

개장년도에 따른 골프코스 토양의 미생물 활성

이 인 숙 · 김 옥 경

이화여자대학교 생물과학과

Microbial Activity of Golf Course Soils with Different Open Year

Lee, In-Sook and Ok-Kyung Kim

Department of Biology Science, Ewha Womans University

ABSTRACT

The relationship between microbial activity and physico-chemical characteristics of golf course soils were investigated in Kyonggi Province with different open years. The increasing tendency of soil pH with depth seemed to be the result of mineral leaching. Exchangeable Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^{+} showed relatively higher concentration in lower horizon indicating the leaching of minerals. The minerals were heavily leached in older golf course. There was a significant positive correlation between pH and Ca^{2+} . The contents of organic matters, total nitrogen and phosphorus were high in higher horizon.

Dehydrogenase activity(DHA) and the content of ATP were determined as an index of soil microbial activity. DHA value was significantly different with golf club as well as golf courses according to different open year. This indicates that DHA was affected by several fertilizer treatments rather than herbicide pesticide treatments. DHA was positively correlated with water holding capacity and total nitrogen. The content of ATP was high in fairway and in golf course with older open year, showing the similar tendency with the results of DHA.

Key words: Golf course, Mineral leaching, Dehydrogenase activity, ATP

서 론

최근 들어 우리나라에서도 골프장수가 급격히 증가하고 있다. 1980년에 20여개의 골프장이 현재에는 80여개에 달하고 있으며 현재 신설중인 골프장도 상당수 있다. 특히 경기도에는 38개의 골프장이 등록되어 운영(93년 4월 현재)중이고 사업계획 승인을 받은 것이 50개, 공사 중인 것이 36개에 달하고 있다.

운영 중인 골프장 면적은 50km^2 , 홀수는 864개이며 공사중이거나 개장예정된 골프장 면적은 70km^2 , 홀수는 1,161개로 모두 합하면 면적 120km^2 , 홀수 2,025개로 서울 면적(605km^2)의

1/5에 달한다. 골프장 내장객 수도 1980년에 710,584명에서 1992년에는 4,986,530명으로 약 7배나 증가하였다(골프정보센터, 1994).

골프는 14C 영국 스코틀랜드의 목동들이 양이 풀을 먹고 지나간 자리에 공을 놓고 놀이를 하던데서 비롯되었는데, 멕시코 난류의 영향과 겨울에는 온난하고 여름에는 서늘한 날씨에 비록 연간 600~700mm의 강우량 밖에 되지 않으나 2~3일에 한번씩 비가 내리며 빙하기가 지나 평원이 된 지형조건을 갖추고 있어 그 곳의 주 잔디종인 벤투그라스(bentgrass)는 특별한 인공관리가 그리 필요치 않다. 그러나 대부분이 산지형인 우리나라는 산을 깎아야 하는데 18홀 골프장을 만들기 위해서는 30만평, 36홀은 60만평의 땅이 필요하며 이는 곧 이곳에 수백종의 동·식물이 서식하고 토양 속에는 수천종의 미생물이 살던 생태계를 몰아내고 우리나라 여건에 적합하지 않은 잔디라는 한 식물만 자라게 하는 인공적인 초원을 형성하는 결과가 된다.

골프장이 일단 잔디로 조성이 되면 특별한 개보수공사를 하지 않는 한 수십년 동안 경운을 하지 않고 잔디가 완전히 피복한 상태 하에서 지속되고 제초, 관수 및 시비 등의 인위적인 관리가 집약적으로 행해지므로 조성당시와는 특성이 다른 토양으로 발달하게 된다.

본 논고에서는 개장년도가 다른 경기도 지역의 세 골프장에서 한국잔디(*Zoysia japonica*)로 피복된 골프장 토양의 물리화학적 특성과 미생물 활성에 대해 고려해 보고자 한다.

골프코스 토양의 물리화학적 특성

골프코스의 토양은 화학비료 위주의 시비방법으로 양분의 불균형을 형성하고 빈번한 관수로 인해 염기가 용탈되고 토양이 산성화될 뿐만 아니라 표면의 집중적인 시비로 인산이 과잉 축적되는 문제를 안고 있고 이로 인해 무기양분의 불균형이나 뿌리의 염류집적의 가능성이 높아진다.

실제로 경기도 지역 4개의 골프장 토양의 화학성분을 조사(Table 1)한 결과 일반 작물재배지 이상으로 양분이 집적되는 곳이 있고(최 등, 1993), 전국 골프장 토양의 화학 특성 요약표에서도 양분의 과잉 집적 사례가 보고된 바 있다(이 등, 1993).

토양 pH의 층위별 변화는 아래층으로 내려갈수록 높아지는 경향을 보여서 무기염류의 용탈과 깊은 관련이 있다. 경기도양은 작토일수록 pH가 높고 심토일수록 산성(한국토양총설, 1992)인데 골프장에서는 염기의 용탈에 기인하여 그와 반대의 경향을 보였다.

