

토양의 온도와 수분이 크리핑 벤트그래스 (*Agrostis palustris* Huds) 생육에 미치는 영향

임승현 · 정준기 · 김기동 · 주영규*

연세대학교 과학기술대학 생명과학기술학부

Effect of Temperature and Water Content of Soil on Creeping Bentgrass(*Agrostis palustris* Huds) Growth

Seung-Hyun Lim, Jun-Ki Jeong, Ki-Dong Kim and Young-Kyoo Joo*

Div. of Biological Sci. and Tech., Yonsei Univ. Wonju 220-710, Korea

ABSTRACT

The high temperature and water content in soil profile probably affect the physiological disorder especially on cool-season turfgrasses in warm and humid weather of Korean summer. The purpose of this research was to analyze the effect of soil temperature and water content on the growth and stress response of creeping bentgrass(*Agrostis palustris* Huds.) under a humid and warm temperature. USGA(United State of Golf Association) green profile in laboratory test, Daily temperature changes were tested under a dried sand, 70% water content of field capacity, and saturated condition at 34°C of the USGA green in lab. In this test, the dried sand reached to 80°C, however, the surface temperature decrease of 10°C on the saturated condition. In the thermal properties test in field, thermal conductivity, thermal diffusivity, and soil temperature were increased followed by irrigation practise. In the water-deficient condition, the highest soil temperature was reached temporally right after irrigation, however, the excessive soil water content higher than field water holding capacity showed the highest soil temperature after a while. This result indicated that a heat damage to root system was caused from the thermal conductivity of a high surface soil temperature. The excessive irrigation when a high turf surface temperature should occur a negative result on turfgrass growth, moreover, it would be fatal to root growth of

*Corresponding author. Tel : +82-33-760-2250

E-mail : ykjoo@yonsei.ac.kr

Received : Sep., 25, 2009, Revised : Nov., 10, 2009, Accepted : Nov., 20, 2009

creeping bentgrass, especially when associated with a poor draining system on USGA sand green.

Overall, this study shows that high soil temperature with water-excessive condition negatively affects on cool-season grass during the summer season, suggesting that excessive irrigation, over 70% field capacity of soil condition, does not help to reduce soil temperature for summer season in Korea.

In the study that cool-season grass were treated with different water content of soil, The soil had higher temperature and more water holding capacity when treatment rate of soil conditioner was increased. The best growth at the normal water condition and the worst state of growth at thee water-excessive condition were observed.

Key words : thermal property, soil temperature, soil moisture, bentgrass, irrigation

서 론

여름철 고온 다습한 우리나라 기온에서 토양 온도와 수분은 잔디의 생리학적 변화를 초래하며, 특히 한지형 잔디생육은 우리나라 여름철기후 특이성에 많은 영향을 받는다. 식물생리학적 관점에서 고온 및 과수분이 잔디의 질을 감소시키는 원인으로는 탄수화물 축적, 광합성량, 세포의 안정화, 잎의 수분 potential, 및 뿌리의 성장 등에 있다(Howard and Watschke, 1991; Carrow a and b, 1996; Jiang and Huang, 2000). 한지형 잔디가 극심한 온도 스트레스를 받는 고온기에는 병원균 번식이 증가하여 고온성 병해가 발생하며(한국잔디연구소, 1991), 습도 등 다른 환경 요소도 영향을 미친다.

우리나라와 비슷한 기후를 가진 미국 기후변환대(transitional zone)에서의 잔디관리법으로는 여름철 가장 더운 기간 동안에 매일 관수를 하고 있고, 특히 건조된 지역에는 손으로 직접 관수를 한다(Jordan et al., 2003). 이와 같은 토양 관리법을 통해서 토양 온도가 2~5°C 정도 감소된다고 보고된 바 있다(DiPaola, 1984). 이에 따라, 우리나라에서도

토양 온도를 낮추기 위해 일반적인 골프장에서는 여름철에 토양 온도가 올라감에 따라 관수를 통해 토양 온도를 낮춰 주고 있다(한국잔디연구소, 1991). 그러나, 구 등(2002)은 관수를 빈번히 하게 되면 뿌리의 심도가 낮아지고 탄수화물의 소모가 증가되어 잔디의 활력과 가뭄 저항성을 약화시키거나 증발산량이 많아져 물의 유실량을 증가시키게 되어 잔디에 좋지 않은 영향을 미친다고 보고하였다. 또한, 토양 물리학적 관점에서는 단위 무게 및 단위 온도 당 수분이 토양에 비해 상대적으로 더 높은 열용량(volumetric heat capacity) 및 열전도도(thermal conductivity)를 가지게 됨으로서(Kluitenberg et al., 2002) 고온 조건에서의 과도한 수분공급은 잔디 성장을 저해할 수도 있다. 따라서 대기로 부터 복사된 열은 수분을 통해 여름철에는 더 빠르게 전도되어, 토양 온도는 급격하게 올라가 식물체에게 많은 피해를 입힐 수도 있다. 이에 따라 온도와 수분이 토양의 물리적 특성 및 식물체 생육에 미치는 메커니즘을 이해할 필요가 있다.

