

맥반석처리가 골프장 잔디의 생육과 토양미생물의 군집구조에 미치는 영향

고성철^{1*} · 최정혜¹ · 김병혁² · 김상은³

¹한국해양대학교 공과대학 건설환경공학부, ²한국생명공학연구원 환경생명공학연구그룹, ³다비스톤(주)

최근의 골프 수요의 증가는 골프장의 일일 내장객 수의 증가로 이어져 골프장 관리에 어려움을 겪고 있다. 이의 친환경적 관리방안의 하나로 자연계에 존재하는 광물을 활용하여 토양의 물리, 화학성을 개선 할 수 있는 친환경적 토양개량제 개발 필요성이 제기되고 있다. 이들 광물 중 맥반석은 토양개선을 통한 일반 농작물의 생육촉진과 증수에 기여함이 밝혀지고 있는 바, 본 연구에서는 이 광물을 골프장 토양관리에 적용시 야기되는 토양의 물리·화학적 변화로 인한 잔디의 생육영양과 토양미생물 군집변화특성에 관한 기초자료를 얻고자 수행하였다. 골프장 퍼팅그린 잔디(bentgrass)를 이식한 pot 실험결과 대체적으로 맥반석 20% 처리구가 잔디 잎의 옷자람을 억제하며 생육촉진을 유도하고 뿌리의 생육도 촉진하는 것으로 밝혀졌다. 또한 PCR-DGGE 분석결과 이 처리구에서 가장 높은 종풍부도를 나타내었으며 Actinobacteria와 α -Proteobacteria가 우점하는 것으로 나타났다. 이는 맥반석처리 시 낮은 용탈유기물 함량과 가용성 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 K^{+} 등)의 용탈 감소와 관련 있는 것으로 사료되었다.

Key words □ Actinobacteria, bentgrass, quartz porphyry, soil microbial communities

여가선용에 대한 관심이 높아지면서 90년대 들어 과거에는 고급 스포츠로만 여겨졌던 골프, 스키 등의 레저활동에 대한 수요가 증가하였고, 이를 위한 골프장, 스키장 등 레저시설의 면적도 증가하였다. 골프장의 경우 2001년까지 우리나라에서 운영 중인 골프장은 234개에 달하였고 이 가운데 운영 중인 골프장은 152개에 달하고 있다(14). 골프 수요의 증가는 골프장의 일일 내장객 수의 증가로 이어져 골프장 관리에 어려움을 겪고 있다.

골프코스의 잔디밭은 일년생 작물과는 달리 조성되고 나면 급격한 갱신작업이 없이 지속적으로 한곳에서 재배되기 때문에 답압과 토양침하로 인하여 통기 및 투수성 등 물리성이 악화되며, 화학비료의 연용으로 인하여 토양 화학성과 미생물생육이 점차 나빠지게 되어 결국 잔디뿌리 발육에도 나쁜 영향을 미치게 된다. 또한 답압스트레스에 의하여 병저항성이 약화되고, 빈번한 예초에 의한 상처유발, 잦은 살수, 과도한 대취층의 형성 등으로 인하여 발병이 조장된다(1, 2, 22, 26). 이러한 부적절한 환경조건에 의하여 골프코스의 잔디는 다른 식물보다도 더 많은 병해가 발생하게 되고, 방제를 위한 농약사용량도 증가하게 된다. 따라서 골프장의 관리방안(내답압성 잔디 선택, 잔디깎기, 배토, 에어레이션 및 동결기 피복 등)과 적절한 물리화학적인 지반관리(토양의 투수성향상, 양이온치환용량 제고 및 시비관리 등)가 이루어진다면 내답압성과 내병성을 제고할 수 있을 것이다(18).

최근 자연계에 존재하는 광물이나, 퇴비를 이용하여 작물의 품질 및 생산성을 향상시키고 토양의 물리화학성을 개선할 수 있는 친환경 토양 개량제 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고

있다. 즉 식물체 뿌리가 기능을 원활히 발휘할 수 있도록 토양개량 및 관리를 실시하고 있다. 토양개량용 무기질자재는 천연 제올라이트를 비롯하여 벤토나이트, 질석, 맥반석, 규조토, 적황색토, 석회석, 돌로마이트, 제련슬러그, 규회석, 진주암, 부석 및 분석 등이 이용되고 있다. 이들 무기질 자재 중 맥반석은 화성암중 석영반암에 속하며 무수규산과 산화알루미늄이 주성분으로 다층 다공질로 되어 있어 강한 흡착작용, 이온교환작용이 있어 수은, 납, 구리, 카드뮴, 및 비소 등의 중금속제거 기능을 가진 것으로 보고되고 있다(3, 9, 11, 12).

맥반석의 농업적 활용 측면을 보면 CEC가 제올라이트나 벤토나이트에 비해 현저히 낮아서 단일 토양개량제로 활용되기는 어렵고 또한 벼, 땅콩, 고추 및 배추의 재배에서 사용효과가 인정되기 어렵다고 알려져 있다(13). 그러나 맥반석, 옥, 황토 등은 퇴비제조에 첨가할 경우 배추의 수량증가를 향상시킬 수 있는 기능성 첨가물질로 그 효과가 인정되었다(10). 점토광물(벤토나이트, 제올라이트 및 맥반석)이 혼합된 사료급여로 발생된 우분을 토양에 사용할 시 NH_4^+ -N의 유실의 억제로 인한 NO_3^- -N의 증가가 기대되며(4), 또한 이 우분을 토양에 사용하여 옥수수를 재배한 경우 건물생산성향상 및 옥수수체내의 광물질함량의 증가가 이루어져 광물질에 의한 옥수수의 생육촉진효과가 인정이 되고 있다(5). 그리고 채소류(수박, 오이 토마토) 및 벼의 재배에 맥반석을 사용할 경우 그 생육에의 영향을 검토한 바가 있다(7, 8). 국외의 연구에서도 맥반석의 사용은 밀의 수확량의 향상과 토양의 질을 향상시킴이 밝혀지고 있으며(19), 대두의 증산과 토양의 개선에 기여하며(20), 또한 맥반석으로 여과된 물은 Komatsuna (*Brassica rapa* L. nothovar)의 초기생육을 현저히 촉진함이 알려지고 있다(17). 그러나 현재까지 이러한 점토광물을 활용한 골프