한양골프장의 토양단면의 무기양분의 함량을 보면 K는 B₂층에서 가장 높고 Ca, Mg는 C층에서 월등히 높으며 뉴코리아골프장에서는 B₂층위에서 가장 높게 나타나 유사한 경향을 보인다. 토양 pH는 단일 성분에서는 Ca과 가장 높은 유의상관을 보이며 그 다음으로는 Mg과 유의적 정상관을 보인다. 이는 골프장 토양의 pH가 주로 Ca과 일부 Mg에 의존되며 심층에서 pH가 높은 것은 Ca와 Mg의 용탈에 기인한다고 볼 수 있다. 관수에 의해 Ca와 Mg의 용탈이 일어나므로 표토에서 Ca과 Mg의 공급이 부족하면 잔디에 결핍이 일어나 생육에 지장을 초래하므로 이들 양분에 대해 예의주시할 필요가 있다.

유기물, 전질소 및 인산 함량은 모든 토양에서 하위층으로 갈수록 적은 경향을 보여 용탈이 적은 것으로 나타났다. 그러나 인산을 과다 사용할 경우에는 용탈이 일어나며 한양골프장의 경우 200ppm 이상으로 잔디생육에 과잉 수준인 것으로 보인다.

개장년도가 오래된 한양(1964년 개장)과 뉴코리아(1966년 개장) 골프장은 무기염류의 용탈이 심한 반면에 로얄(1972년 개장)과 나산(1992년 개장)골프장은 용탈이 적은 경향을 보이고 있다

Table 1. Chemical properties of soil profile in golf course(최 등, 1993)

	Profile	Soil depth (cm)	pH	OM (%)	Av. P ₂ O ₅ (ppm)	Na	K	Ca	Mg	TN (%)
						(me /100g)				
Hanyang	A ₁	0~ 6	4.34	5.02	245	0.33	0.30	1.16	0.08	0.16
	A ₃	6~15	4.55	0.41	326	0.05	0.28	0.80	0.06	0.04
	B ₂	15~40	4.60	0.69	13	0.46	0.57	1.52	0.19	0.09
New Korea	A ₁	0~12	3.92	3.10	130	0.40	0.46	0.90	0.08	0.12
	A ₃	12~30	4.69	0.55	20	0.49	0.29	2.56	0.37	0.06
	B ₂	30~60	4.67	0.21	10	0.55	0.29	2.62	0.27	0.03
Royal	A ₁	0~13	4.42	3.75	28	0.54	0.48	0.49	0.01	0.11
	A ₃	13~35	4.39	0.48	9	0.14	0.33	0.81	0.06	0.04
	B ₂	35~100	4.72	0.21	7	0.11	0.24	0.86	0.06	0.05
Nasan	A ₁	0~10	5.64	0.07	64	0.15	0.33	3.01	0.41	0.03
	A ₃	10~28	5.58	0.07	20	0.08	0.21	3.29	0.66	0.02
	B ₂	28~50	5.23	0.14	16	0.08	2.19	1.60	0.23	0.02

(최 등, 1993).

골프장 토양을 tee, fairway, rough로 나누어 조사한 물리화학적 특성(Table 2)은 한국잔디 연구소에서 조사한 우리나라 골프코스 토양자료(이 등, 1993)와 비교하면 유기물함량만 다소 높을 뿐 그외에는 모두 낮게 나타났다. 유효인산량은 잔디재배기간이 늘어날수록 증가하는 경향을 보이리라 생각했으나 골프장간의 유의적인 차이는 없었으며 세 골프장에서 모두 50ppm 미만으로 과잉축적현상은 나타나지 않았다.

pH는 골프장간에 유의적인 차이를 나타냈는데(P<0.05) 개장년도가 오래된 관악골프장에서 가장 낮게 나타났고, Ca과 Mg(Fig. 1)과도 유의적인 정상관을 보여 최 등(1993)의 결과와 일치하는 경향을 보였다.

Table 2. Mean values(standard deviation) of chemical characteristics of the investigated golf courses (이와 김, 1994)

