

골프장 그린에서 토심별 유기물의 경시적 변화

허근영* · 고병구**

*진주산업대학교 조경학과 · **농업과학기술원 환경생태과

Organic Matter Dynamics on Golf Course Greens

Huh, Keun-Young* · Ko, Byong-Gu**

*Dept. of Landscape Architecture, Jinju National University

**Environment and Ecology Division, National Institute of Agricultural and Science Technology

ABSTRACT

The management of soil organic matter(SOM) is a key component of golf course green maintenance. As part of a major project examining the sustainable management of SOM on golf course greens, the SOM status of different age greens maintained in the same root zone composition and management were compared. Then the microbial activity, tiller number, bulk density, water content, pH, EC, and T-N in the soil were measured.

In the 0~5cm depth SOM accumulation showed no significant difference between greens. Below 5cm SOM showed a strong significance between greens and had a positive(+) correlation with year and negative(-) correlation with depth. When regression equations were used to predict SOM accumulation with year and depth, SOM below 5cm tended to increase with a rate of $0.061\% \cdot \text{year}^{-1}$ and decrease with a rate of $0.079\% \cdot \text{cm}^{-1}$ ($R^2=0.841$).

Soil microbial activity was investigated with age and depth by using a dehydrogenase assay. Results showed a sharp drop with depth in all greens. The soil microbial activity below 5cm showed no difference between greens. The accumulated SOM below 5cm may be very resistant to decomposition in the long-term. Five years after establishment, the bulk density did not significantly change. The water content, EC, and T-N had a significant correlation with SOM. The pH decreased with the year, which may influence SOM accumulation. Organic matter accumulation was mainly affected by the pH decrease, low soil microbial activity, and high organic matter resistant to decomposition, but the effects of water content, EC, and T-N were obscure.

Key Words: Decomposition, Dehydrogenase Assay, Microbial Activity, Organic Matter Accumulation

국문초록

토양 유기물 관리는 골프장 그린 관리 중 핵심적인 요소이다. 골프장 그린의 유기물에 대한 지속적인 관리를 연구하는 주요한 프로젝트의 일환으로서, 우리는 동일한 근권부 조성과 관리 하에서 유지되고 있는 서로 다른 조성 시기의 그린들에서 토양 유기물의 상태를 비교하였다. 그리고 그 토양 미생물 활성, 잔디 분얼경수, 용적밀도, 수분함량, pH, EC, 그리고 총질소를 측정하였다.

Corresponding author: Keun-Young Huh, Dept. of Landscape Architecture, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea, Tel.: +82-55-751-3307, E-mail: sumoto@jinju.ac.kr

토심 0~5cm에서 토양 유기물 집적은 그린들 간에 유의차를 보이지 않았다. 토심 5cm 이하에서 SOM은 그린들 간에 강한 유의차를 보였고, 경과 연수와 정(+)의 상관관계를 가졌고 토심과 음(-)의 상관관계를 가졌다. 토심 5~25cm 단층부에서는 시간 경과와 토심에 따른 SOM의 집적을 예측하기 위해서 회귀 분석한 결과에서 그린의 경과 연수가 증가함에 따라서 유기물 함량이 $0.061\% \cdot \text{year}^{-1}$ 로 증가하고, 토심이 깊어질수록 유기물 함량이 $0.079\% \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 감소하는 것으로 나타났다.

경과 연도와 토심에 따른 토양 미생물 활성이 탈수소효소 검정을 이용하여 측정되었다. 결과는 모든 그린들에서 토심에 따라서 급격한 감소를 보였다. 토심 5cm 이하에서 토양 미생물 활성은 그린들 간에 유의차가 없음을 보였다. 집적된 토심 5cm 이하의 SOM은 장기적으로 분해에 대하여 강한 저항성을 가지는 것으로 보인다. 그린 조성 후 5년부터 용적밀도는 유의성 있는 변화를 나타내지 않았다. 수분함량, EC, 그리고 총질소는 SOM과 유의성 있는 상관관계를 가지고 있었다. pH는 시간이 경과하며 낮아졌는데, 이것은 SOM 집적에 영향을 미칠 것이다. 유기물 집적은 pH 저하, 미생물 활성 감소, 토양 유기물의 분해 저항성 증가 등에 주요하게 영향을 받았지만, 수분 함량, EC, 총질소에 의한 영향은 분명하지 않았다.

주제어: 분해, 탈수소효소 검정, 미생물 활성, 유기물 집적

1. 서론

골프장 관리에서 가장 중요한 부분은 퍼팅 그린이다. 그린은 비록 작은 면적을 차지하고 있지만, 높은 가치를 가지고 있는 장소이며, 매우 균일하게 조성되고 관리되어진다(Rist and Gaussoin, 1997). 그린의 품질은 조성 시 근권부의 토양 구성과 계속되는 관리방법에 의하여 결정된다. 일반적으로 퍼팅 그린은 자갈층, 조사, 그리고 잔디가 식재되는 특별하게 조성된 상토층으로 구성되며, 상토층의 토성은 사질토양이다(이상재와 허근영, 1999; Bloodworth *et al.*, 1993; Hummel, 1993; Snow, 1993; Taylor *et al.*, 1997). 하나의 골프장 내에서 모든 그린들은 일반적으로 동일한 방법으로 관리된다. 모든 그린들의 균일성은 동일한 품질의 잔디를 유지하기 위해서, 그리고 관리를 간편하게 하기 위해서 매우 중요하다. 그런 이유로 골프장 관리자들은 일반적으로 계획 및 시공부터 그린의 토양 및 잔디 관리에 대한 양호한 기록 자료를 보관하고 있다.

