)	Temperature (℃)			Rainfall (mm)	Wind velocity (m/s)	Humidity (%)
	Mean	Max.	Min.				Mean	Max.	Min.			
Jan.	-1.9	3.9	-7.0	28.8	1.0	73.0	-0.1	6.6	-5.8	32.9	1.9	62.4
Feb.	0.4	6.8	-5.0	34.1	1.2	69.0	2.1	9.0	-3.9	43.0	2.1	61.8
Mar.	5.3	12.2	-0.7	56.1	1.4	66.9	6.8	13.7	0.4	72.1	2.2	62.9
Apr.	11.7	19.2	4.8	76.1	1.4	65.2	12.8	20.0	5.9	118.2	2.1	65.2
May.	17.3	24.1	11.3	99.2	1.4	69.3	17.6	24.1	11.5	122.8	1.9	70.4
Jun.	21.9	27.8	17.0	166.2	1.2	74.2	21.5	27.1	16.8	213	1.8	76.0
Jul.	25.0	29.7	21.5	319.6	1.3	81.1	25.1	29.3	21.7	300.0	2.1	81.8
Aug.	25.5	30.7	21.5	283.0	1.2	79.7	25.7	30.3	21.9	316.9	1.7	81
Sep.	20.4	26.8	15.5	152.3	1.1	77.1	21.0	26.6	16.4	184.5	1.5	78.2
Oct.	13.5	21.3	7.4	53.1	0.9	74.7	14.5	21.9	8.4	45.0	1.3	74.0
Nov.	6.6	13.6	1.0	53.2	1.0	73.9	7.7	15.3	1.6	45.0	1.5	70.8
Dec.	0.5	6.7	-4.5	27.4	1.0	75.1	2.0	9.5	-4.0	19.2	1.6	66.2
Average	12.2	18.6	6.9	1349.2	1.2	73.3	13.1	19.5	7.6	1512.8	1.8	70.9

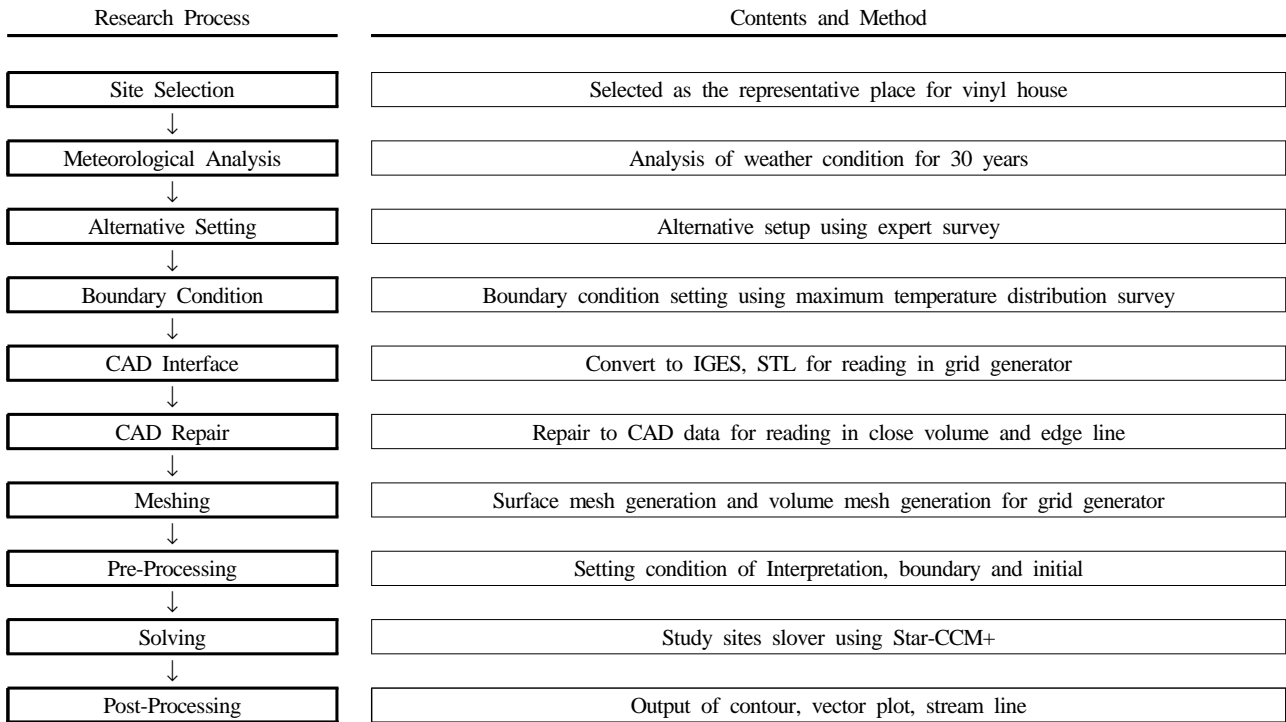


Figure 2. The flow structure of this study

28℃임을 감안할 때(Kang et al., 2016), 6월~9월에 냉방 부하가 발생 할 가능성이 있다. 부여 월간 최고기온의 평균은 6월 27.8℃, 7월 29.7℃, 8월에 30.7℃, 9월 26.8℃ 진주 30.3℃로 분석되었으며, 진주는 6월 27.1℃, 7월 29.3℃, 8월에 30.3℃, 9월 26.6℃로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 여름철 최고온도 발생 시 시설원예단지에서의 열섬발생 특성을 분석하고 온실주변에서 얼마나 온도가 상승하는지 분석하였다. 추가로 Son et al.(2017a)의 선행연구에서 시설원예단지 열섬현상 완화를 위해 전문가들로부터 제시 받은 요소 중 시설원에 단지에 적용 가능 한 수로와 이격공간을 배치하여 열섬완화에 얼마나 영향을 주는지 알아보았다. 30년간 월간 최저기온의 평균은 1월에 부여에서 -7.0℃, 진주 -5.8℃로 관측되었다. 시설원에 자연환기에 필요한 풍속의 경우 (NAAS, 2015b) 30년 연평균 부여 1.2m/s, 진주 1.8m/s로 분석되었다. 풍속의 경우 자연환기가 가능한 정도가 연중 발생한다면 시설원예에 이점이 있으나 최대풍속이 시설의 풍하중을 높일 만큼 발생한다면 시설투자비용이 높아지게 되어 오히려 농가의 부담으로 작용한다(NAAS, 2015a). 따라서 본 연구에서 추진 중인 열섬완화를 위한 수로 발생이 최대풍속을 높일 우려가 없는지 추가연구를 통해 알아 볼 필요가 있다고 판단된다. 같은 맥락으로 시설원예에서 약 5~20% 정도의 에너지 소비를 차지하

는 습도(Montero, 2006; Kittas et al., 2013)와 국지적 호우로 인한 배수설계(Kang et al., 2015; Kang et al., 2016) 등에 본 연구의 대안 인 수로 투입이 얼마나 영향이 있는지 그리고 오히려 역효과가 일어나지 않을지 추가 연구가 필요하다.