Courses	pH	OM (%)	TN (%)	Av. P ₂ O ₅ (ppm)	Ca	Mg	Na	K	
					(me /100g)				
Kwanak	T	5.00 0.18	3.68 0.55	0.18 0.09	45.64 4.50	1.17 0.05	0.13 0.01	0.03 0.01	0.14 0.02
	F	5.00 0.20	4.77 1.14	0.24 0.10	21.27 1.51	0.80 0.14	0.09 0.05	0.09 0.05	0.11 0.01
	R	4.80 0.16	4.89 0.70	0.25 0.08	5.63 1.10	0.83 0.07	0.09 0.01	0.03 0.01	0.06 0.01
Gold	T	5.29 0.10	5.39 0.85	0.18 0.03	23.86 2.68	1.14 0.08	0.13 0.01	0.03 0.00	0.10 0.01
	F	5.29 0.07	5.22 0.87	0.17 0.03	18.65 1.44	1.12 0.07	0.42 0.28	0.05 0.02	0.10 0.01
	R	5.55 0.05	4.70 0.39	0.16 0.04	9.39 1.60	1.27 0.27	0.14 0.03	0.03 0.01	0.08 0.00
Korea	T	5.37 0.15	4.03 0.28	0.11 0.01	23.93 1.60	1.37 0.12	0.15 0.01	0.03 0.00	0.14 0.01
	F	5.48 0.17	3.68 0.49	0.10 0.01	30.50 2.19	1.71 0.27	0.19 0.03	0.06 0.02	0.08 0.01
	R	5.23 0.09	4.15 0.26	0.11 0.02	13.30 1.39	0.97 0.06	0.12 0.00	0.05 0.02	0.09 0.01

T:tee, F:fairway, R:rough

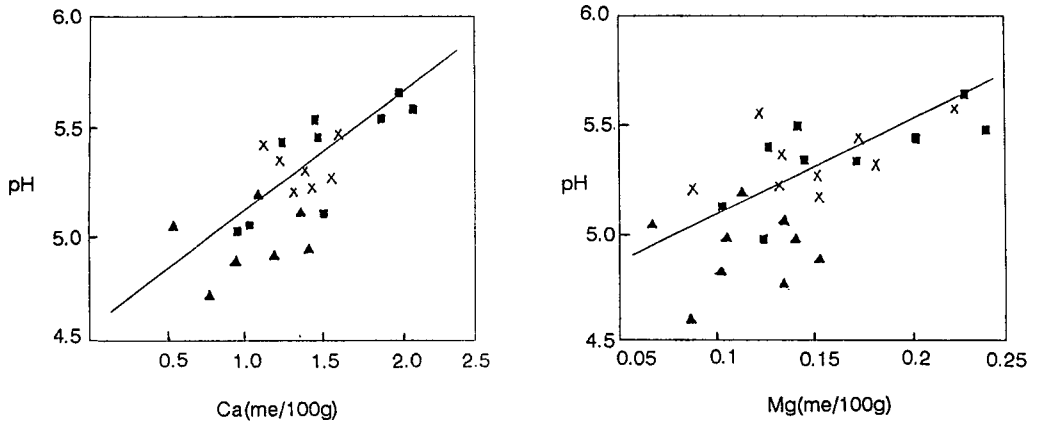


Fig. 1. The relationship between pH and exchangeable Ca and Mg content in three golf courses.

▲ :Kwanak, × :Gold, ■ :Korea

일반적으로 잔디관리를 위해 3월에서 10월 사이에 연 6~9회에 걸쳐 tee에는 20gN/m²/y, 15gP₂O₅/m²/y, 20gK₂O/m²/y를 시비하며, fairway에는 18gN/m²/y, 12gP₂O₅/m²/y, 15gK₂O/m²/y를 시비(코스관리 연간 관리계획 총괄표, 1992)해오고 있는 점으로 미루어 tee보다 fairway에서 N, P, K값이 약간 낮게 나타났다.

골프코스 토양의 dehydrogenase activity

토양에는 많은 미생물이 유기화합물을 분해시켜 에너지원으로 이용하고 있으며 농약과 같은 본래 자연계내에 존재하지 않았던 화합물을 분해하여 이용할 수 있는 능력을 가진 미생물도 적지 않다. 토양에 처리된 살균제, 제초제, 살충제 등은 화학적 분해, 미생물적 분해, 광분해 등의 과정을 거치면서 원래의 형태를 잃어버린다. 미생물적 분해란 토양 미생물에 의해 원형질이 분해되어 무독화되는 현상을 말하는데 이는 유기화합물에 함유된 탄소를 에너지원으로 활용하기 위해서이다.

미생물에 의한 분해는 미생물 활동의 최적 조건에서 활발히 일어날 수 있으며 온도, 수분, 무기 및 유기 영양소, pH 등의 환경요인에 의해 영향을 받는다. 미생물 활동에 불량한 조건일수록 독성은 상당기간 지속된다.

이처럼 농약은 미생물에 의해 대사분해를 받는 한편, 미생물의 기능이나 미생물상(microflora)에 영향을 미친다. 미생물의 질산화, 호흡작용, 유황산화작용 등의 활성을 억제하며 또 미생물에서 유래된 토양 효소의 활성도 억제한다.

최근까지 토양의 미생물 활성을 결정하기 위한 효소연구에 상당한 노력을 기울여 왔는데 그 technique의 대부분은 토양시료에 정해진 기질을 첨가하여 생성된 최종산물을 결정하여 추정하는 것이었으며 토양의 효소활성과 미생물 활성간의 관계를 밝히게 되었다. 그러나 미생물의 총수, CO₂생산, 영양, 암모니아화 간에는 상관이 없었다(Stevenson, 1959).

