

# 온실효과 저감을 위한 도시 경관 내 탄소 관리

## - 잔디 시스템의 탄소 저장 능력 평가 -

허근영

진주산업대학교 조경학과

### I. 서론

대기 중 온실가스로 인한 복사열 때문에 야기된 지구의 온도 증가는 20세기 동안 0.6°C였고, 2100년까지 1990년과 비교하여 1.4~5.8°C까지 상승할 것으로 예측된다(IPCC, 2001). 지구 온난화는 21세기로 접어들면서 매우 중요한 환경 논점이 되고 있다. 탄소 순환은 지구 환경 변화의 원인 그리고 개선과 연관되어 있다(Scholes and Noble, 2000). 심각하게 증가된 대기 중 이산화탄소에 대한 최근 세계적 우려는 다양한 생태계 내에서 토양 유기탄소의 변화 및 탄소 저장 용량에 관한 지대한 관심을 가져왔다. 토양 내 탄소 저장을 증가시키는 방법은 대기 중 이산화탄소를 저감시키는 효과적인 전략의 하나이다(Lal et al., 1999). 토양 내에서 탄소 저장을 증가시키는 주요한 실천적 전략은 토양 위에서 식물의 생육기간을 연장시키고 경운 등의 토양 교란을 최소화시키는 방법들을 포함한다(Cole et al., 1997).

도시지역은 단일의 최대 이산화탄소 방출원이라고 알려져 있다. 도시 환경은 기후 변화를 저감시키는 온실가스 관리를 촉진시키기 위해서 새롭게 활용될 수 있다. 최근 도시 경관들은 지속적으로 농경지, 초지, 그리고 산림지로 확대되고 있다. 개인 및 공공 주택의 잔디밭, 공원, 휴양시설 그리고 골프장과 같은 잔디 면적은 도시화 및 개발과 병행하여 빠르게 증가하고 있다(Bandaranayake et al., 2003). Qian and Follett(2002)은 잔디 피복지역은 높은 생장량과 적은 토양 교란 때문에 대기 중 탄소를 저장하기 위해서 상당히 기여할 수 있다고 보고하였고 Bandaranayake et al.(2003)은 잔디 초지는 이산화탄소 방출량보다 흡수량이 더 높고 결과적으로 탄소를 저장하기 때문에 탄소 저장소로 작용할 수 있다고 보고하였다.

스포츠 잔디 산업의 주도적 부분인 골프장은 앞서 언급한 것처럼 대규모 대기 이산화탄소 저장소가 될 수 있다. 그러나 토양 탄소 저장을 증가시키는 것은 잔디 관리와 상충될 수 있다. 과도한 토양 유기물은 잔디의 질에 치명적이며 결과적으로 잔디 시스템의 지속성에 영향을 미치기 때문이다. 따라서 정규적인 토양 유기물 관리는 유기물 함량을 감소시키는데 집중되고 있다. 그러나 집약적인 관리에도 불구하고 Qian and Follett (2002)은 미국 Denver 지역의 16개 골프장에서 총 탄소 저장

량 증가는 페어웨이와 퍼팅 그린에서 각각 약 31년 그리고 45년 동안 지속된다고 보고하였다.

잔디 시스템에서 토양 유기물의 집적을 이해하는 것은 매우 중요하다. 그러나 토양 유기물의 변화 특성을 연구하기 위해서는 수년간 또는 수십 년간 토양 유기물 함량을 측정할 필요가 있다. 토양 유기물의 변화는 매우 서서히 진행되며, 연간 변화량은 일반적으로 매우 적기 때문이다. 또한, 장기적으로 토양 유기물의 변화에 관련한 정보는 매우 부족한 실정이다. 몇몇 연구들이 장기간 토양 탄소 집적의 변화 경향을 정량적으로 예측하기 위해서 수행되었지만, 지역적 규모의 다양한 기후 및 생태계에서 정확한 예측을 기대하기는 아직 많은 미흡한 부분을 가지고 있다.

잔디 시스템에서 지속가능한 토양 탄소 관리를 연구하는 주요 연구과제의 일환으로서, 본 연구는 잔디 시스템의 주요 특성을 평가하고, 조성 후 경과 연수에 따른 탄소 저장 특성을 분석하며, 탄소 저장의 촉진을 위해서 토양 중 미생물 활성을 평가하고자 수행되었다.