본 실험은 온도 및 열 특성과 관계가 깊은 토양 입자 크기, 토양 수분, 및 대기 온도와 같은 토양 물리적 성질과 토양 온도와의

메커니즘을 규명하고자 하였다. 실험 방법으로는 토양 수분별 토양 온도 및 열 특성 반응을 확인하고, 토양 수분 함량과 온도에 따른 bentgrass(*Agrostis palustris* Huds.)의 생육과 생리적 스트레스 반응을 평가하였다. 특히, 모의 USGA(United State of Golf Association) 그린 조건에서 토양 온도 및 열 특성 실험을 실시함으로써 본 실험 결과의 응용성을 넓히고자 하였다.

재료 및 방법

공시재료 및 실험조건

본 실험에 사용된 초종은 creeping bentgrass이며, 토양은 원주시 문막모래가 사용되었다 (Table 1). 실험은 강원도 원주시에 위치한 연세대학교 생태공학연구실과 교내실험포장에서 실행하였다. 토양수분함량과 온도에 따른 bentgrass 생육반응을 확인하기 위해 모의 USGA 그린 컬럼 위에 bentgrass를 식재하였다. 잔디는 2주간 뿌리를 활착시킨 후 실험을 하였다. 하루에 3회 관수를 실시했고, 1주일에

1회 복합비료 Hyponex®(5-10-5, Hyponex japan)를 시비했다. 25℃ 챔버 내에서 12시간 주기로 빛을 주었다.

본 실험에서는 3가지 토양 수분을 가지고 실험을 실시하였으며, (1)건조조건이라 함은 105℃ 챔버 내에서 24시간 건조시킨 조건을 말하며, (2)과수분조건이라 함은 24시간 등은 포화시킨 조건을 말하며, (3)정상수분조건이라 함은 24시간 포화시킨 후 다시 24시간 자연 배수시킨 조건을 말한다. 정상수분조건은 70% 포장용수량이라 정의하였으며, 본 USGA 그린 규격 모래인 문막모래의 경우 17%의 수분 함량에 해당하였다.

엽록소 형광 측정은 Opti-Science사의 OS-30을 이용하여 측정하였다. Catalase 활성 측정은 Chance와 Maehly Method(1955)에 준했다. 초기에는 흡광도의 기울기가 일정하지 않기 때문에 초기 3분 동안 안정화를 시킨 후, 매 분마다 측정하였다. SOD는 Giannopolitis와 Ries(1977)의 방법에 의해 nitro blue tetrazolium의 발색의 변화를 측정하였다. 반응물(3 mL)은 50 μM NBT, 1.3 μM riboflavin), 13 mM methionine, 75

Table 1. Physical and chemical properties of sand

		Unit	sand
Physical properties	Total porosity	%	41.5
	Capillary porosity at 40 cm tension	%	14.9
	Air filled porosity at 40 cm tension		
	Bulk density	%	26.7
	Particle density		
	Hydraulic conductivity	gcm ⁻³ gcm ⁻³ cmhr ⁻¹	1.6 2.7 71
Chemical properties	pH (1:5)		6.7
	EC (1:5)	dS m ⁻¹	0.005
	CEC	cmol(+)kg ⁻¹	2.08
	P ₂ O ₅	mgkg ⁻¹	11.9
	K ⁺	cmolkg ⁻¹	0.11
	Ca ²⁺	cmolkg ⁻¹	0.24
	Mg ²⁺	cmolkg ⁻¹	0.15

nM EDTA, 50 mM phosphate buffer(pH 7.8), 20 μ L의 효소 추출액과 대조구인 무효소 용액을 사용하였으며 spectrometer를 이용해서 560 nm의 흡광 파장에서 측정하였다.

토양 수분함량에 따른 bentgrass의 생육 포장 실험

토양 수분 함량이 bentgrass 생육에 미치는 영향에 대한 실험은 포장에서 실시하였다. 토양 수분 처리구로는 대기 온도가 최고점에 이르는 12시 전에 관수하는 방법(10시 30분 처리구)과 12시 이후에 관수하는 방법(14시 30분 처리구)으로 나누어 실시했다. 토양 온도는 Watch dog[®] (Spectrum Technologies, Inc)로 측정되었으며, 열 특성은 KD2(Decagon devices, Inc)를 이용해서 열 전도성, 열 확산성 및 열 저항성을 측정하였다(ASTM D 5334-00; IEEE 442-1981). 포장은 USGA 그린 규격 모래로 구성된 포지에 가로 1 m, 세로 1 m의 bentgrass 뗏장을 두개 처리구, 3 반복씩 조성하였다. 뗏장을 조성 후 1개월간 안정화 기간을 통해 뿌리가 활착할 수 있도록 기간을 두었다. 안정화 기간 중 관수는 스프링클러를 통해 하루에 3회(8:30, 12:30, 16:30) 실시하였다. 일주일에 두 번 깎기를 통

해 예고 높이를 약 3 cm로 일정하게 관리하였다. 조성된 포지에 0, 5, 15, 25 cm 깊이로 온도센서를 심었다. 시간은 8시 30분부터, 2시간 단위로 6번 측정했다. 수분 조건 관수는 제 1 처리구는 8시 30분, 10시 30분에 각각 관수를 해주었고, 제 2 처리구는 14시 30분에 관수한 후 각각 측정하였다.