Lenhard(1956)는 토양의 미생물 활성에 관한 연구에서 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC)를 사용하여 핑크색의 triphenyl formazan(TPF)으로 환원될 때 기질농도와 토양타입에 의해 영향받다고 보고하였다.

유기물의 생물적 산화가 탈수소화(dehydrogenation)과정이며 토양에는 많은 탈수소효소가 있어 세포내적으로 작용하며 각 효소는 각 반응에 대해 대단히 specific하다. 일정시간 동안 이 효소의 활성을 측정하는 것은 토양의 미생물 대사활동의 수준을 잘 나타내 준다(Skujins, 1973). 측정원리는 TTC가 TPF로 환원될 때 전달된 H의 양을 결정하는 것이다(Fig. 2).

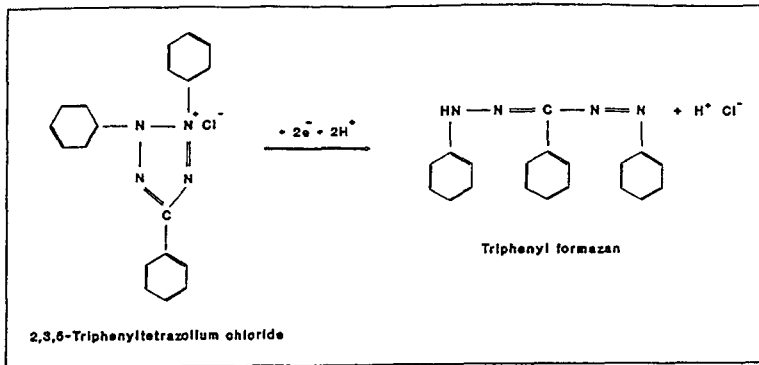
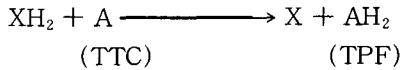


Fig. 2. The reduction of TTC(colorless), forming TPF(red).

이때 TPF 1 mg 형성에는 150.35 ml H를 요구한다. 여기에서 XH₂는 유기화합물, A는 수소수용체를 나타낸다. 이 반응은 전자방출을 유용하게 하여 효소의 촉매반응에서 결과한 탈수소화된 양을 간접적으로 측정하는 것이다. DHA측정은 실험조건에 매우 민감하여, pH(CaCO₃를 첨가해서 적당한 수준을 유지함), 온도(37℃), 배양시간(24시간), 토양보존방법(4℃), TTC농도(1%), 유기물 함량, CEC, 전자와 경쟁이 될만한 질산염이나 아질산염, 철, 황, 인산염 등의 유무에 따라 좌우된다. O₂흡수와 dehydrogenase activity(DHA)간에는 유의적인 상관관계가 있으나, 박테리아수와 O₂ 또는 TPF생성과는 분명한 관계가 밝혀지지 않았다(Tabatabai, 1982).

조사된 골프장의 tee, fairway, rough별 DHA함량(Fig. 3)을 살펴보면 코리아 컨트리 크립의 경우 69.83~95.8 μg/g으로 비교적 낮았으나 골드와 관악 컨트리 크립은 각각 105.63~314.43 μg/g, 133.57~311.96 μg/g으로 비교적 높은 범위의 값을 나타냈으며 분산분석의 결과 DHA는 세 골프장 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 앞서 논의된 바 있듯이 개장년도에 따른 시비의 효과로 볼 수 있으며 복합비료 및 유기물질이 토양에 사용되면 공급된 양분을 이용하여 미생물은 성장하게 되며 특히 DHA는 어떤 특정 미생물 군집만이 아니라 조류, 곰팡이, actinomycetes, 세균 등 주요 미생물 군집의 탈수소화를 총체적으로 나타내준다.

DHA는 tee가 73.38~133.57 μg/g, fairway가 69.83~314.43 μg/g, rough가 95.89~176.80

$\mu\text{g/g}$ 으로 fairway가 가장 높았고 tee와 rough는 비슷하였으나 tee가 약간더 낮았다. 제초 및 살충처리를 하지 않는 rough에서 가장 높고 연간 2~3회 처리하는 tee와 fairway에서 낮을 것으로 결과를 예측하였으나 역시 시비효과가 미생물군집에 더 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 일반적으로 농장에 제초제가 과다하게만 사용되지 않으면 미생물의 총수는 거의 일정하게 유지된다고 한다. 제초제가 어느 미생물 집단에 유리하면 다른 집단에는 해가 되고 제초제가 분해되

