

Research Article



CrossMark

Open Access

팽윤 능력이 다른 고흡수성수지(Super Absorbent Polymers)의 혼합 비율별 모래 토양의 물리화학적 변화

김영선^{1,2*}, 김태웅¹, 김윤섭³, 나양호⁴, 이금주^{5*}

¹대구대학교 과학생명융합대학 원예학과, ²대구대학교 자연과학연구소, ³(주)테라그린,
⁴한남대학교 공과대학 화공·신소재공학과, ⁵충남대학교 농업생명과학대학 원예학과/스마트농업학과

Enhancement of Soil Physicochemical Properties by Blending Sand with Super Absorbent Polymers of Different Swelling Capacities

Young-Sun Kim^{1,2*}, Tae-Wooung Kim¹, Yun-Seob Kim³, Yang-Ho Na⁴ and Geung-Joo Lee^{5*} (¹Department of Horticultural Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, ²Institute of Natural Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, ³TerraGreen Co. Ltd., Pyeongtaek 17797, Korea, ⁴Department of Advanced Materials and Chemical Engineering, Hannam University, Daejeon 34430, Korea, ⁵Department of Horticulture and Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea)

Received: 10 March 2023/ Revised: 16 March 2023/ Accepted: 20 March 2023

Copyright © 2023 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Young-Sun Kim
<https://orcid.org/0000-0002-5645-7021>

Tae-Wooung Kim
<https://orcid.org/0009-0005-8937-1901>

Yun-Seob Kim
<https://orcid.org/0009-0001-2353-9055>

Yang-Ho Na
<https://orcid.org/0000-0003-3039-0102>

Geung-Joo Lee
<https://orcid.org/0000-0002-3774-1860>

Abstract

Super absorbent polymers (SAPs) are hydrophilic molecules that can absorb large amounts of water. This study was conducted to investigate the enhancement of the physicochemical properties of sand soil blended with three SAPs imbibed with 100, 150, and 200-fold water. Three treatments were applied, namely, 100SAP, 150SAP, and 200SAP. The three SAPs were blended at concentrations of 0% (control), 3%, 5%, 7%, and 10% with sand.

The pH, electrical conductivity, and cation exchangeable capacity (CEC) of soil blended with the three SAPs were pH 6.35-6.46, 0.09-0.65 dS/m, and 1.42-1.92 cmol_c/kg, respectively, and their capillary porosity, total porosity, and saturated hydraulic conductivity were 21.0-29.3%, 39.2-48.7%, and 272-470 mm/hr. CEC, capillary porosity, total porosity, and saturated hydraulic conductivity of soil were positively correlated with the ratio of the SAPs ($p < 0.01$). These results indicate that blending sand soil with SAPs increased CEC, capillary porosity, and saturated hydraulic conductivity, thus improving the nutrient-retention capacity, water-retention capacity, and permeability of the soil.

* Corresponding author: Young-Sun Kim
Phone: +82-53-850-6715; Fax: +82-53-850-6719;
E-mail: im0sunkim@daegu.ac.kr

* Co-Corresponding author: Geung-Joo Lee
Phone: +82-42-821-5734; Fax: +82-42-821-8888;
E-mail: gjlee@cnu.ac.kr

Key words: Capillary porosity, Cation exchangeable capacity (CEC), Saturated hydraulic conductivity, Super absorbent polymer (SAP)

서론

작물재배에서 수분은 농업생산성을 높이는 가장 중요한 요인이다[1]. 최근 기상이변과 기후변화는 농업적 가뭄의 발생으로 이어져[2] 농업용수의 부족현상을 나타내고[3], 농작물의 생산량과 품질에 많은 영향을 미치므로 작물 재배에서 작물의 생육을 유지하고 생산성을 높이기 위해서는 수분관리가 매우 중요하다[4]. 골프장은 답압의 피해를 감소시키기 위해 모래를 토양으로 이용하고 있어 보수력이 약하여 건조피해가 나타나기 쉬우므로 재배에 필요한 수분관리가 필요하다[5].

일반적으로 골프장의 조성 시 사용하는 모래의 규격과 물리화학적 특성은 미국골프협회(United State Golf Association, USGA)에서 기준을 제안하고 있다[6]. 골프코스는 조성 후 토양내 유기물이 점차 증가하게 되면서[7] 토양의 물리화학적 특성을 개선하기 위한 관리작업이 수행되고 있으나[8], 모래 토양 조성이 불량한 경우 잔디 조성 초와 조성 후 잔디 관리에서 우수한 잔디품질을 유지하는 것을 매우 어렵다[6,9]. 따라서 골프코스에서 잔디품질을 유지하고 관리 효율을 높이기 위해서는 조성 전 USGA 규격에 적합한 모래토양을 선택하여야 한다.