## 2.2 CFD 시뮬레이션 분석방법

전산유체역학이란 (Computational Fluid Dynamics : CFD)는 컴퓨터를 이용하여 수치해석이론을 기반으로 복잡한 유체의 특성과 열의 전달 현상을 연구하는 모든 분야를 말하며, 유체의 흐름, 열 전달 및 물질 전달, 화학 반응 등과 같은 물리적 현상들의 지배방정식을 수학적으로 계산하고 해를 구하여 이와 관련된 물리적 현상을 예측하는 학문이다. 즉 CFD란 유체의 유동 현상을 컴퓨터를 이용하여 해석하는 학문으로 방재/풍하중/공조 시뮬레이션(Kim et al., 2010; Cho et al., 2011), 건물 주위 유동해석(바람길, 열섬)(Bretz et al., 1997; Choi and Cho, 2012; Kim et al., 2017), 건물 내 유동해석(Cho and Pang, 2011; Kim et al., 2015), 공장내 환기/연소/매연해석(Kim et al., 2007), 전기집진기/소각로/배연탈황(Lee et al., 2010; Noh et al., 2013, Hwang and Lee, 2014), 환경영향

평가 열 유동해석(Cho et al., 2012), Clean room 설계(Son and Jang, 2012; Kim et al., 2017)등에 활용된다.

Table 3. The setting of boundary condition for the CFD simulation

Site		Buyeo	Jinju
Max. Temperature (°C)		35.01	34.94
Velocity (m/s)		1.2	1.8
Solar Radiation (W/m <sup>2</sup> )		500	480
Cells	X	592	480
	Y	475	339
	Z	27	26
	Total	7,592,400	4,230,720

경계조건은 대상지의 30년간 평균온도 중 8월의 최대 온도 평균인 부여 35.0°C, 진주 34.9°C를 외기온도로 설정하고 풍속은 각각 1.2m/s, 1.8m/s를 적용하였다. 격자구성은 Figure 2와 같이 X, Y, Z로 구분하여 각각 부여 7,592,400 Cell, 진주 4,230,720 Cell로 구성하였다.

본 연구에서는 영국 Imperial college의 A.D. Gosman 교수팀에 의해 개발 되어 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 범용 열.유체 해석 소프트웨어 Star-CCM+(v3.02)를 이용하였다. 연구대상지 외부 열환경의 변화를 예측을 위해 대표적인 연립편미분방정식을 지배방정식으로 채택하고 난류모델은 온열환경평가에서 실용적으로 흔히 적용하고 있는 표준  $\kappa-\epsilon$  model을 사용하였다.

연구의 진행은 선정 된 연구대상지의 기상현황을 분석하고 사전 연구를 통해 얻어진 전문가 조사 결과를 바

탕으로 연구대상지의 열섬완화 방안을 설정하였다. CFD 시뮬레이션 분석을 위해 CAD 도면을 작성하고 수정 한 후 격자 구성을 통해 모델링을 실시하였다. 해석을 위한 초기조건을 설정하여 문제를 분석하고 해석 결과를 출력 하는 순으로 연구를 진행하였다.

### 2.3 연구대상지에 대한 개선방안 설정

시설원예단지의 친환경적 조성을 위한 Son et al.(2017)의 연구에서는 탄소배출 저감을 위한 에너지사용 대책(Air quality regulation)과 대기조절 기능 향상을 위한 열섬완화 방안(Climate regulation)을 위해 녹지공간을 확보하는 방법을 최우선으로 거론하고 시설원예의 친환경 저탄소 운영과 탄소 저감 시설을 설치할 것을 제안 하였다. 녹지공간은 냉각효과와 바람길 등 외부공간의 열 환경을 개선하는 효과가 있으므로 CFD 시뮬레이션과 같은 방법으로 효과를 테스트한 후 계획에 투입 할 필요가 있다(Cho and Ahn, 2006; Seo, 2007; Nam, 2008; Seo, 2009; Kim et al. 2010). 하지만 본 연구대상지의 특성 상 녹지는 그늘을 발생시켜 시설원에 생산작물에 부정적 영향을 준다는 의견이 있었으므로 녹지 조성은 대안에서 제외하였다. 다만 녹지가 열섬완화에 탁월한 기능개선 역할을 한다는 선행연구가 많으므로 시설원예에 영향을 주지 않는 투입을 고려하여 추가 연구를 할 필요가 있다고 판단된다. 선행연구인 Son et al.(2015)와 Son et al.(2017)의 조사결과에서 시설원예단지의 기능 향상 방안으로 지하수, 생물다양성, 강우유출 등 대부분의 기능에 긍정적 영향을 미치는 수공간 창출을 전문가들로부터 제시받았다. 하지만 전문가들도 얼마나 어떻게 투입요소

