

겨울철 지하부의 가온처리가 경기장 잔디의 생육 및 무기성분 함량에 미치는 영향

구자형 · 이해정

충남대학교 농업생명과학대학 원예학과

Effect of Undersoil Heating on Growth and Mineral Contents of Turfgrasses in Simulated Athletic Field During Winter Season

Ja-Hyeong Ku · Hye-Jung Lee

Department of Horticulture, College of Agriculture and life Sciences,
Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

ABSTRACT

Studies were conducted to determine the effect of undersoil heating on growth and quality of turfgrasses including Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L. 'Nuglade'), perennial ryegrass (*Lolium perenne* L. 'Accent'), tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb. 'Pixie'), and Korean lawngrass (*Zoysia japonica* Steud.) in simulated athletic field during winter season in Korea. Mineral contents in clippings of turfgrasses grown at different soil mixtures and temperatures were also analyzed. Undersoil heating (approximately $20 \pm 2^\circ\text{C}$) was effective in protecting turfgrasses except Korean lawngrass from freezing injury and discoloration of shoots due to extremely cold temperatures during midwinter. Among turfgrasses grown at undersoil heating zone, tall fescue and perennial ryegrass showed the highest clipping weights and chlorophyll contents, respectively. However, anthocyanin contents of shoots were higher in Kentucky bluegrass. There was little or no difference in clipping weights, chlorophyll contents, anthocyanin contents and greenness of shoots between turfgrasses grown at two soil mixtures composed of 80% sand + 10% peat moss + 10% soil (v/v/v) and 80% sand + 20% pea moss (v/v). Contents of mineral K, Ca and Mg in clippings of cool-season turfgrasses were comparatively higher in a soil mixture composed of 80% sand + 10% peat moss + 10% soil, but little difference in contents of N and P was observed between two soil treatments. Results indicated that undersoil heating can improve quality of turf surface by thawing soil, melting snow, and maintaining shoot growth and greenness of turfgrasses in sports field during winter season.

Key words: soil mixtures, clipping weight, snow melting, chlorophyll, anthocyanin

*Corresponding author. Tel : 042-821-5737
E-mail : kuja99@cnu.ac.kr

서 론

최근에 들어서 골프장의 페어웨이와 축구경기장은 물론 각급 학교의 운동장, 정원의 잔디밭 조성에서 Kentucky bluegrass를 비롯한 tall fescue 및 perennial ryegrass 등의 재배면적이 크게 증가하고 있다. 녹색 기간이 긴 한지형 잔디의 지상부는 15℃에서 23℃ 사이에서 생육이 가장 왕성하고 뿌리생육에 적합한 토양온도는 10℃에서 18℃이다(Beard, 1973; Christians, 1998; Turgeon, 1991). 대개 한지형 잔디는 4~5℃ 이하가 되면 shoot의 생육이 정지되고 0℃에서 뿌리의 생육이 정지되는 것으로 알려지고 있다. 그러나 한국의 기후조건은 겨울철에는 대륙성기후의 영향을 받아서 영하 5℃에서 영하 10℃ 이하까지 내려갈 때가 많고 건조하여 한지형 잔디라 할지라도 중부지방의 경우에는 12월 중순부터 이듬해 3월 중순까지는 생육이 정지되고 지상부가 갈변하여 고사하는 경우가 대부분이다. 또한 대부분의 경기장은 한겨울이 되면 잔디 지반의 표면이 결빙되어 공의 구름이 정상적이지 못하고 선수들이 상처를 입을 우려가 많아 경기의 진행이 어렵기 때문에 사용이 제한될 수밖에 없다. 따라서 겨울철에는 실내에서 이루어질 수 있는 몇 가지 대중적인 운동경기만이 행해질 수밖에 없고 막대한 경비를 들여 건립한 시설의 이용률이 크게 줄어드는 결과를 초래하게 된다.

미국 및 유럽에서는 겨울철에 경기장 지반부위를 가온하여 경기장의 이용률을 높이려는 시도가 많이 진행되고 있다(Barrett and Daniel, 1966; Skogley, 1969; Daniel and Barrett, 1966; Hbjerg, 1977; Ledebor et al, 1971). 또한 덩거나 차가운 공기를 공급하여 지반의 온도를 조절하는 SubAir™ 시스템(Christians, 1998; Dodd et al, 1999; Fisher, 1974)을 사용하는 축구 경기장의 수도 늘어가고 있다. 그

예로서는 일본의 Saitama stadium(Mattox, 2001) 영국의 Millenium stadium, 독일의 Westphalia stadium, 미국의 Cleveland stadium 등이 지반부에 heating system을 설치하여 운영하고 있다. 또한 일부 골프장에도 서리가 녹지 않고 오래 지속되는 그린의 사용을 위하여 heating system을 설치하여 경기의 진행을 원활하게 하는 데 사용하고 있다.