토양 중 유기물은 생태계의 지속성, 토양구조, 통기성, 토양 수분 등에 매우 깊은 영향을 가지고 있고, 식물생육에 필요한 영양을 저장하는 역할을 담당함으로써 결과적으로 토양의 질에 영향을 미친다(Bhandaranayake *et al.*, 2003). 그러나 유기물이 가지는 긍정적인 영향들도 상당하지만, 집약적인 이용이 이루어지는 퍼팅 그린, 티, 스포츠 운동장과 같은 모래 기반의 근권부에서 과도한 유기물의 집적은 심각한 장애를 일으킬 수 있다. 말하자면, 과도한 유기물은 병충해 피해, 잔디의 황화, 무름, 고사(枯死), 극한 온도 및 건조에 대한 내성 감소, 뿌리 발달 장애, 질소 부동화, 살균제 효과 감소, 습윤 시 잔디 표면의 연약화, 그리고 토양층 내에 견고한 유기물층 형성 등을 증가시킨다(Wood, 2005). 따라서 토양 유기물의 관리는 스포츠 잔디 관리의 주요한 구성요소이며, 특히, 골프장 그린 관리의 핵

심이다.

북더기잔디 또는 태취(thatch)라 불리는 유기물층은 잔디의 품질과 경기에 장애를 일으키고, 결과적으로 골프장의 지속성에 영향을 미칠 수 있다. 과도한 유기물층은 장기간의 부적합한 관리로 야기된 불균형의 결과이다(O'Brien and Hartwiger, 2003). 스포츠 잔디에서 현재 북더기잔디 관리는 대부분 기계적이고 경종적 방법으로 주로 배토를 통하여 단위 부피당 북더기잔디 함량을 떨어뜨리거나 코어링(coring), 북더기잔디 제거(dethatching), 수직 깎기(verticutting)를 통하여 북더기잔디 자체를 제거하고 있다. 그러나 갱신과 통기에 관련한 대부분의 이런 시도들은 여전히 실패로 끝나고 있다. 세계적으로 그린 관리자들은 여전히 유기물의 집적과 집적된 유기물이 그린 내에서 공격적으로 증가하는 것을 효과적으로 조절하지 못하고 있고, 이런 문제들은 원하지 않는 농약들과 친수제(wetting agent)들의 사용을 강요하며, 그로 인하여 심각한 비용을 발생시키고 있다. 실제로, 미국의 경우에 그린 조성 후 15~20년이 경과하면 심지어 미국골프협회가 추천하는 공법으로 조성된 그린들도 재조성(rebuild)되어야 하며, 그 비용은 대략 6.8억 원이고, 공사 중에 대략 9~10개월 정도를 휴장하여야 한다고 하는데, 그 주요 원인들이 유기물의 집적에 의한 효과라고 한다(White, 2006). 그럼에도 불구하고, 그린을 위한 유기물 관리 대책은 객관적으로 측정된 근권부 특성에 기초하고 있지 않다(Glasgow and Gibbs, 2003).

그린의 근권부에서 유기물의 동적 변화를 이해하는 것은 매우 중요하다(Parton *et al.*, 1993). 그런데 토양에서 유기물의 동적 변화를 연구하기 위해서는 수년간 그리고 수십년 간 그 변화를 측정하는 것이 필요하다. 토양에서 유기물의 변화는 매우 느리게 발생하며 그리고 연간 변화는 일반적으로 매우 적기 때문이다(Qian and Follett, 2002). 그러므로 이와 같은 연구는

장기적으로 토양을 채취하여 토양 내 유기물의 함량을 측정하기 때문에 매우 어렵고 그린에서 장기적인 유기물의 변화에 관련한 유효한 정보도 또한 매우 부족한 실정이다.

골프장 그린에서 유기물의 지속가능한 관리에 관련한 연구의 일환으로서, 본 연구의 목적은 골프장 그린의 토심별 토양층에서 장기적으로 유기물의 동적 변화를 예측하고 유기물 집적과 상관을 가지는 토양 특성들을 파악하고 평가하는 것이었다. 앞서 언급한 것처럼 골프장 그린의 조성 관리의 세계적으로 동일한 또는 유사한 기준을 준행하고 있으므로 본 연구의 결과는 다양한 지역에서 유용할 것으로 기대된다.

II. 재료 및 방법

1. 장소 및 토양 채취

본 연구는 뉴질랜드 Manawatu 지역의 골프장 그린들에서 수행되었다. 본 연구를 위해서 선정된 골프장은 조성 후 3년부터 50년 이상 경과된 그린들을 가지고 있었으며, 그린 관리에 관련하여 양호한 기록 자료를 유지·보관하고 있었다. 그린은 2% 미만의 유기물을 함유한 모래로 조성되었으며, 배토는 유기물을 혼입하지 않은 2mm 이하이며, 1mm 이하가 80% 정도인 모래를 사용하여 연간 6회 실시하고 있다. 연평균 질소 시비량은 20g/m²이었다. 코어링은 5월과 8월에 각각 1회 실시하고 있으며, 수직 깎기를 보조적으로 활용하고 있다. 롤링(rolling)은 월 1~2회를 실시하고 있다¹⁾.

2006년 4월 11일, 8월 11일, 11월 7일에 동일한 그린 조성 관리 하에 있는 조성 후 5년, 9년, 10년, 20년, 30년, 40년이 경과한 그린들 위에서 임의로 3지점을 정하고 토심 5cm 간격으로 연속적인 5개의 토양층에서 토양 시료를 채취하였다.