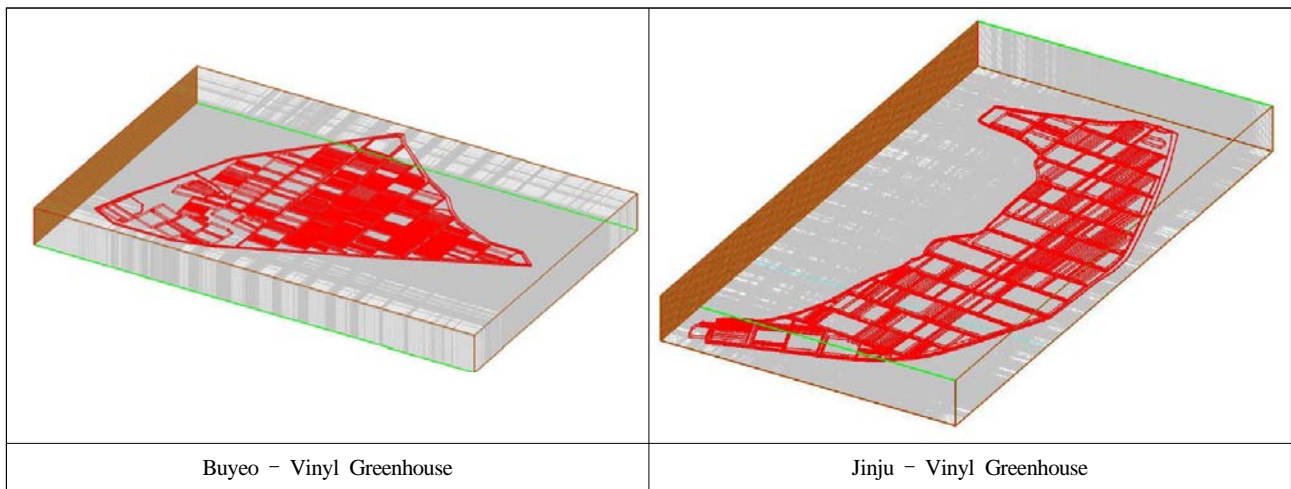


Figure 3. The grid generation for the CFD simulation



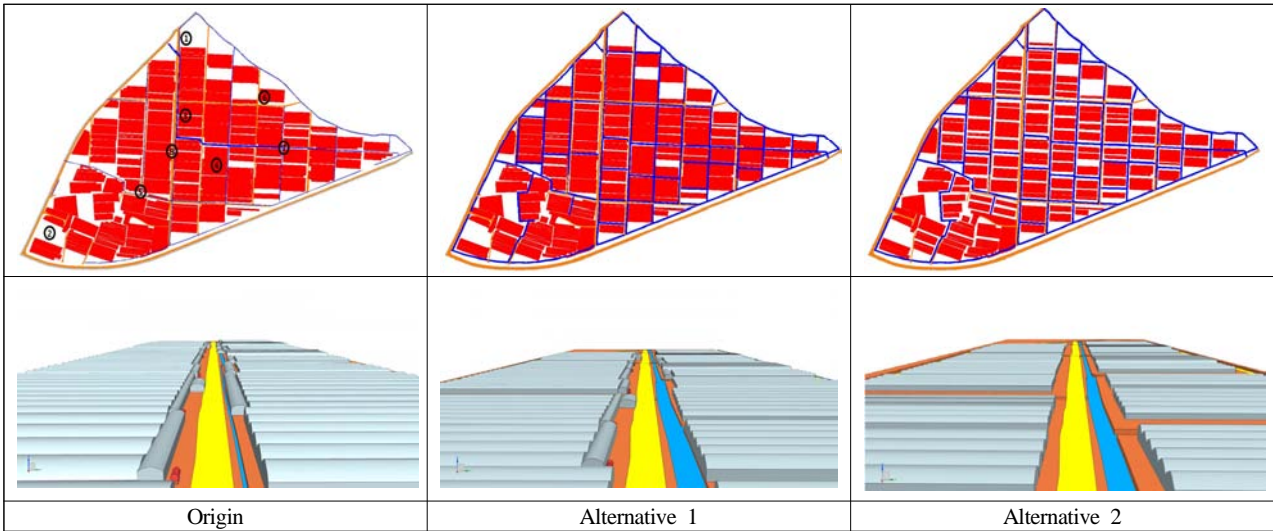


Figure 4. The origin and 2 alternative model of Buyeo site

를 배치해야 할지는 대답을 할 수 없는 부분이 있어 본 연구에서는 기존의 원안과 전체면적을 기준으로 대안 1은 수로를 최대 10%가 되게 하고 대안 2는 대안 1 대비 시설면적을 약 10% 줄이는 방법으로 구성하였다. 따라서 본 연구에서는 열섬완화 방안으로 수공간 확보와 이격거리를 통한 바람 길 확보를 통해 얼마나 온도저감 효과가 있는지 알아보려고 하였다.

연구대상지와 2가지 대안에 대한 모델링은 Table 4., Figure 4, 5에 제시한 바와 같이 먼저 현재 토지이용을 기반으로 원안(Origin)에 대한 모델링을 작성하였다.

부여의 경우 전체면적 794159.6m<sup>2</sup> 중 온실

(Green-house)이 51.7% 인 410837.6m<sup>2</sup>, 도로(Road)와 가옥(House)이 각각 6.8%, 3.6%로 불투수 면적(Impervious)이 전체의 62.1%를 차지하고 있으며, 자연형 토지이용은 논(Paddy)이 8.0%, 밭(Upland)이 0.2%로 분석되었다. 본 연구에서 초지(Grassland)로 분류한 28.2%의 면적은 온실과 온실 사이의 공간과 도로와 온실 사이의 공간 그리고 온실 외곽지역의 제방, 공터 등이 포함 된 공간으로 대안 1(Alternative 1)에서는 본 공간에 수로를 조성하여 면적이 줄어들었지만 대안2(Alternative 2)에서는 다시 이격공간을 확보하여 온실면적이 줄어들고 초지면적이 확장 되는 형태로 제안되었다.

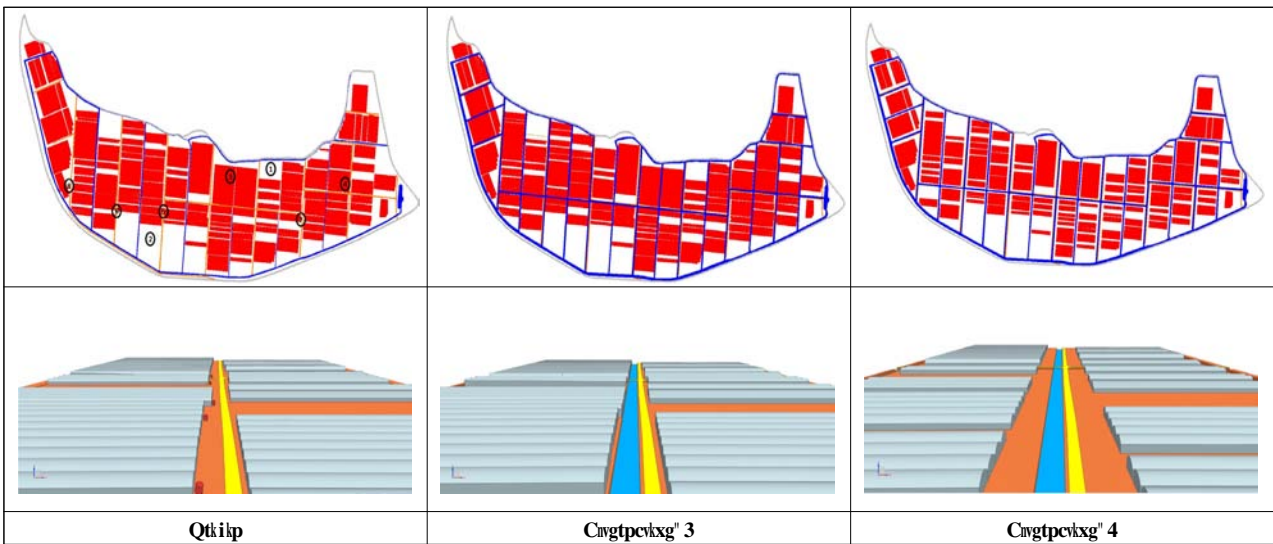


Figure 5. The origin and 2 alternative model of Jinju site

Table 4. The present conditions at 8 study sites

Site	Buyeo						Jinju					
	Origin		Alternative 1		Alternative 2		Origin		Alternative 1		Alternative 2	
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%
Green-house	410837.6	51.7	385173.9	48.5	306015.3	38.5	415871.9	51.2	405454.5	49.9	326921.8	40.2
Road	53965.2	6.8	53965.2	6.8	53965.2	6.8	17535.1	2.2	17535.1	2.2	17535.1	2.2
House	28705.6	3.6	28430.3	3.6	28430.3	3.6	3651.8	0.4	3651.8	0.4	3651.8	0.4
Paddy	63791.4	8.0	56192.4	7.1	56192.4	7.1	26441.8	3.3	20638.1	2.5	20638.1	2.5
Channel	10922.8	1.4	79983.9	10.1	79983.9	10.1	21221.2	2.6	86937.5	10.7	86937.5	10.7
Upland	1636.1	0.2	1636.1	0.2	1636.1	0.2	43821.4	5.4	41736.3	5.1	41736.3	5.1
Forest	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74710.8	9.2	72747.7	9.0	72747.7	9.0
Grassland	224300.8	28.2	188777.7	23.8	267936.3	33.7	209455.7	25.8	164008.7	20.2	242541.4	29.8