결과 및 고찰

모의 USGA 그린 토양 컬럼에서의 토양 온도 및 열 특성

토양 수분함량에 의한 토양 온도 및 열 특성을 알아보기 위한 모의 USGA 토양 컬럼에서의 토양 온도는 Fig. 1~3과 같이 수분이 거의 없는 건조 상태에서의 토양 온도는 34 $^{\circ}$ C로 발열 했을 때 토양 표면 온도가 80 $^{\circ}$ C까지 올라가는 것을 알 수 있었다(Fig. 1). 반면, 과수분 조건에서 34 $^{\circ}$ C 발열을 했을 때에는 건조 조건에 비해 상대적으로 온도 상승이 낮은 것을 알 수 있었다(Fig. 2). 이는 토양이 고온과 접했을 때 기화열 혹은 표층 하부로의 열전도를 통해 표면온도를 일시적으로 감소시킨다고

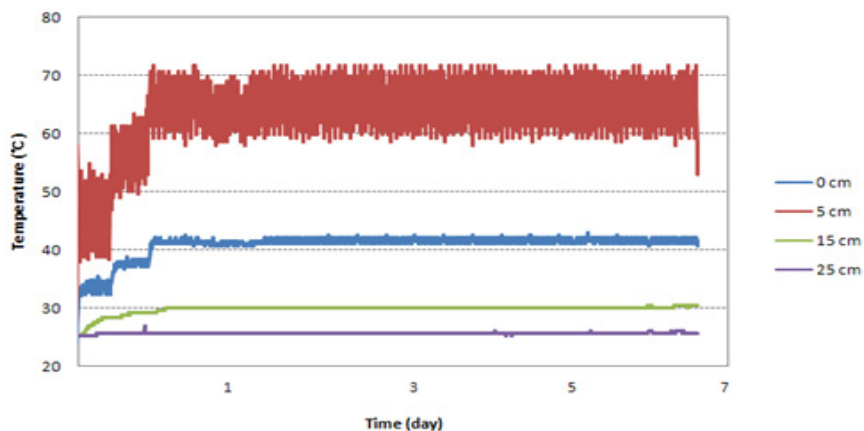


Fig. 1. Daily temperature changes of the dried USGA green sand in lab.

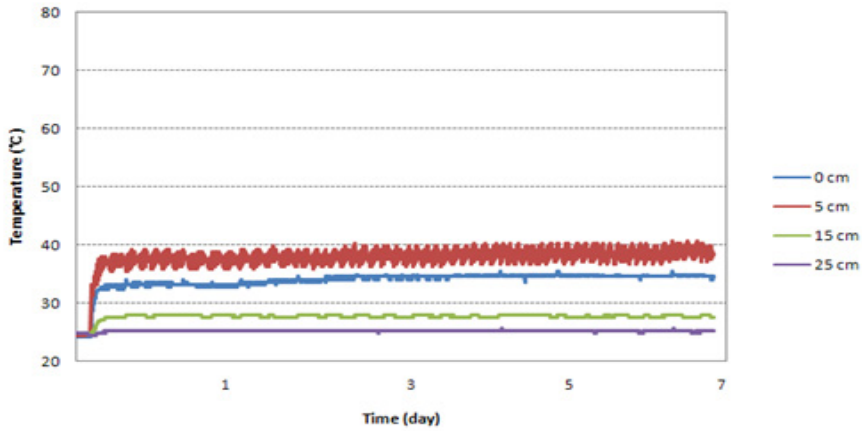


Fig. 2. Daily temperature changes of the USGA green sand at 70% water content of field capacity condition in lab.

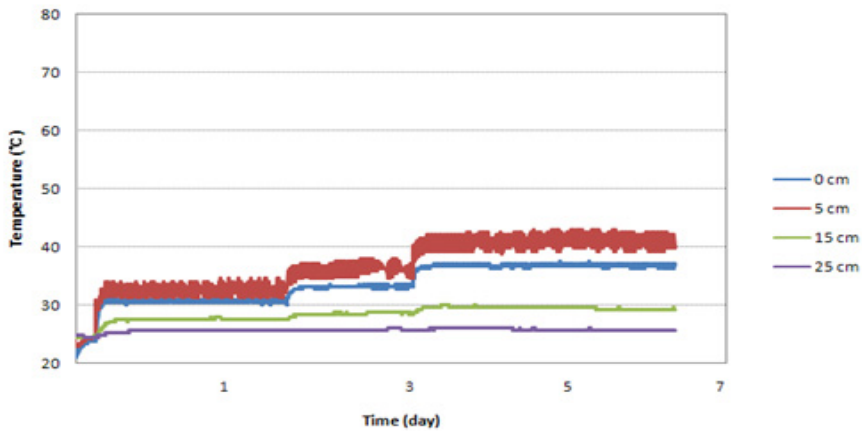


Fig. 3. Daily temperature changes of the USGA green sand at saturated condition in lab.

예상된다. 즉, 한 여름 고온에의 노출된 잔디에 관수를 해줌으로서 일시적으로는 토양 온도를 내리는데 효과적이라고 할 수 있다. 하지만 시간이 지남에 따라 수분의 열전도도 특성 때문에 하부 토양 온도는 상승할 것으로 예상된다.