모래토양은 골프코스에서 플레이어나 관리용 장비에 의해 지속적으로 발생하는 답압의 문제를 해결하는데 도움을 준다[10]. 반면에 모래는 보수력이나 보비력이 약하기 때문에 이를 보완하기 위해서는 토양개량제의 사용이 필요하다[11]. 토양개량제는 모래의 물리화학적 특성을 개선하여 잔디 생육을 개선하고, 잔디관리의 효율성을 높인다[6,9,11].

골프장 조성에서 모래에 혼합하는 토양개량제는 펄라이트, 제올라이트, 규조토 등과 같은 무기성 토양개량제와 코코넛코이어, 피트모스, 피트, 부식산 등과 같은 유기성 토양개량제로 구분한다[12]. 토양개량제의 특성에 따라 모래 토양의 물리화학적 특성을 개선하며, 이는 잔디의 초기 생육과 품질에 영향을 미치므로 최적의 토양개량제를 선택하는 것이 필요하다[6].

고흡수성수지(Super Absorbent Polymers; SAP)는 다량의 물을 흡수, 보유하는 성질을 가져 기저귀, 여성생리용품뿐만 아니라 각종 위생용품 등에 널리 보급되어 사용하고 있다[13]. SAP는 상당한 흡수력과 함께 흡수된 용액이 다소의 압력 하

에서도 쉽게 방출되지 않는 특성을 지니고 있으므로 이를 적절히 이용한다면 작물 재배 시 상당한 관수절감효과를 기대할 수 있을 것이다[4,14]. 특히 건조한 환경에서 토양의 수분 보유 능력을 증가시키고 작물이 사용할 수 있는 물의 공급을 조절함으로써 생육 및 활착을 개선하는 것으로 알려져 있다[15].

SAP는 국화(*Chrysanthemum*) 재배에서 처리량에 따라 관수량이 감소하였고[4], 배추(*Brassica rapa* L.)에서는 토양 보수력의 증대로 생육 및 양분 흡수량이 증대되었으며[16], SAP를 상토의 혼용재료로 사용하는 경우 혼합 상토의 보수성이 개선되었다[17]. 이러한 선행연구들을 고려하여 SAP를 골프장의 모래토양에서 토양개량제로 사용하는 경우 토양개량효과를 나타내는 것으로 기대된다. 따라서 본 연구는 SAP의 토양개량제로서의 효과를 평가하기 위해 팽윤 능력이 100배, 150배 및 200배인 SAP를 모래토양에 혼합하여 모래의 물리화학적 특성 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구는 경상북도 경산시 소재의 대구대학교에서 2022년 3~11월까지 9개월간 수행하였다. 시험에 사용한 공시 토양은 USGA규격에는 적합하지 않았으나 조사와 극조사가 60% 이상을 나타내어 스포츠용 잔디 조성에는 사용하기 어려우나 입자가 큰 모래를 다량 함유하여 SAP의 토양개량제로서의 특성을 연구하기에 적합하였다(Table 1). 공시토양의 산도(pH)는 6.58를, 전기전도도(electrical conductivity, EC)는 0.10 dS/m를, 양이온치환용량(cation exchangeable capacity, CEC)은 1.3 cmol_c/kg를, 용적밀도(bulk density)는 1.62 g/cm³를 나타냈다(Table 2). 공시토양개량제는 SAP를 사용하였고, 팽윤 능력은 100배, 150배 및 200배였다(Table 2). SAP의 팽윤 정도에 따라 이화학적 특성 조사에서 pH가 5.67-6.92를, EC는 0.79-2.26 dS/m를, CEC는 92-120 cmol_c/kg를, 용적밀도는 0.92-0.95 g/cm³를 나타냈다.

