

도시농업의 도시열섬현상 저감효과에 대한 계량화 평가연구

엄기철¹ · 정필균¹ · 박소현¹ · 유성녕² · 김태완^{2*}

¹세종데이터해석연구원, ²국립 한경대학교

Evaluation of the Effect of Urban-agriculture on Urban Heat Island Mitigation

Ki-Cheol Eom¹, Pil-Kyun Jung¹, So-Hyun Park¹, Sung-Yung Yoo², and Tae-Wan Kim^{2*}

¹Sejong Institute of Data Analysis(SEIDA), Suwon 443-766, Korea

²HanKyong National University, Ansong, 456-749, Korea

Vegetation can make not only to lower the urban ambient air temperature (UAAT) by crop evapotranspiration (ET) and increasing solar radiation albedo, but also to reduce the urban air pollution by CO₂ uptake and O₂ emission in addition to the reducing ozone concentrations by aid of lower the UAAT. To evaluate the effect of vegetation on urban heat island mitigation (UHIM), the climate change of 6 cities during 30 years are analysed, and the amount of ET, CO₂ uptake, O₂ emission and ozone concentrations are estimated in Korea. The most hot season is the last part of July and the first part of August, and the highest average UAAT of a period of ten days was 35.03°C during 30 years (1979 - 2008). The mean values of maximum ET of rice and soybean in urban area during urban heat island phenomena were 6.86 and 6.00 mm day⁻¹, respectively. The effect of rice and soybean cultivation on lowering the UAAT was assessed to be 10.5 and 3.0 °C in Suwon, respectively, whereas the differences between the UAAT and canopy temperature at urban paddy and upland in Ansong were 2.6 and 2.2 °C. On the other hand, the urban-garden in Suwon city had resulted in lowering the UAAT and the surface temperature of buildings to 2.0 and 14.5°C, respectively. Furthermore, the amounts of CO₂ uptake by rice and soybean were estimated to be 20.27 and 15.54 kg CO₂ 10a⁻¹ day⁻¹, respectively. The amounts of O₂ emission by rice and soybean were also assessed to be 14.74 and 11.30 kg O₂ 10 a⁻¹ day⁻¹, respectively. As other cleaning effect of air pollution, the ozone concentrations could be also estimated to reduce 21.0, 8.8, and 4.0 ppb through rice-, soybean cultivation, and urban gardening during most highest temperature period in summer, respectively.

Key words: Urban heat island mitigation, Urban-agriculture, Urban vegetation, Evapotranspiration, Air pollution.

서 언

폭염기의 도시열섬 현상은 에너지 사용량을 증가시킬 뿐 아니라, 온도상승에 따른 대기의 오존 농도를 증가시켜 대기오염을 가중시킨다.

현재까지 도시열섬현상 저감 방법으로는 건물지붕 및 외벽의 열 흡수량을 저감 시키는 방법 (Cool or Green Roofs), 도시도로의 열 흡수량을 저감 시키는 방법 (Cool or Green Pavements), 도시 내 조림 (Shade Tree), 도시 내 녹색공간 조성 (Urban Vegetation), 물 순환체계 형성 방법 등이 많이 사용되고 있다 (Akbari, 2002, 2003 ; Akbari et al, 2001, 1997 ; Rosenfield et al, 1998 ; Taha et al, 1996 ; HAL, 2011 ; KEI, 2009 ; Park, 2011 ; Park et al, 2011).

예를 들어 물길 및 녹지를 활용하는 방법에서 온도를 낮추는 효과 거리는 각각 약 100 m 및 300 m 이었다는 연구 결과도 있다 (KEI, 2009). 즉, (i)바람과 물 및 녹지를 활용하는 냉각작용의 재이용법, (ii)건물 및 지표면의 녹화 등을 통한 고온화 억제 방법, (iii)에너지 절감 대책 및 절약 등 인공 배열의 저감방법이 열섬 현상 저감 대책으로 제시되고 있다.