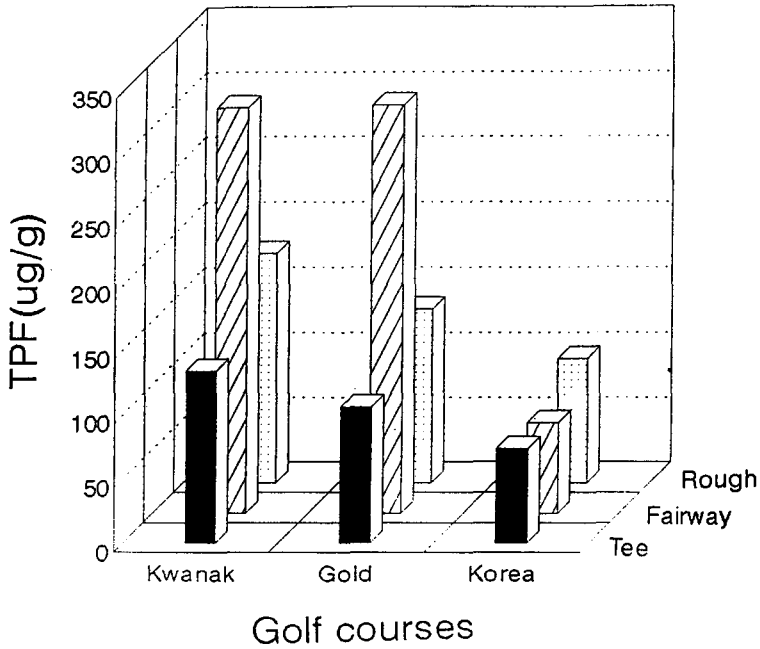


Fig. 3. Dehydrogenase activities of three golf courses. DHA was expressed by the content of TPF.

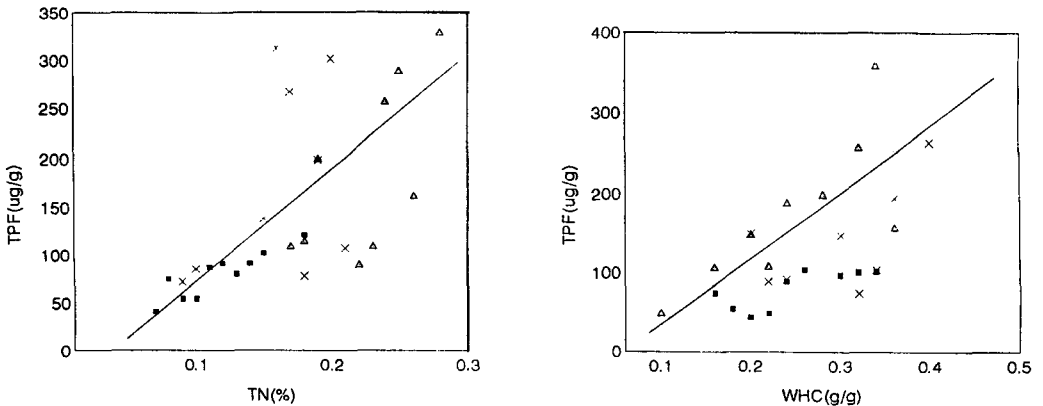


Fig. 4. The relationship for DHA and WHC, and DHA and TN in three golf courses.

▲ :Kwanak, × :Gold, ■ :Korea

면 모든 집단은 정상적으로 되돌아 오게 된다(권과 구, 1973).

조사된 골프장의 DHA값과 다른 물리화학적 요소들을 단순회귀분석(Statistical Graphics Corporation, 1987)해 보면 DHA는 용수량 및 전질소량과 유의적인 정상관(Fig. 4)을 나타냈다. 이는 미생물 활성이 CEC, 전질소량과 정상관이 있다는 광산지역 토양의 중금속 함량과 미생물 생체량 및 활성을 조사한 Ohya *et al.* (1988)과, 서울에 위치한 공원토양의 미생물활성을 조사한 Kim and Lee(1993)의 결과와 일치하는 경향을 보이며, 또한 Harris and Birch(1989)는 광산복구지역에서 토양 미생물활성을 조사하였을 때 DHA는 전질소량과 정상관이 있으며 용수량은 전질소량과 유의적인 정상관이 있다고 보고한 바 있다.

골프코스 토양의 ATP 함량

토양의 ATP함량은 오랜동안 미생물 활성의 좋은 지표로서 뿐만 아니라 (MacLeod *et al.* 1969; Lee *et al.*, 1971; Ausmus, 1973; Paul and Johnson, 1977), 미생물 생체량을 측정하는 수단으로 여러 연구에서 사용되어 왔다(Oades and Jenkinson, 1979; Jenkinson *et al.*, 1979). Jenkinson *et al.* (1979)은 ATP와 미생물 생체량이 직선적 관계(Fig. 5)에 있음을 밝혔고,