진주는 전체면적 812709.7m<sup>2</sup> 중 온실이 51.2% 인 415871.9m<sup>2</sup>, 도로와 가옥이 각각 2.2%, 0.4%로 불투수 면적이 전체의 53.8%를 차지하고 있으며, 자연형 토지이용은 논이 3.3%, 밭이 5.4%로 분석되었다. 특히 본 대상지에서는 조경수를 생산하는 단지가 약 9.2%가 조성되어 있고 제방 및 이격공간 등의 초지가 25.8%로 분석되었다. 부여의 대안 모델링과 마찬가지로 대안1 에서 초지 공간에 수로를 조성하여 면적이 줄어들지만 대안2에서는 다시 초지면적이 확장되는 형태로 모델링 하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1 기상현황 분석 및 현장조사를 통한 경계조건 설정

CFD 분석을 위한 기상자료는 연구대상지 주변인 부여와 진주 지역 기상관측소의 기상청 자료를 참조로 최근 30년간(1981~2010년)간 평균값을 분석하였다(Table 2). 기상 요소는 기온(Temperature)을 평균(Mean), 최저

(Min.), 최고(Max.)로 구분하고 풍속(Wind velocity)과 습도(Humidity)는 월 단위 평균으로 표시하였으며, 강우(Rainfall)는 월간 누적으로 표시하였다. Table 2.에 표시된 바는 월간 최고온도의 평균이지만, 30년간 연중 일간 최고온도의 분포는 부여지역이 35.01±1.42℃이며, 진주지역은 34.94±1.58℃로 통계적으로 분석해 보면 상관관계는 크게 인정되지 않았지만  $y = 0.0124x + 34.815$ (R<sup>2</sup> = 0.0059)와  $y = 0.0544x + 34.093$ (R<sup>2</sup> = 0.0923)으로 최고온도가 점차 상승하는 것을 알 수 있다. 또한 기후변화 등의 요인으로 한반도의 평균온도가 계속해서 상승한다는 많은 연구결과들이 있으므로 여름철 최고온도로 인한 열섬과 냉방부하 저감방안을 지속적으로 연구 할 필요가 있다고 판단된다.

CFD 분석의 신뢰성을 확보하기 위하여 경계조건에 투입 할 토지이용 별 온도값을 현장측정 자료를 통해 도출하였다. 먼저 현장 측정은 2015년 최고온도가 발생하는 8월 초 진행되었으며 본 연구대상지가 포함된 총 5곳의 시설원예단지에 온습도 센서 인 Hobo를 30여개를 사용하여 1일간 측정하였다. 측정결과와 기상대 자료를 바

Table 5. The daily maximum temperature survey of 5 protected horticulture complex sites.

Classification	Jinju (2015. 08. 03)	Gumi (2015. 08. 05)	Gimje (2015. 08. 08)	Buyeo 1 (2015. 08. 11)	Buyeo 2 (2015. 08. 11)	Regression
Weather Station	32.10	35.60	34.70	28.00	28.00	-
Green House	38.88±1.14	39.75±0.84	38.03±0.28	34.76±0.82	34.87±0.88	$y = 0.5945x + 18.426$ (R <sup>2</sup> = 0.8553)
Greenhouse within Upland	37.51±0.21	37.10±0.87	35.64±0.86	33.16±0.19	33.26±0.34	$y = 0.4714x + 20.400$ (R <sup>2</sup> = 0.6774)
Forest	34.05±1.27	35.15±1.02	34.18±0.78	31.98±0.25	31.98±0.27	$y = 0.3853x + 21.261$ (R <sup>2</sup> = 0.9482)
Channel	31.34±0.33	33.22±1.28	31.86±0.88	29.08±0.24	28.98±0.27	$y = 0.4721x + 15.839$ (R <sup>2</sup> = 0.9059)

탕으로 회귀분석 식(Regression)을 Table 5와 같이 도출하였으며, 해당 식에 30년간 최고온도의 평균인 34.94℃와 35.01℃를 각각 투입 해 Table 6과 같이 CFD 경계조건 온도로 설정하였다.

30년간 최고온도의 평균인 35.01℃와 34.94℃를 Table 5의 조사 결과에 따라 각각 도출된 회귀식(Regression)에 대입해 온실과 도로(Green House and Road)는 각각 39.24℃, 39.20℃, 온실 주변 밭과 초지(Grassland)는 36.90℃, 36.87℃, 산림(Forest)은 34.75℃, 34.72℃, 수로 및 논(Channel and Paddy)은 32.37℃, 32.33℃로 설정하였다(Table 6.).

Table 6. The boundary conditions setting according land use types

Site	Buyeo	Jinju
Max. Temperature (°C)	35.01	34.94
Green House and Road	39.24	39.20
Grassland	36.90	36.87
Forest	34.75	34.72
Channel and Paddy	32.37	32.33

### 3.2 시설원에단지 외부 열환경 분포특성(원안)

부여의 경우 현재 토지이용형태에서 여름철 온도분포는 평균 38.9℃로 CFD 시뮬레이션이 분석되었으며, 진주의 경우 현재 토지이용형태에서 여름철 온도분포는 평균 37.8℃로 CFD 시뮬레이션이 분석되었다(Table 7.). 해석은 30년간 최고온도가 발생한 일평균 오후 2시를 기준으로 실시하였으며, 원안(Origin)의 모델이 많은 온실로

피복되어있어 온도가 높게는 39.5℃까지 상승하는 것으로 분석되었다. 이것은 표면상태에 따라 기온이 상승한다는 연구와 같은 맥락으로 시설원에단지의 높은 비닐 피복과 콘크리트 도로 등이 온도 상승의 원인이 된다고 판단된다(Nam, 2008; Yoon and Kim, 2008). 실제로 2016년 본 연구대상지에서 인근 논과 여름철 온도분포를 비교했을 때 적게는 0.93℃에서 크게는 2.96℃까지 차이가 있음을 확인한 바 있다(Son et al., 2017b). 또한 일부 시설원에 지역에서 약 40℃ 이상으로 높은 온도가 형성되는 것이 관측되었는데 이러한 현상은 여름철 작물생육에 극심한 스트레스를 입혀 고온장해를 유발하므로 각별한 관리가 필요하다.

### 3.3 연구대상지 개선방안 열환경 분포특성

#### (대안 1, 대안 2)

연구대상지 온도저감 방안 1(Buyeo Alternative 1 : Creation of 10% 6m channel)을 적용 한 부여 대상지의 경우 6m 수로를 전체면적 대비 10% 조성한 후 CFD 시뮬레이션이 분석결과 평균 36.2℃로 현재 대비 약 2.7℃의 여름철 온도 하강 효과가 확인되었다(Table 7, Figure 6).

