

골프코스 페어웨이 지반 토양의 배수불량 원인과 개선방안

이정호¹ · 정기래² · 이종민¹ · 주영규^{1*}

¹연세대학교 대학원 생명과학기술학과, ²강원랜드리조트

Analysis and Improvement Practise of Drainage Problem on Soil Profile at the Golf Course Fairway

Jung-Ho Lee¹, Gi-Rai Jung², Jong-Min Lee, and Young Kyoo Joo^{1*}

¹Dept. of Biological Sci. and Tech., Graduate School of Yonsei University, Wonju 220-710, Korea,

²Kangwonland Resort, Jeongseon-gun, Gangwon-do, Korea

ABSTRACT. Research was focused on the improvement of poor drainage problems on golf course fairway which had not been performed soil test or properly amended during the course construction. The analysis of the drainage problem basically was caused by a deterioration of soil physical properties by the top layer compaction. The soil hardness reached about 3,000 Kpa around 5~6 cm of soil profile. The slow infiltration speed to subsoil by the compaction was caused directly a poor drainage capacity. However, the properly amended sand soil showed an apparent value of 1,500 Kpa through the subsoil. The water content test showed a similar result that higher rate of 20~30% and ideal rate of 8~12% at poor drainage area and successfully amended area, respectively. However, an imported topsoil media which had higher content of silt and clay from a trans-planted sod had made a heterogeneous soil profile and that caused a poor drain capacity by a low infiltration rate. Those drainage problems triggered to buildup a reduced soil layer by poor soil gas exchange. The soil environment of deoxidation enhanced anaerobic microbial population and induced methane gas build-up to 55 ppm, and that resulted an adverse effect on turf growth by root growth retardation, consequently.

Key words: Poor drainage, Sand capping, Soil compaction, Soil improvement, Soil physical property

서 론

골프장의 잔디 상태는 골프장의 입지적 조건과 기후, 그리고 토양의 이화학적 상태, 관리 방법 등에 의해 결정된다. 이중 골프장의 입지적 조건과 기후는 골프코스를 조성하는데 있어서 인위적으로 개선할 여지가 없는 요소지만, 토성(soil texture)은 건설당시 토양 개량을 통하여 개선할 수 있는 가변적 요소이다. 잔디 지반의 경우 일반 경작지와 달리 한번 조성이 되면 이를 바꾸는 것이 매우 어렵고 그 비용도 많이 들게 된다. 따라서 코스 조성 전 토성을 비롯한 토양 물리·화학적 요소를 분석하여, 미국골프협회(USGA)의 기준에 맞는 토양과 잔디초종에 따른 개량재의 종류, 적정 혼합 비율 등을 통한 토양개량 기술의

적용은 그린지반 조성에 필수적으로 적용되고 있다(McCoy, 1998; Deying et al., 2000). 또한 골프장과 같이 잔디로 조성된 스포츠필드의 경기력은 지반의 형태와 밀접한 관련이 있고, 토양의 물리·화학적 요소는 잔디의 품질에 직접적인 영향을 준다(Beard and Sifers, 1990). 그러나 잔디 그라운드 조성 초기에 잔디의 품질이 양호하더라도, 계속되는 경기나, 관리 장비 등에 의한 답압으로 인해 지반의 경도가 높아지는 고결현상으로 잔디의 품질이 저하 된다(Lee et al., 2007). 답압에 의한 지반의 경도의 상승은 잔디의 종류와 밀도, 토성, 토양 수분 함량, 토양 개량 및 잔디 깎는 높이, 토양에 가해지는 압력의 강도 및 빈도, 기후 등에 따라 영향을 받는다(Dunn et al., 1994; Pufalla et al., 1999). 이에 따른 골프코스의 과습은 병해 발생과 잡초의 침입을 용이하게 하고 잔디를 웃자라게 하거나 장마기에 잔디깎기를 불가능하게 함으로써 직접적으로 잔디의 품질을 저하시킨다(Carrow, 1980).