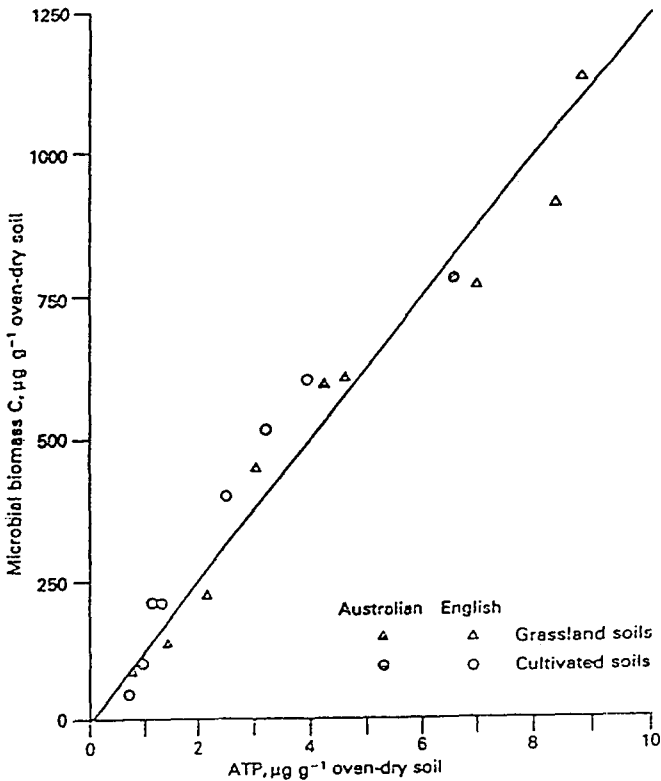


Fig. 5. ATP and microbial biomass C in 11 Australian and 6 English soils.