### II. 재료 및 방법

#### 1. 토양 시료

본 연구는 뉴질랜드 Manawatu지역의 골프장 그린들에서 수행되었다. 본 연구를 위해서 선정된 골프장은 양호한 기록 자료를 유지·보관하고 있었는데, 50년 이상 경과된 관리 자료를 활용할 수 있었다. 그리고 조성 후 3년부터 50년 이상 경과된 그린들을 가지고 있었다. 2006년 4월 11일에 각기 다른 시기에 조성된 그린들(조성 후 5, 9, 10, 20, 30, 40년이 경과된 그린들) 위에서 임의로 3 지점에서 토심 5cm 간격으로 5개 토심(0~5, 5~10, 10~15, 15~20, 20~25cm)으로부터 토양 시료를 채취하였다.

#### 2. 주요 토양 특성 및 잔디 생육량

유기물 함량, 용적밀도, 중력 수분함량, pH, 전기전도도(EC),

그리고 총질소(T-N)가 측정되었다. 모든 데이터는 Duncan의 다중 검정으로 평균 비교되었고, 유기물 함량과 함께 상관 분석되었다. 조성 연도가 다른 그린들에서 생육하고 있는 Annual bluegrass(*Poa annua*)의 생육량을 비교하기 위해서 1 cm<sup>2</sup>당 잔디 분얼경수가 2006년 4월 11일, 8월 11일, 그리고 11월 7일에 측정되었다.

### 3. 탄소 저장

채취된 토양 시료들은 550°C에서 4.5시간 동안 연소시키는 Loss-on-Ignition(LOI)방법으로 유기물 함량을 분석하였고, LECO FP 2000 Automated Analyser를 이용하여 총 탄소 함량을 분석하였으며, 두 측정값들을 회귀 분석하였다(Wang *et al.*, 1996). 도출된 회귀식을 통하여 각 토양 시료의 유기물 함량을 탄소 함량으로 전환하였고, 용적밀도와 탄소 함량을 이용하여 각각 5cm 토양층의 탄소 저장량을 산출하였다.

### 4. 토양 미생물 활성

토양 유기물의 축적과 분해 특성을 평가하기 위해서 Dehydrogenase Assay를 이용하여 미생물 활성을 분석하였다. 이 방법은 빠르고 경제적인 분석방법이며, Dehydrogenase Activity (DHA)는 토양 중의 미생물 활성을 평가할 수 있는 적합한 방법이라고 보고되었다(Taylor *et al.*, 2002). 부가적으로 미생물 호흡량과 DHA의 상관관계를 분석하였으며, 미생물 호흡량은 Basal Respiration 방법으로 분석하였다(Öhlinger *et al.*, 1996).

## III. 결과 및 고찰

### 1. 주요 토양 특성 및 잔디 생육량

유기물 함량은 토심 0~5cm에서는 조성 연도가 다른 그린들 간에 유의차를 보이지 않았지만, 토심 5cm 이하에서는 조성 후 경과 연수가 증가하면서 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다. 코어링과 같은 집약적인 유기물 관리는 토심 0~5cm에서 유기물 함량의 증가를 억제하였지만, 토심 5cm 이하에서 유기물 함량의 증가를 억제하지 못하였다. 용적밀도는 조성 후 5년 이후에는 유의적인 변화를 나타내지 않았는데, 이것은 조성 후 5년 이후에 용적밀도는 이미 안정화되었고, 더 이상 유기물 집적에 영향을 미치는 요인이 되지 못함을 의미한다. 중력 수분 함량, 전기 전도도, 총질소는 유기물 함량과 매우 유의적인 상관관계를 나타냈다. pH는 유기물 함량과 유의적인 상관관계를 가지고 있다고 보기는 어렵고, 조성 후에 경과 연수가 증가하면서 낮아지는 것으로 나타났다. 이런 결과들을 종합하여 볼

때, 퍼팅 그린 토양 중 pH의 감소는 염류의 용탈로 비롯된 것이 아니라 유기물의 분해 과정에서 비롯된 결과라고 볼 수 있다. 그리고 이와 같은 pH의 감소는 다시 유기물 집적을 촉진시킬 것이다. 조성 시기가 다른 그린들에서 잔디 생육량을 비교하기 위해서 3차례에 걸쳐서 단위 면적당 분얼경수를 측정한 결과, 일관성 있는 경향을 발견할 수 없었다. 이 결과는 조성 후 40년 동안 퍼팅 그린 내 집적된 유기물이 잔디 생육량에 유의적인 영향을 미치지 않았으며, 동시에 퍼팅 그린에 투입되는 연간 유기물의 함량이 장기적으로 변화되지 않았다는 것을 의미한다.