따라서 코스의 전체 레이아웃은 골프경기의 전략성과

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

E-mail : ykjoo@yonsei.ac.kr

Received : June 05, 2012, Revised : June 22, 2012, Accepted : June 28, 2012

경관성을 살리면서 유역에 따른 적절한 표면배수와 코스 위치에 따른 암거배수를 병행하여야 한다. 또한 건설 시 근본적으로 토양에 문제가 있음에도 불구하고 토양개량 절차 없이 잔디공사를 진행하게 되면 우기에는 과습과 배수 불량이 야기되고, 건기에는 한발의 피해를 입는 악순환을 되풀이 하게 되어 건설 후 잔디의 생육이 불량해진다. 특히 답압이 집중된 지역은 잔디식재층의 통기와 배수 불량으로 인해 표면층의 토양이 환원층으로 변하게 되어 잔디 뿌리에 직접적인 영향을 미쳐서 잔디 생육과 밀도는 현저히 감소하게 된다.

이러한 골프코스 토양의 다짐현상은 답압에 의해 토양 입자가 조밀한 상태로 되는 것으로, 토성에 따라 장기적이고 간접적인 다짐에 의해 점차적으로 생성되는 것이 보통이다(Tae et al, 2000; Gibbs et al., 2000). 여기에 직접적 다짐현상인 답압이 발생하게 되면 조직의 마모가(tissue wear) 일어나 잔디의 경엽과 관부에 물리적인 손상을 받게 되어 잔디의 생육상태는 더욱 불량하게 된다. 사용자나 관리장비에 의해 답압을 가장 심하게 받는 깊이는 표토로부터 약 5 cm 깊이의 토양 표면층인데 토양의 물리·화학적 특성이 악화되어 잔디의 생육이 전반적으로 쇠약해지고 품질이 나빠지게 된다(Douglas and Crawford, 1998).

토성의 특이성과 답압으로 인해 식재층이 고결화된 잔디지반을 개량하기 위해서는 관리상에 있어서 사용되는 에어레이터(aerator)에 의한 통기작업이나, 슬라이싱(slicing), 스파이킹(spiking) 작업 등으로는 부족하다. 문제가 되는 식재층 개량을 위해 잔디를 들어내고 전면적인 토양 개량을 하기 전까지는 배수와 통기불량, 토양 내 환원층의 형성 등의 요인으로 인해 잔디 생육이 제한되어 골프장의 정상적인 경영을 하기에 많은 문제점이 발생된다. 뿐만 아니라 차후 이 문제점을 해결하기 위해 토양 개량 비용 및 관리 비용이 과다하게 소모되며, 보수 공사 시 휴장을 해야 하는 등의 여러 가지 문제점들이 연쇄적으로 발생된다.

본 실험은 이미 조성되어 운영 중이나 배수 불량으로 인해 페어웨이 잔디의 생육이 극히 불량한 경기도의 한 골프코스를 대상으로 배수불량의 원인을 분석하기 위하여 지반토양의 이화학적 data를 수집·분석하였다. 이를 위하여 잔디 식재층의 토양 경도, 수분함량 등의 토양물리·화학적 실험을 실시하였으며, 분석 결과에 따른 골프코스 잔디 생육 불량 요인을 제거하여 적절한 토양 개선방안을 모색 위한 목적으로 2003년도에 1차실험과 2008년도에 2차실험을 동일한 골프코스의 페어웨이에서 수행하였다.