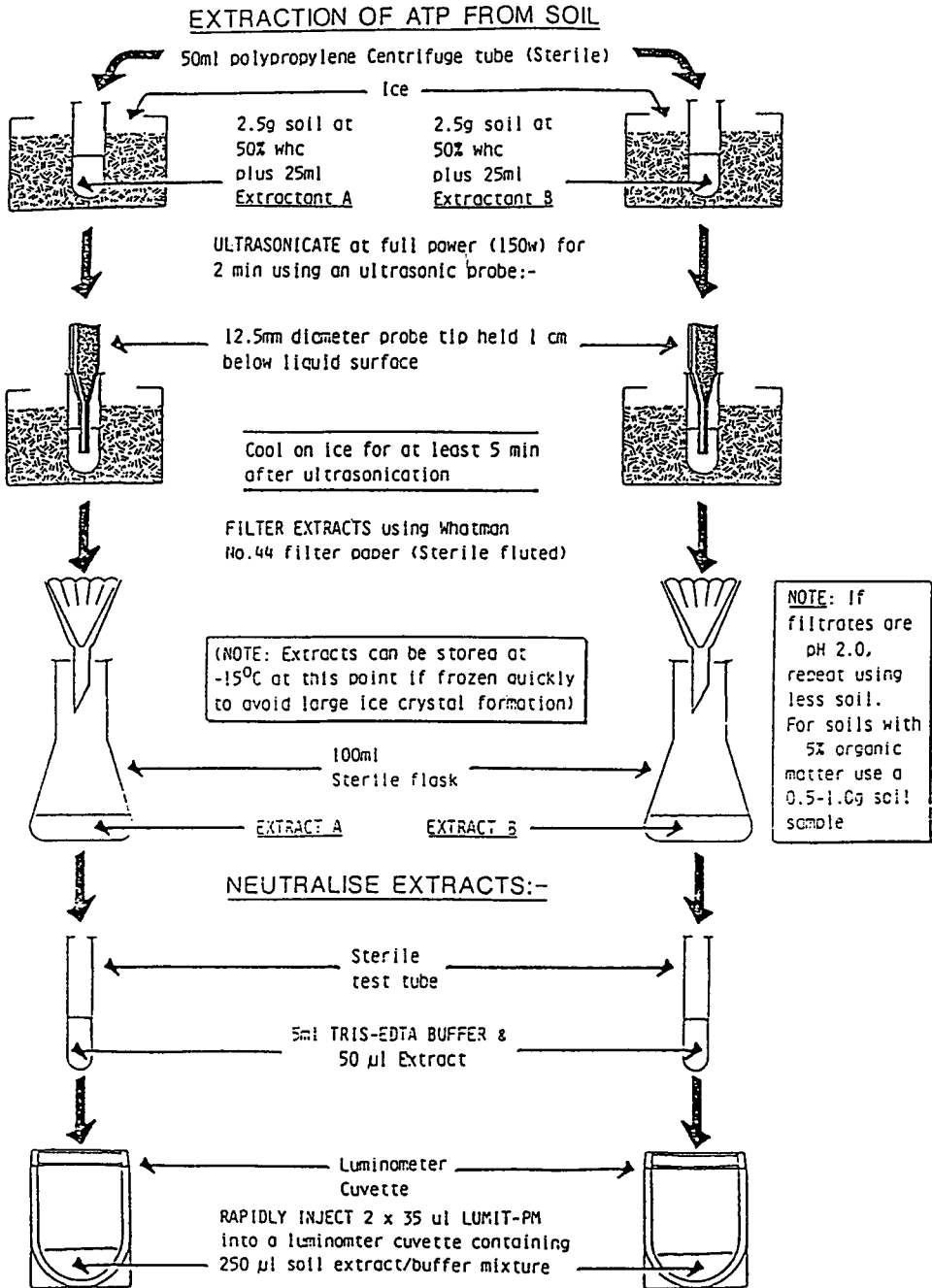


Fig. 6. Measurement of ATP in soils(Jenkinson & Oades, 1979; Tate & Jenkinson, 1982; Inubushi *et al.*, 1989).

Jenkinson and Ladd(1981)는 미생물 개체군이 대부분을 휴면상태로 있게 되는 자연조건 하에서 ATP가 미생물 생체량을 나타내는 유용한 척도라고 하였다.

ATP 측정방법에 있어서 여러 발전 단계를 거듭하여 왔지만 특히 생태적 연구에서는 luciferin-luciferase system(Eiland, 1979; Tate and Jenkinson, 1982; Sparling and Eiland, 1983)이 주로 사용되어 왔다. 토양시료를 50% 용수량 상태에서 24℃에서 5일간 유지시킨 후 trichloro-

acetic acid phosphate-paraquat reagent로 ATP를 추출, Tris-EDTA buffer로 중화시켜 이 혼합물을 LUMIT luciferin-luciferase enzyme(Fig. 6)과 반응시켜 그 광발현을 luminometer로 측정하는 것이다(Inubushi *et al.*, 1989).

조사된 세 골프장의 ATP함량은 코리아 컨트리 클럽의 경우 0.17~1.42 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 낮았고, 골드와 관악 컨트리 클럽은 각각 0.60~3.67 $\mu\text{g/g}$, 0.22~2.18 $\mu\text{g/g}$ 로 나타났다. Tee, fairway, rough 별로 살펴보면 fairway에서 가장 높은 값을 나타냈고(Fig. 7), 관악과 골드 컨트리 클럽에서는 tee보다 rough에서 더 높았다. 이는 앞서 제시한 DHA의 결과(Fig. 3)와 유사한 경향을 보이고 있다.

제초제나 살충제 등이 토양균락이나 그 구성집단에 미치는 영향은 특정한 농약과 그 농도, 그리고 잔류성에 의해 결정된다. 제초제와 다수의 살충제처럼 통상적으로 낮은 농도로 존재하는 농약은 대부분 개체군수를 감소시키지 않거나 그리 큰 영향을 미치지 않는다(Tyunyayeva *et al.*, 1974). 그러나 이와는 대조적으로 살균제는 어떤 부류의 미생물이 억제될 수 있도록 충분한 수준으로 첨가되며 또한 식물병 유발체와 같이 화학적인 자극에 대해 민감한 토착성 종속영양체도 많기 때문에 이런 경우에는 극적인 개체군의 변화가 발생하기도 한다(Ridge and Theodorou, 1972). 손상을 입힐 정도로 높은 농도로 존재하는 화합물이라고 해서 모든 개체군에 대해 비슷하게 영향을 미치는 것은 아니고, 어떤 종은 뚜렷이 감소되지만 또 다른 종은 영향을 받지 않거나 오히려 저항성을 갖고 있기도 한다.

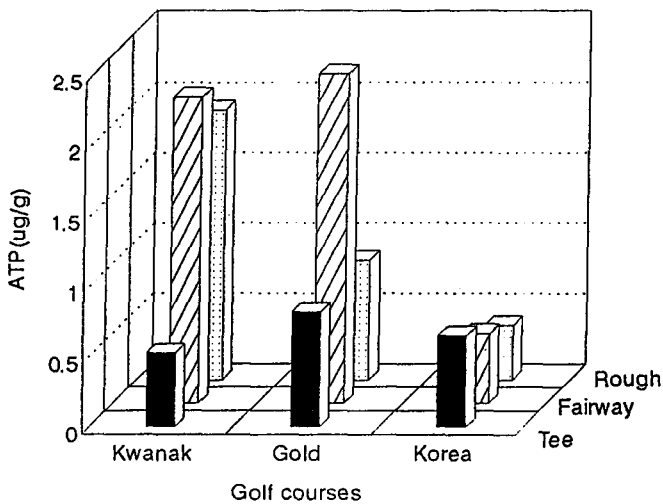


Fig. 7. ATP contents of tee, fairway and rough in three golf courses.

Wardle and Parkinson(1991)의 연구에 따르면 몇몇 제초제와 환경변수들이 토양 미생물 생체량에 영향을 주긴 하나 상당히 변동적이고 토양함수량이나 유기탄소량이 미생물에 중요한 변수로 작용한다고 한다.