처리구설정

시험용 혼합 토양을 만들기 위해 105°C로 설정된 건조기(OF-W155, Daihan Scientific, Daegu, Korea)에서 16시간 건조된 시험용 모래에 팽윤된 SAP의 용적밀도를 고려하여 혼합하였다. Kim [6]은 잔디 종류별 생육지수에 따라 0-6% (v/v)의 범위에서 SAP를 이용할 수 있다고 보고하여 SAP 혼용에 따른 토양의 물리화학적 특성에 대한 조사가 필요하였다. 본

Table 1. Particle size distribution of sand used in this study

Item	Particle size (mm)						
	4.00 over	4.00-2.00	2.00-1.00	1.00-0.50	0.50-0.25	0.25-0.15	0.15-0.053
Sand	0%	19.3%	38.4%	28.7%	9.2%	3.7%	0.7%
USGA standard	0%	10% below	60% over		20% below		10% below

USGA: United States Golf Association.

Table 2. Physicochemical characteristics of super absorbent polymer used in this study

Soil amendment	pH (1:5)	EC (dS/m)	CEC (cmol _c /kg)	Bulk density (g/cm ³)
Sand	6.54	0.10	1.32	1.61
100SAP	5.67	0.79	92	0.95
150SAP	5.64	2.26	99	0.93
200SAP	5.92	2.24	120	0.92

EC: electrical conductivity; CEC: cation exchangeable capacity.

Three super absorbent polymers (SAPs) were swelling 100, 150 and 200 folds, and referred to 100SAP, 150SAP, and 200SAP, respectively.

연구에서 SAP의 혼합은 건조된 모래와 각각 0%, 3%, 5%, 7% 및 10%를 균일하게 부피비로 혼합하였고, SAP의 팽윤정도에 따라 100배(100SAP), 150배(150SAP) 및 200배(200SAP)로 구분하였다. 혼합된 토양은 USGA 측정방식에 의거하여 코어(직경 7.5 cm, 높이 10 cm인 아크릴 원통)에 혼합 토양을 넣고 다짐 장치를 이용하여 현장 상태와 유사한 답압 상태의 물리성을 조성하였고, 시험을 수행하였다[18].

함량 비율에 따른 혼합모래토양의 화학성의 변화를 측정하기 위해 pH는 pH meter (Seven Compact pH/ions220, METTLER TOLEDO, Ohio, USA)로, EC는 EC meter (Orion 3 star, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA)로 측정하였고, CEC는 1N-NH₄OA_c 침출법으로 수행하였고, 토양화학분석법에 준하여 분석하였다. 혼합모래토양의 토양물리성 분석은 용적밀도(bulk density), 모세관 공극(capillary porosity), 비모세관 공극(air-filled porosity), 공극

률(total porosity) 및 포화수리전도도(hydraulic conductivity)를 상토의 표준분석법에 준하여 각각 분석하였다.

통계처리는 각 처리구별 물리화학성을 조사한 후 SPSS (ver. 12.1.1, IBM, New York, USA)를 이용하여 Duncan 다중검정을 통해 처리구간 평균값의 유의차를 검정하였고, 단 순상관분석을 통해 SAP 혼합 비율 별 항목간에 대해 상관관계를 조사하였다.

결과 및 고찰

SAP 혼합에 따른 토양의 화학적 특성 변화

SAP가 혼합된 모래 토양의 pH, EC 및 CEC를 조사하였다(Table 3). 100SAP, 150SAP 및 200SAP 처리구의 pH는 각각 6.32-6.54, 6.35-6.54, 및 6.39-6.54의 범위를 나타냈고, SAP의 혼합 후 pH가 감소하였다. 100SAP, 150SAP 및 200

Table 3. Chemical properties in root zone soil after different blending ratio of super absorbent polymer

Treatment ^a		pH (1:5)	EC (dS/m)	CEC (cmol _c /kg)
100SAP	0%	6.54a ^y	0.10a	1.32e
	3%	6.46b	0.09a	1.44d
	5%	6.42b	0.09a	1.55c
	7%	6.41b	0.10a	1.64b
	10%	6.32b	0.09a	1.80a
150SAP	0%	6.54a	0.10c	1.32e
	3%	6.51b	0.63b	1.52d
	5%	6.44bc	0.64ab	1.64c
	7%	6.42cd	0.65a	1.77b
	10%	6.35d	0.65a	1.90a
200SAP	0%	6.54a	0.10b	1.32e
	3%	6.40b	0.63a	1.42d
	5%	6.42b	0.63a	1.57c
	7%	6.42b	0.65a	1.70b
	10%	6.39b	0.65a	1.92a

EC: electrical conductivity; CEC: cation exchangeable capacity.