그러나 이러한 여러 방법 중의 하나인 도시농업에 의한 도시열섬 현상 저감 효과에 대한 구체적인 연구는 미흡한 실정이다. 도시농업을 통하여 도시 내 식물이 생육하면 증발산을 통한 잠열에 의한 온도 하강 효과가 있으며, 식물체 표면의 태양열 반사율이 건물이나 도로보다 높아 기온을 덜 높이는 역할을 하게 된다. 또한 식물의 광합성 작용을 통하여 대기 중의 CO₂를 흡수하고 O₂를 방출하여 대기오염 저감과 대기정화 효과가 있다. 더욱이 기온을 낮추어 주므로 해서 대기 중 오존의 농도를 낮추어주게 되어 대기오염 저감에 큰 역할을 하게 된다.

접수 : 2012. 8. 10 수리 : 2012. 9. 8

*연락처 : Phone: +82316705081

E-mail: taewkim@hknu.ac.kr

따라서, 본 연구에서는 이와 같은 도시농업에 의하여 여름철 폭염기의 기온을 덜 높이는 효과에 따른 도시열섬 현상 저감 정도와 대기오염 저감 기능 및 대기 정화 기능이 어느 정도이며, 또한 이 효과에 대한 상대 비교를 통하여, 이들 기능에 대한 계량화 평가를 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구에서 작물의 증발산에 의한 도시열섬 저감 효과 구명을 위하여 실제 증발산량 (AET : Actual Evapotranspiration) 산정은, 잠재증발산량 (PET: Potential Evapotranspiration)과 작물계수 (Kc: Crop Coefficient) 및 토양수분계수 (Kw: Soil Water Coefficient)를 구명하여 식 (1)에 근거하여 산출하였다.

$$AET = PET \times Kc \times Kw \quad (1)$$

PET는 대형 pan 증발계로 측정된 값 (Eo)을 이용한 추정모형 (Lim, 1988)인 식 (2)에 근거하여 산출하였다.

$$PET = 0.712 + 0.705 Eo \quad (2)$$

Kc 는 식 (3)에 의하여 산출하였다.

$$Kc = (MET/PET) \quad (3)$$

여기서, MET는 작물의 생육시기별 해당기상조건에 따른 최대증발산량 (Maximum ET)이다.

Kw는 작물별 MET의 함수로 구명한 NIAST (1996)의 연구결과를 적용하였다.

도시열섬 저감 효과 및 대기오염 저감효과와 대기정화 효과의 계량화 평가를 위한 산정 식은 다음과 같다.

작물 증발산에 따른 잠열에 의한 도시 대기 온도 하강 효과에 대하여, 에너지 절약효과는 전력량으로 식 (4)에 의하여 산정하였으며, 이 전력량을 식 (5)에 의하여 원유 량으로 환산하였다.

$$* \text{에너지 절약 효과} = \text{저감온도 } (^\circ\text{C}) \times 500 \text{ MW } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (4)$$

$$* \text{원유 량 [L원유 } 10a^{-1} \text{ day}^{-1}] \text{ 으로 환산} \\ = \text{증발산량 (g } 10a^{-1} \text{ day}^{-1}) \times \text{잠열 (cal g}^{-1}) / \\ [8.62 \times 10^6 \text{ cal 원유 L}^{-1}] \quad (5)$$

대기온도 하강에 따른 대기 오존 농도 저감 효과와 작물의 광합성에 의한 CO₂ 흡수에 의한 대기 오염 저감효과는

각각 식 (6), (7), (8)에 의하여 산정하였다.

* 대기오염 저감 효과

$$\langle \text{CO}_2 \text{ 흡수량} \rangle [\text{kg CO}_2 10a^{-1} \text{ day}^{-1}] \\ = \text{벼} : [\text{년간 흡수량 CO}_2 \text{ kg } 10a^{-1} \times 1/2 / \\ (150 \text{ day}/5)] \quad (6)$$

$$= \text{콩} : [1,452 \times \text{일 성장량 kg } 10a^{-1} \text{ day}^{-1}] \quad (7)$$

$$\langle \text{오존 농도 저감 효과} \rangle (\text{ppb}) = \text{저감온도} \times 2 \text{ ppb } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (8)$$

또한 작물의 광합성에 의한 O₂ 발생에 의한 대기정화 효과는 벼와 콩에 대하여 각각 식 (9)와 식 (10)에 의하여 산정하였다.