본 연구는 한국지역에서 경기장의 이용률을 높이기 위한 기초연구로서 토양온도를 조절하여 한지형 잔디를 재배할 경우 잔디의 생육속도 여부와 품질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

대조구의 지반은 USGA방법에 준하여 조성하고(USGA Green Section Staff, 1993) 온도 처리구는 Fig. 1과 같이 조성하였다. USGA방식과 다른 점은 물의 강제적인 흡·배수시에 일어날 수 있는 모래의 유동을 막기 위하여 굵은 모래의 아래 부분에 망사를 깔고 다시 콩자갈 층을 설치하였으며 바닥면에 부직포와 플라스틱 film을 설치하였다. 지반의 온도조절을 위한 heat pipe는 40cm 깊이에 40cm 간격으로 설치하고 그 사이에 급·배수관을 설치하였다. Heat pipe는 2중으로 구성되어 안쪽 pipe에 물과 glycol의 혼합용액이 중앙조절장치를 통하여 순환되도록 하였다(이 등 2001). 토양온도는 표면에서 10cm 깊이에 thermostat를 매설하여 조절하였다. 실험에 사용한 잔디의 종류와 품종은 Kentucky bluegrass, perennial ryegrass, tall fescue, Korean lawngrass을 사용하였다. 1999년 6월 5일 파종하여 여름철에는 지하 10cm의 온도를 대조구에 비하여 4~6℃ 낮게 조절하면서 재배 관리하고 겨울철에는 Table 1과 같이 지반의 온도를 20±2℃로 2년간 재배하였다. 대조구와 온

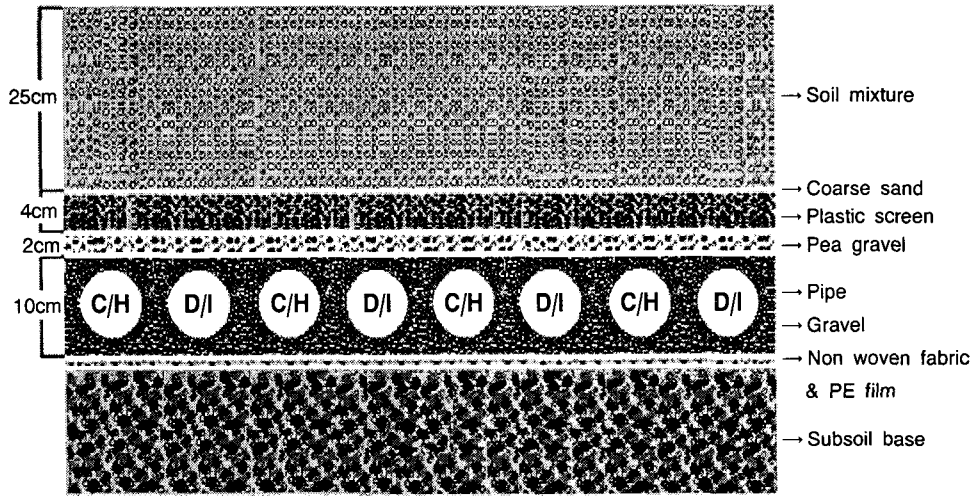


Fig. 1. Soil profile and cooling/heating system for root zone temperature control. C/H: cooling/heating pipe and D/I: drainage/irrigation pipe.

도처리구의 면적은 각각 길이 50m×폭 1m의 포장을 조성하고 토양배합을 달리하여 25m씩 구분하였다. 토양의 조성은 80% 모래+20% peat moss(v/v) 혼합구와 80%모래+10% peat moss+10% 일반토양(v/v) 혼합구 두 처리로 하였다. 각각의 잔디 종류에 따른 시험구는 1.0×1.8m의 크기로 3반복으로 처리하였다. 연간 시비량은 N, P, K를 각각 16, 15, 15g·m⁻² 시비하였고 잔디의 종류간, 처리 간에는 차이를 두지 않았다. 잔디의 예초는 높이를 2.5cm로 하여 one-third rule을 적용하면서 계절에 따라 횟수를 달리 하였다. 겨울철 관수는 토양의 수분상태

를 보면서 필요시에만 실시하였고 온도 처리구는 저면관수와 표면관수를 아울러 실시하고 대조구는 표면관수만을 하였다.