토양 수분 함량과 온도에 따른 한지형 잔디 반응평가

토양 수분함량이 서로 다른 토양에서 고온 처리에 따른 토양 온도 및 잔디 생육을 관찰

하기 위하여, 같은 온도를 발열하였을 때 한지형 잔디의 변화를 측정하였다. 각각의 조건에서의 온도 변화는 Fig. 4와 같이 측정되었다. Fig. 4에 따르면, 수분결핍 조건(Fig. 4(a))에서는 47°C, 정상수분 조건(Fig. 4(b))에서 온도가 40°C까지 증가하는 것을 볼 수 있는 반면에 과수분 조건(Fig. 4(c))에서는 62°C, 까지 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.

과수분 조건(Fig. 4(c))에서는 일정 시간이 지난 후에 온도가 급격하게 올라가는 것을 알 수 있다. 이는 관수를 과하거나 적게 주었을

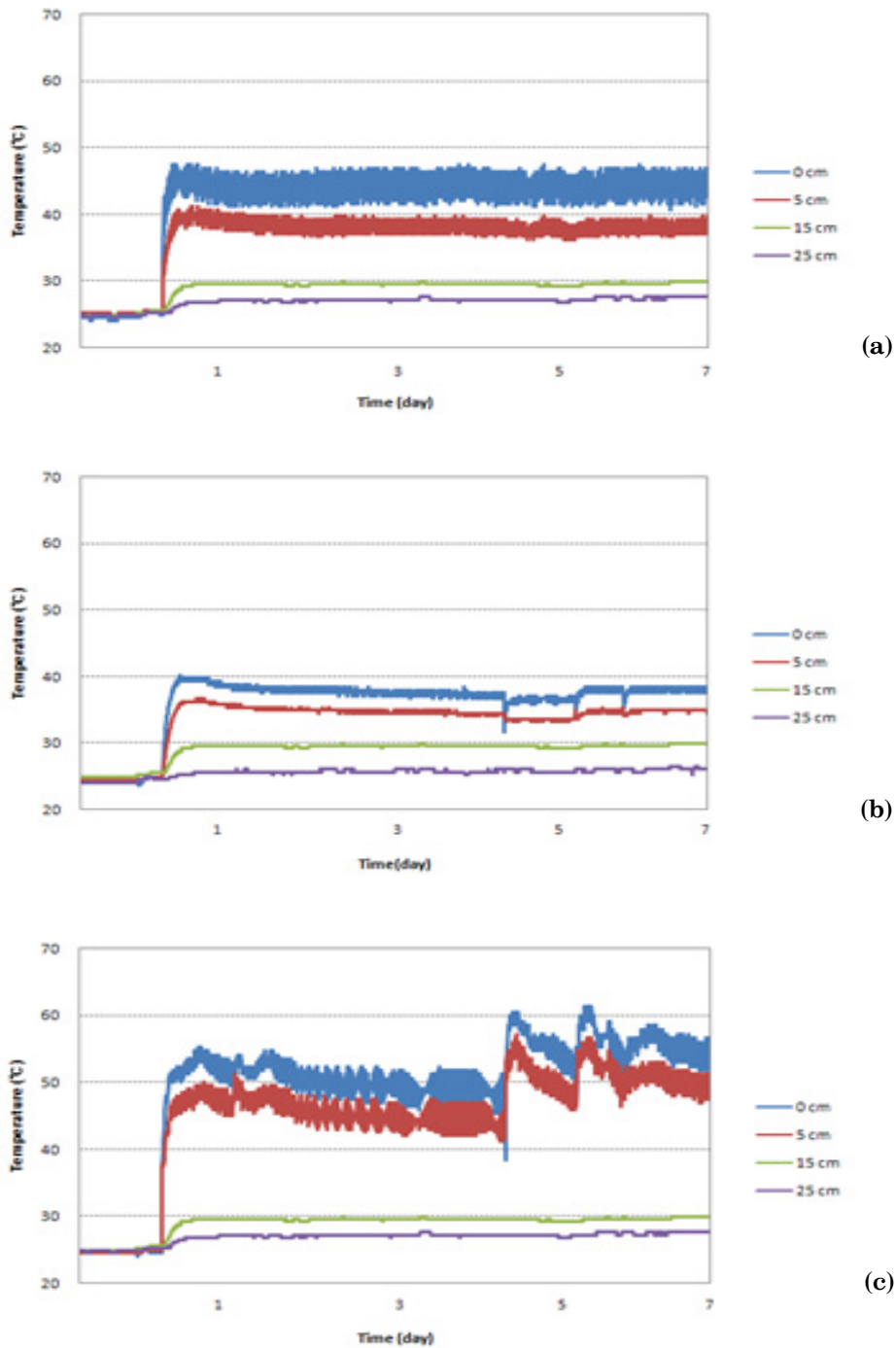


Fig. 4. Daily temperature changes (a) dried condition, (b) 70% water content of field capacity condition, and (c) saturated condition at 34 °C of the USGA green sand in lab.

때 수분과 공기의 열전도도 때문에 열이 급격하게 올라가 잔디가 생육에 피해를 받는다는 것을 보여준다. 공기의 열전도도가 수분의 열전도도에 비해 낮기 때문에 과수분 조건에서 식물체가 더 많은 피해를 입을 것이라 예상된다.