주요 해석 지점별로 살펴보면 기존 토지이용이 논이었던 St1 지점은 약 1.0℃의 온도하강 효과가 있었으며, 시설 중심부인 St7과 St8 부근은 약 2.0℃ 이상의 온도가 하강하였다. 지점별 온도하강 효과가 전체평균 보다 낮게 형성 된 이유로는 해당 지점이 주위 온실의 영향을 받은 결과이다. 대안 1의 경우 기존 약 1m의 수로를 6m로 확장하고 전체면적의 약 10%가 되도록 모델링하여 온실사이에서 눈에 띄게 온도저감 효과가 나타났다. 더

Table 7. The CFD simulation temperature data of Buyeo and Jinju sites.

Site	Buyeo						Jinju					
	Origin		Alternative 1		Alternative 2		Origin		Alternative 1		Alternative 2	
	Temp.	Efficacy	Temp.	Efficacy	Temp.	Efficacy	Temp.	Efficacy	Temp.	Efficacy	Temp.	Efficacy
St 1	35.6	-	34.6	-1.0	34.1	-1.5	36.2	-	35.1	-1.1	34.6	-1.6
St 2	36.3	-	35.4	-0.9	34.2	-2.1	36.3	-	35.8	-0.5	35.1	-1.2
St 3	39.7	-	38.7	-1.0	37.4	-2.3	38.7	-	38.5	-0.2	38.1	-0.6
St 4	39.5	-	38.4	-1.1	35.8	-2.7	38.8	-	37.2	-1.6	36.8	-2.0
St 5	39.0	-	37.8	-1.2	36.2	-2.8	39.0	-	38.0	-1.0	37.0	-2.0
St 6	39.1	-	37.8	-1.3	36.4	-2.7	38.8	-	37.6	-1.2	36.9	-1.9
St 7	39.3	-	37.3	-2.0	36.1	-3.2	39.2	-	37.0	-2.2	36.3	-2.9
St 8	39.1	-	37.0	-2.1	35.8	-3.3	38.8	-	36.4	-2.4	35.3	-3.5
전체	38.9	-	36.2	-2.7	34.7	-4.2	37.8	-	35.2	-2.6	33.9	-3.9



불어 주목할 만한 부분은 연구대상지 외곽 부분에서 수로가 제안됨에 따라 온도 저감이 확실히 차이가 확인되었으며, 이 부분에서 약 2.0~2.7℃의 온도 하강 효과가 확인되었다.

진주의 경우 6m 수로를 전체면적 대비 10% 조성한

후 CFD 시뮬레이션이 분석결과(Jinju Alternative 1 : Creation of 10% 6m channel) 평균 35.2℃로 현재 대비 약 2.6℃의 여름철 온도 하강 효과가 확인되었다. 연구대상지 좌측 하단의 조경부지의 경우(Jinju-St3) 산림으로 처리되어 원안 대비 대안1과 대안2에서 큰 온도의 하강

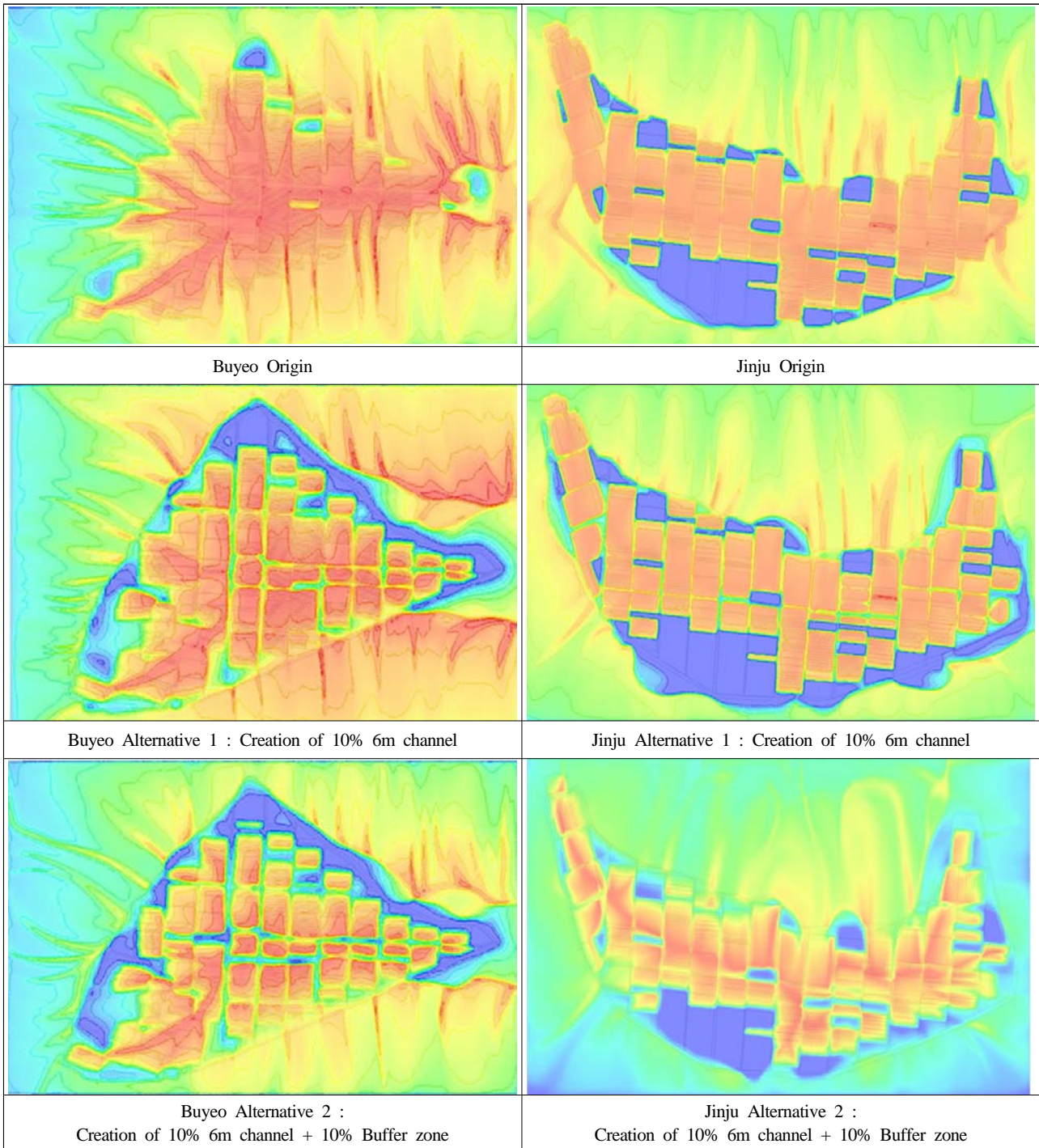


Figure 6. The CFD simulation result of Buyeo and Jinju sites

효과는 나타나지 않았다. 하지만 단지 전체를 개발 시 이러한 녹지 공간을 적절히 배치한다면 해당공간과 더불어 주변까지 온도를 하강 시킬 수 있는 장점이 있을 수 있다(Jo and Ahn, 2006; Cho et al., 2009). 이러한 관점에서 선행연구 인 Son et al.(2017)의 연구에서 시설원예단지의 열섬완화를 위한 방안으로 수목배치 등 녹지공간 창출을 제시한 바 있으므로 새로운 대규모 시설원예단지 조성 시 녹지배치를 검토 해 볼 필요가 있다. 주요 지점별로 살펴보면 시설원에 단지 중심부에서 수로로 조성된 공간에서는 2.2°C~2.4°C 정도의 온도하강 효과가 보였다. 이 공간은 기존 토지이용이 온실이었으나 수로로 개선 모델링 된 공간으로 큰 폭의 온도하강이 확인되었다. 기존과 대안 모두 시설원예단지 인 경우 0.2~1.2°C의 온도하강 효과가 분석되었으며, 전체공간 평균은 10%의 수로 공간 창출로 인하여 2.6°C의 기온 하강 효과로 분석되었다.

