

골프장 그린에서 토심별 토양 유기물 집적에 대한 미생물 분해성 평가[†]

허근영* · 김인혜* · Markus Deurer**

*진주산업대학교 조경학과 · **Plant and Food Research Ltd., New Zealand

Assessment of Microbial Decomposition in Soil Organic Matter Accumulation with Depth in Golf Greens

Huh, Keun-Young* · Kim, In-Hea* · Deurer, Markus**

*Dept. of Landscape Architecture, Jinju National University

**Plant and Food Research Ltd., New Zealand

ABSTRACT

Excessive soil organic matter (SOM) is detrimental to turfgrass quality when used intensively in sand-based root zones, thereby affecting the sustainability of turfgrass systems. As part of a major project examining the sustainable management of SOM on golf greens, microbial decomposition on soil organic matter accumulation with depth was assessed and the effect of soil air-condition improvement and Ca fertilization was investigated by soil microbial respiration (SMR). Three soil samples from three depths(0~5, 5~10, and 10~15cm) of 5 year and 30 year old green were analyzed for SOM content. In 30 year old green, SMR and dehydrogenase activity(DHA) were analyzed to assess the soil microbial decomposition with depth. It was then divided into 4 plots: untreated as a control, dolomite-treated, 0~5cm deep section-removed, and 0~5 cm deep section-removed+dolomite-treated. After treatment, three soil samples were taken at 1, 2 and 4 weeks by the above-mentioned method, and analyzed for SMR to better understand SOM decomposition.

SOM accumulation in the 0~5cm depth of golf greens can be controlled by intensive cultivation such as coring, but below 5cm is more difficult as the results showed that SOM content below 5cm increased over time. Soil microbial decomposition of organic matter will be necessary to reduce SOM accumulation, but SMR below 5cm was low and wasn't significantly altered by increasing exposure to air and fertilizing with Ca. As a result, aeration treatments such as coring and Ca fertilization might not be effective at improving soil microbial decomposition below 5cm depth in aged greens.

Key Words: Soil Microbial Respiration, Soil Microbial Activity, Dehydrogenase Activity

국문 초록

집중적인 이용이 이루어지는 모래 기반의 잔디 근권부에 과도한 유기물의 집적은 잔디 생육에 심각한 장애를 일으킬 수 있다. 본

[†]: 이 논문은 진주산업대학교 2005년도 및 2009년도 기성회 연구비 지원과 뉴질랜드 Massey University와 New Zealand Sports Turf Institute의 협조에 의해서 연구되었음.

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

연구는 골프장 그린에서 유기물의 지속가능한 관리에 관한 연구의 일환으로서 조성 후 30년 경과한 그린에서 토심별 토양 유기물 분해를 평가하기 위해서 토양미생물 호흡량을 이용하여 토심별 토양 유기물 집적에 대한 미생물 분해를 평가하고 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과를 연구하였다. 조성 후 5년과 30년 경과한 그린의 토심 0~5cm, 5~10cm, 10~15cm 토양층에서 3반복으로 토양 시료를 채취하여 토양 유기물 함량을 분석하였다. 토양미생물 호흡량과 탈수소효소 활성이 조성 후 30년 경과한 그린에서 토심별 토양 유기물 분해를 평가하기 위해서 분석되었다. 그 후에 조성 후 30년 경과한 그린을 4개의 구획으로 구분하고 무처리한 대조구, 돌로마이트를 처리한 실험구, 토심 0~5cm 토양층을 제거한 실험구, 토심 0~5cm 토양층 제거 후 돌로마이트 처리한 실험구를 조성하였다. 처리 후 1, 2, 4주일 경과 후에 앞서 언급한 방법과 동일하게 토양 시료를 채취하여 토양 유기물 분해를 평가하기 위해서 토양미생물 호흡량을 분석하였다.

토심 0~5cm 토양층에서 토양 유기물 집적은 코어링과 같은 집약적인 관리에 의해서 조절되고 있지만 토심 5cm 이하에서는 유기물 함량이 시간 경과에 따라서 증가함으로 지속적으로 토양 환경이 악화되고 있다. 유기물에 대한 토양미생물의 분해는 토양 유기물 집적을 감소시키기 위해서 필수적이지만, 토심 5cm 이하에서 토양미생물 호흡량은 현저히 낮게 나타나고 통기성 개선과 돌로마이트 시용에 의해서 효과적으로 개선되지 않았다. 결과적으로 코어링과 같은 통기성 개선 작업들과 돌로마이트 시용은 조성 후 오랜 기간이 경과한 그린의 토심 5cm 이하에서 토양미생물 분해를 촉진시키기 위한 방법으로 효과적이지 못한 것으로 나타났다.

주제어: 토양미생물 호흡량, 토양미생물 활성, 탈수소효소 검정

1. 서론

스포츠 잔디 관리자들은 토양 중 유기물 함량에 대하여 각별한 관심을 가지는데, 토양 유기물의 변화는 골프장 그린 및 티, 스포츠 잔디경기장과 같은 집약적으로 관리되는 모래 기반 근권부의 통기성, 보수성, 투수성에 주요한 영향을 미치기 때문이다(Qian and Follett, 2002). 일반적인 유기물의 긍정적인 영향들도 중요하지만, 스포츠 잔디에서 과도한 유기물 집적은 수분 침투력 감소, 뿌리 발달 장애, 내한성 감소, 병균의 피해 발생 증가, 살균제 효과 감소 등을 유발시킨다(McCarty *et al.*, 2005; Wood, 2005). 이와 같은 이유로 토양 유기물 관리는 스포츠 잔디 관리의 주요한 구성요소이며, 특히 골프장 그린 관리의 핵심이다. 실제로 미국의 경우에 그린 조성 후 15~20년이 경과하면 심지어 미국골프협회 추천하는 공법으로 조성된 그린들도 재조성(rebuild)되어야 하며, 그 비용은 18홀 기준으로 대략 6.8억 원이고 공사 중에 대략 9~10개월 정도를 휴장하여야 한다고 하는데, 그 주요 원인들이 유기물 집적에 의해서 야기된 것이라고 한다(White, 2006).