재료 및 방법

1차실험(2003년) 대상지역 선정 및 토양 샘플 채취

본 실험은 경기도 여주군에 소재한 R골프 코스에서 2003년도 10월에 1차적으로 실시하였다. 실험 대상지역은 원표토층의 배수불량으로 인하여 잔디 생육에 문제가 심각한 지역(Region A)와 2003년 6월경 표토 배수 개선공사로 배수가 양호하여 잔디생육이 정상인 지역(Region B)을 선정하여 표토의 샘플을 채취하여 입도분석을 실시하였다. 배수불량 원인을 규명하기 위하여 동일 현장에서 토양물리성 측정하기 위하여 하부 20 cm까지 깊이별 토양 경도(KPa)와 함수량(%)의 변화를 측정하였다. 이때 상부 15 cm까지의 표토를 채취하여 유기물함량, 인산, 가리, 칼슘, 마그네슘 및 CEC(Cation exchange capacity) 등 토양화학성 분석을 함께 실시하였다.

2차실험(2008년) 대상지역 선정 및 토양 샘플 채취

매년 관행적인 페어웨이 관리를 수행하고 있었으나 지속적으로 발생하는 페어웨이 일부지역의 배수불량 요인을 심층 분석·규명하기 위하여 1차실험 약 5년 후인 2008년 5월부터 6월까지 2차실험을 수행하였다. 대상지역은 1차실험 대상지역이었던 Region A와 B지역 외에 2차 실험에서는 2개 지역(Region C, D)을 추가로 포함하였는데, 표토 배수 개선보수 공사 미실시로 인해 배수불량 상태로 남아 있는 페어웨이 A지역, 표토 갱신공사가 시행되어 배수가 개선된 페어웨이 B지역 외에, 저관리로 인해 건설시 원래 soil profile 상태로 남아 있는 primary rough인 C지역, 잔디 교체공사 시행에도 불구하고 유입된 보식용 잔디(sod) 식재층의 미세토양입자 함량이 높아 배수장애를 여전히 일으키는 페어웨이 D지역 등 총 4개 지역을 실험 대상으로 선정하였다. 토양 sample은 15 cm까지의 표토를 채취하여 입도분석을 실시하였고, 현장에서의 토양물리성의 측정은 하부 20 cm까지의 깊이별 토양 경도(KPa), 함수량 등을 측정하였다.

또한 유입된 sod 식재층의 토성으로 인해 배수장애를 일으키는 D지역과 표토 갱신으로 인해 잔디 생육상태가 양호한 B지역에서 식재층 15cm까지의 토양 샘플에서 미세 토양입도 분포, 투수율 등의 토양물리성과 pH, CEC 등 몇가지 화학성을 분석·비교하였다. 이때 특히 상토층 토양개량을 전면 실시하여 잔디생육상태가 매우 양호한 인접지역에 위치한 E골프코스와의 토양 이화학적성을 함께 비교하였다.

특히 2차 실험에서는 페어웨이 배수불량 보수공사로 배수 개선에 따른 잔디 근계 토양의 gas 함량 변화도 비교·분석하였다.

실험 분석 방법

1, 2차 실험 공히 토양 경도 측정기(Penetrometer, RIMIK

Table 1. The sampling regions chosen by the drainage condition and the completion of the top layer renovation in 2003 test.

Fairway region	Particle distribution		Drainage	Soil texture	Renovation
A	clay	8%	poor	Sandy loam	not completed
	silt	18%			
	sand	74%			
B	clay	10%	acceptable	Sandy loam	completed
	silt	14%			
	sand	76%			

CP-20)를 이용하여 배수불량지 또는 양호한 지역을 선정하여 잔디 지반의 20 cm 하부까지 깊이별 토양 경도 변화를 측정하였다. 매 2 cm 깊이별로 수집된 Data는 CP-20 소프트웨어를 이용하여 Excel Program에서 분석하였다. 토양 내 수분 함량 측정은 토양 수분 측정기(Hydrosence™, Campbell Scientific, Australia)를 이용하여 5cm 깊이별로 표토층으로부터 20 cm 깊이까지 수분함량을 측정하였다. 비교 실험으로 이미 토양개량을 실시한 페어웨이 지역의 토양 경도와 투수율을 비교 측정하여 보수공사가 시행되지 않은 지역에서의 배수불량의 원인을 규명하고 표토층 개량 후 토양물리성 개선효과를 분석하였다. 채취한 토양 샘플은 실험실에서 토성분석(비중계법), 토양 물리성(ASTM F1815-97)과 화학성은 ASTM 4972-89 방법에 따라 Soiltek 분광광도계(KA-P, Korea)을 사용하여 분석하였다(ASTM International, 2010). 토양 gas 함량은 Soil gas analyzer(Soil Air™ Technology, USA)을 사용하여 표토층 개량에 따른 CH₄, O₂와 CO₂ 함량 변화 효과를 분석하였다.