2. 토양 유기물의 동적 변화

2006년 4월 11일에 채취된 토양 시료의 유기물 함량은 10 5°C에서 건조된 약 15g의 토양 시료를 550°C에서 4.5시간 동안 연소시키는 방법으로 측정하였다(Heiri *et al.*, 2001). 측정 값들은 Duncan의 다중 검정으로 평균 비교되었고, 장기간의 유기물 변화를 예측하기 위해서 회귀 분석되었다(SPSS Inc., 2003).

3. 잔디의 생육 및 토양의 주요 특성

조성 연도가 다른 그린들에서 잔디의 생육에 의한 유기물 집적의 영향을 평가하기 위해서 1 cm² 당 잔디 분얼경수가 2006년 4월 11일, 8월 11일, 그리고 11월 7일에 측정되었다(Brede 1982;

Ludlow *et al.* 1974; O'Neil and Carrow 1983; O'Neil and Carrow 1982).

토양 유기물의 집적과 분해 특성을 평가하기 위해서 미생물 활성을 분석하였다. 미생물 활성은 탈수소효소 검정(Dehydrogenase assay)을 이용하여 측정되었는데, 이 방법은 빠르고 경제적인 분석방법이며, 탈수소효소 활성(DHA: Dehydrogenase Activity)은 토양 중의 미생물 활성을 평가할 수 있는 적합한 방법이라고 보고되었다(Chandler and Brooks, 1991). 2006년 8월 11일과 11월 7일에 각각 토양 시료를 채취한 후, 0.1g의 CaCO₃와 3mL의 2,3,5-triphenyltetra-zolium가 첨가된 30mL 플라스틱 시험관에 채취된 5g의 토양 시료를 넣었다. 토양 시료들은 진탕 후에 30°C로 조정된 배양실에서 암조건으로 24시간 동안 보관되었다. 배양 후에 20mL의 메탄올을 첨가하고 토양 시료를 진탕한 후에 여과지(Whatman 41)를 사용하여 triphenylformazan(TPF)을 추출하였다. 추출 후에 흡광분석계(Beckman DU 640)를 이용하여 485nm에서 용액들의 흡광량을 측정하였다. TPF($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)은 표준 곡선에 대한 비교에 의해서 결정되었고, 각 시료의 TPF 농도가 토양의 미생물 활성도를 제공하기 위해서 산출되었다(Mills *et al.*, 2005; Taylor *et al.*, 2002).

2006년 4월 11일에 채취된 토양 시료의 용적밀도, 수분함량, pH, 전기전도도(EC: Electrical Conductivity), 총질소(T-N: Total Nitrogen)가 측정되었다(농업과학기술원, 2000). 모든 데이터는 Duncan의 다중 검정으로 평균 비교되었고, 토양 유기물 함량과 함께 상관 분석되었다(SPSS Inc., 2003).

III. 결과 및 고찰

1. 시간 경과에 따른 토심별 유기물의 동적 변화

모든 그린에서 토심 0~5cm 단층부의 토양 유기물 함량은 4.97~5.63%의 범위를 보였고 서로 유의차를 나타내지 않았다(표 1 참조). 시간 경과에 상관없이 일정한 수준의 유기물 함량이 유지되고 있는 것으로 나타났다. 토심 0~5cm 단층부에서 유기물 집적은 코어링과 같은 집약적인 관리에 의하여 주요하게 영향을 받고 있다고 판단되었다. 국내 골프장들에서 일반적으로 수행되는 코어링의 깊이는 대략 5cm 내외인데(이상재 등, 2000), 이와 유사한 토심에서 그린 관리가 이루어지는 것으로 판단되었다. 상부 0~25cm 단층부에서 유기물의 분포는 전반적으로 중력 방향으로 점차 감소하였다. 토심 0~5cm 단층부를 제외한 모든 단층부들에서 다른 조성 연도를 가지는 그린들 간에 유의차가 나타났다. 토심 5~25cm 단층부들에서 유기물 함량의 동적이고 점이적인 변화 유형은 시간 경과에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉, 토심 5~25cm 단층부들에서는 시간이 경과하면서 토양 유기물의 함량이 유의하게 증가하는

것으로 나타났다.

연속적인 그린 단층부들에서 토양유기물 집적의 점이적 변화는 지속적인 유기물의 유입과 증력 방향으로의 이동 패턴을 보여주었다. 초기 조성 시 함유된 2% 미만의 유기물, 초기 함유된 유기물의 장기적 분해, 그리고 추가적인 유기물의 유입에 의한 종합적인 결과로서 조성 후 9년 동안에 토심 5~10cm, 그리고 10cm 이하 단층부들에서 유기물 함량은 각각 2% 이하와 1% 이하였다. 조성 후 20년 동안에 토심 5~10cm 그리고 10~15cm 단층부들에서 유의성 있게 유기물 함량이 증가하였고, 각각 약 3%와 2%였다. 조성 후 20년부터 30년 사이에 토심 15~20cm와 20~25cm 단층부들에서 유기물 함량이 유의성 있게 증가하였다. 조성 후 40년 동안에 토심 5cm 이하에서 전반적인 유기물 함량의 증가를 보였으며, 토심 5~10cm와 10cm 이하 단층부들에서 각각 3.75%와 약 3%였다.