세계적으로 골프장 관리자들이 집약적으로 유기물 관리를 수행하고 있음에도 불구하고 여전히 유기물의 집적과 집적된 유기물이 그린 내에서 위협적으로 증가하는 것을 효과적으로 조절하지 못하고 있는데(허근영과 고병구, 2008), 그 이유는 집약적인 관리가 미치지 못하는 하부 토양층의 유기물 집적이 주요한 원인이라고 예측된다. 일반적으로 토양 유기물 관리를 위해서는 배토(top-dressing), 코어링(coring), 수직깎기(vertical mowing), 그루밍(grooming) 등의 기계적인 방법들이 주로 이용되고 있는데(McCarty *et al.*, 2005), 코어링과 수직깎기의 통

상적인 작업 토심은 각각 5~10cm와 5cm 이하이다(이상재 등, 2000).

한편, 앞서 언급한 방법들이 잔디 표면을 단기적으로 손상시키는 결과를 가져오기 때문에 비파괴적이고 생물학적인 토양 유기물 제거를 위한 연구들이 수행되었지만(Ledeboer and Skogley, 1967; Murdoch and Barr, 1976), 뚜렷한 대체 방법을 제시하지 못한 실정이다(White and Dickens, 1984). 일반적으로 토양의 생물학적 기능은 미생물이 80%, 대형동물군이 14%의 비율로 작용하고 있으며(정중배 등, 2006), 대형동물군이 배제된 골프장 그린에서 투입된 유기물의 대부분은 미생물의 호흡작용에 의해서 분해된다고 볼 수 있다. 이와 관련하여 몇몇 연구들은 Ca 시용에 의한 pH 상승이 장기적으로 토양 유기물 집적을 억제한다고 보고하였는데(Engel and Alderfer, 1967; Murray and Juska, 1977; Smiley and Craven, 1978), 이와 같은 Ca 시용에 의한 토양 유기물 집적의 억제는 사실상 토양미생물 활성¹⁾ 증가에 기인한다고 하였다(Hooker, 2006; Waddington, 1992).

따라서 본 연구는 골프장에서 유기물의 지속가능한 관리에 관한 연구의 일환으로서 토양미생물의 호흡량 분석을 통하여 골프장 그린에서 토심별 토양 유기물 집적을 평가하고 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과를 연구하고자 수행되었다. 일반적으로 토양에서 유기물의 변화는 매우 느리게 발생하며, 그리고 연간 변화는 매우 적기 때문에 토양에서 단지 유기물만의 변화를 평가하기 위해서는 수년간 그리고 수십 년간 그 변화를 측정하는 것이 필요하지만(Qian and Follett, 2002), 토양미생물 호흡량의 변화를 분석함으로써 상대적으로 신속하게 골프장 그린 내에서 토심별 토양 유기물 집적을 평가할 수 있다고

판단하였다. 골프장 그린의 조성 관리의 세계적으로 동일한 또는 유사한 기준을 준행하고 있으므로 본 연구의 결과는 다양한 지역에서 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

II. 재료 및 방법

전반적인 연구의 진행은 그림 1과 같이 조성 후 5년과 30년 경과한 그린에서 장기간의 시간경과에 따른 토심별 토양 유기물 집적 특성을 구명하고, 조성 후 30년 경과한 그린에서 토심별 토양미생물 호흡량, 즉 토양 유기물 분해 특성을 평가하며, 최종적으로 통기성 개선 및 돌로마이트 시용이 토심별 토양 유기물 분해에 미치는 영향을 평가하는 과정으로 구성하였다.

1. 대상지 현황

본 연구는 뉴질랜드 마나와투(Manawatu) 지역의 골프장에서 수행되었다. 선정된 그린은 조성 당시 2% 미만의 유기물을 함유한 모래로 조성되었고, 2mm 이하 모래를 사용하여 연간 6회 배토를 실시하고 있었다. 연평균 질소 시비량은 $20\text{g}/\text{m}^2$ 이며, 코어링은 5월과 8월에 각각 1회 실시하고, 수직짜기를 보조적으로 활용하며, 롤링(rolling)은 월 1~2회를 실시하고 있었다. 그리고 그린의 잔디 초종은 애뉴얼 블루그라스(*Poa annua*)였다. 뉴질랜드의 상당수 골프장들은 비용, 관리 등의 이유로 그린 초종을 New Zealand 'Browntop' Bentgrass(*Agrostis capillaris* syn. *A. tenuis*)에서 애뉴얼 블루그라스(*Poa annua*)로 교체하여 왔다(Neylan, 2004). 골프장 그린용 애뉴얼 블루그라스(*Poa annua*)는 *Poa annua reptans*로 분류되는데(Huff, 1998), 뿌리깊이는 일반적으로 캔터키 블루그라스 및 콜로니얼 벤트그라스와 유사하지만 매우 얇은 뿌리분포에서도 생존이

가능한 것이 특징이다(Koshy, 1968; Sprague and Burton, 1937).