결과 및 고찰

1차실험(2003년)의 페어웨이 토양의 이화학적 비교 분석

페어웨이 토양경도 분석결과 원 토양(Region A)은 풍화된 마사토로서 굵은 입자가 많기는 하나 실트와 점토의 함량이 많은 Sandy loam으로 분석되었다(Table 1). 특히 건설 시 표토의 토양개량을 실시하지 않은 관계로 토성이 페어웨이 잔디 식재지역으로는 불량하며 점토와 실트의 함량이 26%로 매우 높고, 건설 후 배수불량지로 나타났다. 그러나 표토층 토양개량을 2003년 6월에 실시한 페어웨이 Region B는 미세입자인 점토와 실트함량이 24% 정도로 나타나 페어웨이 토양으로서 적합한 것으로 판명되었다.

원 토양인 Region A지역의 표토는 하부 20 mm로부터 60 mm까지 급격히 고결되어 2,000~2,800 KPa로 증가한 후 하부 200 mm 까지 2,500~3,000 KPa을 유지하였다. 이는 투수에 의한 토양하층으로의 수분 이동이 저조하여 배수 불량의 직접 원인이 되는 것으로 분석되었다. 반면 토양

개신구역인 Region B지역은 표토층의 토양경도가 약 500 KPa로 양호하며 토양 깊이에 큰 영향 없이 1,500 KPa 이하로 대체적으로 균일한 것으로 나타났다(Fig. 1).

배수불량 지역은 모두 잔디 뿌리층(0~15 cm)인 상토 상층부의 수분 함량 과다이며 특히 3~8 cm 지역에는 수분 함량이 30%이상으로 뿌리의 호흡근관을 야기 시켜 잔디의 생육을 현저히 감소시키는 것으로 판단되었다. 그 하층부로 내려갈수록 투수율 감소로 인하여 수분함량이 적어지므로 뿌리는 하부로 자라지 않아 생육은 더욱 둔화되는 것으로 분석되었다. 잔디 근계가 상토 상층부에만 분포하게 되므로 습할 때는 과습 피해가 일어나 잔디 생육에 지장이 있으며, 건기 시에는 충분한 관수가 없을 때 건조 피해를 쉽게 입게 될 것으로 판단되었다.

원토양이 풍화된 마사토인 A지역은 토양유기물이 부족하며 양이온치환능력(CEC)이 낮아 토양비옥도가 낮은 것으로 분석되었다(Table 2). 더구나 표토층에 모래를 주재료로 하여 토양개신을 실시한 B지역은 원토양인 A지역보다 비옥도를 비교한 결과 더 낮았다. 또한 모래로 배수 강화 개신이 행하여진 지표 5 cm 또는 10 cm까지의 표토가 상대적으로 원토양인 심토 10~15 cm profile이나 A지역 토양 보다 CEC를 비롯한 모든 양이온의 함량이 낮았다. A

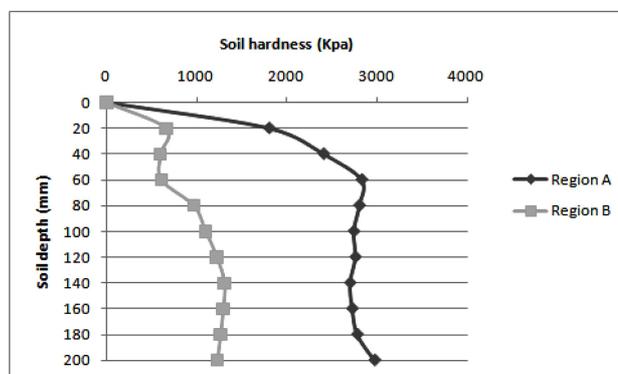


Fig. 1. Changes of soil hardness on depth of profile with or without of the topsoil renovation in 2003 test (Region A: not renovated; Region B: renovated).