겨울철의 생육 측정은 한지형 잔디가 전혀 자라지 못하고 갈변하는 12월 중순부터 3월 중순 사이에 실시였고, 잔디의 생육속도가 느리기 때문에 잔디가 충분히 자라 예측하기에 적당한 시기를 골라 예측한 후 단위면적당 생체중을 측정하였다. 엽록소 함량의 측정은 잔디시료 0.05g를 80% acetone 용액 10ml에 침지하여 냉암소에 24시간 보관하여 엽록소를 추출한 후 UV spectrophotometer(Pharmacia Biotech, Ultrospec 3000)

Table 1. Monthly changes of air and subsurface soil temperature during the experiment

Year	Month	Air(°C)			Subsurface at 10 cm(°C)	
		Average	Average of daily min.	Monthly min.	Control	Heating
2000	Oct.	14.5	9.3	1.5	12.7	20.4
	Nov.	6.6	1.7	-5.3	7.3	21.2
	Dec.	1.4	-3.7	-10.6	6.1	20.9
2001	Jan.	-2.2	-6.6	-17.4	0.2	19.2
	Feb.	-0.9	-3.5	-10.4	0.5	21.5
	Mar.	5.9	0.1	-5.5	5.6	22.5

를 사용하여 645nm와 663nm에서 흡광도를 측정하여 전체 엽록소 함량을 계산하였다(Hinata and Hashiba, 1995). Anthocyanin은 잔디시료 0.5g을 1%의 HCl- Methanol 50ml에 넣고 5°C의 냉암소에 12시간 추출한 후 530nm의 UV spectrophotometer를 사용하여 흡광도를 측정하였다(Hinata and Hashiba, 1995). 잔디밭 표면의 색도는 실용 한국표준색표집(공업진흥청과 한국방송공사, 1991)을 기준으로 가장 온도가 낮은 1월중에 3인의 관찰자가 측정하여 결정하였다. 전체적인 잔디밭 표면의 색채를 색상, 명도 및 채도로 나누어 기록하였다. 무기물 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법(1998)에 준하였으며 총질소량은 Kjeldahl 법을 사용하여 시료 0.5g을 H₂SO₄를 넣고 360~410°C로 가열한 후 Kjeldahl분석기로 측정하였으며, 인산은 과염소산(HClO₄)법으로 0.5g의 시료에 HNO₃ : H₂SO₄ : HClO₄(10 : 1 : 4)의 비율로 혼합한 용액을 넣어 hot plate로 검은색의 용액이 투명해질 때까지 가열하여 100ml로 정량하여 시료액과 발색시약(Ammonium meta vanadate)을 동량으로 혼합하여 470nm 파장의 UV spectrophotometer로 측정한 후 함량을 계산하였다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 측정은 잔디 시료를 60°C에서 하루 동안 건조시킨 후 충분히 마쇄하였다. 마쇄한 시료 0.05g을 내화도계(Dong Yang Science CO., SR 9000)에 넣고 480°C에서 8시간 태워 분해한 후 100°C 교반기에서 6N HCl을 2ml 넣어 휘발시키고, 4ml를 넣어 한번 더 휘발시킨 후 lanthanum lithium solution으로 50ml를 정량하고 atomic absorption spectrophotometer(GBC 932/933)로 측정하였다.