2. 토양 유기물 집적 특성

2006년 10월 12일에 조성 후 5년과 30년 경과한 그린 위에서 임의로 5개 지점을 정하고 최상부 토양 표면으로부터 토심 5cm 간격의 연속적인 0~5cm, 5~10cm, 10~15cm 토양층으로부터 토양시료를 채취하였다. 채취된 토양시료들의 유기물 함량이 105°C에서 건조된 약 15g의 토양시료를 550°C에서 4.5시간 동안 연소시키는 방법으로 분석되었다(Heiri *et al.*, 2001).

3. 토양미생물 분해성

토양 유기물 분해 특성을 평가하기 위해서 토양미생물 호흡량(microbial respiration)을 분석하였다. 본 연구에서 토양 미생물 호흡량은 Basal respiration 방법으로 수행되었는데(Ohlinger *et al.*, 1996), 이 방법을 간단히 요약하면 다음과 같다. 2006년 10월 12일에 조성 후 30년 경과된 그린 위에서 임의로 5개 지점을 정하고 최상부 토양 표면으로부터 토심 5cm 간격의 연속적인 0~5cm, 5~10cm, 10~15cm 토양층으로부터 토양시료를 채취한 후에 현장의 토양 습도를 유지한 18g의 토양시료를 플라스틱 시험관에 넣고 22°C에서 24시간 동안 예비 배양을 하였다. 그 후에 20ml의 0.05M NaOH 용액이 담긴 유리병(Schott bottle)에 예비 배양한 토양이 담긴 플라스틱 시험관을 넣고 밀폐시킨 후에 17시간 동안 배양하였다. 배양을 마치고 유리병에서 토양이 담긴 플라스틱 시험관을 제거한 상태에서 2ml의 0.5 M BaCl₂ 용액을 첨가하고 3~4 방울의 페노프탈렌(phenolphthalein) 지시약을 첨가한 후에 pH 7의 0.03 M HCl로 적정하였다.

또한 본 연구를 수행하면서 간편하고 신속하게 토심별 토양 유기물의 분해 특성, 즉 토양미생물 호흡량 변화를 평가하기 위해서 탈수소효소 활성²⁾(dehydrogenase activity)과 토양미생물 호흡량과의 회귀분석을 실시하여 회귀모델을 도출하였다. 본 연구를 위해서 수행된 탈수소효소 검정 방법을 간단히 요약하면 다음과 같다. 토심별 토양미생물 호흡량 분석을 위해서 채취한 동일한 토양 시료 중에서 5g의 토양 시료를 0.1g의 CaCO₃와 3ml의 2,3,5-triphenyltetrazolium이 첨가된 30ml 플라스틱 시험관에 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

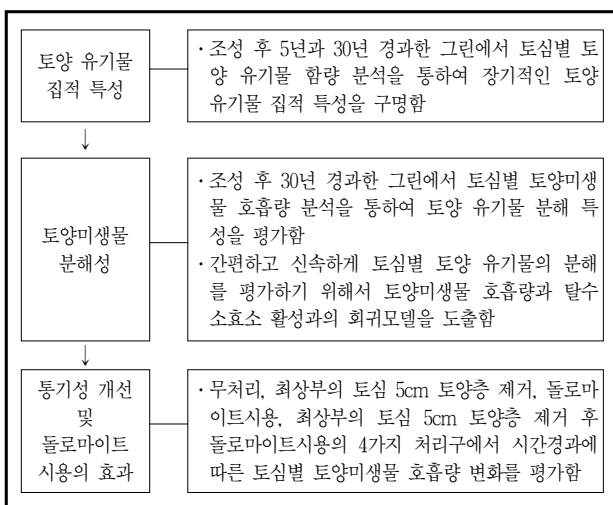


그림 1. 연구의 진행과정 및 내용

(Mills *et al.*, 2005; Taylor *et al.*, 2002).

4. 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과

1) 실험구의 조성

집약적인 관리가 미치지 못하는 하부 토양층에서 토양 유기물 분해, 즉 토양미생물 호흡량에 대한 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과를 평가하기 위해서 2006년 10월 12일에 조성 후 30년 경과한 그린에서 표 1과 같이 대조구와 3가지 처리구를 3반복으로 하여 완전임의배치법으로 조성하였다. 처리 1의 돌로마이트 시용 실험구는 뉴질랜드 스포츠 잔디 연구소(New Zealand Sports Turf Institute)의 추천 시비량에 따라서 그린의 토양 표면에 pH와 EC가 각각 약 9.5와 500 dS/m인 돌로마이트³⁾(Dolomite, CaMg(CO₃)₂)를 1m² 당 30g을 시비하는 방법으로 조성하였다. 통상적으로 통기작업의 깊이는 5~10cm 정도인데(이상재 등, 2000), 처리 2의 통기성 개선 실험구는 그림 2와 같이 최상부 토양 표면으로부터 토심 5cm 토양층을 제거하는 방법으로 조성하였다. 그리고 토심 5cm 이하의 토양층에서 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 복합적 효과를 평가하기 위해서 우선 최상부 토양 표면으로부터 토심 5cm 토양층을 제거한 후에 돌로마이트를 1m² 당 30g을 시비하는 방법으로 처리 3의 실험구를 조성하였다.