^aTreatments were as follows; 0% (only sand, sand 100%), 3% (100, 150 and 200SAP 3% + sand 97%; v/v), 5% (100, 150 and 200SAP 5% + sand 95%; v/v), 7% (100, 150 and 200SAP 7% + sand 93%; v/v), 10% (100, 150 and 200SAP 10% + sand 90%; v/v). 100SAP, 150SAP, and 200SAP represent SAPs swelling 100, 150 and 200 folds, respectively.

^yMeans with same letters within a column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ level.

Table 4. Correlation coefficient between mixture ratio of soil amendments and respective soil chemical factor

Treatments ^z	pH	EC	CEC
100SAP	-0.7898**	-0.1843 ^{NS}	0.9915**
150SAP	-0.9143**	0.7600**	0.9773**
200SAP	-0.6070*	0.7496**	0.9839**

EC: Electrical conductivity; CEC: Cation exchangeable capacity.

^zTreatments were as follows; 0% (only sand, sand 100%), 3% (100, 150 and 200SAP 3% + sand 97%; v/v), 5% (100, 150 and 200SAP 5% + sand 95%; v/v), 7% (100, 150 and 200SAP 7% + sand 93%; v/v), 10% (100, 150 and 200SAP 10% + sand 90%; v/v). 100SAP, 150SAP, and 200SAP represent SAPs swelling 100, 150 and 200 folds, respectively.

^{NS}, * and ** represent not significant, and a significance at the 0.05 and 0.01 probability by simple correlation analysis.

SAP 처리구의 EC는 각각 0.09-0.10, 0.10-0.65, 0.65-0.10 ds/m 범위를 나타내어 100SAP 처리구에서는 SAP 처리 후 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 150SAP와 200SAP 처리구는 EC가 증가되었다. 100SAP, 150SAP 및 200SAP 처리구의 CEC는 각각 1.32-1.80, 1.32-1.90 및 1.32-1.92 cmol./kg의 범위를 나타내어 SAP 처리구에서 CEC가 증대되었다. Kim et al. (2009)은 토양개량제의 화학적 특성은 모래와 혼합 시 모래 토양의 화학적 특성에 영향을 미친다고 보고하여 본 연구의 결과와 유사하였다. SAP는 산성의 pH를 나타내어 혼합모래토양의 pH를 감소시켰고, 상대적으로 EC가 낮았던 100SAP 처리구에서는 혼합모래토양에 영향을 미치지

않았으나 EC가 높았던 150SAP와 200SAP 처리구는 EC가 증가하였으며, SAP의 CEC가 높았기 때문에 혼합모래토양의 CEC가 증가한 것으로 판단된다.

SAP의 혼합 비율별 토양화학성의 변화를 조사하기 위해 상관관계를 조사하였다(Table 4). 100SAP 처리구에서는 pH와 CEC는 각각 부의 상관성($p < 0.01$, $R = -0.7898^{**}$)과 정의 상관성($p < 0.01$, $R = 0.9915^{**}$)을 나타냈다. 150SAP 처리구에서는 pH는 부의 상관성($p < 0.01$, $R = -0.9143^{**}$)을, EC와 CEC는 정의 상관성($p < 0.01$, $R_{EC} = 0.7600^{**}$, $R_{CEC} = 0.9773^{**}$)을 나타냈다. 200SAP 처리구는 pH는 부의 상관성($p < 0.05$, $R = -0.6070^{*}$)을, EC와 CEC는 정의 상관성($p < 0.01$, $R_{EC} = 0.7496^{**}$, $R_{CEC} =$

Table 5. Physical properties in root zone soil after different blending ratio of super absorbent polymer

Treatments ^z	Bulk density (g/cm ³)	Capillary porosity (%)	Air-filled porosity (%)	Total porosity (%)	Hydraulic conductivity (mm/hr)	
100SAP	0%	1.62a ^y	20.1c	19.1a	39.1b	223c
	3%	1.61ab	21.0bc	18.2a	39.2b	320b
	5%	1.56b	22.6b	18.6a	41.2b	341b
	7%	1.55b	22.4b	18.9a	41.4b	374ab
	10%	1.48c	25.9a	18.4a	44.3a	418a
150SAP	0%	1.62a	20.1d	19.1a	39.1d	223e
	3%	1.57b	20.8d	20.0a	40.8d	272d
	5%	1.53c	22.9c	19.4a	42.3c	319c
	7%	1.47c	24.7b	20.0a	44.7b	407b
	10%	1.41c	27.5a	19.2a	46.7a	470a
200SAP	0%	1.62a	20.1c	19.1a	39.1c	223d
	3%	1.46b	24.8b	19.9a	44.8b	312c
	5%	1.41c	27.3a	19.6a	46.9a	376b
	7%	1.38c	28.7a	19.3a	47.9a	426ab
	10%	1.36c	29.3a	19.4a	48.7a	462a
USGA standard	-	15-30	15-25	35-55	150-300 300-600	

USGA: United States Golf Association.