*To whom correspondence should be addressed.
Tel: 82-51-410-4418, Fax: 82-51-410-4415
E-mail: skoh@hhu.ac.kr

장토양 및 잔디 관리에 대한 연구는 미흡한 실정이며 특히 이러한 천연광물의 사용과 토양(근권)미생물군집과의 상호관련성에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 맥반석을 이용하여 골프장토양을 친환경적으로 지속 관리할 수 있는 방안을 모색하기 위하여 현재 상업용으로 생산되고 있는 맥반석을 골프장 잔디 식재 토양에 처리한 후 토양의 물리·화학적 특성을 검토하고 이에 따른 bentgrass의 생육 촉진효과 및 토양미생물의 군집특성을 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

공시 시료(맥반석)의 성분특성

본 연구에서 사용된 맥반석(quartz porphyry)은 다비스톤(주)에서 제조된 것으로 대표적 화학성분은 산화규소 및 산화알루미늄이 대부분을 차지하고 있으며, 그의 산화제이철, 산화칼슘, 산화마그네슘 및 산화칼륨을 포함하고 있다(Table 1).

맥반석처리 토양의 물리화학적 특성 분석

본 연구에서는 잔디가 식재된 조건에서 토양의 상태를 진단하기 위하여, 식재 158일 후 토양의 물리·화학적 성질을 측정하였다. 측정 항목은 가용성 영양분(N, P 및 K), Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, CEC, pH, 토양 texture, 유기물 함량, 전기전도도(EC) 및 토양이온 등을 측정하였다. 각 항목의 측정은 토양화학분석법(6)에 따라 수행하였다.

Pot 실험구 설정 및 잔디의 생육 시험

맥반석이 잔디 생육에 미치는 영향을 평가하기 위해 시중에서 구입된 플라스틱 pot (직경 22 cm 및 높이 30 cm)을 활용하여 실험을 실시하였다. 시험구는 맥반석을 처리하지 않는 대조구(소토사 100%)와 5가지의 처리조건 즉 맥반석 10%+소토사 90%, 맥반석 20%+소토사 80%, 맥반석 33%+소토사 67%, 맥반석 66%+소토사 33% 및 맥반석 100% 처리구를 설정하여 실시하였다. 여기서 잔디의 생육에 필요한 시비는 유기질 비료(SUSTANE, Natural Fertilizer of America, Cannon Falls, USA)를 시험 시작 전에 사용하여(20 g/m²) 수행하였다. Por에 적절히

Table 1. Chemical components of the quartz porphyry used in this study (a product of Davistone, Inc., Busan, South Korea)

Chemical components	% (w/w)
SiO ₂	73.20
Al ₂ O ₃	14.80
Fe ₂ O ₃	0.61
CaO	1.37
MgO	0.16
Na ₂ O	4.57
K ₂ O	4.27
Ignition loss	0.88

토양을 처리당 3반복으로 채운 후 토양채취기로 채취한 골프장 퍼팅그린의 bentgrass *Agrostis stolonifera*를 뿌리 부분의 토양을 제거한 후 이식하여 골프장 잔디재배 관행에 따라 재배하였다. 잔디의 생육조사는 이식 38일 후 잎길이, 잎넓이 및 지하부(뿌리)의 성장정도를 측정하여 평가하였다.

맥반석처리 토양 내의 우점미생물의 분리 및 계통학적 특성 분석

잔디가 식재된 토양에서 근권 부근의 토양 시료 채취한 후 인산염 완충용액에 희석하여 1/2배 Trypticase Soy Agar (TSA) 배지에 도말 후, 25°C에서 약 7일간 배양하여 종속영양균을 분리하고 각 처리구별로 3-4 종의 우점종을 선별하여 계수하였다. 분리된 종속영양균은 순수배양하여 계통학적 특성 분석을 실시하였다. 분리된 종속영양균의 동정은 16S rDNA 영역을 복제할 수 있는 universal primers를 제작하여 16S rDNA 유전자를 PCR 기법으로 증폭하여 유전자 염기서열 분석을 의뢰하여 실시하였다. 콜로니 PCR의 경우 27F; 5'-AGA GTT TGA TC(C/A) TGG CTC AG-3', 1492R; 5'-GG(C/T) TAC CTT GTT ACG ACT T-3' primers를 이용하였으며, 95°C에서 15~20분간 세포 분해 과정을 거친 후, 95°C 45초, 60°C 45초, 72°C 1분 30초, 30 cycle 동안 증폭하였다. 증폭산물의 크기는 1466 bp이었다. 증폭산물은 정제하여 TaKaRa Korea, Inc.에 유전자 염기서열 분석을 의뢰하였다. 분석된 유전자 염기서열 data는 National Center for Biotechnology Information (NCBI) programs (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>)을 통해 상동성을 검색, 계통학적 특성 분석을 실시하였다.

Polymerase chain reaction-denaturing gradient gel electrophoresis (PCR-DGGE) 기법에 의한 미생물 군집구조 분석

공시토양의 미생물 군집의 유형 변화를 분석하기 위해 PCR-DGGE 기법을 이용하였다. 공시시료 토양으로부터 총 DNA를 추출한 후, universal primer (27F, 1492R)를 이용하여 PCR 기법을 통해 16S rDNA 유전자를 증폭하였다. 총 DNA는 FastDNA SPIN KIT (for soil) (BIO 101 Systems, Q-BIO Gene, USA)를 이용하여 매뉴얼에 따라 추출을 수행하였다. PCR 조건은 95°C 5분, 95°C 45초, 54°C 1분, 72°C 1분 30초로 30 cycle 증폭하였다. 증폭된 16S rDNA 유전자의 V3 region을 복제할 수 있는 DGGE primer를 이용하여 재증폭하였다. V3 region 증폭은 341F-GC; 5'-CGC CCG CCG CGC GCG GCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG GCC TAC GGG AGG CAG CAG-3', 518R; 5'-ATT ACC GCG GCT GCT GCT GG-3' primer를 이용하여 수행하였다. DGGE는 DCode System (Bio-Rad Laboratories, Hercules, USA)을 이용하여 매뉴얼에 따라 수행하였다. Denaturing gradient 범위가 30~60%인 10% (w/v) polyacrylamide gel (acrylamide:bisacrylamide = 37.5:1)에 1× TAE buffer에 60V로 16시간 running하였다. gel은 ethidium bromide 용액을 이용하여 15분간 염색하였고, gel 이미지는 이미지 분석