대안1의 경우 수로 조성에 의한 온도하강 효과가 얼마나 있는지 확인하였다. 사전 연구를 통해 전문가 들로부터 제시 받은 이격공간 즉, 온실과 도로, 수로 사이 기존의 1m 남짓 되는 공간을 약 6m로 확장시켜 전체면적 대비 10%를 조성했을 때 효과를 알아보기 위해 온도저감 방안 2(Creation of 10% 6m channel + 10% Buffer zone)를 모델링 하여 두 개 대상지에 적용하였다. 부여의 경우 CFD 시뮬레이션이 분석 결과 현재토지이용 대비 4.2°C, 수로가 조성 된 대안1 대비 1.5°C 하강 된 34.7°C로 이격공간과 수로의 여름철 온도 하강효과가 입증되었다고 할 수 있다. 주요 지점별로 살펴보면 대안1(Alternative 1)에서 기존 토지이용이 온실이었다가 이격공간으로 변경 모델링 된 공간에서 온도 하강이 약 1.6~1.7°C 효과가 확인되었고 이 공간의 경우 현재 토지이용인 시설원예에 비해 2.7~2.8°C의 효과가 입증되어 수로 보다는 수로+이격공간의 효과가 더 크다고 할 수 있다.

진주 대안 2의 경우 현재토지이용 대비 3.9°C, 대안 1 대비 1.3°C 하강 된 33.9°C로 부여 지역과 마찬가지로 이격공간과 수로의 여름철 온도 하강효과가 입증되었다. 주요 지점별로는 부여와 큰 온도하강의 차이는 없었지만 전체 공간에서 온실부분의 온도 저감이 큰 효과를 보이고 있다.

본 연구에서 수로 6m와 양쪽 이격공간을 약 6m 가량 조성 했을 때 여름철 열섬현상이 다소 개선되는 것을 알 수 있었으므로 수로, 이격공간을 위해 온실과 온실 사이에는 12m~18m정도는 이격거리를 둘 필요가 있다고 판단된다. 시설원예단지 계획은 농업 토지이용의 기본인 작물생산이 주 목적이 되어야 하며, 더불어 환경, 생태적

으로 다원적 기능, 생태계서비스 기능이 긍정적으로 작용 할 수 있는 공간이 되도록 보전 계획이 필요하다(Son et al., 2015). 따라서 열섬저감을 위한 배치형태를 온실-이격공간-수로-도로-수로-이격공간-온실 또는 온실-이격공간-수로-도로-온실 등 다양한 온실 배치방법 및 계획에 대해 다양한 연구와 전문가들의 의견수렴이 필요하다고 판단된다.

## IV. 결 론

A1B 시나리오 기준 기후변화는 21세기말(2071~2100) 한반도 전 지역에 대하여 4°C 상승하고 남한 내륙지역에서는 3.8°C 상승할 것으로 전망하고 있으므로 시설원예단지에서 발생하는 여름철 열섬은 더욱 취약하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 시설원예단지 중 가장 큰 비중을 차지하는 비닐온실을 대상으로 여름철 열섬발생 특성을 분석하고 이에 대한 개선방안을 알아보고자 하였다.

연구에서는 영국 Imperial college의 A.D. Gosman 교수 팀에 의해 개발 되어 전세계적으로 널리 사용되고 있는 범용 열.유체 해석 소프트웨어 Star-CCM+(v3.02)를 이용 진주와 부여지역 비닐시설원에 단지를 전산유체역학이란 (Computational Fluid Dynamics : CFD)로 시뮬레이션 하고 전문가 의견을 반영하여 수로와 이격거리를 모델링 하여 2가지 대안에 대해 분석하였다.

CFD 시뮬레이션 분석을 위해 연구대상지 주변인 부여와 진주 지역 기상관측소를 참조로 최근 30년간(1981~2010년)간 기상자료를 분석하였으며, 여름철 열섬완화를 위한 공간배치가 향후 풍하중, 배수, 습도조절에 역효과가 없을지 추가 연구를 제안하였다. 현재 시설원예단지의 여름철 최고 온도 분포는 부여 38.9°C, 진주 37.8°C로 비닐 피복이 온도 상승의 원인을 확인하였고 시설원에 작물의 고온장해를 위해 본 연구와 같은 온도저감 방안 필요성이 인정되었다. 이렇게 높은 온도 분포를 저감시킬 수 있는 방안으로 사전 전문가 조사 연구를 통해 도출 한 수로조성과 바람길 작용을 위한 이격거리를 투입하여 2가지 방법으로 대안을 제시하였다. 먼저 현재 토지이용 대비 약 10%의 수로공간을 조성 한 대안 1(Alternative 1)의 경우 부여 지역이 2.7°C, 진주 지역이 2.6°C 온도 하강 효과가 확인되었다. 분석 과정 중 현재 녹지로 조성 된 공간에서 고온 발생이 낮아 작물 재배에 지장이 없는 공간에서 녹지 배치를 제안하였다. 대안 2(Alternative 2)의 경우 기존의 1m 남짓 되는 공간을 약 6m로 확장시켜 전체면적 대비 10%를 조성했을 때 효과

를 알아보기 위해 온도저감 방안 2(Creation of 10% 6m channel + 10% Buffer zone)를 모델링 하여 두 개 대상지에 적용하였다. 부여 지역이 현재토지이용 대비 4.2℃, 수로가 조성된 대안1 대비 1.5℃, 진주 지역이 현재토지이용 대비 3.9℃, 대안 1 대비 1.3℃ 온도 하강 효과가 확인되어 수로 보다는 수로+이격공간의 효과가 더 큰 것을 확인하였다. 따라서 향후 온실 조성 시 온실과 온실 사이에는 12m~18m 정도를 수로와 이격공간 계획의 필요성을 제안하였으며, 배치 효과의 효율성에 대해서는 추가 연구를 제시하였다.