Table 2. Soil physiochemical properties of topsoil samples on fairway Region A and B in 2003 test.

Tested item/ Soil sample	Region A			Region B		
	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm
O.M (%)	1.71	0.53	0.87	0.97	1.66	0.58
P ₂ O ₅ (mg/kg)	441.0	79.8	71.9	211.1	216.2	101.5
Exchagable K ⁺ (cmol _c /kg)	0.19	0.15	0.14	0.14	0.21	0.21
Exchagable Ca ⁺⁺ (cmol _c /kg)	4.89	6.46	3.50	4.76	6.80	5.62
Exchagable Mg ⁺⁺ (cmol _c /kg)	1.02	0.98	0.94	0.64	1.28	1.49
CEC (cmol _c /kg)	7.34	7.50	6.77	4.38	6.69	8.50

지역은 물론 B지역 모두 정상적인 잔디의 생육을 위해서는 표토층 갱신 시 토양비옥도를 상승 시킬 수 있는 토양 개량제의 투입이 필요하다고 판단되며 배수 강화를 위한 표토 갱신 후에도 지속적 토양 비옥도 관리가 요구된다.

2차실험(2008년의 페어웨이 토양의 이화학성 비교 분석

Region A~D은 전반적으로 모래의 함량이 높은 사질 식양토에서 사양토까지 다양한 분포를 나타내고 있다. 전 지역 표토층의 모래 함량이 높게 나타난 것은 지속적인 배토관리로 인해 배토사가 유입된 것으로 생각된다. 그러나 Region D의 갱신을 위해 식재된 보식용 잔디의 토성을 분석한 결과 미사와 점토의 함량이 높은(72%) 식토로 나타났다(Table 3). 결론적으로 보식용 sod 재배 지역의 원토양은 페어웨이 상토층의 토성과 현저한 차이를 보이며 이는 토양 이질층의 형성으로 인한 Region D의 배수불량 원인이 된 것으로 판단되었다.

이와 대비하여 페어웨이의 배수가 양호한 인근 E 골프장 페어웨이 잔디 식재 토양인 9Hole (No. 1)과 9Hole (No. 2)의 토양은 토성분석 결과 모래 함량이 90% 이상인 사질토로 분석되었다.

토양 미갱신지역인 A의 상토 깊이 50~80 mm 지점에서 토양 경도가 3,000~4,000 KPa, 원토양인 심토 200 mm에서는 4,500 KPa 정도로 토양 고결화가 매우 심하게 진행된 것을 볼 수 있다. 역시 배수 불량 지역인 C지역의 토양 경도의 경우 상토 깊이 4 cm 부분부터 약 3,000 Kpa의 토양 경도를 보이며 8 cm깊이에서는 약 3,700 Kpa로 토양 갱신이 실시된 다른 두 지역(B, D)보다 토양 고결화가 심하게 된 것으로 나타났으나 150 mm 이상의 심토층에서는 경도가 감소하는 것으로 보아 50~100 mm 층에서 hard pan 현상이 발생한 것으로 보인다. 깊이별 경도가 가장 양호한 것은 표토층 토양 갱신작업을 실시한 B지역과 D 두 지역으로 나타났다(Fig. 3).

배수가 양호한 Region B의 경우 잔디의 뿌리가 분포하는 지역의 수분함량이 10% 내외로 양호한 것으로 나타났

Table 3. Soil texture of sampled regions of fairway at R golf course (A~D) and E golf course (No. 1, 2) tested in 2008.