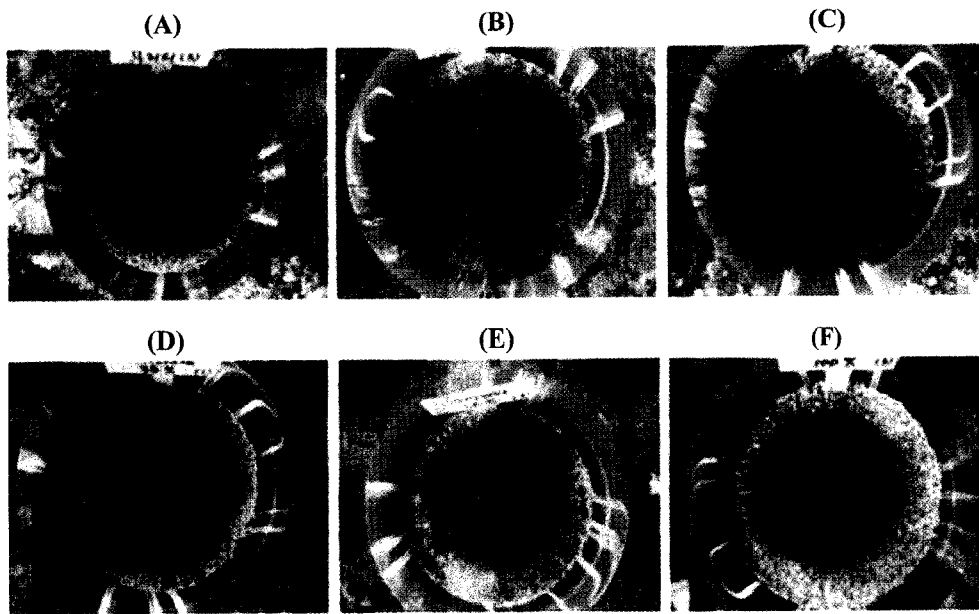


Fig. 1. Growth status and color of creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*) grown in the pot soil treated with a different amount of quartz porphyry in 38 days after transplanting. (A) Control (baked sand), (B) quartz porphyry 10%, (C) 20%, (D) 33%, (E) 66%, and (F) 100%

시스템(Kodak Model EDAS290, USA)을 이용하였으며 Clustering 분석은 BioNumerics 프로그램(Applied Maths, Inc., USA)을 이용하여 분석하였다.

통계처리

통계처리는 SPSS Program (V. 12.0)을 사용하여 분산분석(one way ANOVA test)을 실시하여 Duncan's new multiple range test에 의해 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.

결과 및 고찰

맥반석처리에 의한 잔디생육평가

본 연구에서는 pot 실험을 통해 맥반석이 잔디생육에 미치는 영향을 평가하고자 5가지 맥반석 처리구를 설정하여 잔디의 생

육상태를 평가하였다. 잔디의 생육평가는 식재 후 적절한 생육시기별 잎수, 잎길이, 잎넓이 및 뿌리의 길이 등을 조사하였다.

Pot 실험 38일 경과 후 잎색도를 평가한 결과 Fig. 1에서 보는 바와 같이 대체로 2개의 그룹으로 나뉘었다. 무처리, 맥반석 10%, 맥반석 20% 처리구가 연한 녹색의 잎색도를 나타내었고, 맥반석 33%, 맥반석 66%, 맥반석 100%에서는 약간 진한 녹색의 잎색도를 띠는 것으로 나타났다. 그리고 Table 2에서 보는 바와 같이 맥반석 함량이 높아질수록 잎 길이는 대체로 짧아지는 경향이었는데 33% 이상의 처리시 유의성 있는 수준으로 짧아졌다. 그러나 잎폭은 처리량의 증가에 따라 약간 감소하는 경향이 있으나 유의성 있는 차이는 나타내지 않았다. 잎의 습윤중량은 대조구에 비해 맥반석 10% 및 20% 처리가 유의성 있는 높은 잎습윤중량을 나타냈고, 맥반석 33%와 맥반석 67%의 경우는 대조구와 차이를 나타내지 않았다. 100%의 처리의 경우는 대조구

Table 2. Analysis of growth status of creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*) grown in the pot soil treated with a different amount of quartz porphyry in 38 days after transplantation¹

Treatment		Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf fresh weight (g/pot)
Baked sand ² (w/w, %)	Quartz porphyry (w/w, %)			
100	0	8.5±0.9 ^a	2.0±0.1	14.1±3.6 ^c
90	10	8.0±0.6 ^{ab}	1.9±0.1	20.3±1.3 ^a
80	20	8.2±0.5 ^a	1.9±0.1	18.7±1.9 ^{ab}
67	33	6.8±0.8 ^{bc}	1.9±0.1	15.7±1.2 ^{bc}
34	66	5.9±0.6 ^{cd}	1.9±0.1	13.0±1.1 ^c
0	100	4.8±1.0 ^d	1.7±0.4	8.9±2.8 ^d

¹ Values are means of triplicate groups, values in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$)

² Baked at 120~140°C to remove moss, weed seeds, pathogens, etc.