2) 측정 및 분석

골프장 그린에서 통기작업을 위하여 실시되는 코어링은 일반적으로 봄과 가을에 각각 1~2회를 실시하고 있는데(이상재 등, 2000), 실시 후에는 배토에 사용되는 모래로 채워지게 된다. 또한 코어링은 단기적으로 그린 표면에 기계적 손상을 일으키지만, 잔디의 왕성한 생육에 의해서 신속하게 회복되어진다. 그런 이유로 토양미생물 호흡량에 대한 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과를 평가하기 위해서 처리 후 4주 동안 실험을 수행하였다. 각 실험구에서 조성 후 1, 2, 4주일 경과한 시점에서 앞서 언급한 방법과 동일하게 토심 5cm 간격의 연속적인 토양층으로부터 토양시료를 채취하여 탈수소효소 활성을 분석하였고 앞서 실험에서 얻어진 토양미생물 호흡량과 탈수소효



그림 2. 최상부 토양 표면으로부터 토심 5cm 토양층을 제거함으로 하부 토양층의 통기성을 개선한 실험구: 처리 2
자료: 필자 촬영

소 활성의 함수식을 통하여 토양미생물 호흡량을 산출하였다. 그리고 부가적으로 돌로마이트 시용에 의한 토양의 pH 변화를 측정하였다. 얻어진 정량 자료들에 대하여 0.05% 유의수준에서 *t*-test 또는 최소유의차검정(Least Significant Difference test: LSD)을 통하여 상호 평균간 비교를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양 유기물 집적

조성 시 토양의 유기물 함량은 2%미만이었지만 5년과 30년이 경과한 그린의 토심별 토양 유기물 함량은 그림 3과 같았다. 토심 0~5cm 토양층의 유기물 함량은 조성 후 5년과 30년 경과한 그린에서 각각 4.97±0.24와 4.95±0.44%로 나타났는데, 이것은 토심 0~5cm 토양층에서 유기물의 집적이 시간적인 요인보다는 코어링과 같은 집약적인 관리에 의하여 주요하게 영향을 받고 있음을 의미한다(허근영과 고병구, 2008). 그러나 토심 5~10cm와 10~15cm 토양층의 유기물 함량은 조성 후 30년 경과한 그린에서 각각 3.29±0.21%와 2.28±0.08%, 조성 후 5년 경과한 그린에서 1.81±0.20%와 0.73±0.12%로 나타나 조성 후 30년이 경과한 그린은 5년 경과한 그린과 비교하여 각각 약 1.5%와 2.2%의 증가를 나타냈다. 이것은 앞서 언급한 것처럼 집약적인 유기물 관리를 수행하고 있음에도 불구하고 그린 내에서 유기물이 지속적으로 증가하고 있으며, 집약적 관리가 미치지 못하는 하부 토양층에서의 유기물 집적이 그 주요한 원인을 현상적으로 보여주고 있다.

2. 토양미생물 호흡량

지렁이와 같은 대형동물군이 배제된 골프장 그린의 토양층

표 1. 골프장 그린에서 토양미생물 호흡량에 대한 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과를 구명하기 위한 실험구의 조성

구분	처리 방법
대조구	무처리
처리 1	잔디표면에 돌로마이트를 1m ² 당 30g을 시비함
처리 2	최상부 토양 표면으로부터 토심 5cm 토양층을 제거함
처리 3	최상부 토양 표면으로부터 토심 5cm 토양층을 제거한 후에 돌로마이트를 1m ² 당 30g을 시비함

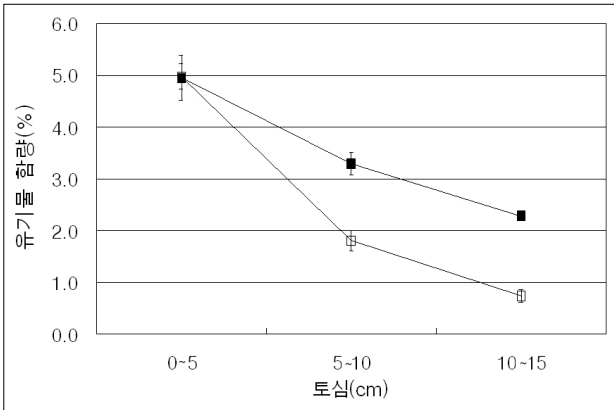


그림 3. 토심별 토양 유기물 함량
 범례: □ 조성 후 5년 경과한 그린, ■ 조성 후 30년 경과한 그린

에서 투입된 토양 유기물의 대부분은 미생물의 호흡작용에 의해서 분해된다고 볼 수 있다(정중배 등, 2006). 따라서 토양미생물 호흡량 분석을 통하여 토양 유기물 분해 또는 집적을 평가할 수 있다고 보았는데, 조성 후 30년 경과한 그린에서 토심별 토양미생물 호흡량을 분석한 결과에서 토심 0~5cm, 5~10cm, 10~15cm 토양층은 각각 $137.13 \pm 3.94 \mu\text{g CO}_2/\text{g DM 24h}$, $43.20 \pm 1.04 \mu\text{g CO}_2/\text{g DM 24h}$, $12.64 \pm 1.06 \mu\text{g CO}_2/\text{g DM 24h}$ 의 호흡량을 나타냈으며, 토심이 깊은 쪽으로 내려가면서 급격하게 감소하며 상대적으로 토심 0~5cm와 5~10cm 사이에서 급격하게 감소하는 양상을 보였다(그림 4 참조). 토양 유기물 함량에 대한 토양미생물 호흡량을 토심별로 구분하여 상호 비교하고자 하였다. 그림 5와 같이 토양 유기물 함량 측정값을 x축에 놓고 그에 대응하는 토양미생물 호흡량 측정값을 y축에 위치시킨 결과에서 토심 5~10cm와 10~15cm 토양층은 토심 0~5cm 토양층과 비교하여 유기물 함량에 대한 토양미생물 호흡량이 낮게 나타났으며, 토심 10~15cm 토양층은 상대적으로 가장 낮게 나타났다.