^zTreatments were as follows; 0% (only sand, sand 100%), 3% (100, 150 and 200SAP 3% + sand 97%; v/v), 5% (100, 150 and 200SAP 5% + sand 95%; v/v), 7% (100, 150 and 200SAP 7% + sand 93%; v/v), 10% (100, 150 and 200SAP 10% + sand 90%; v/v). 100SAP, 150SAP, and 200SAP represent SAPs swelling 100, 150 and 200 folds, respectively.

^yMeans with same letters within a column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ level.

0.9839**)을 나타냈다. 이 결과를 통해 SAP의 처리는 혼합모래토양의 CEC를 증대시켜 토양의 보비력이 되는 것을 알 수 있었다. Kim et al. [19]은 토양개량제의 CEC가 높은 경우 모래 상토에서의 CEC도 증대된다고 보고하여 본 연구의 결과와 유사한 결과를 나타냈다.

SAP 혼합에 따른 토양의 물리적 특성 변화

SAP 혼합 처리 후 토양의 물리적 특성 변화는 Table 5와 같다. SAP 처리 후 잔디 생육 가능성을 평가하기 위해 혼합모래토양의 물리적 특성을 분석한 결과 모세관 공극, 비모세관 공극, 총공극 및 포화수리전도도는 USGA 규격에 적합하였다. 100SAP, 150SAP 및 200SAP의 용적밀도는 각각 1.48-1.62, 1.41-1.62, 1.36-1.62 g/cm³을 나타내어 SAP의 처리에 따라 용적밀도가 감소하였다. 100SAP, 150SAP 및 200SAP의 모세관 공극은 20.1-25.9, 20.1-27.5, 20.1-29.3%의 범위를 나타냈고, 모든 처리구에서 SAP를 5% 이상 처리한 혼합모래토양

에서 모래처리구보다 증가하였다. 모세관 공극은 토양 중 수분 보유력의 지표가 되므로 SAP의 처리에 의해 토양의 보수성이 개선됨을 알 수 있었다. 100SAP, 150SAP 및 200SAP의 비모세관 공극은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 SAP의 처리가 비모세관 공극에 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 100SAP, 150SAP 및 200SAP의 공극율은 각각 39.1-44.3, 39.1-46.7, 39.1-48.7%의 범위를 나타내 SAP의 처리에 의해 공극율이 증대되었다. SAP의 공극 증대는 SAP 팽윤도에 의해 차이를 나타냈으며, 팽윤도가 높을수록 공극율이 증대되었다. 100SAP, 150SAP 및 200SAP의 포화수리전도도는 각각 223-418, 223-470, 223-462 mm/hr을 나타냈고, SAP의 처리에 의해 증가되어 배수성이 증대되는 것을 확인하였다.

SAP의 처리에 따른 토양의 물리적 특성 변화를 조사하기 위해 SAP 혼합 비율과 물리성 요인 간의 상관관계를 조사하였다(Table 6). 100SAP 처리구에서 용적밀도는 부의 상관성 ($p < 0.01$, $R_{BD} = -0.8814^{**}$)을, 모세관 공극, 총공극 및 포화수리

Table 6. Correlation coefficient between mixture ratio of soil amendments and soil factors

Treatments ^z	BD	CP	AP	TP	HC
100SAP	-0.8814 ^{**}	0.8767 ^{**}	0.2592 ^{NS}	0.8834 ^{**}	0.9134 ^{**}
150SAP	-0.9822 ^{**}	0.9857 ^{**}	-0.3929 ^{NS}	0.9829 ^{**}	0.9761 ^{**}
200SAP	-0.9047 ^{**}	0.9062 ^{**}	-0.0534 ^{NS}	0.9063 ^{**}	0.9346 ^{**}

^zTreatments were as follows; 0% (only sand, sand 100%), 3% (100, 150 and 200SAP 3% + sand 97%; v/v), 5% (100, 150 and 200SAP 5% + sand 95%; v/v), 7% (100, 150 and 200SAP 7% + sand 93%; v/v), 10% (100, 150 and 200SAP 10% + sand 90%; v/v). 100SAP, 150SAP, and 200SAP represent SAPs swelling 100, 150 and 200 folds, respectively. BD: Bulk density; CP: Capillary porosity; AP: Air-filled porosity; TP: Total porosity; HC: Hydraulic conductivity. ^{NS} and ^{**} represent not significant difference and a significance at the 0.01 probability by simple correlation analysis, respectively.