엽록소 흡광도 측정

식물은 환경요인에 영향을 받아 생리 활성이 능동적 또는 수동적으로 달라진다. 그 중 광합성은 가장 민감한 대사과정의 하나라고 할 수 있다. 이에 따라 엽록소에서 방출되는 형광을 측정함으로써 식물체의 스트레스 정도를 확인 할 수 있다. 형광이란 광합성 초기 광화학 반응에 사용되지 못한 빛 에너지의 일부가 다시 빛 빛으로 방출되는 것을 말한다. 이러한 엽록소 흡광도 측정은 식물 스트레스 생리학에 있어서 광합성과 관련된 스트레스 지표로 널리 알려진 바가 있다(천, 2006). 수분을 달리 하였을 때 생리학적 반응 평가는 Table 2와 같다. 생체량은 정상 조건, 건조 조건, 과수분 조건 순으로 낮게 측정되는 것을 볼 수 있었다. 식물체 높이의 변화도 마찬가지로 정상 조건에서 가장 높게 자랐고, 포화조건에서 가장 낮은 변화를 보였다. 엽록소 형광성 측정에서도 마찬가지로 정상조건에서 가장 높은 수치를 보였고, 포화조건에서 가장 스트레스를 많이 받는 것으로 나왔다.

효소 측정 반응으로 SOD와 CAT의 효소 반

응을 측정한 결과, 정상조건에서 가장 높은 효소 반응 수치를 보였고, 포화 조건에서 가장 낮은 수치를 보였다. SOD와 CAT의 활성화 변화는 스트레스에 영향을 받는다고 보고된 바 있다. SOD와 CAT의 활성이 감소되거나 증가하거나 변하지 않는 것은 열과 가뭄에 영향을 받는다고 보고되었다(Quartacci 와 Navari-Izzo, 1992). SOD와 CAT의 활성은 짧은 열의 쇼크에서도 발생한다(Willekens et al., 1995; Foyer et al., 1997; Dat et al., 1998). 이를 바탕으로 Table 2에서 보듯이 과수분과 수분 결핍의 스트레스를 받는 식물체에서 SOD와 CAT의 활성도가 낮게 측정되어진 것을 볼 수 있다. SOD와 CAT의 활성은 짧은 열의 쇼크에서도 발생한다(Dat et al., 1998).

초기에는 수분 결핍 조건이 다른 조건에 비해 스트레스를 받는 반면에 시간이 지나감에 따라 수분의 열 특성에 의해서 과수분 조건에서의 온도가 가장 높게 올라가는 것을 볼 수 있다. 이는 과수분 조건에서 여름철에 온도가 올라감에 따라 물이 끊는 현상에 의해 식물체에 가장 많은 피해를 입게 되는 것을 알 수 있다(Fig. 5). 정상적인 조건에서의 잔디뿌리 상태(a)에 비해 고온조건하에서는 뿌리 끝이 스트레스를 받아 손상된 것을 알 수 있다.

포장에서의 수분과 온도에 따른 열 특성 변화평가

포장에서의 수분과 온도에 따른 열 특성의

Table 2. Physiological changes of bentgrass in soils with 70% field capacity, dried, and saturated condition.

	Unit	70% Field capacity condition	Dried condition	Saturated condition
Root weight	g	1.6	1.1	0.8
Leaf weight	g	2.5	1.8	1.3
Leaf length	cm	15.9	10.9	8.2
F_v/F_m		1.6	1.5	1.2
SOD	mg ⁻¹ protein	32	23	21
CAT	mg ⁻¹ protein	138	84	47

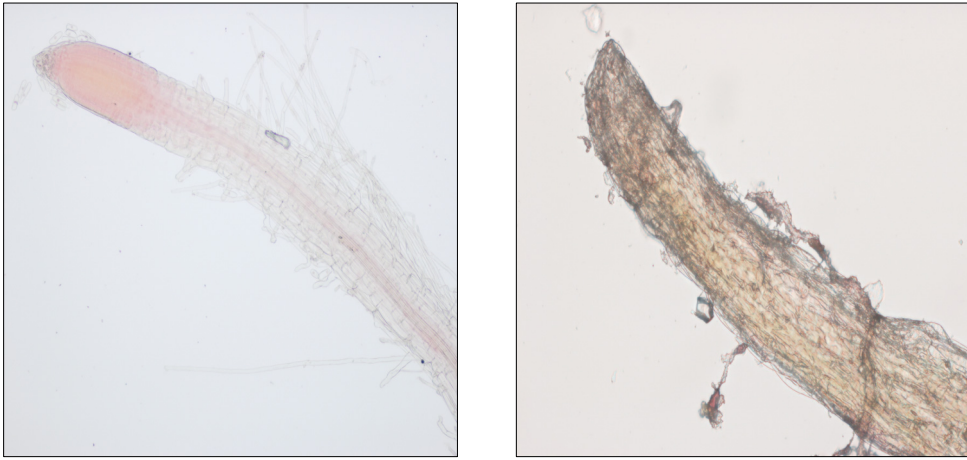


Fig. 5. Microscopic pictures of root tip (a) normal growth (b) root tip under saturated condition for 8 hours heat stress under 60°C in lab.a

변화를 측정된 결과는 Fig. 6~9과 같이 측정되었다. 토양 내 온도(Fig. 6)는 정오가 되면 최고점에 다다르게 된다. 깊이별 온도 변화를 보면 표면, 5 cm에서 온도가 가장 높이 올라가고 깊이가 깊어질수록 표면보다 낮아지는 것을 확인 할 수 있다. 이는, 낮은 높이로 활착하는 경우보다 깊게 활착했을 경우 열의 직접적인 피해를 피할 수 있다고 예상된다. 열 저항성(Fig. 7)은 아침에 가장 높게 측정되었