결과 및 고찰

· 한국의 중부 이북지방은 겨울에 기온이 너무 낮아져 난지형 잔디는 10월 초순부터 휴면에 들

어가고 한지형 잔디일지라도 특히 1~2월의 혹한기에는 생육이 정지되고 지상부의 대부분이 갈변된다. Table 1은 대전지방의 겨울철 월별 평균기온, 월별 최저 기온의 평균, 그리고 월별 최저기온을 나타낸 결과이다. 12월 그리고 이듬해의 1월과 2월은 월평균기온이 각각 1.4°C, -2.2°C, -0.9°C를 보이고, 월평균 최저온도가 -3.7°C, -6.6°C와 -3.5°C를 나타내고 있다. 또한 일별 최저치는 12월에서 1월까지 3개월에 걸쳐 -10°C 이하를 나타낸 날이 9일에 달하고 특히 1월중에 가장 많아 7회에 달하였다. 이 중에는 -15°C이하를 나타낸 날도 2일에 해당된다(data not shown). 근권부의 온도를 20±2°C 정도로 유지한 결과 혹한기인 1월 중순 이후에도 한지형 잔디의 대부분이 녹색을 유지하였고 생육량은 적었지만 수시로 예초가 필요할 만큼 생육이 계속되는 것을 관찰할 수 있었다. 들잔디의 경우는 지반의 온도가 생육에 적당할지라도 지상부의 대부분이 거의 갈색으로 변하고 극히 일부의 어린잎이 녹색상태를 유지하는 결과를 보였으나 잔디밭의 전체적인 외관은 가온하지 않은 대조구와 같이 갈색상태를 유지하였다.

한지형 잔디들도 무가온구에서는 생육이 전혀 일어나지 않아 예초할 수 없었으나 가온구에서는 3종류 모두 생육이 많지는 않았지만 적절한 잔디면의 유지를 위하여 예초를 필요로 하였다. 예초량은 tall fescue에서 가장 많았고 다음으로 perennial ryegrass였으며 Kentucky bluegrass에서 가장 적었다. Perennial ryegrass와 tall fescue는 모래+peat moss+일반 흙 혼합토양 처리구에서 생장량이 많았으나 Kentucky bluegrass는 모래+peat moss 혼합토양에서 생장량이 더 많았다(Table 2). 경기장 이용면을 관찰했을 경우 실제 포장에서 아침 해뜨기 전에는 토양이 얼지 않았을지라도 잔디 잎의 표면에 서리가 맺혀 있는 현상을 자주 볼 수 있었는데 이는 햇빛이 비치게 되면 곧

Table 2. Effect of undersoil heating and soil mixtures on the average clipping weight of turfgrasses during winter season

Treatment	Clipping fresh wt(g · m ⁻² · day ⁻¹)				
	Kentucky bluegrass	Perennial ryegrass	Tall fescue	Korean lawngrass	
Control	sand+peat moss (80:20 v/v)	0 c ²	0 b	0 b	0 a
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	0 c	0 b	0 b	0 a
Heating	sand+peat moss (80:20 v/v)	2.50 b	3.35 a	3.65 a	0 a
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	3.13 a	3.15 a	3.60 a	0 a

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

바로 녹아 잔디의 사용에 별다른 문제가 없는 것으로 보였다.

예초된 shoot의 엽록소 함량은 perennial ryegrass에서 Kentucky bluegrass나 tall fescue에 비하여 다소 높게 나타났으며 tall fescue를 제외한 나머지 잔디의 경우 일반 흙을 혼합한 처리구에서 엽록소 함량의 수치가 더 높았다(Table 3). 종류 간에 나타나는 차이는 잔디가 갖는 고유의 특성과 저온에 대한 내성에서 기인된 결과로 추정된다. 난지형인 들잔디는 휴면 상태로 전혀 자라지 않아 엽록소 측정이 불가능하였다.

한지형 잔디의 경우 겨울철 흑한기가 되면 잔디의 잎 부분이 처음에는 붉은 색을 띄게 되고 더욱 진전되면 갈변하여 고사하는 증상을 보인다. 그러나 근권부의 온도를 높여 주었을 경우에는 잎이 갈변하여 고사하지는 않고 검붉은 색으로 변하는 정도도 약하였다. 붉은 색의 원인인 안토시아닌 색소의 발현 정도는 내한성이 약한 것으로 추정되는 Kentucky bluegrass에서 함량이 가장 높았고 perennial ryegrass와 tall fescue에서도 측정되었으나 두 종류 간에는 별다른 차이를 보이지 않았다(Table 4).

Table 5는 육안으로 보이는 잔디밭 표면의

Table 3. Effect of undersoil heating and soil mixtures on total chlorophyll content in clippings of turfgrasses during winter season

Treatment	Chlorophyll content(mg · g ⁻¹ fresh wt)				
	Kentucky bluegrass	Perennial ryegrass	Tall fescue	Korean lawngrass	
Control	sand+peat moss (80:20 v/v)	- ²	-	-	-
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	-	-	-	-
Heating	sand+peat moss (80:20 v/v)	2.09±0.01 ^y	2.51±0.12	2.27±0.03	0
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	2.31±0.07	2.58±0.08	2.09±0.10	0

²Not measured due to freezing injury or winter dormancy.