Table 7. Correlation coefficient among each physical factor in root zone soil after different blending ratio of super absorbent polymer

Treatments ^z	Soil factor ^y	CP	AP	TP	HC
100SAP	CP	1.0000 ^{**}			
	AP	0.1302 ^{NS}	1.0000 ^{**}		
	TP	0.9579 ^{**}	0.4086 ^{NS}	1.0000 ^{**}	
	HC	0.8208 ^{**}	0.2019 ^{NS}	0.8101 ^{**}	1.0000 ^{**}
150SAP	CP	1.0000 ^{**}			
	AP	-0.4524 ^{NS}	1.0000 ^{**}		
	TP	0.9865 ^{**}	-0.3007 ^{NS}	1.0000 ^{**}	
	HC	0.9698 ^{**}	-0.3121 ^{NS}	0.9796 ^{**}	1.0000 ^{**}
200SAP	CP	1.0000 ^{**}			
	AP	-0.1801 ^{NS}	1.0000 ^{**}		
	TP	0.9672 ^{**}	0.0754 ^{NS}	1.0000 ^{**}	
	HC	0.8738 ^{**}	0.1016 ^{NS}	0.9116 ^{**}	1.0000 ^{**}

^zTreatments were as follows; 0% (only sand, sand 100%), 3% (100, 150 and 200SAP 3% + sand 97%; v/v), 5% (100, 150 and 200SAP 5% + sand 95%; v/v), 7% (100, 150 and 200SAP 7% + sand 93%; v/v), 10% (100, 150 and 200SAP 10% + sand 90%; v/v). 100SAP, 150SAP, and 200SAP represent SAPs swelling 100, 150 and 200 folds, respectively. ^ySoil factors were follows. CP: Capillary porosity; AP: Air-filled porosity; TP: Total porosity; HC: Hydraulic conductivity. ^{NS} and ^{**} represent not significant difference and a significance at the 0.01 probability level by simple correlation analysis.

전도도는 정의 상관성($p < 0.01$, $R_{CP} = 0.8767^{**}$, $R_{TP} = 0.8834^{**}$, $R_{HC} = 0.9134^{**}$)을 나타냈다. 150SAP 처리구에서 용적밀도는 부의 상관성($p < 0.01$, $R_{BD} = -0.9822^{**}$)을, 모세관 공극, 총공극 및 포화수리전도도는 정의 상관성($p < 0.01$, $R_{CP} = 0.9857^{**}$, $R_{TP} = 0.9829^{**}$, $R_{HC} = 0.9761^{**}$)을 나타냈다. 200SAP 처리구에서 용적밀도는 부의 상관성($p < 0.01$, $R_{BD} = -0.9047^{**}$)을, 모세관 공극, 총공극 및 포화수리전도도는 정의 상관성($p < 0.01$, $R_{CP} = 0.9062^{**}$, $R_{TP} = 0.9063^{**}$, $R_{HC} = 0.9346^{**}$)을 나타냈다. SAP 처리는 토양의 모세관 공극, 총공극 및 포화수리전도도를 증대시켜 토양의 물리성을 개선하는 것으로 판단된다.

SAP의 혼합에 따른 토양물리성의 변화에 미치는 각 요인을 파악하기 위해 SAP 처리구별 혼합모래토양의 물리적 특성 항목간 상관관계를 조사하였다(Table 7). 토양의 공극은 포화수리전도와 정의 상관성($p < 0.01$)을 나타냈고, 토양 총공극은 모세관 공극과 정의 상관관계($p < 0.01$)를 나타냈으나 비모세관 공극과는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이를 종합할 때, SAP 처리는 혼합모래토양의 모세관 공극을 개선하여 총공극 및 포화수리전도도를 증대시키는 것으로 조사되었다.