토심 5~25cm 단층부에서 시간 경과와 토심에 따른 유기물 집적을 예측하기 위해서 다중회귀분석을 실시한 결과에서 두 개의 독립변수를 포함한 선형 회귀 모형은 매우 유의성 있게 종속변수인 유기물 함량을 예측할 수 있는 것으로 나타났다(표 2 참조). R^2 는 0.84로 위의 2개의 독립변수들로 구성된 선형 회귀 모형이 유기물 집적의 84%를 설명할 수 있었으며, 고도로 유의한 결과를 보였다($F=44.990$, $P<0.01$). 비표준화 계수인 B를 바탕으로 한 표본 회귀 방정식은 [Y_1 (유기물 함량) = $1.685 + 0.061 X_1$ (그린의 경과 연수) - $0.079 X_2$ (토심)]으로 결정되었다(식 1). 선형 모형에 포함된 독립변수 중 그린의 경과 연수는 유기물 함량과 양(+)의 상관관계를 가지며, 토심은 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났는데, 구체적으로 그린의 경과 연수가 증가함에 따라서 유기물의 함량이 $0.061\% \cdot \text{year}^{-1}$ 로 증가하고 토심이 깊어질수록 유기물의 함량이 $0.079\% \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 표준 회귀계수인 베타 값에 의하여 두 독립변수들의 상대적 중요도를 알아본 결과에서 그린의 경과 연수가 0.802로 -0.445인 토심보다 높은 설명력을

표 1. 다른 시기에 조성된 그린들의 연속적인 5cm 토양층의 유기물 함량

그린의 경과 연수 (년)	토심(cm)				
	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25
5	4.97 a*	1.81 bc	0.73 c	0.61 c	0.65 c
9	5.01 a	1.74 c	0.70 c	0.68 c	0.94 bc
20	5.63 a	3.02 a	1.90 b	0.92 c	0.82 bc
30	5.06 a	2.92 ab	2.04 b	1.67 b	1.73 b
40	5.58 a	3.75 a	2.77 a	3.15 a	2.92 a

*: 5% 유의수준에서 Duncan의 다중 검정을 이용한 평균 비교

표 2. 골프장 그린의 경과 연수와 토심에 따른 유기물 집적 예측

종속변수	독립변수	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의 확률
		B	표준 오차	베타		
유기물 함량	그린의 경과 연수	0.061	0.007	0.802	8.292	0.000
	토심	-0.079	0.017	-0.445	-4.607	0.000
	상수	1.685	0.313		5.385	0.000

가진다고 할 수 있었다. 개별 회귀계수와 상수항에 대해서는 t 분포를 이용한 유의도 검정을 시행하였는데, 각 변수의 t 통계량은 그린의 경과 연수가 8.292이고 토심이 -4.607로 모두 1% 유의 수준에서 귀무가설이 기각되므로 이 두 독립변수들은 유기물 함량이라는 종속변수에 유의적인 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있었다.

$$Y_1 = 1.685 + 0.061 X_1 - 0.079 X_2 \quad (\text{식 1})$$

Y_1 : 유기물 함량(%)

X_1 : 그린의 경과 연수(년)

X_2 : 토심(cm)

2. 잔디의 생육

골프장 그린의 유기물 관리와 관련하여 Carrow(1998)는 중량비 3~4% 이상의 토양 표면 유기물 집적은 대공극을 감소시키고, 그 결과로 산소 확산 감소, 수분 투수력 감소 그리고 수분 보유량 증가를 일으킨다고 보고하였다. 또한, 1990년대 초반의 뉴질랜드 농업연구소의 초지 연구보고서는 모래질 토양층에서 토양 표면부 유기물 수준은 충분한 대공극을 유지하기 위해서 일반적으로 4.5%이하로 유지될 필요가 있고 그리고 불연속의 복더기잔디를 함유한 토양층 아래의 유기물 함량은 중간 모래(medium sand)와 가는 모래(fine sand)에서 각각 4%와 3% 이하로 유지될 필요가 있다고 보고하였다(Murphy et al., 1993). 앞서 언급한 것을 기준하여 볼 때, 전체적으로 모든 그린들은 다소 과다한 유기물 집적을 보이고 있다고 판단되었다. 따라서 조성 연도가 다른 그린들에서 생육하고 있는 잔디의 생육에 대한 유기물 집적에 의한 영향을 평가하기 위해서 잔디 분얼경수를 분석하였는데 각각 다른 시기에 측정된 3차례 결과들에서 일관성 있는 경향을 파악할 수 없었다(그림 1 참조). 2005년 4월 11일에 측정된 잔디 분얼경수는 토양 유기물의 증가에 정비례하여 약간 증가하는 경향을 보였지만, 같은 해 8월 11일과 11월 7일에 측정된 잔디 분얼경수는 앞선 측정된 결과와 일관성 있는 경향을 찾아 볼 수 없었다. 결과적으로 토양 유기물 집적에 의한 분명한 영향을 파악할 수 없었다. 다시 말하

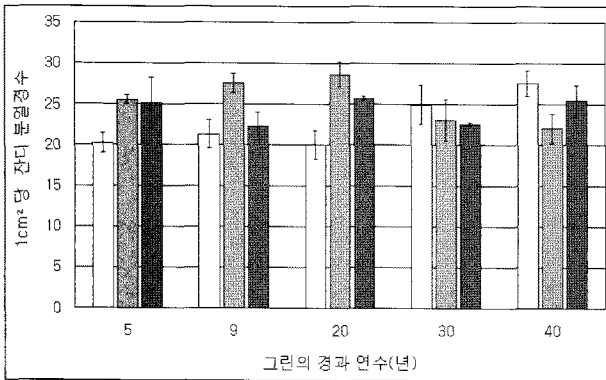


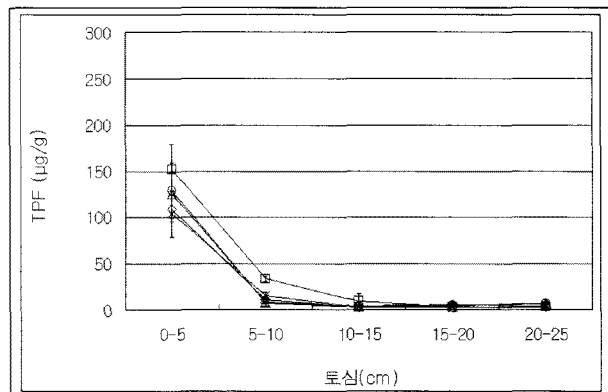
그림 1. 다른 시기에 조성된 그린들의 시기별 잔디 분얼경수
 범례: □ 4월 11일, ▨ 8월 11일, ▩ 11월 7일

자면, 조성 후 40년이 경과한 그린을 포함한 모든 그린들에서 과도한 유기물 집적에 의한 잔디의 생육장애는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 또한, 이것을 달리 해석해보면 조성 연도가 다른 그린들에 유기물의 유입은 장기적으로 유사하였음을 예상할 수도 있을 것이다.