Region	Particle distribution (%)	Soil texture	Renovation	
Region A	clay	15	Sandy loam	Not completed
	silt	13		
	sand	72		
Region B	clay	5	Loamy sand	After completion
	silt	9		
	sand	86		
Region C	clay	21	Sandy loam	Not completed
	silt	10		
	sand	69		
Region D	clay	17	Loamy sand	After completion
	silt	13		
	sand	70		
Sod rootzone	clay	31	Clay	Planted sod rootzone for Region D
	silt	41		
	sand	28		
No. 1	clay	3	Sand	Good turf condition
	silt	7		
	sand	90		
Golf course E	clay	1	Sand	Good turf condition
	silt	6		
	sand	93		

다. 그러나 배수가 불량한 세 홀(A지역, C, D)의 경우 0~10 cm 표층부의 수분함량이 25 % 내외로 수분함량이 과다하게 나타났다(Fig. 2). 특히 토양갱신지역임에도 배수가 불량한 D지역에서 나타나는 배수불량현상은 전술된 바와 같이 보식용 sod의 점토성분의 근계 유입토에 기인한 경우라 판단된다.

Table 5에서와 같이 배수불량현상이 심한 R golf course

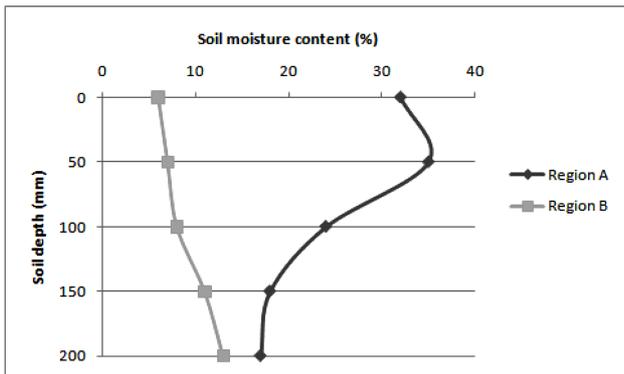


Fig. 2. Changes of soil moisture content(%) on depth of topsoil profile with or without of the soil renovation in 2003 test (Region A: not renovated; Region B: renovated).

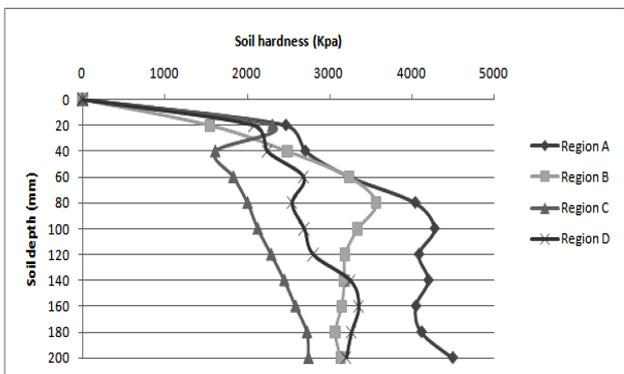


Fig. 3. Changes of soil hardness on depth of profile by the renovation of the topsoil in 2008 test (Region A: not renovated; Region B: renovated).

에 비해 대조적으로 배수문제가 없는 인근 E 골프장의 투수계수는 본 골프장의 페어웨이 토양의 투수계수는 평균 18배 이상 높았다. 그러나 pH, EC, CEC, P₂O₅, K⁺ 등 토양화학성에서 특이성이 없었으나 토성 (soil texture)이 다름으로 인해 발생하는 현상으로 E golf course는 화강암이 풍화된 마사토 (화강토, Saponite)인데 비해 R golf course는 미사와 점토질이 높은 고령토계(Kaolinite) 토양으로 추정되었다.