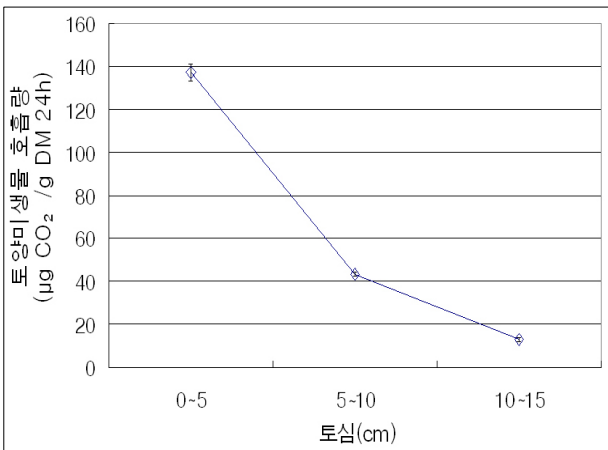


그림 4. 토심별 토양미생물 호흡량

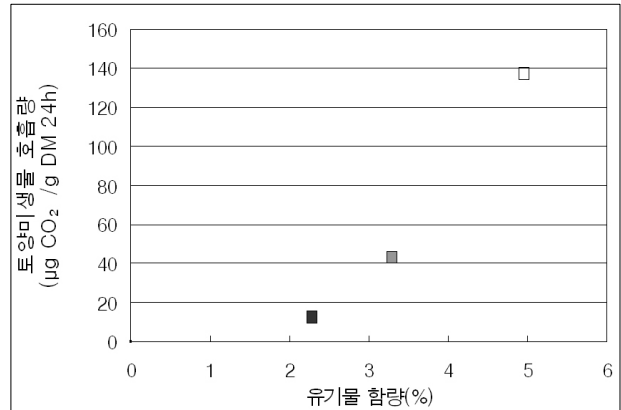


그림 5. 토심별 토양 유기물 함량에 대한 토양미생물 호흡량
 범례: □ 토심 0~5cm 토양층, ■ 토심 5~10cm 토양층, ■ 토심 10~15cm 토양층

한편, 토양미생물의 활성을 평가하기 위해서 수행되는 탈수소효소 검정은 간편하고 신속한 분석방법으로 O₂의 흡수와 유의적인 상관관계가 있다고 보고되었으며(Chandler and Brooks, 1991; Tabatabai, 1982), 본 연구에서는 토양미생물 호흡량과 1% 유의수준에서 상관을 보였다. 따라서 토심별 토양 유기물 분해 정도를 평가하기 위한 토양미생물 호흡량의 분석을 간편하고 신속하게 수행하기 위해서 토양미생물 호흡량과 탈수소효소 활성과의 회귀분석을 실시하였으며, 그 결과는 표 2와 같이 탈수소효소 활성은 매우 높은 신뢰성을 가지며 종속변수인 토양미생물 호흡량을 예측할 수 있는 독립변수로 나타났다. 구체적으로 회귀분석한 결과를 언급하자면, 도출된 선형 회귀 모형은 R²가 0.98이며 F=545.57(p<0.01)로 고도로 유의한 회귀모형을 알 수 있었다. 그리고 선형 모형에 포함된 독립변수인 탈수소효소 활성은 토양미생물 호흡량과 양(+)의 상관관계를 가지며, 회귀계수와 상수항에 대해서 t 분포를 이용한 유의도 검정을 시행한 결과에서 탈수소효소 활성의 t 통계량은 23.357로 1% 유의 수준에서 귀무가설이 기각되므로 토양미생물 활성의 예측에 높은 신뢰성을 가진 변수라고 판단할 수 있었다. 따라서 비표준화 계수인 B를 바탕으로 한 표본 회귀 방정식은 식 1로 결정되었다.

$$Y_1 = 15.73 + 0.061X \quad (\text{식 1})$$

여기서, Y₁ = 토양미생물 호흡량
 X = 탈수소효소 활성

3. 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과

토심별 토양 유기물 분해에 대한 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과를 평가하기 위해서 표 3과 같이 3개의 서로 다른 처리구들과 대조구 간의 토심별 토양미생물 호흡량을 t-test 또

표 2. 토양미생물 활성과 탈수소효소 활성의 회귀분석

종속변수	독립변수	비표준화 계수 (표준오차)	표준화 계수(B)	t-값	유의 확률
토양 미생물 호흡량	상수	15.727 (3.065)	-	5.131	0.000
	탈수소효소 활성	1.519 (0.065)	0.988	23.357	0.000

는 최소유의차검정으로 평균 간 비교를 실시하였다. 토심 0~5cm 토양층에서 돌로마이트 시용에 의한 효과는 3번의 조사 시점 모두에서 0.05% 유의수준에서 유의차가 없는 것으로 나타났고, 다만 4주일 경과 후에서 대조구와 처리 1 간의 유의확률이 0.06으로 0.1% 유의수준에서 유의차를 나타냈다. 이것은 선행 연구들에서 나타난 결과들과 유사하게 토심 0~5cm 토양층에서 돌로마이트 시용이 장기적으로 토양 유기물 집적을 억제할 수 있지만(Engel and Alderfer, 1967; Murray and Juska, 1977; Smiley and Craven, 1978), 그 효과는 미약한 수준임을 의미한다.