인용문헌

1. 골프정보센타. 1994. '94 골프회원권연감. pp. 46-52
2. 권용구, 구자옥. 1973. 잡초방제학. 문교부. pp. 75-76.
3. 이인숙, 김옥경. 1994. 경기도 골프장 토양의 탈수소효소 활성과 물리화학적 특성. 한국생태학회지 17(2):143-148.
4. 이정재, 김성태, 함선규, 김인섭. 1993. 우리나라 골프코스 토양의 화학적 특성. 한국잔디학회지 7:35.
5. 최병주, 심재성, 주영희, 유병남. 1993. 경기도 네개 골프장의 토양단면의 물리화학적 특성. 한국잔디학회지 7:55-60.
6. 코스관리 연간 관리계획 총괄표. 1992. 한국잔디학회지 6(2):120.
7. 한국 토양 총설. 1992. 농업기술연구소. pp. 725.
8. Ausmus, B. 1973. The use of the ATP assay in terrestrial decomposition studies. Bull. Ecol. Res. Commun. (Stockholm) 17:53-60.
9. Eiland, F. 1979. An improved method for determination of adenosine triphosphate (ATP) in soil. Soil Biol. Biochem. Vol. 11:31-35.
10. Harris, J. A. and P. Harris. 1989. Soil Microbial activity in opencast coal mine restorations. Soil Use and Management 5:155-160.
11. Inubush, K., P. C. Brooks and D. S. Jenkinson, 1989. The influence of paraquat on the extraction of Adenosine Triphosphate from Soil by Trichloroacetic Acid. Soil Biol. Biochem. 21(5):741-742.
12. Jenkinson, D. S. and J. N. Ladd. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In Soil Biochemistry(E. A. Paul and J. N. Ladd; Eds) Vol. 5, pp. 415-471. Marcel Dekker, New York.
13. Jenkinson, D. S., S. A. Davidson, D. S. Powlson. 1979. Adenosin triphosphate and microbial biomass in soil. Soil Biology & Agriculture 24:1085-1090.
14. Kim, O. K. and I. S. Lee. 1993. Dehydrogenase activity and physico-chemical characteristics of park soils in Seoul. Korean Journal of Ecology 16:191-198.
15. Lee, C. C., R. F. Harris, J. D. H. Williams, D. E. Armstrong and J. K. Syers. 1971. Adenosin triphosphate in lake sediments-I. Soil Science Society of America Proceedings 35:82-86.
16. Lenhard, G. 1956. Die Dehydrogenaseaktivitat des Bodens als Mass. fur die Mikroorganismenatitigkeit im Boden. Z. Pflanzenernahr. Dung. Bodenk. 73:1-15.
17. MacLeod N. H., E. W. Chappelle and A. M. Crawford. 1969. ATP assay of terrestrial soils: a test of an exobiological experiment. Nature. Lond. 223:267-268.
18. Oades, J. M and D. S. Jenkinson. 1979. Adenosine triphosphate content of the soil mi-

- icrobial biomass. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 11:201-204.
19. Ohya, H., S. Fujiwara, Y. Komai and M. Yamaguchi. 1988. Microbial biomass and activity in urban soils contaminated with Zn and Pb. *Biology and Fertility of Soils* 6:9-13.
 20. Paul, E. A. and R. L. Johnson. 1977. Microscopic counting and adenosine 5'-triphosphate measurement in determining microbial growth in soils. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 34(3):263-269.
 21. Ridge, E. H. and C. Theodorou. 1972. *Soil Biol. Biochem.* 4:295-305.
 22. Skujins, J. 1973. Dehydrogenase: an indicator of biological activities in arid soils. *Bulletin of Ecological Research Communication (Stockholm)* 17:235-241.
 23. Sparling, G. P. and F. Eiland. A comparison of methods for measuring ATP and microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 15(2):227-229.
 24. Statistical Graphics Corporation. 1987. *STATGRAPHICS: Statistical Graphics System*. The Statistical Graphics Corporation, Rockville, Maryland.
 25. Stevenson, I. L. 1959. Dehydrogenase Activity in Soils. *Can. J. Microbiol.* Vol. 5:229-235.
 26. Tabatabai, M. A. 1982. Soil enzymes. In: *Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy Monography, No. 9(2nd ed.)*. A. L. Page(ed.), American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 903-946.
 27. Tate, K. R. and D. S. Jenkinson. 1982. Adenosine triphosphate measurement in soil: An improved method. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 14:331-335.
 28. Tyunyayeva, G. N., A. K. Minenko, and L. A. Penkov. 1974. *Soviet Soil Sci.* pp. 320-324.
 29. Wardle, D. A. and D. Parkinson. 1991. Relative importance of the effect of 2,4-D, glyphosate, and environmental variables on the soil microbial biomass. *Plant and Soil* 134:209-219.