^yMean±SD. n=3.

Table 4. Effect of undersoil heating and soil mixtures on anthocyanin content in clippings of turfgrasses during winter season

Treatment	Anthocyanin content (OD 530nm · g ⁻¹ fresh weight)				
	Kentucky bluegrass	Perennial ryegrass	Tall fescue	Korean lawngress	
Control	sand+peat moss (80:20 v/v)	- ^z	-	-	-
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	-	-	-	-
Heating	sand+peat moss (80:20 v/v)	0.050±0.009 ^y	0.036±0.010	0.038±0.003	0
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	0.041±0.005	0.033±0.001	0.037±0.006	0

^zNot measured due to freezing injury or winter dormancy.

^yMean ± SD, n=3.

색깔을 한국 표준색표집에 근거하여 만셀기호로 나타낸 표이다. 가온구에서는 녹색이 충분히 유지되어 대표적인 색깔로 7.5GY를 기준으로 차이를 나타냈으나 대조구는 정도의 차이는 있었지만 대부분 2.5Y를 기준으로 표현되어 잎의 색깔이 퇴색되어 갈변하여 있음을 말해준다. 가온구에서 잔디의 색깔은 녹색의 색상이 비슷하였으나 Kentucky bluegrass에서 perennial ryegrass와 tall fescue에서 비하여 명도와 채도가 낮아짐을 알 수 있다. 이는 바로 Kentucky bluegrass에 안토시아닌 색소가 많이 발현되어 있기 때문에 나타나는 결과로 해석된다.

겨울철 근권부의 가온처리에 따른 엽층 무기물 함량은 공시된 세 종류의 잔디 모두(Table 6, 7, 8) 여름철 고온에 의한 stress를 받는 잔디에서의 함량과 비슷한 수준을 보였다. 그러나 여름철에 지반온도를 냉각시킨 처리에 비해서는 현저히 낮은 것으로 나타났다(이 등, 2001). 토양 구성에 따른 변화는 N, P의 경우는 모래+peat moss 혼합토양과 모래+peat moss+일반흙 혼합토양 처리구에서 비슷한 함량을 보였으나, K를 비롯한 Ca, Mg는 모래+peat moss+일반 흙을 혼합한 처리구에서 높게 나타났다. 이 등(2001)에 의하면 K의 경우는 여

Table 5. Effect of undersoil heating and soil mixtures on keeping greenness of turfgrasses during winter season

Treatment	Kentucky bluegrass	Perennial ryegrass	Tall fescue	Korean lawngarss	
Control	sand+peat moss (80:20 v/v)	2.5Y 7/6 ^z	10Y 5/6	7.5Y 7/4	2.5Y 7/6
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	2.5Y 7/10	2.5Y 3/2	2.5Y 6/8	2.5Y 7/6
Heating	sand+peat moss (80:20 v/v)	7.5GY 4/4	7.5GY 5/8	7.5GY 5/8	2.5Y 7/6
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	7.5GY 4/4	7.5GY 5/6	7.5GY 6/6	2.5Y 7/6

^zMeans Munsell symbol by Korean standard color chart.

Table 6. Effect of undersoil heating and soil mixtures on mineral content in clippings of Kentucky bluegrass during winter season

Treatment		Mineral content(% dry wt)				
		N	P	K	Ca	Mg
Control	sand+peat moss (80:20 v/v)	- ^z	-	-	-	-
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	-	-	-	-	-
Heating	sand+peat moss (80:20 v/v)	2.67 ±0.03 ^y	0.11 ±0.01	0.37 ±0.01	0.16 ±0.01	0.013 ±0.001
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	2.33 ±0.08	0.13 ±0.02	0.56 ±0.04	0.19 ±0.01	0.025 ±0.003

^zNot measured due to freezing injury or winter dormancy.

^yMean ± SD, n=3.