본 연구의 결과에 미루어 기후변화에 대비하여 기온을 하강시킬 수 있는 친수공간 확보와 바람이 통할 수 있는 이격거리를 두는 것은 지속가능한 농업을 위한 바람직한 방향이라고 판단된다. 다만, 본 연구에서는 연구 대상지의 일반적인 현황분석과 수로 및 이격거리의 효과를 판단하는 것에서 연구가 그쳤다고 할 수 있다. 따라서 효과적인 단지배치방법과 기후변화에 대비한 미래 시설원예단지에서 고려해야 할 기후순화를 위해 풍향 등 기상환경을 고려한 투입요소와 투입비율을 설정하는 연구를 추가적으로 할 필요가 있다고 판단된다. 연구결과는 지속가능 농업을 위한 개선점과 미래 시설원예단지 개발 사업에 반영할 수 있는 정책 자료로 활용되길 기대한다.

연구는 2018년도 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발사업(과제번호: PJ012654)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## References

1. Arbel, AO, Yekutieli and Brak, M. (1999). Performance of a fog system for cooling greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72, pp. 129-136.
2. Bretz S, Akbari, H. (1987). Long-term Performance of High-albedo roof coatings. *Energy and Building-Special Issue on Urban Heat Island Cool Communities*, 25(2), pp.159-167.
3. Challinor A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R., and Chhertri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287-291. <http://doi:10.1038/nclimate2153>.
4. Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R., and Chhertri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287-291. <http://doi:10.1038/nclimate2153>.
5. Cho, H. and Pang, S.K. (2011). Prediction of Indoor Ventilation Performance according to Room Ventilation Control System in Residential Unit by CFD Simulation. *Architectural Institute of Korea*, 31(1), pp. 265-266.
6. Cho, J.H., Yim, S.R., Lee, K.S. and Han, S.E. (2011). The Evaluation in Wind Load Effect of The Mun-Hak Stadium roof structure Using a Numerical simulation. *Architectural Institute of Korea*, 31(2), pp. 9-10.
7. Cho, J.H., Yim, S.R., Lee, K.S. and Han, S.E. (2012). A Study on the Evaluation of Wind Environment and Analytical Method Using CFD Analysis. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 28(7), pp. 99-106.
8. Cho, S.M., Yoon, Y.H., Ryu, E.R., Park, B.J. and Kim, W.T. (2009). The Influence of Land Cover and Zoning on the Urban Heat Island in Cheongju. *Journal of the environmental sciences*, 18(2), 169-176.
9. Choi, C.H. and Cho, M.K. (2012). A Study on Apartment Ventilation Path using the CFD. *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 6(2), pp. 93-98.
10. Choi, K.J. (2005) Eco-friendly horticulture Status, Korea. *Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference*, Oct.(01) : 65-84.
11. Choi, K.Y., Jang, E.J., Rhee, H.C., Yeo, K.H., Choi, E.Y., Kim, I.S. and Lee, Y.B. (2015). Effect of Root Zone Cooling Using the Air Duct on Temperatures and Growth of Paprika During Hot Temperature Period. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 24(3), pp. 243-251.
12. Choi, Y.H., Kwon, J.K., Lee, J.H., Kang, N.J., Cho, M.W. and Son, B.G. (2004). Effect of Cooling Method on Growth and Yield of Tomato and Pepper Grown in Summer Season Greenhouse Culture. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 22(4), pp. 388-392.

13. Choi, Y.H., Lee, J.H., Park, D.K., Kwon, J.K. and Um, Y.C. (2000). Effect of Greenhouse Cooling Method on the Growth and Yield of the Tomato cv. Momotaro in Warm Season. *Journal of Bio-Environment Control*, 9(1), pp. 60-65.
14. Heo, J., Moon, S.C. and Song, M.R. (2001). A Study on the Problem of Rural Solid Waste in Korea. *ECO*, 1 : 92-121.
15. Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M. and Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 104, 19691-19696, <http://doi:10.1073/pnas.0701890104>.
16. Hwang, W.H. and Lee, K.O. (2014). Computational Fluid Dynamic Analysis for Improving the Efficiency of Desulfurization System for the Wet Flue Gas. *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, 19(2), pp. 161-171.
17. Jo, H.K. and Ahn, T.W. (2006). Exploring Relationships between Urban Tree Plantings and Microclimate Amelioration. *Journal of Korean institute of landscape arch*, 35(5) : 70-75.
18. Kang, D.H., Lee, S.Y., Kim, J.K., Choi, H.K., Park, M.J., Yeon, J.S., and Son, J.K. (2015). The Meteorological Themes Selection for the Site Selection of Protected Horticulture Complex in Saemanguem. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 24(4) : 287-295. <http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2015.24.4.287>.
19. Kang, D.H., Lee, S.Y., Kim, J.K., Choi, H.K., Park, M.J., Yun, S.W., and Son, J.K. (2016). Suitability Site Selection by Meteorological Factors for the Protected Horticulture Complex in Saemanguem. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 25(1) : 1-8. <http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.1.1>.
20. Kim, C.G., H.T., Park, S.M., Lee, H.J., Chu and O.S., Kwon. (2008). Impacts and countermeasures of climate change in Korean agriculture. Korea Rural Economic Institute Press.
21. Kim, C.Y., Park, J.I., Kim, D.G., Shin, B.H. and Kum, J.S. (2015). A Study of the Indoor Thermal Environment in Apartment Buildings in Freezing Weather Operation of Heat Recovery Ventilator by CFD Simulation. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 27(6), pp. 293-299.
22. Kim, D.U., Choi, J.H., Suh, H.S., Lee, J.I. and Kim, B.S. (2007). An Analysis of the Performance of Natural Ventilation in Factory Building under Hot and Humid Climate. *Architectural Institute of Korea*, 27(1), pp. 981-984.
23. Kim, D.Y., Yun, S.J., Gil, S.W. and Lee, C.W. (2010). CFD Study on Start-up Time of Discharging Jet Fan in Medium-Scale Tunnel Fires. *Korean Society for Rock Mechanics*, pp. 67-73.
24. Kim, J.S., Park, H.L., Park, B.Y., Kim, T.Y., and Leigh, S.B. (2010). Analysis of Outdoor Thermal Environment in Space Arrangement of Apartment Complex in Summer by Actual Measurement and CFD Simulation. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 26(5) : 335~342. <http://uci.or.kr/G704-A00167.2010.26.05.008>.
25. Kim, S.J., Kim, S.M., and Kim, S.M. (2013). A Study on Development of Vulnerability Assessment Criteria for Agricultural Infrastructure According to Climate Change. *Institute of Agriculture & Life Science*, 47 (1) : 205-213. <http://uci.or.kr/G704-001926.2013.47.1.023>.
26. Kim, S.S. and Oh, S.I. (2003). Valuation of The Multifunctionality of Agriculture. *Journal of Korea rural economic institute* 26(2).
27. Kim, T.W., Kang, I.S., Choi, E.J. and Chung, M.H. (2017). Wind Path Analysis by Complex Types using the CFD Simulation. *Architectural Institute of Korea*, 37(1), pp. 585-586.
28. Kim, Y.J., Kim, D.K. and Nam, S.B. (2017). Design and Performance Evaluation of High Cleanliness Clean Room Using Air Flow Diffusion Unit. *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, pp. 216-219.
29. Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., and Bakker, S. (2013). Greenhouse climate control and Energy use. In "Good agricultural practices (GAPs) principles for greenhouse vegetable production in the Mediterranean Region". FAO publications, Rome, 63-96.
30. Kittas, C.T., Bartzanas and Jaffrin, A. (2003). Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. *Biosystems Engineering*, 85(1), pp. 87-94.
31. Kong, K.S., Lee, C.L. and Lee, M.H. (2013).