* 대기정화 효과

$$\langle \text{O}_2 \text{ 발생량} \rangle [\text{kg O}_2 10a^{-1} \text{ day}^{-1}] \\ = \text{벼} : [\text{년간 발생량 CO}_2 \text{ kg } 10a^{-1} \times \\ 0.727 (\text{O}_2 / \text{CO}_2)] \quad (9)$$

$$= \text{콩} : [1.056 \times \text{일 성장량 kg } 10a^{-1} \text{ day}^{-1}] \quad (10)$$

결과 및 고찰

도시 내 농경지 및 정원 등 녹지공간 조성 (Vegetation)에 의한 도시 열섬 현상 저감효과를 나타내는 기작은 Fig. 1과 같이, 식물의 증발산에 의한 잠열과 식물체 표면의 태양광 반사율에 의하여 대기온도를 낮춰주어, 에어컨 사용 저감 등 에너지 소모량이 절약되며 그만큼 경제적 효과가 있게 된다. 또한 식물의 광합성 작용에 의한 CO₂ 흡수와 대기의 온도 저감에 따른 오존 발생량의 감소에 의한 대기오염 저감 효과 및 식물의 O₂ 방출에 의한 대기정화 효과가 있게 된다.

서울, 수원 등 6개 도시의 30년간 (1979-2008) 년 중 폭

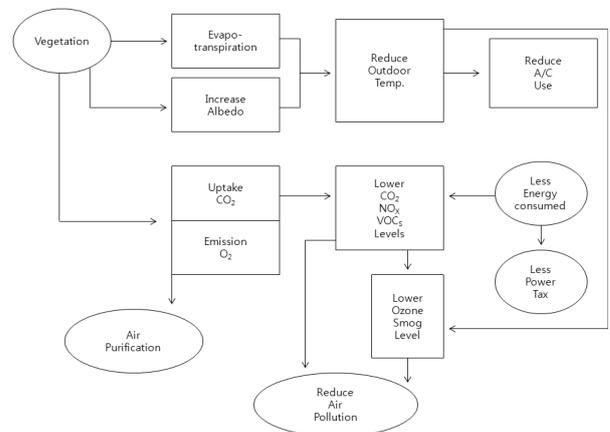


Fig. 1. Mechanism of urban heat island mitigation by vegetation.

Table 1. The highest average UAAT of a period of ten days.

Area	UAAT	A period of 10 days
	°C	
Seoul	35.3	1994. Jul. Last
Busan	33.4	1983. Aug. First
Daegu	36.2	1995. Aug. First
Daejeon	35.7	1994. Jul. Last
Gwangju	35.3	1994. Jul. Last
Suwon	34.3	2006. Aug. First
Average	35.03	

Table 2. The mean Maximum ET of Rice and Soybean in urban area during urban heat island phenomena.

Area	Crop	ET	A period of 10 days
		ton ⁻¹ 10a ⁻¹ day ⁻¹	
Seoul	Rice	5.8	1989. Aug. First
	Soybean	5.13	
Busan	Rice	5.95	1990. Aug. First
	Soybean	5.19	
Daegu	Rice	8.06	1983. Aug. First
	Soybean	7.04	
Daejeon	Rice	6.39	1994. Jul. Last
	Soybean	5.58	
Gwangju	Rice	7.43	1984. Aug. First
	Soybean	6.49	
Suwon	Rice	7.53	1994. Jul. Last
	Soybean	6.58	
Average	Rice	6.86	
	Soybean	6.00	

염기인 7월 하순과 8월 상순의 순 평균최고기온 (Table 1)은 33.4 - 36.2°C 범위로 그 평균값은 35.03°C 이었다.

도시 지역별 폭염기 (7월하순 - 8월상순) 동안 벼와 콩의 최대 일평균증발산량 (Table 2)은 벼의 경우 5.8 - 8.06 ton 10a⁻¹ day⁻¹ 범위로 그 평균은 6.86 ton 10a⁻¹ day⁻¹이었으며, 콩의 경우 5.13 - 7.04 ton 10a⁻¹ day⁻¹ 범위로 그 평균은 6.00 ton 10a⁻¹ day⁻¹이었다.