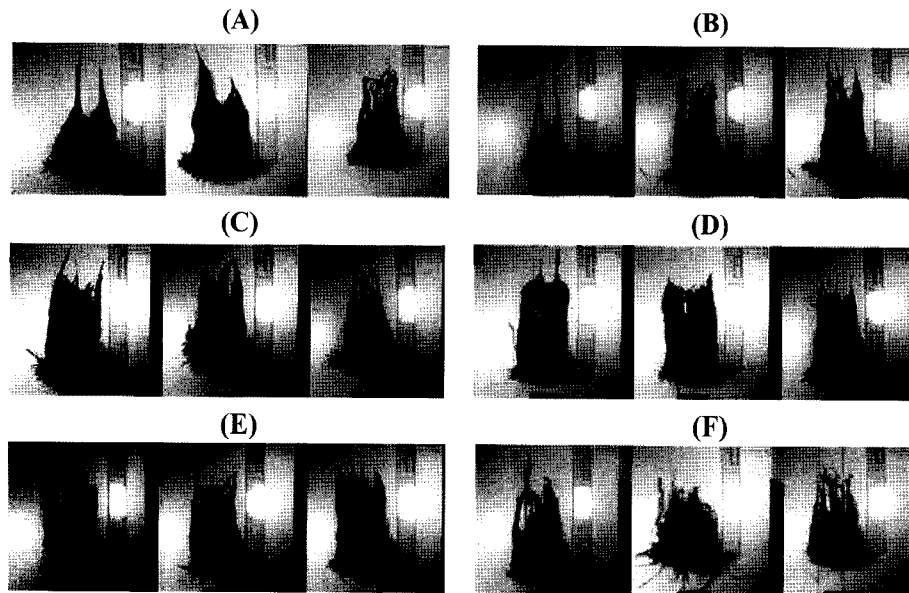


Fig. 2. Root growth status of creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*) grown in the pot soil treated with a different amount of quartz porphyry in 158 days after transplanting; (A) Control (baked sand only), (B) quartz porphyry 10%, (C) 20%, (D) 33%, (E) 66%, and (F) 100%

에 비해 유의성있게 낮게 나타났다. 따라서 맥반석 10~20% 처리가 잎의 성장을 가장 촉진하는 것으로 판단되며 100% 처리구는 오히려 생육을 억제하는 것으로 사료된다. 이상의 결과로 맥반석 33% 처리구가 잔디의 옷자람을 억제하며 양호한 채광을 유도하고 건전한 생육을 유도하는 것으로 보인다. 맥반석을 사용할 경우 배추의 잎수와 잎넓이의 증가는 현저하지 않았으나 잎길이의 증가는 현저한 것으로 보고되고 있는데(10) 이는 본 연구의 결과와 일치하는 부분이다. 또한 밀의 재배에 맥반석을 사용할 경우 분얼(tillers)을 현저히 증가시키며 토양의 화학적 성분(유기물 함량, CEC 및 NO_3^- -N 및 무기인)의 함량을 증가시키는 것으로 보고되고 있다(19). 그리고 토양의 CEC, Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 의 함량과 토양의 NO_3^- -N 이용성을 증가시켜 대두의 수확도 증가시키는 것으로 알려지고 있다(20).

Figure 2는 잔디를 포함하여 채취된 시료에서 흙을 털어낸 후 세척하여 관찰한 잔디의 뿌리 생육상태이다. 전반적인 뿌리 길이는 20~30 cm 이상으로 나타났다. 무처리구의 경우 평균 뿌리 길이는 23 cm 정도였으나, 맥반석 10%에서는 평균 28 cm의 뿌리 길이를 나타내었다. 맥반석 20%는 평균 26 cm의 뿌리 길이를 나타내었고 Fig. 2에서 보는 바와 같이 뿌리 양도 많고 전반적으로 상태가 양호하였다. 맥반석 33%는 평균 25 cm의 뿌리 길이를 나타내었고 20%에서와 마찬가지로 아주 양호한 뿌리 상태를 나타내었다. 맥반석 66%는 평균 뿌리 길이가 26 cm이었으나 반복 1과 2의 뿌리 상태가 양호한 편은 아니었다. 반복 3에 비해 뿌리 양이 적었고 가는 뿌리가 많이 발견되었다. 맥반석 100%는 평균 뿌리 길이가 23 cm이었으며, 특히 반복 2와 3의 뿌리 길이가 20 cm 정도로서 생육상태가 좋지 않았으며 전반적으로 뿌리의 양이 적고 가늘었다. Pot 내부의 잔디 뿌리 생육상태는 뿌리가 전반적으로 넓게 퍼져 생육하고 있었고, 화분 하단 부분에 잔디 뿌리의 엉킴이 많이 발생하였다. 특히 맥반석 처리량이 증가

할수록 뿌리의 엉킴이 점점 심해지는 것으로 나타났다. 결론적으로 pot 실험 158일 경과 후 뿌리의 상태를 확인한 결과 맥반석 20%와 맥반석 33%에서의 뿌리 생육 상태가 가장 양호한 것으로 나타났다.

잔디가 식재된 맥반석처리 토양의 물리화학적 특성분석

처리 158일 경과시 pot 실험의 각 처리구에 대한 pH (1:5) 측정 결과는 Table 3에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 pot 실험의 결과 pH는 6.9~7.2의 범위로 대조구와 처리구간에는 통계적인 차이가 없었으나 처리구의 경우 약간 상승하는 경향이 있었다. 이전의 연구에 의하면 맥반석을 granule화하여 물을 처리할 경우 pH 상승효과가 인정이 되었다(15).

전기전도도(EC)의 경우 Table 3에서 보는 바와 같이 맥반석 20%, 맥반석 33% 및 맥반석 100% 처리구가 대조구에 비해 유의성 있게 낮게 나타났다. 이는 전기전도도를 높이는 주된 물질인 질산이온(NO_3^-)과 염기(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} 및 Mg^{2+})의 농도에 의한 것으로 사료된다.

Pot 실험 158일 경과 후에 시료의 유기물을 측정된 결과는 Table 3에서 보는 바와 같이 맥반석 20% 맥반석 33% 및 맥반석 66%가 무처리구에 비해 유기물 함량이 유의성 있게 낮게 나타났다. 이때 잔디생육 상태를 보면 무처리구와 맥반석 10% 처리구의 잔디 생육 상태가 좋지 못하였고 뿌리가 일부 고사한 것이 확인되었다. 이리하여 떨어져 나간 뿌리 조직이 상대적으로 시료내의 유기물 함량을 증가시켰을 것으로 사료된다.