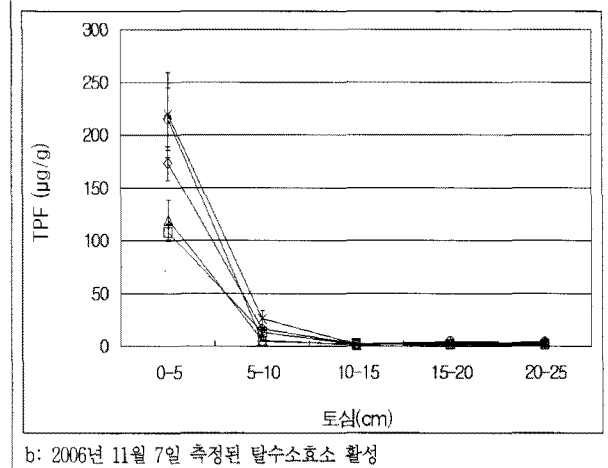
이와 같은 결과는 그린의 잔디 초종에 의한 영향으로 판단되었다. 뉴질랜드의 상당수 골프장들은 비용, 관리 등의 이유로 그린 초종을 뉴질랜드 'Browntop' 벤토그라스(*Agrostis capillaris* syn. *A. tenuis*)에서 애뉴얼 블루그라스²⁾(*Poa annua*)로 교체하여 왔다(Neylan, 2004). 일례를 들자면, 뉴질랜드에서 벤토그라스 그린의 경우, 토심 0~20mm에서 유기물 함량을 일반적으로 5% 이하로 유지하도록 관리하지만, 오클랜드의 전형적인 골프장들에서 모래로 배토작업을 하며 일반적인 방법으로 복더기잔디를 관리하고 있는 애뉴얼 블루그라스 그린의 경우 토심 0~20mm에서 유기물 함량은 7~15% 범위로 유지되고 있다(Glasgow and Christiansen, 2003). 뉴질랜드와 같은 온화한 기후조건에서 이와 같은 초종 선정은 아마도 골프장 그린의 지속적인 유기물 관리의 한 방안이 될 수 있을 것이다.

3. 미생물의 활성

향후 장기적으로 토양 유기물의 지속적 증가는 잔디의 건전한 생육을 저해하고 경기의 질을 저하시키며 그 결과로 골프장의 지속적 이용을 불가능하게 할 수 있다. 토양 유기물 함량의 증가는 일반적으로 식물로부터 기인한 유기물의 유입과 유입된 유기물의 분해 속도에 의해서 영향을 받는다. 미생물의 왕성한 활동은 유기물의 신속한 분해를 유도하고 결과적으로 토양 유기물 함량의 증가를 억제할 것이다. 따라서 상부 0~25cm 단층부에서 토심별로 집적된 유기물의 분해 특성을 평가하기 위해서 탈수소효소 검정을 이용하여 미생물 활성을 분석하였다(그림 2 참조). 조성 연도가 다른 모든 그린들에서 토심 0~5cm 단층부의 미생물 활성이 일관성 있게 가장 높게 나타났다.



a: 2006년 8월 11일 측정된 탈수소효소 활성



b: 2006년 11월 7일 측정된 탈수소효소 활성

그림 2. 다른 시기에 조성된 그린들의 연속적인 5cm 토양층의 탈수소효소 활성

범례: △ 조성 후 5년 경과, ○ 조성 후 9년 경과, ◇ 조성 후 20년 경과, □ 조성 후 30년 경과, × 조성 후 40년 경과

비록 그린들 간에 유의차를 보였지만, 두 분석시점들에서 일관성 있는 경향을 나타내지는 않았다. 모든 그린들의 토심 0~5cm와 5~10cm 단층부들 사이에서 미생물 활성의 급격한 감소를 볼 수 있었다. 즉, 시간 경과에 상관없이 토심 5cm 이하에서부터 미생물 활성이 현저히 떨어지는 경향을 나타냈다. 이 결과는 5cm 이하의 단층부에서부터 미생물의 활동이 토양환경에 의해서 제한을 받거나 또는 집적된 유기물이 미생물 분해에 이미 높은 저항성을 가진다는 것을 의미한다. 결과적으로 토심 5cm 이하의 단층부에서 집적되고 있는 유기물은 장기적으로 매우 안정할 것이며, 과도한 유기물 집적으로 인한 위험을 초래할 수 있다.

4. 주요 토양특성

유기물 집적과 관련하여 주요한 토양특성을 분석한 결과에서 용적밀도는 전반적으로 상부에서 아래로 내려가면서 증가하는 경향을 보였다(표 3 참조). 비록 토심 0~5cm와 15~

20cm 단층부들에서 그린들 간에 유의차를 보였지만, 시간 경과와 유의적인 상관을 가지는 결과들은 아니었다. 조성 후 5년이 경과하면서부터 그린의 용적밀도 변화는 거의 나타나지 않았는데, 이것은 이 시기에 이미 물리적으로 안정한 그린(matured green)이 되었음을 의미한다. 결과적으로 이 그린들에서 용적밀도는 유기물 집적의 주요한 상관 요인이라고 볼 수 없었다.