수원시 중심지 및 안성 외각에 위치한 도시 농경지의 도시열섬 저감효과에 해당하는, 벼 및 콩 군락의 온도와 기온과의 차이는 각각 10.5°C 및 3.0-4.4°C 이었다.

안성시 외각에 위치한 도시농경지에서 열적외선 Camera를 이용하여 (Fig. 2) 측정된 폭염기간 동안 벼 및 콩 군락과 대기의 온도 차이를 나타낸 표4에서 알 수 있듯이, 벼와 콩의 도시열섬 저감효과는 각각 평균 2.6°C 및 2.2°C 이었다.

2012년 수원시의 년 중 최고 폭염일 (8월 5일)의 온도를 측정된 표5에서 보듯이, 최고기온은 36.0°C이었으며, 나지

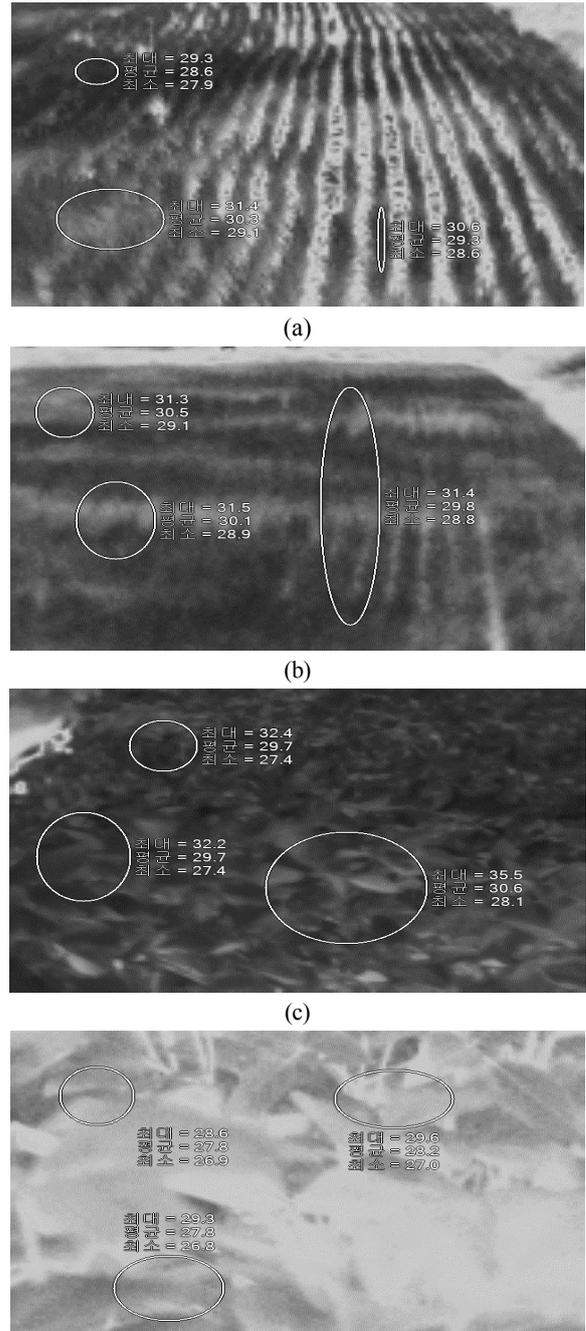


Fig 2. Crop canopy temperature measured with thermal infrared camera. (A: Rice, 2011.07.20. B: Rice, 2011.08.02, C: Soybean, 2011.07.20, D: Soybean, 2011. 08.02)

토양 및 아스팔트 도로의 표면 온도가 각각 59.5°C 및 67.5°C 로서 도시열섬 현상이 극심하였으며, 이때 주변 건물의 외벽 온도는 48.5°C 이었고, 도시정원 내 식물체 표면의 온도는 34.0°C 이었다. 즉, 수원시 중심지에 위치한 도시 정원의 폭염기 도시열섬 저감 효과는 대기온도 대비 2.0°C, 도시 건물 외벽 대비 14.5°C 이었다.