총질소 및 NH_4^+ 의 경우 맥반석 33% 처리구만이 대조구에 비해 높게 나타났다. NO_3^- 의 경우 NH_4^+ 에 비해서 현저히 낮게 나타나고 있는데 이는 NH_4^+ 의 형태로 시비된 후 토양에서 질산화 미생물에 의해서 NO_3^- 로 전환이 된 후 토양에서 유실이 되기 때문인 것으로 판단된다. 33% 처리구의 경우 NH_4^+ 가 높고 기타

Table 3. Analysis of various physicochemical parameters of the pot soil treated with a different amount of the quartz porphyry 158 days after transplantation of creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*)¹

Treatment ²	pH	E.C. (mS/m)	Organic matter (%)	T-N (mg/kg)	NH ₄ ⁺ (mg/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	C.E.C. (meq/100 g)	Na (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)
Control No porphyry	6.97	1.00 ^a	0.14 ^a	2.6 ^b	2.57 ^b	0.11	5.70 ^a	12.07	20.27 ^a	21.73 ^a	1087.90 ^a
Quartz porphyry 10%	7.10	0.88 ^{ab}	0.13 ^a	2.0 ^b	1.96 ^b	0.87	5.57 ^a	15.53	20.00 ^a	22.17 ^a	1058.07 ^a
Quartz porphyry 20%	7.18	0.80 ^{bc}	0.04 ^b	4.9 ^{ab}	4.86 ^{ab}	0.10	5.36 ^a	12.00	16.97 ^b	16.83 ^{ab}	1028.03 ^a
Quartz porphyry 33%	7.10	0.78 ^{bc}	0.05 ^b	5.5 ^a	5.50 ^a	0.03	3.23 ^b	9.43	15.63 ^b	12.67 ^b	606.07 ^b
Quartz porphyry 66%	7.04	0.86 ^{ab}	0.05 ^b	3.2 ^{ab}	3.22 ^{ab}	0.05	2.50 ^{bc}	9.70	16.13 ^b	17.00 ^{ab}	457.53 ^{bc}
Quartz porphyry 100%	6.98	0.67 ^c	0.09 ^{ab}	2.0 ^b	2.13 ^b	0.00	1.49 ^c	10.93	16.53 ^b	15.50 ^{ab}	254.03 ^c

¹ Values are means of triplicate groups, values in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$)

² Same experimental conditions as in Table 2

전반적 처리구에서 NO₃⁻의 농도가 전반적으로 낮게 나타난 것은 맥반석이 다공성이며 높은 흡착력을 가지고 음이온 charge을 띠고 있는 것과 무관하지 않을 것으로 추정된다(20).

양이온 치환용량(C.E.C.)의 측정결과는 Table 3에서 보는 바와 같이 맥반석 함량이 높아질수록 양이온 치환용량이 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 특히 33% 이상의 맥반석이 함유된 경우 유의성 있게 현저한 감소를 보였다.

Mg²⁺ 이온 측정결과는 대조구와 맥반석 10% 처리구에서는 비슷한 수준으로 나타났으나 20%, 33%, 66% 및 100% 처리구에서는 대조구에 비해 유의성 있게 낮게 나타났다. 이는 pot 실험 디자인 시 사용된 토양(모래 및 맥반석)의 성분에 의한 결과로 판단된다. Pot 실험에 사용된 비료에는 Mg 성분이 함유되어 있지 않기 때문으로 사료된다.

양이온 치환용량과 마찬가지로 맥반석 함량이 높아질수록 Ca²⁺ 이온의 수치도 낮아지는 것으로 나타났다. 맥반석이 33% 이상 처리된 경우 유의한 수준으로 현저한 감소를 보였다. 33% 이상 처리구의 경우 대조구에 비해 45~80%의 수준으로 감소하는 것으로 나타났다.

공시시료의 Na⁺ 이온의 측정결과는 처리간에 통계적 유의성은 나타내지 않았다. 이러한 결과는 pot 실험에 사용된 토양(모래 및 맥반석)의 자체 Na⁺ 이온 함량과 관련된 것으로 판단된다. Na⁺ 이온 또한 pot 실험에 사용한 비료에 포함되지 않은 성분이기 때문이다.

공시시료의 K⁺ 이온의 측정결과는 맥반석 33% 처리구가 약 12 mg/kg으로 가장 낮은 K⁺ 이온 함량을 나타내었다. 처리구 전반적으로 K⁺ 이온의 측정결과가 비슷한 수준을 유지하는 것으로 보아 맥반석은 K⁺ 이온 흡착력에는 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 이는 같은 1가 양이온인 Na⁺의 흡착행태와 비슷한 경향을 보이는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 PO₄³⁻ 이온도 측정하였으나 pot 실험 시료에서는 관찰되지 않았다. pot 실험에 사용된 비료에는 2%의 가용성 인산이 함유되어 있으나 측정되지 않았다. 인산 성분이 식물에 의해 이용되었거나 불용성으로 전환된데 기인하는 것으로 판단

된다. 잔디의 경우 지하경 뿌리의 인에 대한 흡착능력이 탁월함이 인정되고 있다(21).

잔디가 식재된 맥반석처리 토양 내 우점 토양세균의 분리 및 계통학적 특성 평가

본 연구에서는 각 처리구 근권 토양 내 분포하는 우점 토양세균 군집특성을 검토하기 위하여 1/2 TSA 평판배지상에 형성된 우점 콜로니 4 종의 우점종을 선별하고 각 처리구별로 각각 계수하였다. 각 처리구에서 분리된 우점종 균주들의 16S rDNA를 증폭하여 염기서열 분석 data를 National Center for Biotechnology Information (NCBI) programs (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>)을 통해 상동성을 검색한 후 동정하였다(Table 4).