2008년 페어웨이 배수불량지역의 토양가스 분석

배수가 불량한 근권 내 토양(5~15 cm)에서는 메탄가스(CH₄)의 함량이 55 ppm으로 배수가 양호한 지역보다 높게 나타났다. 토양개량 미 실시 지역의 상토층 내에서는 산소 부족에 의해 토양이 환원되고 혐기성 미생물의 생육으로 인한 메탄가스가 축적되고 토양 내 공기순환이 자유롭지 못해 잔디 생육에 장애를 일으키는 것으로 조사되었다. 토양 내 근권의 산소의 경우에는 차이가 없었으나 이산화탄

Table 4. Gas analysis in soil profile with application of the topsoil renovation.

Gas / Area	Region B (After completion, good drainage)	Region C (Not completed, poor drainage)
CH ₄ (ppm)	40 ppm	55 ppm
O ₂ (%)	20.9%	20.9%
CO ₂ (%)	0.01%	0.34%

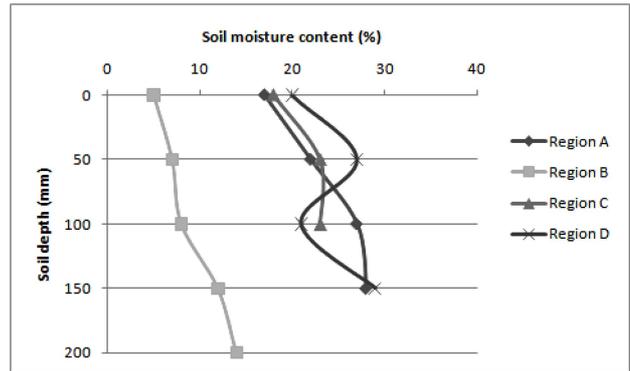


Fig. 4. Changes of soil moisture on depth of profile and drainage conditions of 2008 test (Region A: not renovated; Region B: renovated).

소의 경우도 마찬가지로 배수불량지역에서 상당히 높게 나타났다(Table 4).

페어웨이 표토층의 배수불량을 개선하기 위한 방안

공사로 인해 흔히 발생하는 배수불량지역 중 맨홀의 배수구 보다 주변 지역이 더 낮아 토양수가 맨홀 쪽을 이동하지 못해 물이 정체되는 현상을 보이는 지역은 표면 구배를 개선하여 지표수가 맨홀로 쉽게 배수되도록 하여야 한다. 암거배수를 개선시키기 위한 sand capping은 배수불량이 야기되는 지역은 모래를 최소 10 cm이상 포설 한 후 잔디를 식재하여야 하나 본 실험지역과 같이 원 토양이 배수불량이 심각한 지역은 모래를 15 cm이상 포설한 후 잔디를 식재해야 한다. 잔디 보식에 식재할 잔디는 구매 시 반드시 잔디 생산지의 토양을 조사하여 사질토에서 재배된 잔디를 사용해야 할 것으로 사료된다. 잔디 식재층에 점토성분이 과다하면 식재 전 근계토양을 제거한 후 washed sod로 식재해야 할 것으로 판단된다.

요 약

경기도 여주군의 R골프장에서 페어웨이 건설 시 토양조사 및 적절한 토양개량이 실시되지 않아 배수불량 지역이

Table 5. Soil physiochemical properties of samples on Golf Club R After renovation and golf course E in 2008 test.

Item / Area	Region B	Region C	E Golf Club No.1	E Golf Club No.2
Soil texture (sand+clay%)	Loamy sand (15%)	Sandy clay loam (46 %)	Sand (10 %)	Sand (7 %)
coefficient of permeability (cm/h)	1.59	0.41	17.39	18.54
pH	6.5	6.0	6.1	6.1
EC (ds/m)	1.8×10^{-3}	1.7×10^{-3}	5.0×10^{-3}	5.4×10^{-3}
CEC (cmol./kg)	4.66	4.65	4.65	4.66
P ₂ O ₅ (mg/kg)	186.45	164.35	234.80	232.50
K ⁺ (cmol./kg)	0.86	0.58	0.35	0.29
Turf condition	good sod	bad sod	good turf	good turf