토심 5~10cm 토양층에서 1주일 경과 후 3개의 처리들 모두는 대조구와 유의차를 나타내지 않았고, 2주일 경과 후 처리 3은 대조구와 처리 1과 유의차를 나타냈으며, 4주일 경과 후 3개의 처리들 모두는 다시 대조구와 유의차를 나타내지 않았다. 처리 3은 통기성 개선과 돌로마이트 시용을 함께 실시한 실험구로서 토심 5~10cm 토양층의 유기물 집적을 억제하기 위해서 통기성 개선과 돌로마이트 시용을 단일 처리하기보다는 함께 실시하는 것이 보다 효과적임을 보여주었다.

토심 10~15cm 토양층에서 처리 2는 1주일 경과 후 대조구와 처리 3과 유의차를 나타내고 처리 1과는 유의차를 나타내지 않았으며, 2주일 경과 후 처리 1과 유의차를 나타내고 대조구와 처리 3과는 유의차를 나타내지 않았으며, 4주일 후 3개의 처리 모두는 대조구와 유의차를 나타내지 않았다. 그리고 전반적으로 처리 2는 1주일 경과 후와 2주일 경과 후에서 나타난 경향과 일관성 있게 가장 높은 값을 나타냈다. 이것으로 볼 때, 토심 10~15cm 토양층의 유기물 집적 억제를 위해서는 통기성 개선이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

Ca 시용에 의한 pH 상승이 장기적으로 토양 유기물 집적을 억제한다고 보고하였는데(Engel and Alderfer, 1967; Murray and Juska, 1977; Smiley and Craven, 1978), 부가적으로 토심별 토양 pH를 분석한 결과에서 돌로마이트 시용에 의해 토양 pH가 상승하는 결과를 확인하였다(표 4 참조). 그러나 pH가 약 9.5인 돌로마이트를 1m² 당 30g을 사용한 실험구와 대조구 간의 pH 변화 범위는 4 주일간 5.47~6.17이었다. 토심 0~5cm 토양층에서 처리 1은 1주일 경과 후에 대조구와 비교하여 유의성 있게 높은 값을 나타냈지만 2주일 경과 후에는 유의차를 나타내지 않았다. 토심 5~10cm 토양층에서 처리 1과 처리 3은 1주일

경과 후에 무처리한 대조구와 비교하여 유의성 있게 높은 값을 나타냈고 처리 3은 4주일 경과 후까지 지속적으로 유의차를 나타냈다. 토심 10~15cm 토양층에서 처리 1은 전반적으로 대조구와 유의차를 나타내지 않았고, 처리 3은 지속적으로 유의성 있게 높은 값을 나타냈다. 이 결과는 돌로마이트 시용의 효과가 토심이 깊은 쪽으로 서서히 이동함을 보여주고 있다. 전반적으로 돌로마이트 시용에 의한 토양 pH의 변화 경향은 선행 연구들과 연관지어 Ca 시용에 의한 토양미생물 호흡량 변화 경향과 유사하다고 판단되었다(Engel and Alderfer, 1967; Murray and Juska, 1977; Smiley and Craven, 1978).

표 3에서 나타난 결과들을 종합해 보면 돌로마이트 시용은 토양미생물 호흡량을 증가시키고 결과적으로 토양 유기물 분해를 증가시키며(Hooker, 2006; Waddington, 1992), 그 효과는 토심 0~5cm 토양층에서 상대적으로 높으며 토심이 깊은 쪽으로 낮아진다고 판단되었다. 또한 직접 시용된 토양층에서 그 효과는 더욱 뚜렷하고 점진적으로 토심이 깊은 쪽으로 이동하는 것으로 보였다. 또한 최상부 토양 표면으로부터 토심 5cm 토양층을 제거하여 통기성을 개선하였을 때에 토심 5~10cm 토양층에서 토양 유기물의 분해가 증가하며, 토심 10~15cm 토양층에도 그 영향이 미치는 것으로 판단되었다. 통기성 개선과

표 3. 토심별 토양미생물 호흡량에 대한 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과 비교분석(단위: µg CO₂/g DM 24h)

구분	토심(cm)			
	0~5	5~10	10~15	
1주일 경과 후	대조구	156.01	23.97a*	18.40b
	처리 1	142.02	34.34a	19.14ab
	처리 2	-	36.78a	19.65a
	처리 3	-	48.21a	18.13b
	t-test	NS	-	-
	LSD	-	28.86	1.04
2주일 경과 후	대조구	151.81	29.77b	20.70ab
	처리 1	176.81	33.04b	19.91b
	처리 2	-	47.25ab	23.90a
	처리 3	-	60.95a	21.94ab
	t-test	NS	-	-
	LSD	-	18.87	3.68
4주일 경과 후	대조구	111.71	30.98a	17.74a
	처리 1	188.43	32.86a	17.50a
	처리 2	-	40.60a	18.67a
	처리 3	-	40.74a	18.06a
	t-test	NS	-	-
	LSD	-	29.80	1.27

LSD: 최소유의차검정(Least Significant Difference test)

NS: 유의차 없음(non significance)

*: 5% 유의수준에서 최소 유의차 검정을 실시하였으며, 알파벳 문자가 서로 겹치지 않을 때 상호 간에 유의차가 있음.