Table 7. Effect of undersoil heating and soil mixtures on mineral content in clippings of perennial ryegrass during winter season

Treatment		Mineral content(% dry wt)				
		N	P	K	Ca	Mg
Control	sand+peat moss (80:20 v/v)	- ^z	-	-	-	-
	sand+peat moss+soil (80:10:10)	-	-	-	-	-
Heating	sand+peat moss (80:20 v/v)	2.73 ±0.21 ^y	0.14 ±0.01	0.38 ±0.03	0.12 ±0.01	0.016 ±0.002
	sand+peat moss+soil (80:10:10)	2.75 ±0.33	0.14 ±0.03	0.58 ±0.05	0.22 ±0.04	0.020 ±0.003

^zNot measured due to freezing injury or winter dormancy.

^yMean ± SD, n=3.

Table 8. Effect of undersoil heating and soil mixtures on mineral content in clippings of tall fescue during winter season

Treatment		Mineral content(% dry wt)				
		N	P	K	Ca	Mg
Control	sand+peat moss (80:20 v/v)	- ^z	-	-	-	-
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	-	-	-	-	-
Heating	sand+peat moss (80:20 v/v)	2.43 ±0.09 ^y	0.13 ±0.02	0.38 ±0.08	0.11 ±0.01	0.013 ±0.006
	sand+peat moss+soil (80:10:10 v/v/v)	2.75 ±0.24	0.15 ±0.01	0.50 ±0.11	0.20 ±0.05	0.019 ±0.002

^zNot measured due to freezing injury or winter dormancy.

^yMean ± SD, n=3.

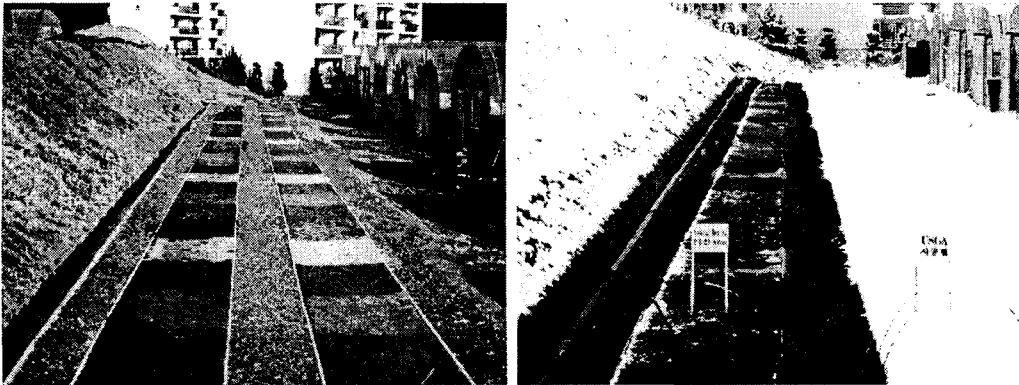


Fig. 2. Comparisons of turf quality and snow melting between undersoil heating zone (left) and control zone (right) during winter season. Photos were taken in January 2000 (left) and 2001 (right), respectively.

름철에는 두 토양처리 사이에 별다른 흡수차이를 보이지 않은 것으로 보고하였으나 겨울철 가온구에서는 일반 흙이 혼합된 토양에서 더 많은 함량을 나타내었다. 이러한 결과는 토양온도가 뿌리생육적온 보다 낮을 경우에 비하여 적당할 경우에 N, P, K는 물론 Ca, Mg도 잎에서의 함량이 높다는 토마토나 고추에서의 보고(Gosselin and Trudel, 1986; 허 등, 2001)와 유사한 경향을 보였다.

Fig. 2는 겨울철 잔디의 녹색 상태를 한 겨울철과 눈 내린 직후에 촬영한 결과이다. 대조구의 경우 중부지방에서는 12월 중순까지 잔디가 녹색을 유지하고 있으나 일 최저 기온이 영하를 기록하는 날이 오래 계속될 경우 차츰 갈변하게 되고 이듬해 3월 중순까지는 대부분의 잔디가 고사되어 있는 것을 알 수 있다. 반면 가온처리구는 계속하여 녹색을 유지하고 눈이 내린 후에도 쉽게 녹아버려 잔디의 사용률을 증대시킬 수 있는 장점이 있었다.

이상의 결과를 종합할 경우 잔디지반의 가온 처리는 한국의 겨울철 혹한기에도 한지형 잔디의 지상부 생육을 도모하고 녹색을 유지시킬 뿐만 아니라 쌓인 눈의 녹음을 촉진시킴으로써 잔디의 이용률을 크게 높일 수 있는 방안으로 판단된다.