맥반석을 처리하지 않은 대조구 토양으로부터 분리된 우점세균 중 *Pseudomonas* sp. (γ -Proteobacteria)가 우점하였으며 9×10⁵ (CFU/g fresh soil)으로 가장 높은 밀도를 나타내었고 α -Proteobacteria도 우점종으로 관찰되었다. 그러나 Actinobacteria는 관찰되지 않았다. 맥반석 10% 처리구에서는 *Sinorhizobium morelense* (α -Proteobacteria) 및 *Arthrobacter* sp. (Actinobacteria)가 우점하는 것으로 나타났다. 맥반석 20% 처리구에서는 *Arthrobacter* sp. (Actinobacteria) 및 *Chelatobacter heintzii* (α -Proteobacteria)가 우점하는 것으로 나타났다. 맥반석 33% 처리구에서는 *Arthrobacter polychromogenes* (Actinobacteria) 및 *Stenotrophomonas maltophilia* (γ -Proteobacteria)가 우점하는 것으로 나타났다.

맥반석 66%와 100% 처리구의 경우 *Arthrobacter* sp. (Actinobacteria) 및 *Microbacterium* sp. 등의 Actinobacteria가 현저히 우점하는 경향이였다. 전반적으로 맥반석처리 함량이 증가할수록 α -Proteobacteria 및 γ -Proteobacteria의 밀도가 줄어들고 Actinobacteria의 밀도가 현저히 증가하는 것으로 나타났다. 이는 맥반석의 처리 함량이 증가할수록 그람 양성균인 Actinobacteria이 증가하는 것으로 보아 맥반석 자체의 고유특성(항균성 및 원적외선 발생 등)에 영향을 받은 것과 상관이 있을 것으로 판단된다.

Table 4. Identification of soil bacteria isolated from the pot soil treated with a different amount of quartz porphyry 158 days after transplantation of creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*)

% treatment of Quartz porphyry	Strains isolated	The closes relative in 16S rDNA sequence	% identity	Phylum	Density [Log (CFU/g fresh soil)]
None	D26	<i>Chelatobacter heintzii</i>	100	α -Proteobacteria	5.43
	D27	<i>Pseudomonas</i> sp.	98	γ -Proteobacteria	5.95
	D28	<i>Pseudomonas</i> sp.	99	γ -Proteobacteria	5.70
Quartz porphyry 10%	D29	<i>Pseudomonas</i> sp.	99	γ -Proteobacteria	5.18
	D30	<i>Arthrobacter polychromogenes</i>	99	Actinobacteria	5.67
	D31	<i>Arthrobacter</i> sp.	99	Actinobacteria	5.90
	D32	<i>Sinorhizobium morelense</i>	99	α -Proteobacteria	5.95
Quartz porphyry 20%	D33	<i>Arthrobacter ramosus</i>	98	Actinobacteria	6.11
	D34	<i>Chelatobacter heintzii</i>	100	α -Proteobacteria	5.85
	D35	<i>Chelatobacter heintzii</i>	99	α -Proteobacteria	6.04
Quartz porphyry 33%	D36	<i>Arthrobacter polychromogenes</i>	99	Actinobacteria	5.48
	D37	<i>Arthrobacter pascens</i>	99	Actinobacteria	6.00
	D38	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	100	γ -Proteobacteria	5.90
	D39	<i>Pseudomonas</i> sp.	99	γ -Proteobacteria	5.78
Quartz porphyry 66%	D40	<i>Arthrobacter</i> sp.	97	Actinobacteria	6.20
	D41	<i>Arthrobacter</i> sp.	98	Actinobacteria	6.38
	D42	<i>Arthrobacter</i> sp.	98	Actinobacteria	6.11
Quartz porphyry 100%	D43	<i>Arthrobacter</i> sp.	95	Actinobacteria	6.95
	D44	<i>Microbacterium</i> sp.	99	Actinobacteria	7.08
	D45	<i>Arthrobacter</i> sp.	99	Actinobacteria	6.85

실제로 본 연구팀의 자체의 자료에 의하면 본 맥반석은 *Pseudomonas aeruginosa* 및 *Escherichia coli*의 항균효과가 있는 것으로 관찰된 바가 있다(본 연구팀의 미보고 자료). 그리고 이러한 현상은 토양 내의 낮은 유기물함량, C.E.C. 및 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 K^{+})으로 인해 척박한 생존 환경이 영향을 미친 것으로 판단된다. 그리고 맥반석으로 물을 처리할 경우 pH 상승효과가 인정이 되므로(15) 본 연구의 경우 토양공극수의 pH의 상승이 기대된다. 이는 미생물의 분포에도 영향을 미쳐 Actinobacteria의 밀도의 증가에 영향을 준 것으로 보인다. 유기물 및 무기물을 토양에 장기간 첨가할 경우 토양 Actinobacteria의 군집구조를 변화시킬 수 있는 것으로 나타났다(25). Actinobacteria는 초원지역, 갈아엎는 초지, 방기된 들 및 갈아 엎는 작목지 등의 우점미생물로 알려져 있다(24).

무처리구를 제외한 나머지 맥반석 처리구에서는 전반적으로

Arthrobacter sp.가 가장 우점하는 종으로 나타났다. *Arthrobacter* sp.는 토양의 pH가 증가함에 따라 그 분포정도가 증가하는 것으로 보고되고 있다(23). 또한 *Arthrobacter nicotinovorans*는 농업 사질토양에서 분리가 되었는데 atrazine을 포함하여 simazine, terbuthylazine, propazine, cyanazine 및 prometryn 등을 분해하는 것으로 알려지고 있다(16). 따라서 본 연구에서 나타난 *Arthrobacter* sp. 군집이 골프장 토양과 지하수에 오염되어 있을 수 있는 유사한 농약성분의 생물학적인 정화에 어떤 역할을 할 수 있는지 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.