다가 시간이 지나고 온도가 올라감에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다. 온도가 올라가고 수분이 더해짐으로서 열 저항성은 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 열전도도(Fig. 8)와 열 확산성(Fig. 9)은 수분이 주어진 후에 증가하는 것을 볼 수 있다. 온도가 올라감에 따라 수분이 더해짐으로서 더 높은 증가량을 나타냈다. 수분이 있는 상태에서 높은 온도가 주어지면 수분이 없는 상태보다 토양은 더 빠르게

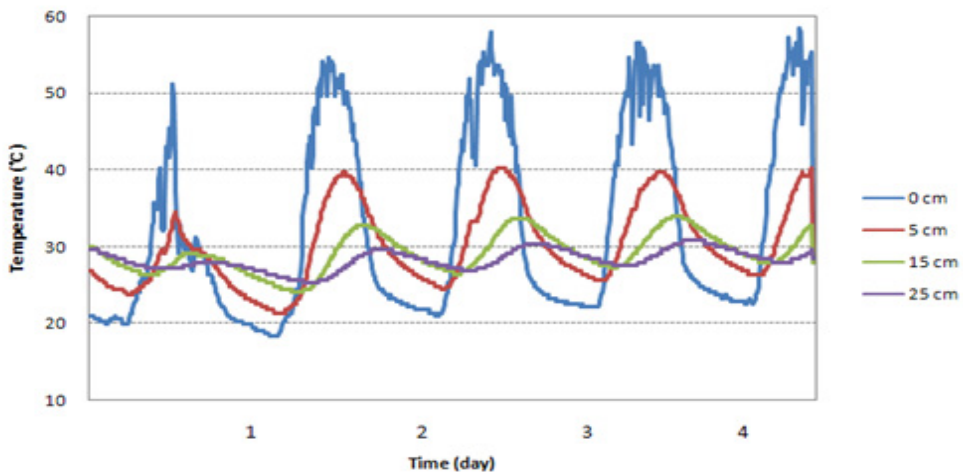


Fig. 6. Daily temperature changes of the USGA green sand in field at 0, 5, 10, and 25 cm soil depth during Aug. 16 to 19, 2006.

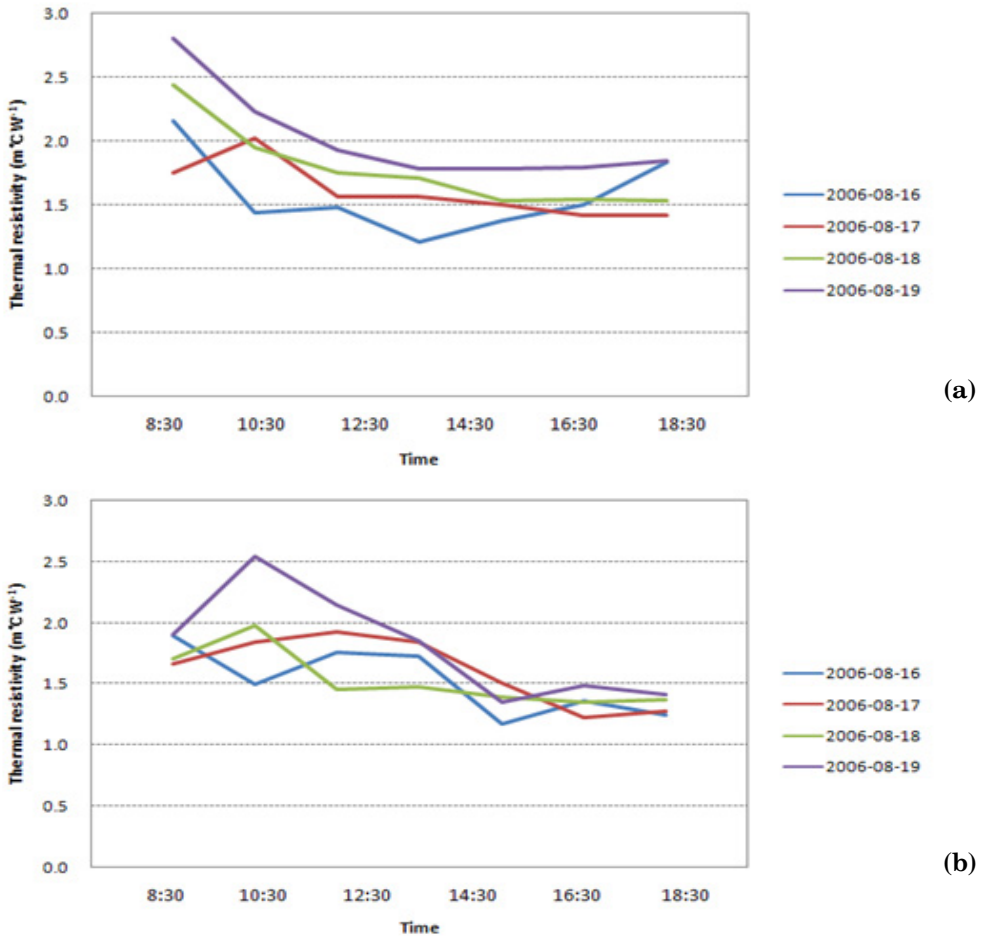


Fig. 7. Daily changes of the thermal resistivity at the USGA green sand in field with (a) irrigation at 10:30 and (b) irrigation at 14:30 during Aug. 16 to 19, 2006.