도시열섬 저감 효과의 계량화 평가 상기의 온도 하강 결과와 식 (4)에 근거하여 산정한 도시농업의 도시열섬

Table 3. The UAAT and temperature of crop canopy measured with infrared thermometer.

Crop	Temp.	Difference
	℃	
UAA	(a) 32.3	
	(b) 37.0	
Rice	(a) 26.5	(a) 10.5
Soybean	(a) 27.9	(a) 4.4
	(b) 34.0	(b) 3.0

* (a) 2011. 08.02 ; Ansung, (b) 2012. 07.30 ; Suwon

Table 4. The UAAT and temperature of crop canopy in Ansung measured with thermal infrared camera in 2011. (unit : ℃)

Date	UAAT (A)	Rice (R)	Soybean (S)	A-R	S-R
07.20	32.8	29.4	30.0	3.4	2.8
07.26	31.0	28.9	29.7	2.1	1.3
07.29	30.9	28.5	28.8	2.4	2.1
08.02	32.3	30.1	27.9	2.2	4.4
08.05	35.6	32.7	32.3	2.9	3.3
08.12	28.7	28.0	28.5	0.7	0.2
08.23	30.5	27.3	28.1	3.2	2.4
08.26	30.7	26.9	29.1	3.8	1.6
08.30	33.0	29.9	31.1	3.1	1.9
Average	31.7	29.1	29.5	2.6	2.2

Table 5. The UAAT and surface temperature of materials in Suwon measured with infrared thermometer in 2012 at the most hot day. (unit : ℃)

Material	Temp.	Difference with		
		(A)	(B)	(C)
UAAT (A)	36.0			
Asphalt Pavement (B)	67.5	31.5		
Bare Soil	59.5	23.5	8.0	
Building Wall (C)	48.5	12.5	19.0	
Crop in Urban-garden	34.0	2.0	33.5	14.5

저감 효과는; (1)에너지 절약 효과를 전력량으로 평가하면, 벼와 콩 및 도시정원의 경우 각각 5,250, 2,200 및 1,000 MW day⁻¹ 이었다. (2)절약되는 에너지의 전력량을 식 (5)에 근거하여 원유 량으로 환산하면 벼와 콩의 경우 각각 462.9 및 401.4 [L원유 10a⁻¹ day⁻¹] 이었다.

작물의 광합성에 의한 CO₂ 흡수와 대기온도 하강에 따른 대기 오존농도 저감 효과를 각각 식 (6), (7) 및 (8)에 근거하여 산정한 대기 오염 저감효과는; (1)CO₂ 흡수량은 벼와 콩의 경우 각각 20.27 및 15.54 kg CO₂ 10a⁻¹ day⁻¹ 이었

다. (2)대기 오존농도 저감효과는 벼와 콩 및 도시정원의 경우 각각 21.0, 8.8 및 4.0 ppb 이었다.

또한 작물의 광합성에 의한 O₂ 발생에 의한 대기정화 효과를 벼와 콩에 대하여 각각 식 (9)와 식 (10)에 의하여 산정한 결과 14.74 및 11.30 kg O₂ 10a⁻¹ day⁻¹ 이었다.