- Evaluating Multifunctionality of Rice-Farming as regards Climate Change. *Korean Journal of Agricultural management and Policy*, 40(2), pp. 352-380.
32. Kong, M.J., Lee, S.Y., Kang, D.H., Park, M.J., Yun, S.W., Shin, J.H., and Son, J.K. (2017). A Study on the Image Evaluation for the Improvement of the Landscape of Horticultural Complex in Rural Area. *Protected horticulture and plant factory*, 26(2) : 78-86. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2017.26.2.78>.
  33. Kong, M.J., Son, J.K., Kang, D.H., Lee, S.Y., Park, M.J., Yun, S.W., and Kim, N.C. (2017). Assessment of ecosystem service value of groundwater according to the composition of facility horticultural complex. *Proceedings of the Korea Society Restoration Environmental Conference 2017*.
  34. Korea Rural Economic Institute (KREI). (2009). *Impact Analysis and Response Strategies of Agriculture in Climate Change*. ISBN 978-89-6013-137-8.
  35. Korea Rural Economic Institute (KREI). (2015). *Basic Study for Development of Economic Impact Analysis Model of Agriculture in Climate Change*.
  36. Lee, K.B., Kim, C.H., Kim, J.G., Lee, D.B., Lee, S.B. and Na, S.Y. (2003). How Soil Characteristics and Vegetation Influence the Inflow of Sewage in a Tributary of the Mankyong River. Published by the Institute for Environmental Science, 12:9-21.
  37. Lee, YH, Shin, HS, Choi, SM, Lee, JK and Na, SJ (2010). A Study on the Setting of CFD Boundary Condition for Hot Flow Grate Type Incinerator. *The Korean Society Of Combustion*, pp. 253-259.
  38. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). (2017a). *The organic law about agriculture, farming village & food industry*.
  39. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). (2017b). *Greenhouse status for the vegetable grown in facilities and the vegetable productions in 2016*. ed. Sejong, Korea.
  40. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). (2017c). *Cultivation status of floricultural crop in 2016*. ed. Sejong, Korea.
  41. Ministry of Environment (MOE). (2012). *Research on appropriate management of rural waste*.
  42. Montero, J.I. (2006). *Evaporative cooling in greenhouses: Effects on microclimate, water use efficiency and plant. response*. *Acta Hort.*, 719: 373-383.
  43. Nam, J.W. (2008). *A Study of Outdoor Thermal Environment in Apartment Complex by Actual Measurement and CFD Simulation*. Graduate School of Yonsei University, Master thesis.
  44. National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2015a. *Greenhouse Environmental Requirements*.
  45. National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2015b. *Greenhouse Structural Requirements*.
  46. Nicolas C. and Baeza, E. (2013). *Greenhouse site selection* In “Good agricultural practices (GAPs) principles for greenhouse vegetable production in the Mediterranean Region”, FAO publications, Rome, 21-33.
  47. National Institute of Meteorological Research (NIMR). (2009). *Understanding Climate Change II - Korean Peninsula Climate Change: Present and Future*.
  48. Noh, K.W., Bae, S.J., Park, S.H., Kang, S.K. and Lee, J.M. (2013). *Design of a Guide Vane for Improving Inside Flow Uniformity of Electrostatic Precipitator*. *The Korean Institute of Electrical Engineers*, 62(4), pp. 523-528.
  49. Office for Government Policy Coordination, Prime Minister's Secretariat (OPM). (2017). *Low carbon green growth act*.
  50. Power, A.G. (2010). *Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies*. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*, pp. 2959-2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>.
  51. Seo, A.S. (2009). *Planning Apartment Complexes to Preserve Wind Corridor*. Graduate School of Hanyang University, Master thesis.
  52. Seo, M.C. (2005). *The quantitative evaluation of environmental conservation function at paddy farming in Korea*. Graduate School of Korea University, Doctorate thesis.
  53. Son, B.S. and Jang, C.H. (2012). *Study on Measures to Improve Smoke Control Performance in Case of Fire in a Clean room as an LCD Manufacturing Process*. *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, 26(5):41-47.
  54. Son, J.K., Kong, M.J., Kang, D.H. and Lee, S.Y. (2015). *A study on the improvement of Ecosystem*

- Service Function for the Protected Horticulture Complex in Agricultural Landscape. *Journal of the Korean Society of Rural Planning*, 21(4) : 45-53.  
<http://dx.doi.org/10.7851/ksrp.2015.21.4.045>.
55. Son, J.K, Kong, M.J., Kang, D.H., Kang, B.H., Yun, S.W., and Lee, S.Y. (2016). The Comparative Studies on the Terrestrial Insect Diversity in Protected Horticulture Complex and Paddy Wetland. *Journal of wetlands research*, 18(4) : 386-393.  
<http://dx.doi.org/10.17663/JWR.2016.18.4.386>.
56. Son, J.K, Kong, M.J., Kang, D.H., Park, M.J., Yun, S.W., and Lee, S.Y. (2016). The Change Analysis of Plant Diversity in Protected Horticulture of Agricultural Ecosystems. *Journal of wetlands research*, 18(2):173-182.  
<http://dx.doi.org/10.17663/JWR.2016.18.2.173>.
57. Son, J.K., Shin, M.J., Shin, Y.K., YUN, S.W., Kang, D.H., Park, M.J. and Lee, S.Y. (2017a). A Function and Weight Selection of Ecosystem Service Function for the Eco-friendly Protected Horticulture Complex in Agricultural Landscape. *Journal of Wetlands Research*, 19(4):533-541.  
<https://doi.org/10.17663/JWR.2017.19.4.533>.
58. Son, J.K, Kong, M.J., Lee, S.Y., Kang, D.H., Kim, J.K., Park, M.J., Yun, S.W., and Kim, D.H. (2017b). Analysis of summer heat island phenomenon according to establishment of facility gardening complex. *Korea Climate Change Institute Proceedings Presentations* 2017.
59. Suh, E.C. (2007). A Study on the Mitigation Policies for Urban Heat Island. *Architecture & Urban Research Information Center*, 7(2) : 17-23.
60. TEEB (2016). *The economics of ecosystems and Biodiversity: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*. Progress Press, Malta.
61. Wang, Y.L., Fan, P., Kim, D.B. and So, K.S. (2009). A Study on the Problems and Countermeasures of Environmental Pollution Caused by China's Rural Development : Enlightened from the Semaul movement in Korea. *The Korean Journal of Local Government & Administration Studies*, 23(1) 159-178.
62. Yoon, S.H., and Kim, S.H. (2008). Correlation between the Trend toward Higher Temperature and Land Cover Structure in Haeundae District of Busan in Summer. *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 28(2) : 19-27.
- 
- Received 11 April 2018
  - First Revised 14 May 2018
  - Finally Revised 20 August 2018
  - Accepted 22 August 2018