온도가 올라간다(Jiang 과 Huang 2000). 이는 수분에 의해 열전도도가 높아지기 때문이다. 여름철 과도한 관수는 식물체에 좋은 영향을 미치기 보다는 높은 고온과 높은 열전도도에 의해 악영향을 미치기 쉽다. 수분이 열을 식혀주는 현상은 일시적인 현상으로 장기적으로 보게 되면 온도를 더 빠르게 올려주는 매개체가 되는 것이다.

이상의 결과, 시간이 지남에 따라 열전도도가 높은 과수분 조건에서 수분 결핍 조건보다 온도가 더 높이 올라가는 것을 알 수 있다.

이는 높은 온도에 의해 열이 퍼지는 성질인 확산성에 의해 토양의 지면 온도가 순식간에 올라가는 반면 차가운 수분의 영향으로 인해 높은 온도가 가하여 졌을 때에는 순간적으로 토양의 온도가 낮아지지만 시간이 지남에 따라 열전도도가 높은 수분에 의해 토양의 온도는 급격하게 올라간다고 판단된다. 이로 인해 여름철 높은 온도로 인해 많은 양의 관수를 해주는 것은 단기적으로 보았을 때에는 지면의 온도를 식혀주는 역할을 하지만 장기적으로 보았을 때 열전도도가 높은 수분으로 인해

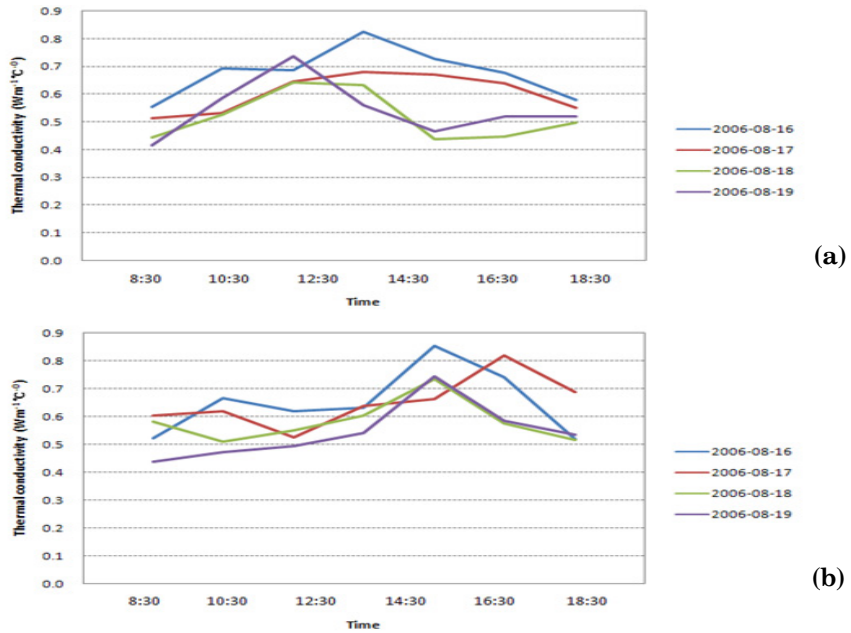


Fig. 8. Daily changes of the thermal conductivity in field with (a) irrigation at 10:30 and (b) irrigation at 14:30 during Aug. 16 to 19, 2006.

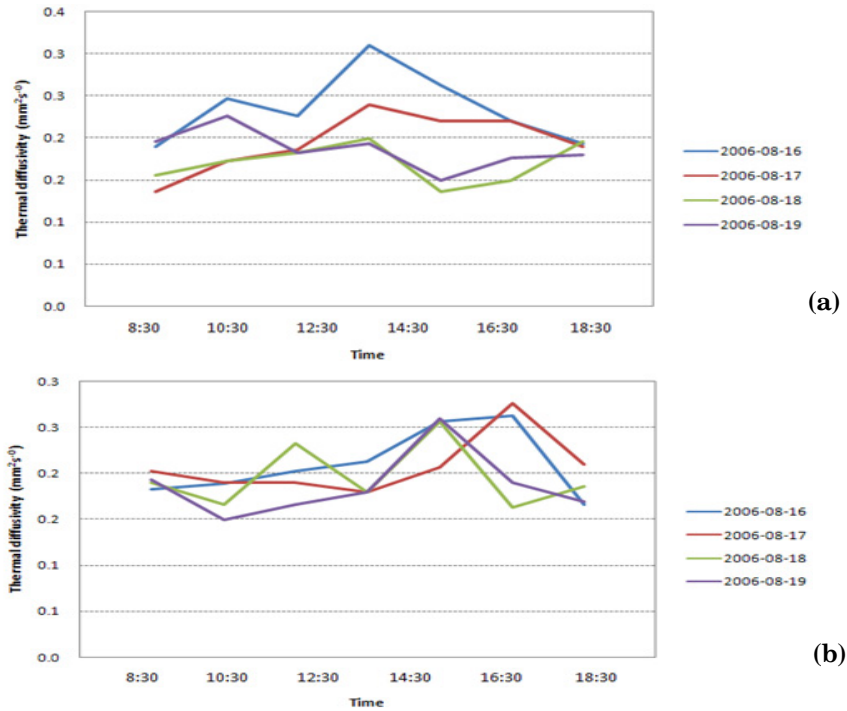


Fig. 9. Daily changes of the thermal diffusivity in with (a) irrigation at 10:30 and (b) irrigation at 14:30 during Aug. 16 to 19, 2006.