표 4. 돌로마이트 시용(30g/m²)에 의한 토심별 토양 pH의 변화 비교분석

구분		토심(cm)		
		0~5	5~10	10~15
1주일 경과 후	대조구	5.47b*	5.66b	5.78ab
	처리 1	5.64a	5.76a	5.71b
	처리 2	-	5.70ab	5.82a
	처리 3	-	5.76a	5.84a
	t-test	0.16	-	-
	LSD	-	0.08	0.11
2주일 경과 후	대조구	5.61	5.65b	5.69b
	처리 1	5.61	5.76ab	5.76ab
	처리 2	-	5.72ab	5.84a
	처리 3	-	5.86a	5.84a
	t-test	NS	-	-
	LSD	-	0.15	0.12
4주일 경과 후	대조구	5.68	5.79b	5.89ab
	처리 1	5.84	5.79b	5.87b
	처리 2	-	6.10ab	5.94ab
	처리 3	-	6.17a	5.97a
	t-test	NS	-	-
	LSD	-	0.30	0.09

LSD: 최소유의차검정(Least Significant Difference test)

NS: 유의차 없음(non significance)

*: 5% 유의수준에서 최소 유의차 검정을 실시하였으며, 알파벳 문자가 서로 겹치지 않을 때 상호 간에 유의차가 있음.

돌로마이트 시용이 함께 실시된 토심 5~10cm 토양층에서의 토양 유기물 분해 정도는 각각의 처리를 별도 수행한 경우보다 높게 나타나는 것으로 볼 때에 통기성 개선과 돌로마이트 시용을 함께 수행하는 것이 효과적인 토양 유기물 관리방법이 될 수 있다고 판단되었다.

그러나 두 가지 처리 모두를 수행한 토심 5~10cm 토양층과 무처리한 토심 0~5cm 토양층과의 토양미생물 호흡량을 비교하여 볼 때, 통기성 개선과 돌로마이트 시용에 의한 토양 유기물 분해성 개선 효과는 매우 미약하다고 판단되며, 이것은 토심 10~15cm 토양층에서도 동일하다고 보았다. 이와 같은 현상을 나타내는 주요한 원인들 중의 하나는 토심별로 토양 유기물의 분해에 대한 저항성 차이라고 판단된다. 토심 0~5cm 토양층의 유기물은 상대적으로 신선하며 분해에 대한 저항이 낮지만, 토심 5~10cm와 10~15cm 토양층에는 상부 토양층에서 일차적으로 분해가 진행되어 과산화되고 토심이 깊은 쪽으로 이동하여 집적된 유기물이 상대적으로 많다고 볼 수 있다(Huh et al., 2008). 그런 이유로 조성 후 오랜 시간이 경과한 골프장 그린의 토심 5cm 이하 토양층에서는 상대적으로 양호한 통기성과 Ca 시용에 의한 토양환경 개선에도 불구하고 토양미생물의 왕성한 분해를 기대하기 어렵다.

IV. 결론

집중적인 이용이 이루어지는 골프장 그린 및 티, 스포츠 잔디경기장과 같은 모래 기반의 잔디 근권부에 과도한 유기물이 집적되는 것은 잔디 생육에 심각한 장애를 일으킬 수 있고, 결과적으로 골프장의 지속성에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구는 골프장 그린에서 유기물의 지속가능한 관리에 관한 연구의 일환으로 수행되었다. 미생물의 호흡량 분석을 통하여 골프장 그린에서 토심별 토양 유기물의 집적 및 분해 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 조성 후 5년과 30년 경과한 그린에서 토양 유기물 함량을 분석한 결과에서 토심 0~5cm 토양층의 유기물 함량은 시간 경과와 상관없이 집약적으로 수행되는 관리 수준에 따라서 일정하게 유지되고 있지만, 토심 5~10cm와 10~15cm 토양층의 토양 유기물 집적은 장기적으로 꾸준히 증가하고 있음을 보여주었다.
2. 조성 후 30년 경과한 그린에서 토양 유기물 집적에 주요한 영향을 미치는 토양미생물 호흡량은 토심이 깊어질수록 감소하며, 특히 토심 0~5cm와 5~10cm 토양층 사이에서 현저히 감소하는 양상을 나타냈다.
3. 토심별 토양 유기물 분해에 대한 통기성 개선 및 돌로마이트 시용의 효과를 평가한 결과에서 돌로마이트 시용은 토양미생물 호흡량을 증가시키고, 결과적으로 토양 유기물 분해를 증가시키며 그 효과는 토심 0~5cm 토양층에서 상대적으로 높으며 토심이 깊어질수록 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 통기성 개선은 토심 5~10cm 토양층에서 토양 유기물 분해를 증가시키는 것으로 나타났으며, 토심 10~15cm 토양층에도 그 영향이 미치는 것으로 판단되었다. 토심 5~10cm 토양층에서는 통기성 개선과 돌로마이트 시용이 함께 실시되는 것이 각각의 처리를 별도 수행하는 것보다 더욱 효과적임을 보여주었다.
4. 그러나 조성 후 오랜 시간이 경과한 그린의 토심 5~10cm와 10~15cm 토양층에서 토양미생물 호흡량에 대한 통기성 개선과 돌로마이트 시용의 효과는 미약하며, 그린 이 유로 토심 5cm 이하 토양층에서 상대적으로 양호한 통기성과 Ca 시용에 의한 토양환경 개선에도 불구하고 토양미생물의 왕성한 분해를 기대하기가 어렵다. 따라서 조성 후 오랜 시간이 경과한 골프장 그린의 경우에 토심 5cm 이하 토양층 내에 집적된 유기물을 효과적으로 관리하기 위해서는 통기성 개선 및 Ca 시용 외에 보다 강력한 관리방법이 요구된다고 볼 수 있다.