요 약

한국의 겨울철 온도 조건하에서 가온에 의한 근권부의 온도조절이 잔디생육과 품질에 미치는 영향을 조사하고 아울러 shoot의 무기성분 함량을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 겨울철 근권부의 온도를 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지한 결과 대조구의 잔디는 동해로 인해 생육이 멈춘 반면 온도 처리구에서는 공시된 한지형 잔디(Kentucky bluegrass, perennial ryegrass, tall fescue) 모두에서 녹색이 유지되었으며 예초를 요할 정도의 생육이 계속되었다. 그러나 들잔디의 경우 겨울철 근권부의 온도를 높여주어도 지상부의 생육은 불가능하였다.
2. 온도 처리구에서의 예초량은 tall fescue에서 가장 많았고, 엽록소 함량은 perennial ryegrass에서 가장 높았으며 Kentucky bluegrass는 안토시아닌 함량이 다른 종류에 비하여 높기 때문에 검붉은 색깔을 나타내는 shoot의 수가 많았다.
3. Shoot의 무기양분 함량은 N, P는 토양처리 간에 차이가 없었고 K, Ca, Mg는 모래 + peat moss에 비하여 모래 + peat moss + soil 처리구에서 많은 것으로 나타났다.

4. 근권부의 가온조절은 한국의 겨울철 기온하에서 한지형 잔디의 생육을 도모하고 겨울철 잔디의 녹색을 유지시킬 수 있을 뿐만 아니라 눈 녹음을 촉진시켜 잔디의 이용률을 증진시킬 수 있는 방안으로 판단된다.

참고문헌

1. 공업진흥청. 한국방송공사. 1991. 실용한국 표준색표집. KBS 문화사업단.
2. 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법.
3. 이혜정, 송지원, 구자형. 2001. 여름철 근권부의 냉온처리가 경기장 잔디의 생육 및 무기 성분 함량에 미치는 영향. 한국잔디학회지. 15:169-179.
4. 허무룡, 김영석, 서영국, 손영걸, 박중춘. 2001. 근권온도가 토마토 플러그 묘의 생육, 무기 성분흡수 및 항산화효소의 활성에 미치는 영향. 한국원예학회지. 42:147-150.
5. Barrett, J. R. Jr and W. H. Daniel. 1966. Turf heating with electric cable. Agri. Engin. 47:526-529.
6. Beard, J. B. 1973. Turfgrass. Science and Culture. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. N. J.
7. Christians, N. 1998. Fundamentals of turfgrass management. Ann Arbor Press. Chelsea. MI. pp. 274-281.
8. Daniel, W. H. and J. R. Barret, Jr. 1966. Electricity warms soils for sport turf. Weeds, Trees and Turf 5:14-16.
9. Dodd, R., B. Martin and J. Comberato. 1999. Subsurface cooling and aeration. Bentgrass greens have greater turf density after displacement of subsurface air. Golf Course Management. Sept. 71-74.
10. Fisher, G. G. 1974. Heating turf by underground warm air. Proceeding of the Second International Turf Research Conference 1973. p. 215-220.
11. Gosselin, A and M. J. Trudel. 1986. Roo-zone temperature effects on pepper. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111:220-224.
12. Hbjerg, A. 1977. The effect of artificial heating on winter survival and turf quality of selected varieties of *Poa pratensis* L. Meld. Norg LandbrHogsk. 56(25):1-12.
13. Hinata, K. and T. Hashiba. 1995. A manual of experiments for biology. Soft Science Publications. Tokyo, Japan.
14. Ledebor, F. B., C. R. Skogley and C. G. McKiel. 1971. Soil heating studies with cool season turfgrass. III. methods for the establishment of turf with seed and sod during the winter. Agron. J. 63: 686-689.
15. Mattox, C. 2001. Maintaing the grounds. Japan's Saitama stadium: maximizing the land. Sporsturf. <http://www.greenindustry.com/st/2001/0112/0112mt.asp>.
16. Skogley, C. R. 1969. Artificial turf versus heated turf. electric soil heating experiment at uri indicate grass is still. R. I. Agr. 4-6.
17. Turgeon, A. J. 1991. Turfgrass management. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
18. USGA Green Section Staff. 1993. USGA recommendations for a method of putting green construction. USGA Green Section Record. Mar./Apr. 1-3.