잔디의 생육에 부정적인 영향을 보일 것으로 판단된다. 이는 잔디 표면부 온도가 높은 시각대의 과도한 관수는 여름철 잔디의 생육에 부정적 영향을 미치며, 소나기 등에 의한 일시 침수 시 지반배수의 불량은 잔디 생육에 치명적인 요인이 될 수 있다는 것을 의미한다.

요 약

여름철 고온 다습한 우리나라 기온에서 토양 온도와 수분은 잔디의 생리학적 변화를 초래하며, 특히 한지형 잔디생육은 우리나라 여름철 기후의 특이성에 많은 영향을 받는다. 본 실험은 크리핑 벤프그래스(*Agrostis palustris* Huds.)를 이용하여 고온의 조건에서 각기 다른 토양 수분함량 조건에서의 한지형 잔디생육을 관찰하였다. 구체적인 실험 방법으로는 수분함량과 온도에 따른 bentgrass의 생육 및 생리적 스트레스 반응을 평가하였다. 모의 USGA(United State of Golf Association) 그린 조건에서의 토양 온도 및 열 특성 실험 결과 수분이 거의 없는 건조 상태에서의 토양 온도는 34℃로 발열 했을 때 토양 표면 온도가 80℃까지 올라가는 것을 알 수 있었다. 반면, 과수분 조건에서 34℃ 발열을 했을 때에는 건조 조건에 비해 상대적으로 10℃가 낮은 것을 알 수 있었다. 실험 포장에서의 온도와 수분에 따른 열 특성 변화는 관수시기와 무관하게 처리구 모두에서 관수 후에 열전도도(thermal conductivity), 열 확산성(thermal diffusivity), 및 토양 온도가 증가하였다. 이는 수분이 공기에 비해 상대적으로 높은 열전도도를 갖기 때문으로 사료된다. 또한, 본 실험에서 관수 초기에는 과수분 조건에 비해 수분 결핍 조건에서 토양 온도의 증가를 보였으며, 시간이 지남에 따라 과수분 조건에서 더 높은

토양 온도의 증가를 확인하였다. 즉, 토양 온도는 과수분 조건에서 열전도에 의해 높아져 잔디의 생육에 영향을 미친다. 이는 잔디 표면부 온도가 높은 시각대의 과도한 관수는 여름철 잔디의 생육에 부정적 영향을 미치며, 소나기 등에 의한 일시 침수 시 지반배수의 불량은 잔디 생육에 치명적인 요인이 될 수 있다는 것을 의미한다.

주요어 : 열 특성, 관수, 토양 온도, 토양 수분, 벤프그래스

참고문헌

1. 구자형. 2002. 녹색 천연잔디 운동장의 조성 및 관리. 국민체육진흥공단
2. 천소율. 2006. 토양자원학 실험.
3. 한국잔디연구소. 1991. 골프장 관리기본과 실제.
4. Carrow, R.N. a, 1996. Drought avoidance characteristics of diverse tall fescue cultivars. *Crop Science* 36:371-377.
5. Carrow, R.N. 1996. Summer decline of bentgrass greens. *Golf Course Management* 4:51-56.
6. Dat JF, Lopez-Delgado H, Foyer CH, Scott IM (1998) Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiology* 116: 1351-1357
7. DiPaola, J.M. 1984. Syringing effects on the canopy temperature of bentgrass greens. *Agronomy Journal*

- 76:951-953
8. Foyer CH, Lopez-Delgado H, Dat JF, Scott IM (1997) Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signaling. *Physiol Plant* 100: 241-254
 9. Howard, H. and T.L. Watschke. 1991. Variable high-temperature among Kentucky bluegrass cultivars. *Argon. Journal* 83:689-693
 10. Jordan, J. E., R. H. White, D.M. Vietor, T.C. Hale, J.C. Thomas, and M.C. Engelke. 2003. Effect of irrigation frequency on turf quality, shoot density, and root length density of five bentgrass cultivars. *Crop Science* 43:282-287.
 11. Jiang, Y. and B. Huang. 2000. Effects of drought or heat stress alone and in combination on kentucky bluegrass. *Crop Science* 40:1358-1362.
 12. Kluitenberg, J.M., J.M. Kevin, R. Horton, N.N. Ibrahim, and K.L. Brostow. 2002. Soil Heat. p. 1181-1252. In J. H. Dane and G. C. Topp. (ed). *Method of soil analysis: Part 4 Physical methods*. SSSA Book series 5. SSSA, Madison, WI.
 13. Willekens H, Inzé D, Van Montagu M, Van Camp W (1995) Catalases in plants. *Molecular Breeding* 1: 207-228
 14. Quatacci M.F., Navari-Izzo F., 1992, Water stress and free radical mediated changes in sunflower seedlings. *Journal of plant physiology*, 139:621-625.