주 1. 토양미생물 활성은 호흡작용 및 효소 활성 등의 전반적인 미생물 대사 작용(metabolism)을 의미하며, 미생물의 개체수와 밀접한 관련이 있지만 환경의 영향을 받기 때문에 미생물의 개체수가 많다고 해서 반드시

시 그 활성이 높은 것은 아니라고 본다(정중배 등, 2006).

- 주 2. 탈수소효소 검정(Dehydrogenase assay)은 빠르고 경제적인 분석방법이며, 토양 중의 미생물 활성을 평가할 수 있는 적합한 방법이라고 보고되었다(Chandler and Brooks, 1991; Mills *et al.*, 2006).
- 주 3. 탄산염 형태의 플로마이트는 산성 토양 또는 활성 Al에 의한 산성 피해가 우려되는 토양의 pH를 일정 수준으로 중화시키기 위해서 사용될 수 있는데, 일반적으로 이와 같은 석회물질들 모두는 토양에서 이산화탄소와 물과 반응하여 중탄산염[Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂]을 형성하며, 이 때 OH⁻을 방출함으로써 pH를 조절하게 된다(정중배 등, 2006).

인용문헌

1. 이상재, 심경구, 허근영(2000) 한국의 골프 코스 그린의 관리 및 스피드 특성과 상관에 관한 연구. 한국조경학회지 28(4): 29-43.
2. 정중배, 양재의, 김길용, 김계훈, 김정규, 사동민, 서장선, 본보균, 엄기철, 이상은, 정광용, 정덕영, 정연태, 현해남(2006) 토양학. 서울: 향문사.
3. 허근영, 고병구(2008) 골프장 그린에서 토심별 유기물의 경시적 변화. 한국조경학회지 36(3): 21-28.
4. 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): 909-915.
5. Engel, R. E. and R. B. Alderfer(1967) The effect of cultivations, lime, nitrogen and wetting agent on thatch development in 1/4-inch bentgrass turn over a 10-year period. New Jersey Agricultural Experiment Station Bull. 818: 32-45.
6. 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.
7. Hooker, M.(2006) Effect of pH on sports turf soils. New Zealand Turf Management Journal 21(3): 16-17.
8. Huff, D.(1998) The case for *Poa annua* on golf course greens. Golf Course Management 66(10): 1-3.
9. Huh, K. Y., M. Deurer, S. Sivakumaran, K. McAuliffe and N. S. Bolan(2008) Carbon sequestration in urban landscapes: the example of a turfgrass system in New Zealand. Australian Journal of Soil Research 46: 610-616.
10. 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.
11. Ledebor, F. B. and C. R. Skogley(1967) Investigations into the nature of thatch and methods for its decomposition. Agronomy Journal 59:320-323.

12. McCarty, L. B., M. F. Gregg, J. E. Toler, J. J. Camberato and H. S. Hill(2005) Minimizing thatch and mat development in a newly seeded Creeping Bentgrass golf green. Crop Science 45: 1529-1535.
13. 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.
14. Murdoch, C. L. and J. P. Barr(1976) Ineffectiveness of commercial microorganism inoculum in breaking down thatch in common bermudagrass in Hawaii. HortScience 11:488-489.
15. Murray, J. J. and F. V. Juska(1977) Effect of management practices on thatch accumulation, turf quality, and leaf spot damage in common Kentucky bluegrass. Agronomy Journal 69: 365-369.
16. Neylan, J.(2004) Maintenance of *Poa annua* putting greens and tees. New Zealand Turf Management Journal 19(1): 4-11.
17. Ohlinger, R., T. Beck, B. Heilmann F. Beese(1996) Soil respiration. In F. Schinner, R. Ohlinger, E. Kandeler, and R. Margesin, eds., Methods in Soil Biology. Berlin: Springer-Verlag. pp. 93-110.
18. 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.
19. Smiley, R. W. and M. M. Craven(1978) Fungicides in Kentucky bluegrass turf: effects on thatch and pH. Agronomy Journal 70: 1013-1019.
20. 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.
21. Tabatabai, M. A.(1982) Soil enzymes. In A.L. Page ed., Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy Monography, No. 9(2nd ed.). Wisconsin: American Society of Agronomy. pp. 903-946.
22. 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.
23. Waddington, D. V.(1992) Soil, soil mixtures, and soil amendments. In D. V. Waddington, R. N. Carrow, and R. C. Shearman, Turfgrass. Agronomy No. 32. Wisconsin: American Society of Agronomy. pp. 331-383.
24. White, B.(2006) Rebuild or Resurface. Green Section Record 2006 January-February: 1-6.
25. White, R. H. and R. Dickens(1984) Thatch accumulation in bermudagrass as influenced by cultural practices. Agronomy Journal 76: 19-22.
26. 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: 2009년 7월 7일
 심 사 일: 2009년 8월 10일(1차)
 2009년 9월 23일(2차)
 계 재 확 정 일: 2009년 9월 28일
 3 인 의 명 심 사 필