적 요

도시지역의 식물에 의한 도시열섬 현상 저감 효과를 구명하기 위하여 서울, 부산, 대구, 대전, 광주, 수원 등 6개 도시지역의 근래 30년간 (1979-2008) 폭염기의 최고온도, 식물에 의한 온도 하강, 작물 증발산량, 대기오염 방지 기능 등을 조사 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 서울, 수원 등 6개 도시의 30년간 (1979-2008) 년 중 폭염기인 7월 하순과 8월 상순의 순 평균최고기온의 평균값은 35.03℃ 이었다.
2. 6개 도시의 폭염기 (7월하순 - 8월상순) 동안 벼와 콩의 최대 일평균증발산량은 각각 6.86 ton 10a⁻¹ day⁻¹ 및 6.00 ton 10a⁻¹ day⁻¹ 이었다.
3. 수원시 중심지에 위치한 도시 농경지의 도시열섬 저감 효과의 지표로 볼 수 있는, 벼 및 콩 군락의 온도와 기온과의 차이는 각각 10.5℃ 및 3.0℃ 이었다.
4. 안성시 외각에 위치한 도시농경지에서 폭염기간 동안 벼 및 콩 군락과 대기의 온도 차이는 각각 평균 2.6℃ 및 2.2℃ 이었다.
5. 2012년 년 중 최고 폭염일 (8월 5일)의 수원시 중심지에 위치한 도시 정원 식물 체 앞 표면온도는 대기온도 대비 2.0℃, 도시건물 외벽 대비 14.5℃ 더 낮았다.
6. 수원시 중심지의 식물에 의한 도시열섬 저감효과를 전력량으로 비교하면 벼 5,250, 콩 2,200, 도시정원 식물 1,000 MW day⁻¹ 이었다.
7. 수원시 중심지 폭염기의 작물 증발산량과 잠열에 의한 도시 열섬 현상 저감 효과를 원유의 양으로 비교하면, 벼 462.9, 콩 401.4 L원유 10a⁻¹ day⁻¹ 이었다.
8. 수원시 중심지 폭염기의 작물에 의한 CO₂ 흡수량은, 벼 20.27, 콩 15.54 kg CO₂ 10a⁻¹ day⁻¹ 이었다.
9. 수원시 중심지 폭염기의 작물에 의한 O₂ 발생량은 벼 14.74, 콩 11.30 kg O₂ 10a⁻¹ day⁻¹ 이었다.
10. 수원시 중심지 폭염기의 작물에 의한 오존 농도 저감 효과는 벼 21.0, 콩 8.8 및 도시정원 식물 4.0 ppb 이었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제명: 도시농업의 사회 문화 환경적 가치평가 및 교육자료 개발, 과제번

호: PJ9072452012)의 자원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Akbari, H. 2003. Measured energy savings from the application of reflective roofs in 2 small non-residential buildings. *Energy*. 28:953-967.
- Akbari, H. 2002. Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environ. Pollution*. 116:S119-S126.
- Akbari, H., M. Pomerantz, and H. Taha. 2001. Cool surface and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*. 70(3):295-310.
- Akbari, H., S. Bretz, D. Kurn, and J. Hanford. 1997. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. *Energy Buildings*. 25:117-126.
- Eom, K.C. 2011. Development of a system for integrated evaluation of the impact of climate change on agro-ecosystem. Research Report. RDA Agenda Project, RDA, Suwon. Korea. (In Korean)
- Eom, K.C. and S.H. Park. 2012. Water saving irrigation of house red pepper for the north region of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2):312-316.
- HAL. 2011. Urban heat islands mitigation. Guidance and Resources for Valley and Businesses, Local Government, and Residents 3-17.
- KEI. 2009. A study on strategies to mitigate urban heat island effects as part of climate change adaptation in urban areas. Research Report 1-32.
- Lim, J.N. 1988. Modeling of estimating soil moisture, evapotranspiration and yield of Chinese cabbages from meteorological data at different growth stages. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 21(4):386-408.
- NIAST. 1982~1996. Research Report. Soil and Fertilizer Management Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon. Korea. (In Korean)
- Park, J.H. 2011. Global warming and heat island effect. *Korean Nati. Comm. Irri. Drain.* 9:20-28.
- Park, K.Y., S.W. Lee, J.K. Kim, and H.Y. Hwang. 2011. Analysis on the mitigation effect of urban heat island through water cycle construction. *J. Korean Regi. Develop. Assoc.* 6:118-130.
- Rosenfeld, A.H., J.J. Romm, H. Akbari, and M. Pomenrantz. 1998. Cool communities: strategies for heat islands mitigation and smog reduction. *Energy Buildings*. 28:51-62.
- Taha, H., S. Konopacki, and S. Gabersek. 1996. Modeling the meteorological and energy effects of urban heat islands and their mitigation: A 10-Region Study. Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-38667, Berkeley, CA.