수분함량은 조성 후 상대적으로 시간이 많이 경과한 그린들에서 전반적으로 보다 높은 경향을 보였다(표 3 참조). 이 결과는 토양 유기물 집적으로 기인된 영향으로 판단되었다. 통계분

표 3. 다른 시기에 조성된 그린들의 연속적인 5cm 토양층의 주요 토양특성

항목	그린의 경과 연수 (년)	토심(cm)				
		0~5	5~10	10~15	15~20	20~25
용적밀도 (g/cm ³)	5	1.08 a*	1.44 a	1.54 a	1.57 ab	1.75 a
	9	1.10 a	1.40 a	1.68 a	1.67 ab	1.87 a
	20	1.01 ab	1.44 a	1.55 a	1.70 a	1.71 a
	30	1.08 a	1.42 a	1.57 a	1.54 b	1.74 a
	40	0.92 b	1.35 a	1.60 a	1.61 ab	1.84 a
수분함량 (%)	5	33.70 a	18.28 a	7.92 c	7.36 c	7.99 c
	9	37.00 a	25.00 a	10.06 c	11.81 bc	14.21 b
	20	43.14 a	26.49 a	15.48 b	10.63 bc	10.53 bc
	30	36.00 a	26.84 a	16.90 b	14.31 b	12.98 bc
	40	43.93 a	30.93 a	23.41 a	27.02 a	25.76 a
pH	5	6.00 a	5.92 ab	6.35 a	6.49 a	6.49 a
	9	5.98 a	5.98 a	6.19 ab	6.25 a	6.29 ab
	20	5.89 a	5.59 bc	5.57 c	5.90 b	6.09 bc
	30	5.99 a	5.74 abc	5.76 bc	5.73 b	5.92 c
	40	5.85 b	5.54 c	5.43 c	5.21 c	5.03 d
EC (mS/cm)	5	0.09 b	0.01 c	0.05 c	0.04 b	0.05 c
	9	0.11 ab	0.08 c	0.06 c	0.06 b	0.08 b
	20	0.01 b	0.01 ab	0.08 b	0.05 b	0.06 c
	30	0.01 b	0.01 bc	0.08 b	0.06 b	0.05 c
	40	0.12 a	0.12 a	0.10 a	0.11 a	0.10 a
총질소 (ppm)	5	764 a	485 a	245 b	102 c	302 a
	9	1058 a	619 a	366 ab	322 bc	319 a
	20	934 a	895 a	673 ab	155 bc	130 a
	30	795 a	760 a	657 ab	495 b	282 a
	40	1024 a	817 a	795 a	868 a	621 a

*: 5% 유의수준에서 Duncan의 다중 검정을 이용한 평균 비교

표 4. 유기물과 그 외 토양특성들 간의 상관분석

변수	유기물 함량	그린의 경과 연수	수분함량	pH	EC	총질소
유기물 함량	1.00	-	-	-	-	-
그린의 경과 연수	0.40 0.04*	-	-	-	-	-
수분함량	0.97 0.00**	0.40 0.04*	-	-	-	-
pH	-0.11 0.61	-0.55 0.00**	-0.13 0.54	-	-	-
EC	0.81 0.00**	0.53 0.01**	0.86 0.00**	-0.33 0.11	-	-
총질소	0.88 0.00**	0.46 0.02*	0.90 0.00**	-0.23 0.26	0.90 0.00**	1.00 -

*: 5% 유의수준에서 유의성 있음(양측검정)

** : 1% 유의수준에서 유의성 있음(양측검정)

석에서 수분함량은 유기물 함량과 매우 높은 수준의 정(+)의 상관을 가지는 것으로 나타났다(표 4 참조).

조성 초기에 그린의 상토층을 조성한 사질토양의 pH는 대략 6.5 이상인 것으로 보이는데, 조성 연도가 경과하면서 pH는 전반적으로 낮아지는 경향을 보였다(표 3 참조). pH는 조성 후 5년이 경과한 그린에서 토심이 깊어질수록 점차 높아지고, 20년과 30년이 경과한 그린들에서 중력 방향으로 약간 낮아진 후에 다시 높아지며, 40년이 경과한 그린에서는 토심이 깊어질수록 계속 낮아지는 것으로 나타났다. pH는 조성 연도와는 매우 유의성 있는 음(-)의 상관을 보였지만, 유기물 함량과는 상관을 나타내지 않았다(표 4 참조). 대부분의 미생물은 생장을 위한 적절한 pH를 가지고 있으며 생육 가능한 pH 범위를 가지는데, 그 범위는 중성에 가깝다(Lynch, 1995). 따라서 산성 조건 하에서 유기물을 분해하는 미생물의 활성은 감소하게 되고, 그 결과로 유기물의 집적은 반대로 증가하게 된다(Hooker, 2006). 이미 몇몇 연구들은 토양이 산성화될수록 더 많은 복더기잔디가 집적된다고 보고하였는데(Edmond and Coles, 1958; Kock, 1978; Schmidt, 1978), 이와 같은 시간 경과에 따른 pH의 저하는 결국 토양에서 유기물의 집적을 촉진시킬 것이다.