PCR-DGGE 기법에 의한 세균 군집분석

맥반석을 처리한 잔디 식재 토양 내 세균군집 특성평가를 위해 PCR-DGGE로 나타난 gel profile을 clustering 확인한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 무처리, 맥반석 10% 및 맥반석 20%를 처

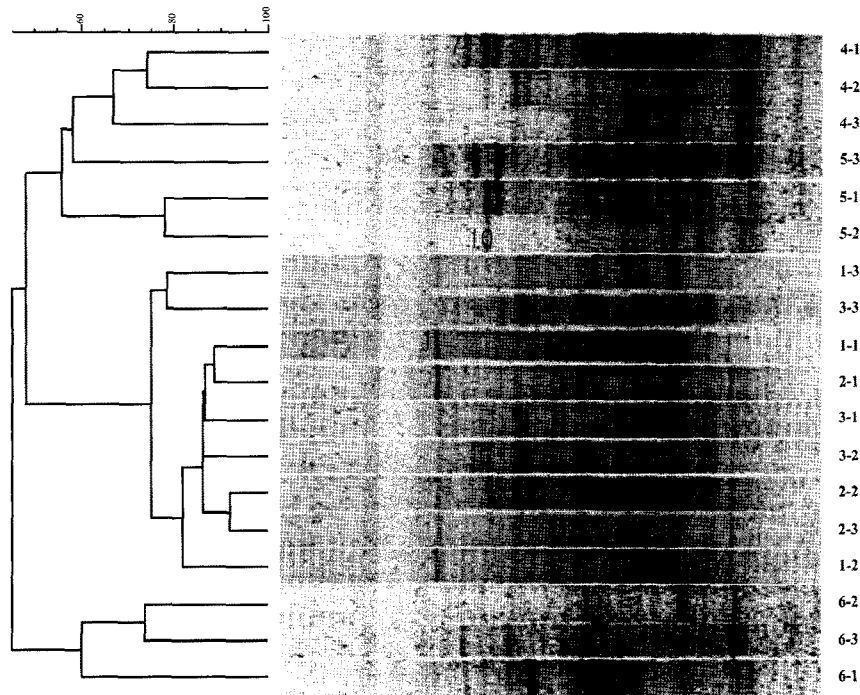


Fig. 3. Microbial community analysis of the pot soil treated with quartz porphyry using PCR-DGGE in 158 days after transplantation of creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). Lanes 1-1, 1-2, and 1-3 no quartz porphyry treatment; lanes 2-1, 2-2, and 2-3 10% quartz porphyry; lanes 3-1, 3-2, and 3-3 20%; lanes 4-1, 4-2, and 4-3 33%; lanes 5-1, 5-2, and 5-3 66%; lanes 6-1, 6-2, and 6-3 100%. The numbers indicate the dominant phylotypes in each treatment.

리한 토양시료의 경우 75%의 유사도로서 비슷한 DGGE profile 을 나타내었다. 그러나 맥반석 33% 및 66% 처리구는 55%의 유사도로서 같은 그룹에 clustering이 되었다. 한편 맥반석 100% 처리구는 60%의 유사도로서 기타의 처리구와는 독립적 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 각 처리구의 우점종으로 나타나는 DNA band 6개를 지정하여 디지털 이미지 분석기를 이용하여 밴드 강도를 측정 한 결과 무처리구와 맥반석 10%에서는 2번, 3번 phylotype이 가장 우점하였고, 맥반석 20%에서는 3, 5, 6번 phylotype이 가장 우점하는 것으로 나타났다.

맥반석 33%, 맥반석 66%, 맥반석 100% 처리구의 경우는 각 처리구 별로 DGGE profile이 다소 차이가 나는 것으로 나타났고 우점종으로 나타나는 종도 다른 것으로 나타났다. 맥반석 100% 처리구의 경우 처리구 내에서도 우점종이 서로 다르게 나타났다. 각 처리구의 우점종으로 나타나는 밴드 7개를 지정하여 디지털 이미지 분석기를 이용하여 밴드 강도를 측정 한 결과는 맥반석 33%에서는 9, 11번 phylotype이 가장 우점하는 것으로 나타났고, 맥반석 66%는 9, 10, 11, 13번 phylotype이, 맥반석 100%는 12, 13번 phylotype이 우점종으로 나타났다. 이들 phylotype을 최종확인 할 경우 군집변화에 대한 보다 실질적인 근거를 제시할 수 있을 것으로 본다.

상기의 DGGE profile에 기초하여 처리구간의 종 다양성의 차이를 비교, 평가하였다. 이 경우 종다양성은 처리구간의 DNA band 수에 기초하고 있어서 종풍부도(species richness)로 표현할 수 있는데 무처리구에 비해 20% 처리구가 유의수준 5%에서 가

장 높은 종풍부도를 나타내었다(Table 5). 그 외의 처리구에서는 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 따라서 20% 처리구에서 미생물의 높은 다양성이 나타났고 잔디의 생육이 양호하였으므로 향후 이 처리구의 범위를 중심으로 맥반석과 잔디의 생육촉진현상과 미생물의 역할을 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.

Table 5. Microbial species richness of the pot soil treated with a different amount of the quartz porphyry 158 days after transplantation of creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*)¹

Treatment ²	Species richness ³
Control No porphyry	19.0±5.6 ^b
Quartz porphyry 10%	25.3±4.7 ^{ab}
Quartz porphyry 20%	32.7±7.6 ^a
Quartz porphyry 33%	21.0±4.4 ^b
Quartz porphyry 66%	27.7±4.9 ^{ab}
Quartz porphyry 100%	21.3±7.8 ^{ab}

¹ Values are means of triplicate groups, values in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$)

² Base soil for the pot experiment was a baked sand

³ Shown as number of DNA bands in the DGGE gels which separate the PCR products (16S rDNA V3 region) from DNA extracted from the soil