SAP는 수분의 보유능력이 우수하고 팽윤능력이 우수하기 때문에 토양개량제로 사용하는 경우 토양의 공극을 개선할 수 있고, 토양 내 수분보유능력을 증대시킬 수 있는 것으로 판단된다(Table 6). Kim et al. [19]은 수분보유능력이 우수한 피트모스를 토양개량제로 사용하는 경우 토양의 모세관 공극을 증대시킨다고 보고하여 본 연구와 일치하는 결과를 나타냈다. 토양 내에서 모세관 공극의 증대는 토양의 보수력을 증대시켜 작물에 필요한 수분을 공급함으로써 식물의 생육과 품질을 개선시키는 것으로 알려져 있다[4]. SAP는 토양의 수분보유능력(보수성)을 개선하고[20], 보수성이 증대된 토양에서 잔디의 초기 생장을 촉진하였다[6]. SAP는 토양에서 보수성을 개선하나 식물의 이용은 토양의 종류와 특성에 따라 차이를 나타낼 수 있고[17], 잔디의 생육지수를 고려하여 SAP의 처리량을 고려하여야 한다[6]. 또한 SAP와 함께 처리되는 자재의 종류에 따라 SAP의 잔디의 생육에 미치는 효과는 차이를 나타내므로 잔디의 종류와 특성을 고려하여 SAP의 사용량을 결정하여야 한다. 본 연구에서 SAP는 토양의 공극을 개선하고, 보수력 및 보비력을 개선하는 등 토양개량제로서의 가능성을 나타냈다.

Joo [18]는 USGA에서 제시된 방법으로 토양개량제가 혼합된 모래토양의 토양물리성 측정 결과는 잔디 조성 후 약 3년 정도 경과 후 토양 특성을 나타낸다고 보고하였다. 실내 조사를 통해 제시된 토양 물리성 결과는 잔디의 근권층(지표-지하 5 cm) 아래 토양 특성으로 골프장의 기반토양을 나타낸다[11]. 그러나 잔디가 식재된 후 시간의 경과에 따라 유기물이 축적되어 토양의 물리성은 점점 악화되므로[7] 통기작업과 같은 토양 갱신 작업을 통해 토양의 특성을 유지하도록 관리하고 있다[8]. 본 연구에서 SAP의 처리는 토양의 보수력과 배수성을 개선하는 효과를 나타냈으나 환경적 요인에 의해 증발되거나 잔디가 이용하여 부피가 감소하는 경우 토양 물리성 개선효과는 미미할 수 있으나 골프장 그린 토양은 모래로 조성되어 건

조해가 발생하지 않도록 지속적으로 관수하므로 SAP의 부피 감소는 현장에서 나타나지 않을 것으로 판단된다[5]. SAP를 토양개량제로 처리한 경우 잔디밀도와 생육을 개선하며, 단독 처리보다 다른 토양개량제와 혼용 시 효과가 개선되는 것으로 알려져 있다[6]. 이는 SAP가 수분에 의해 팽윤된 경우 다른 토양개량제에 비해 상대적으로 경도가 약하기 때문에 SAP의 부족한 점을 보완하기 위한 것으로 생각된다[13]. 따라서 SAP 처리 토양에서 잔디 생육의 개선 및 보수력 향상효과에 따른 잔디의 수분스트레스에 대한 저항성 등에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

결론

고흡수성수지(SAP)는 수분흡수능력이 우수한 친수성 유기 합성물질이다. 본 연구는 SAP의 토양개량제로서의 사용가능성을 평가하기 위해 모래 토양과 팽윤능력이 다른 SAP의 혼합 비율별 혼합모래토양의 물리화학적 특성을 조사하였다. 처리구는 SAP의 팽윤능력에 따라 100배 처리구(100SAP), 150배 처리구(150SAP) 및 200배 처리구(200SAP)로 구분하였고, 혼합비율에 따라 0%, 3%, 5%, 7% 및 10% 처리구(v/v)로 구분하였다. SAP 혼합모래토양의 pH, EC 및 CEC는 각각 6.35-6.46, 0.09-0.65 dS/m, 1.42-1.92 cmol_c/kg를 나타냈다. SAP 처리구의 모세관 공극, 비모세관 공극 및 포화수리전도도는 각각 21.0-29.3%, 39.2-483.7% 및 272-470 mm/hr을 나타냈다. SAP의 혼합비율과 CEC, 모세관 공극, 총공극 및 포화수리전도도는 정의 상관성($p < 0.01$)을 나타냈다. 상기 결과들을 종합할 때, SAP의 처리는 모래토양의 CEC, 모세관 공극, 총공극 및 포화수리전도도를 개선하여 토양의 보비력, 보수력 및 배수성을 개선하는 것을 확인하였다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Rho SY, Kwak KS (2021) Development of growth indicators of sorghum for the application of digital agriculture in field food crop. *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, 16(6), 1243-1252. <https://doi.org/10.34163/jkits.2021.16.6.012>.
2. Yu M, Cho Y, Kim TW, Chae HS (2018) Analysis of drought propagation using hydrometeorological data: From meteorological drought to agricultural drought. *Journal of Korean Water Resources Association*, 42(10), 825-843. <http://doi.org/10.3741/JKWRA.2018.51.3.195>.
3. Ahn SR, Park GA, Kim SJ (2013) Assessment of agricultural water supply capacity using MODSIM-DSS