앞서 시간 경과에 따른 토양의 산성화를 고려해볼 때, 사질 토양의 그린들에서 EC가 시간이 경과하면서 그리고 중력 방향으로 내려가면서 용탈에 의해서 점차 감소할 것으로 예측되었지만 그 결과는 반대로 나타났다(표 3 참조). 즉, 시간이 경과하면서 그리고 중력방향으로 내려가면서 pH가 낮아지는 가운데 EC가 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 토양 유기물 집적에 기인한 영향으로 판단되었다. EC는 유기물 함량과 매우 높은 수준의 정(+)의 상관을 나타냈기 때문이다(표 4 참조). 결과적으로 토심 5cm 이하에서 나타나는 토양 산성화는 무기양분의 용탈에 의한 영향이라기보다는 유기물의 분해 및 집적과 관련된 것으로 판단된다. 총질소 함량도 EC의 변화 경

향과 유사하였다(표 3, 4 참조). 토양 미생물의 활성이 중력 방향으로 내려가면서 급격히 감소하는 현상이 질소 기아(nitrogen starvation)에 의한 영향인지 파악하기 위해서 총질소 함량을 분석한 결과에서 오히려 조성 후 40년이 경과한 그린의 하층부에서 그 함량이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

IV. 결론

토양 유기물의 관리는 스포츠 잔디 관리의 주요한 구성요소이며, 특히, 골프장 그린 관리의 핵심이다. 골프장 그린의 토양 유기물 관리를 위해서는 장기적인 근권부 특성의 변화를 이해하는 것이 필요하며, 특히, 토양 유기물의 장기적 동적 변화를 실증적으로 파악하는 것이 선행되어야 할 것이다. 골프장 그린에서 유기물의 지속가능한 관리에 관련한 연구의 일환으로서, 본 연구의 목적은 골프장 그린의 토심별 토양층에서 장기적으로 유기물의 동적 변화를 예측하고 유기물 집적과 상관관계를 가지는 토양특성들을 파악하고 평가하는 것이다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

골프장 그린의 토심 0~5cm 단층부의 유기물 집적은 시간 경과와 상관없이 집약적인 관리에 의하여 일정한 수준을 유지하였으며, 그 함량은 4.97~5.63%이었다. 그러나 토심 5~25cm 단층부에서는 조성 후 그린의 경과 연수가 증가함에 따라서 유기물의 함량이 0.061%·year⁻¹로 증가하고 토심이 깊어질수록 유기물 함량이 0.079%·cm⁻¹로 감소함을 나타냈다.

토심 0~5cm 단층부에서 가장 높은 미생물 활성을 보였고, 시간 경과에 상관없이 토심 5cm 이하에서부터 미생물 활성이 현저히 떨어지는 경향을 보였다. 결과적으로 토심 5cm 이하의 단층부에서 집적되고 있는 유기물은 장기적으로 매우 안정함을 알 수 있었다. 조성 후 5년이 경과하면서부터 토양의 용적밀도 변화는 거의 나타나지 않았다. pH는 시간이 경과하면서 낮아졌으며, 이것은 유기물 집적을 촉진한 것으로 나타났다. EC와 총질소는 유기물 함량 및 수분 함량과 정(+)의 상관을 나타냈다.

투입된 유기물의 집적은 수분, 영양 염류, 질소 부족보다 pH 저하, 미생물 활성 감소, 토양 유기물의 분해 저항성 증가 등에 주요하게 영향을 받는 것으로 판단되었다.

주 1. 이와 같은 관리 수준은 이상재 등(2000)과 이상재 등(2001)이 수행한 국내 골프장 관리에 관련한 연구들과 비교할 때에 유사하다고 판단되었다.

주 2. 소위 골프장 그린용 애뉴얼 블루그라스(*Poa annua*)는 사실상 *Poa annua reptans*로 분류된다(Huff, 1998). 질감이 우수하고 균일하며 높은 신초밀도를 가지고 짧은 예지에도 내성을 가지며, 그 결과로 우수한 품질의 그린 표면을 제공할 수 있다(Huff, 2004; Neylan, 2004). 뿌리깊이는 일반적으로 캔터키 블루그라스 및 콜로니얼 벤투그라스와 유사하지만 매우 얇은 뿌리분포에서도 생존이 가능하다(Koshy, 1968;

Sprague and Burton, 1937). 여름철 관수관리가 매우 중요한데, 과습이나 지나친 건조에 치명적이다. 소량으로 자주 관수하는 관리방법을 채택하게 되는데, 이것은 흔히 낮은 뿌리분포를 형성하도록 유도한다(Neylan, 2004).

감사의 글

이 논문은 진주산업대학교 2005학년도 기성회 해외중기연수 지원에 의하여 연구되었으며, 뉴질랜드 Massey University와 New Zealand Sports Turf Institute의 협조에 의해서 연구되었습니다.