### 2. 탄소 저장

퍼팅 그린의 상부 25cm 토양층에서 탄소 저장율은 조성 후 9~20년 동안에는 약 67g·m<sup>-2</sup>·year<sup>-1</sup> 그리고 30~40년 동안에는 121g·m<sup>-2</sup>·year<sup>-1</sup>로 나타났다. 탄소 저장율은 시간이 경과하면서 증가하는 것으로 나타났다. 토심에 따른 탄소 저장 특성을 분석한 결과, 9~20년 동안에는 토심 5~15cm에서, 그리고 30~40년 동안에는 토심 10~25cm에서 탄소 저장이 이루어지는 것으로 나타났다.

### 3. 토양 미생물 활성

미생물 활성은 모든 그린들에서 토심 0~5cm에서는 상대적으로 가장 높게 나타났고, 토심 5cm 이하에서 급격하게 감소하는 경향을 나타냈다. 서로 다른 시기에 3차례 미생물 활성 분석을 수행한 결과, 조성 시기가 서로 다른 그린들 간에 일관성 있는 유의차는 나타나지 않았다. 이 결과는 토심 5cm 이하에 집적된 탄소는 분해에 높은 저항성을 가지며, 장기적으로 안정적인 상태임을 의미한다. 즉, 대기 중으로부터 격리된 토양 중 탄소는 장기적으로 안정하게 보존 가능하다고 판단되었다.

## IV. 결론

도시 경관들은 자연 자원과 토지의 순 소비자이며 각종 쓰레기 및 환경 오염물질의 순 생산자로 인식되고 있다. 그러나 21세기에 접어들어 도시 경관들은 새로운 기능의 전환이 필연적으로 요구되고 있다. 즉, 도시 경관들은 기후 변화를 저감시키는 온실가스 관리를 위해서 탄소 저장 또는 관리의 역할을 수행하여야 할 것이다. 도시 경관들은 지속적으로 농경지, 초지, 그리고 산림지로 확대되고 있다. 개인 및 공공 주택의 잔디밭, 공원, 휴양시설, 그리고 골프장과 같은 잔디 면적은 도시화 및 개발과 병행하여 빠르게 증가하고 있다. 본 연구를 통하여 골프장 퍼팅 그린의 토심 25cm 토양층은 조성 후 40년 동안 대략 67~121g·m<sup>-2</sup>·year<sup>-1</sup> (0.7~1.2 ton·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup>)의 탄소 저장

능력을 가지고 있으며 저장된 탄소는 토양 교란이 없는 조건에서 매우 안정한 상태로 토양 중에 존재함을 구명하였다. 이와 유사한 잔디 시스템 및 지피식물이 생육하고 있는 토양층도 또한 상당한 양의 탄소 저장 능력을 가지고 있을 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 도시 경관들 속에 최근 증가하고 있는 저토심 옥상녹화, 벽면녹화 등의 인공지반 녹화 시스템들도 역시 도시 내 탄소 관리를 위해서 활용될 수 있을 것이다.

### 인용문헌

1. Bandaranayake, 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: 558-563.
2. Cole, C. V., J. Duxbury, J. Freney, O. Heinemeyer, K. Minami, A. Mosier, K. Paustian, N. Rosenberg, N. Sampson, D. Sauerbeck and Q. Zhao(1997) Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient Cycling Agroecosyst* 49: 221-228.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change(2001) *Climate Change: The Scientific Technical Analysis*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
4. Lal, R., R. F. Follett, J. Kimble and C. V. Cole(1999) Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. *Journal of Soil and Water Conservation* 54(1): 374-381.
5. Öhlinger, R., T. Beck, B. Heilmann and F. Beese(1996) Soil respiration. In F. Schinner et al., eds., *Methods in Soil Biology*. Berlin: Springer-Verlag. pp. 93-110.
6. Qian, Y. L. and R. F. Follett(2002) Assessing soil carbon sequestration in turfgrass systems using long-term soil testing data. *Agronomy Journal* 94: 930-935.
7. Scholes, R. J. and I. R. Noble(2001) Storing carbon on land. *Science* 294: 1012-1013.
8. 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.
9. Wang, X. J., P. J. Smethurst and A. M. Herbert(1996) Relationships between three measures of organic matter or carbon in soils of eucalypt plantations in Tasmania. *Australian Journal of Soil Research* 44: 11-16.