- coupled with SWAT. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(2), 507-519. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.2.507>.
4. Kwon YH, Oh SY, Yang SH, Kong SM, Na YH, Rhie YH (2022) The growth *Chrysanthemum morifolium* according to the mixing ratio of superabsorbent polymer. *Flower Research Journal*, 30(4), 166-171. <https://doi.org/10.11623/frj.2022.30.4.01>.
 5. Lee SK (2012) Irrigation frequency for Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*) growth. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 26(2), 123-128.
 6. Kim KN (2014) Effect of polymer, calcium, perlite and chitosan in organic amendment on growth in Kentucky bluegrass. *Weed and Turfgrass Science*, 3(1), 19-28. <https://doi.org/10.5660/WTS.2014.3.1.19>.
 7. Huh KY, Ko BG (2008) Organic matter dynamic on golf course greens. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 36(3), 21-28.
 8. Han JJ, Choi SM, Lee KS, Park YB, Bae EJ (2016) Improvement of growth and soil environment by top-dressing and tillage in Zoysiagrass (*Zoysia japonica*) cultivation field. *Weed and Turfgrass Science*, 5(3), 165-169. <https://doi.org/10.5660/WTS.2016.5.3.165>.
 9. Kweon DY, Lee JH, Lee DI, Joo YK (2005) Turfgrass establishment of USGA putting greens related with soil physical properties. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 19(2), 95-102.
 10. Tae HS, Kim YS, Ko SK (2000) Effect of soil amendments at heavy traffic area in golf course. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture*, 27(5), 107-113.
 11. Ok CH, Anderson SH, Ervin EH (2004) Amendments and construction systems for improving the performance sand-based putting greens. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 18(3), 149-163.
 12. Lee SB, Kim YS, Ham SK, Lim HJ, Choi YC, Park KH (2013) Effect of soldier fly casts mixed soil on change of soil properties in root zone and growth of zoysiagrass. *Weed & Turfgrass Science*, 2(3), 298-305. <https://doi.org/10.5660/WTS.2013.2.3.298>.
 13. Park SB (1994) Characteristics of super absorbent polymer and state of the art. *Mochae Konghak*, 22(1), 91-112.
 14. Choi JM, Wang HJ, Lee JS (2005) Effect of incorporation level of polyacrylic acid sodium salt of changes in physical properties of root media. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(4), 481-487.
 15. Akhter J, Mahmood K, Malik KA, Mardan A, Ahmad M, Iqbal MM (2004) Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant, Soil and Environment*, 50(10), 463-469. <https://doi.org/10.17221/4059-PSE>.
 16. Lee GR, KimYJ, Chun JH, Lee MK, Ryu DK, Park SH, Chung SO, Park SU, Lim YP et al. (2014) Variation of glucosinolate contents of 'Sinhongssam' grown under various light sources, periods, and light intensities. *Korean Journal of Agricultural Science*, 41(2), 125-133. <https://doi.org/10.7744/cnujas.2014.41.2.125>.
 17. Wang HJ, Choi JM, Lee JS (2005) Effect of incorporation rate of polyacrylamide hydrogel on changes in chemical properties of root media. *Journal of Bio-Environment Control*, 14(3), 190-195.
 18. Joo YK (1993) The measurement of soil conditioning effects of organic materials. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 7(1), 13-18.
 19. Kim YS, Ham SK, Lim HJ (2010) Change of soil physicochemical properties by mixed ratio of 4 types of soil amendments used in golf course. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 24(2), 205-210.
 20. Yun TK, Son YH, Park JS, Kim DG (2016) Changes in soil water content and drainage characteristics with superabsorbent polymers amendment. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 58(3), 47-56. <http://dx.doi.org/10.5389/KSAE.2016.58.3.047>.