발생하였다. 2003년과 2008년에 토양물리·화학적검사를 실시하여 배수불량의 원인 분석과 토양개량 실시여부에 대한 배수능력 개선 결과와 토양물리성 변화에 대한 분석을 실시하였다. 배수불량지역은 분석결과 표토 5 cm~8 cm 구간이 토양 경화로 인해 토양 물리성이 악화되어 약 3,000 Kpa의 높은 경도를 보였고, 그에 따른 낮은 투수율에 의해 토양 하부층으로의 배수능력이 저조하여 배수 불량의 직접 원인이 되어있었다. 반면 토양개량지역은 토양 경도가 양호하며 깊이에 큰 영향 없이 1,500 Kpa 이하로 대체적으로 균일한 것으로 나타났다. 토양수분을 측정할 결과도 비슷한 경향을 보였는데 배수불량지역은 토양하부 5~15 cm 지역은 20~30%의 수분량을 보인 반면 토양개량이 성공한 지역은 8~12%의 이상적인 수분분포를 보였다. 또 토양개량을 실시한 지역이더라도 식재된 보식용 잔디의 식재층에 실트와 점토가 많이 함유되어 이식 지역의 토양과 식재층이 다르다면 이식 후 토양층에 이질층이 형성되어 수분의 이동이 원활하지 못해 배수 불량의 원인이 되었다. 배수불량으로 인해 토양 내 토양이 환원 상태가 되면서 혐기성 미생물의 생육이 증가하고, 메탄가스가 55 ppm 정도로 축적되고 토양의 공기순환이 자유롭지 못해 식재된 잔디의 뿌리 생장에 악영향을 주어 결과적으로 잔디 생육이 불량하게 되는 연쇄적인 문제가 발생하였다.

주요어: 배수불량, 샌드캡핑, 토양고결, 토양개량, 토양 물리화학적

References

- ASTM (American Society for Testing and Materials) International, 2010. ASTM standards annual book. West Conshohocken, PA, USA.
- Beard, J.B. and S.I. Sifers. 1990. Feasibility assessment of randomly oriented, interlocking mesh element matrices for turfed root zones. In Natural and artificial playing fields.
- Carrow, R.N. 1980. Influence of soil compaction on three turfgrass species, *Agron. J.* 72:1038-1042.
- Deying L., Y.K. Joo, N.E. Christians, and D.D. Minner. 2000. Inorganic soil amendment effects on sand-based sports turf media. *Crop Sci.* 40:1121-1125.
- Douglas, J.T. and C.E. Crawford. 1998. Soil compaction effects on utilization of nitrogen from livestock slurry applied to grassland. *Grass and Forage Sci.* 53:31-40.
- Dunn, J.H., D.D. Minner, B.F. Fresenburf, and S.S. Bughra. 1994. Bermudagrass and cool-season turfgrass mixtures response to simulated traffic. *Agron J.* 86:10-16
- Gibbs, R. J., C. Liu, M.H. Yang, and M.P. Wrigley. 2001. Effect of rootzone composition and cultivation/aeration treatment on the physical and root growth performance of golf green under new zealand conditions. *Int'l. Turfgrass Soc. Res. J.* 9:506-517.
- Lee, J.H., J.S. Son, I.C. Kim, and Y.K. Joo. 2007. Effects of a forced air-flow system for recovery of turfgrass after intensive traffic injury. *Kor. Turfgrass Sci.*, 21(2):127-136. (in Korean)
- McCoy, E.L. 1998. Sand and organic amendment influences on soil physical properties related to turf establishment. *Agron. J.* 90:411-419.
- Pufalla, J., J. Krans, and M. Goatley. 1999. Sports fields: A manual for design, construction and maintenance. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Tae, H.S., Y.S. Kim, and S.K. Koh. 2000. Effect of soil amendments at heavy traffic area in golf course. *J. of Institute of Landscape Architecture* 27(5):107-113. (in Korean)