감사의 말

본 연구는 2004년도 (주)다비스톤의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 권성호, 서용원, 함선규. 2005 속효성 비료 및 완효성질소 성분이 함유된 복합비료가 함유된 creeping bentgrass의 생육에 미치는 효과 한국잔디학회 학술발표지 제18차, 26-27.
- 김경남, R.C. Shearman. 1998. 답압조건의 크리핑 벤트그래스 페어웨이에서 여러 가지 잔디관리방법이 엽조직 및 토양질소함유량에 미치는 상호작용효과. 한국잔디학회 12, 113-126.
- 김은실. 1989. 맥반석에 의한 중금속제거에 관한 연구. 성균관대학교 교육대학원 석사학위 논문. p. 1-16.
- 김정규, 이상환, 이창호, 이남주, 손용석, 임수길. 1999. 점토광물 혼합사료 급여로 발생된 우분의 토양시용과 질소 성분의 변화. 환경농학회지 18, 366-371.
- 김정규, 이상환, 이창호, 이남주, 손용석, 임수길. 1999. 점토광물 혼합사료 급여로 발생된 우분의 토양시용에 따른 옥수수 GK729의 성장. 환경농학회지 19, 38-43.
- 농업과학기술원. 1980. 토양화학분석법. 토양, 식물체, 토양 미생물. 농촌진흥청.
- 朴順基, 金洪箕, 鄭淳柱. 1997. 바이오세라믹, 貝火石 및 麥飯石의 混入處理가 수박, 오이 및 토마토의 幼苗生長에 미치는 影響. 한국유기농업학회지 6, 109-116.
- 朴順基, 金洪箕, 鄭淳柱. 1997. 貝火石 麥飯石 및 바이오세라믹의 混入處理가 벼의 生育에 미치는 影響. 한국유기농업학회지 6, 127-132.
- 박종범. 2003. 애기장대의 종자발아에 미치는 맥반석과 녹차의 중금속제거 효과. 한국환경과학회지 12, 1303-1308.
- 손상복. 2002. 기능성 퇴비가 배추의 생육 특성과 수량 및 품질에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 10, 44-58.
- 임동수. 1997. 맥반석과 황산반토를 이용한 중금속제거에 관한 연구. 조선대학교 산업대학원 석사학위 논문. p. 1-33.
- 진갑덕, 이신용, 이수근. 1986. 맥반석의 유용성에 관한 연구. 자원문제연구 5, 55-68.
- 최대용, 정필균, 엄기태, 박노권, 박수도. 1987. 맥반석에 대한 광물학적 특성과 농업적 활용가능성에 관한 연구. 한국토양비료학회지 20, 199-204.
- 한국잔디연구소. 2001. 올바른 골프장어해
- Abul, M. and K. Azad. 2006. Treatment of water with granular ceramics and alumina through a fluidization system. *J. Appl. Sci.* 6, 1822-1826.
- Aisalbie, J., A.K. Bej, J. Ruburn, N. Lloyd, and A. Wilkins. 2005. Characterization of *Arthrobacter nicotinovorans* HIM, an atrazine-degrading bacterium, from agricultural soil New Zealand. *FEMS Microbiol. Ecol.* 52, 279-288.
- Azad, M.A. and K. Ishikawa. 2003. Treatments of different water using natural minerals and its influence on early plant growth, Komatsuna (*Brassica rapa* L. nothovar). *Environ. Control in Biol.* 14, 311-319.
- Batten, S. 1986. Golf course traffic control: maximizing revenue while protecting the turf. *Sports Turf* 2, 32-38.
- Casayuran, A.E., K. Ishikawa, and T. Yoshimura. 2006a. Effects of quartz porphyry (Bakuhanseki) on soil quality and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) *International J. Food, Agriculture and Environment* 4, 270-275.
- Casayuran, A.E., N. Takeda, and K. Ishikawa. 2006b. Quartz porphyry (Bakuhanseki) as soil amendment in improving soil quality and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *International J. Food, Agriculture and Environment* 4, 252-256.
- Christians, N., Y.K. Joo, and J.H. Lee. 2006. Interpreting soil test for turfgrass. *Korean Turfgrass Sci.* 20, 223-235.
- Douglas, J.T. and C.E. Crawford 1998. Soil compaction effects on utilization of nitrogen from livestock slurry applied to grassland. *Grass Forage Sci.* 53, 31-40.
- Hagedorn, C. and J. Holt. 1975. Ecology of soil Arthrobacters in Clarion-Webster toposequences of Iowa. *Appl. Environ. Microbiol.* 29, 211-218.
- Janssen, P.H. 2006. Identifying the dominant soil bacterial taxa in libraries. *Appl. Environ. Microbiol.* 74, 1719-1728.
- Piao, Z., L. Yang, L. Zhao, and S. Yin. 2008. Actinobacterial community structure in soils receiving long-term organic and inorganic amendments. *Appl. Environ. Microbiol.* 74, 526-530.
- Sills, M.J. and R.N. Carrow. 1983. Turfgrass growth, N use and water use under soil compaction and N fertilization. *Agron. J.* 75, 488-492.

(Received November 24, 2008/Accepted December 23, 2008)

ABSTRACT : Effect of Quartz Porphyry on Growth of Creeping Bentgrass (*Agrostis stolonifera*) and Soil Bacterial Community Structures

Sung-Cheol Koh^{1*}, Jung-Hye Choi¹, Byung-Hyuk Kim², and Sang-Eun Kim³ (¹Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Republic of Korea, ²Environmental Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Daejeon 305-807, Republic of Korea, ³Davistone, Inc., Busan 607-822, Republic of Korea)

Recently there are difficulties in management of golf courses because of an ever increasing demand for golf as a leisure sports. Hence natural minerals as an amendment could be applied to improve and manage the physicochemical properties of the golf course soils in an environment-friendly way. In this study, quartz porphyry, which has been shown to be a good soil amendment for crop production, was tested for its effect on physicochemical properties of the golf course soil, growth of creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*) and changes of soil microbial communities in the soil. In general, amendment of 20% quartz porphyry into the soil turned out to be most effective in enhancing a proper growth of the grass leaves and roots. DGGE profile data showed that eubacterial species richness was also the highest at this level of the mineral treatment in which Actinobacteria and α -Proteobacteria were the dominant phyla. This appeared to be attributed to a low level of soluble organic matter content and decreased concentration of cations such as Ca^{2+} , Mg^{2+} , and K^+ .