인용문헌

1. 농업과학기술원(1980) 토양화학분석법. 토양·식물체·토양미생물. 농촌진흥청.
2. 이상재, 심경구, 허근영(2000) 한국의 골프 코스 그린의 관리 및 스프드 특성과 상관에 관한 연구. 한국조경학회지 28(4): 29-43.
3. 이상재, 허근영(1999) 한국의 골프 코스 그린의 설계 및 시공 특성에 관한 연구. 한국잔디학회지 13(4): 181-190.
4. 이상재, 허근영, 사공영보(2001) 국내 골프 코스에서 사용되는 농약 및 비료의 환경적 영향. 한국잔디학회지 15(2): 87-104.
5. Bhandaranayake, W., Y. L. Qian, W. J. Parton, D. S. Ojima, and R. F. Follett(2003) Estimation of soil organic carbon changes in turfgrass systems using the CENTURY model. Agronomy Journal 95(3): 558-563.
6. Bloodworth, M. E., K. W. Brown, J. B. Beard, and S. I. Sifers(1993) A new look at the Texas-USGA specifications for root-zone modification. Grounds Maintenance 28(1): 13-21.
7. Brede, A. D.(1982) Interaction of three turfgrass species. Ph. D. Dissertation, The Pennsylvania State University, University Park.
8. Carrow, R.(1998) Organic matter dynamics in the surface zone of a USGA green: practices to alleviate problems. New Jersey: 1998 Turfgrass and Environmental Research Summary(USGA).
9. Chandler, K. and P. C. Brooks(1991) Is the dehydrogenase assay invalid as a method to estimate microbial activity in copper contaminated soils. Soil Biology and Biochemistry 23(10): 909-91.
10. Edmond, D. B. and S. T. J. Coles(1958) Some long-term effects of fertilizers on a mown turf of browntop and Chewings fescue. New Zealand Journal of Agricultural Research 1: 665-674.
11. Glasgow, A. and B. Christiansen(2003) Thatch management at Mangawhai golf club. New Zealand Turf Management Journal 18(4): 4-6.
12. Glasgow, A. and R. Gibbs(2003) Total organic matter content management. New Zealand Turf Management Journal 18(3): 24-26.
13. Heiri, O., A. F. Lotter, and G. Lemcke(2001) Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. Journal of Paleolimnology 25: 101-110.
14. Hooker, M.(2006) Effect of pH on sports turf soils. New Zealand Turf Management Journal 21(3): 16-17.
15. Huff, D.(1998) The case for *Poa annua* on golf course greens. Golf Course Management 66(10): 1-3.
16. Huff, D.(2004) Developing annual bluegrass cultivars for putting greens. Green Section Record 2004 September-October: 12-15.
17. Hummel, N. W.(1993) Rationale for the revisions of the USGA green construction specifications. USGA Green Section Record 31(2): 7-21.
18. Kock, L.(1978) Thatch accumulation by species and cultivars as a

- result of the application of alkaline and acid fertilizers under Alpine conditions of Rinn. *Z. Vegetationstechnik* 1: 62-64.
19. Koshy, T. K.(1968) Evolutionary origin of *Poa annua* L. in the light of karyotypic studies. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 10: 112-118.
 20. Ludlow, M. M., G. L. Wilson, and M. R. Heslehurst(1974) Studies on the productivity of tropical pasture plants: Effect of shading on growth, photosynthesis, and respiration in two grasses and two legumes. *Australian Journal of Agricultural Research* 25: 425-433.
 21. Lynch, J. M.(1995) Microbial activity in acid soils in plant soil interactions at low pH: principles and management, Dordrecht (Netherlands): Kluwer Academic Publishers.
 22. Mills, T., B. Arnold, S. Sivakumaran, G. Northcott, I. Vogeler, B. Robinson, C. Norling, and D. Leonil(2006) Phytoremediation and long-term site management of soil contaminated with pentachlorophenol (PCP) and heavy metals. *Journal of Environmental Management* 79: 232-241.
 23. Murphy, J. W., T. R. O. Field, and M. J. Hickey(1993) Age development in sand-based turf. *Int. Turfgrass Soc. Res. Journal* 7: 464-468.
 24. Neylan, J.(2004) Maintenance of *Poa annua* putting greens and tees. *New Zealand Turf Management Journal* 19(1): 4-11.
 25. O'Brien, P. and C. Hartwiger(2003) Aeration and topdressing for the 21st century. *USGA Green Section Record* 42(2): 1-7.
 26. O'Neil, K. N. and R. N. Carrow(1982) Kentucky bluegrass growth and water use under different soil compaction and irrigation regimes. *Agronomy Journal* 74: 933-936.
 27. O'Neil, K. N. and R. N. Carrow(1983) Perennial ryegrass growth, water use and soil aeration status under soil compaction. *Agronomy Journal* 75: 177-180.
 28. Parton, W. J., J. M. O. Schimel, C. V. Cole, D. S. Ojima, T. G. Gilmanov, R. J. Scholes, D. S. Schimel, T. Kirchner, J. C. Menaut, T. Seastedt, E. Garcia Moya, A. Kamnalrut, and J. I. Kinyamario(1993) Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochem. Cycles* 7: 785-809.
 29. Qian, Y. and R. F. Follett(2002) Assessing soil carbon sequestration in turfgrass systems using long-term soil testing data. *Agronomy Journal* 94: 930-935.
 30. Rist, A. M. and R. E. Gausson(1997) Mowing isn't sole factor affecting ball-roll distance. *Golf Course Management* 67(6): 49-54.
 31. Schmidt, W.(1978) Thatch of formation as affected by fertilizers with acidifying or calcifying action, at the dry trials centre at Giessen. *Z. Vegetationstechnik* 1: 65-69.
 32. Snow, J. T.(1993) USGA explains its new green specifications. *Grounds Maintenance* 28(1): 21-22.
 33. Sprague, H. B. and G. W. Burton(1937) Annual bluegrass(*Poa annua* L.) and its requirements for growth. *New Jersey Agricultural Experiment Station Bulletin* 630: 1-24.
 34. Taylor, D. H., C. F. Williams, and S. D. Nelson(1997) Water retention in root-zone soil mixtures of layered profiles used for sports turf. *HortScience* 32(1): 82-85.
 35. Taylor, R., B. Wilson, M. Mills, and R. Burns(2002) Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soil and subsoil using various techniques. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 387-401.
 36. White, B.(2006) Rebuild or resurface. *Green Section Record* 2006 January-February: 1-6.
 37. Wood, A.(2005) Getting smarter with your thatch control and renovations. *New Zealand Turf Management Journal* 20(3): 19-21.

원 고 접 수 일: 2007년 11월 15일
 심 사 일: 2008년 1월 23일(1차)
 2008년 6월 2일(2차)
 계 재 확 정 일: 2008년 6월 10일
 3 인 의 명 심 사 필