

RESEARCH ARTICLE

월드컵 주경기장의 켄터키 블루그래스 잔디밭에서 천연잔디와 하이브리드 잔디의 엽색지수, 엽록소 함량 및 잔디품질

박원규¹ · 조찬호² · 송기완² · 김경남^{3*}

¹서울월드컵경기장 운영처 조경팀, ²삼육대학교 대학원 환경원예학과, ³삼육대학교 과학기술대학 환경디자인원예학과

Turfgrass Color Index, Chlorophyll Content, and Turf Quality between Natural and Hybrid Turfgrasses in *Poa pratensis* L. of Seoul Worldcup Soccer Field

Won-Kyu Park¹, Chan-Ho Cho², Ki-Wan Song², and Kyoung-Nam Kim^{3*}

¹Seoul Metropolitan Installation Management Corporation, Seoul Worldcup Stadium, Seoul 03932, Korea

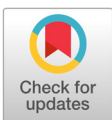
²Department of Environmental Horticulture, Graduate School, Sahmyook University, Seoul 01795, Korea

³Department of Environmental Design and Horticulture, College of Science and Technology, Sahmyook University, Seoul 01795, Korea

Abstract

The study was initiated in Kentucky bluegrass (KB, *Poa pratensis* L.) to compare natural and hybrid turfgrasses and to provide basic information on hybrid turfgrass applicable to sports turf maintenance. Three treatments were comprised of 2 hybrid-type turfgrasses (HTG-A and HTG-G) as well as a natural turfgrass (NTG). HTG-A and HTG-G hybrid turfgrasses were established with KB cultivars imported from USA and Germany, respectively. The highest ratings in turfgrass color index were associated with NTG in winter between late January and late February, while HTG-A in spring between early March and early May. Ranking for chlorophyll content was variable in season. The highest content was associated with HTG-A in the spring transition (late February to early May) and in summer (middle July to early September), while HTG-G in fall (early September to late October). NTG plots, however, produced the highest content in other evaluation dates of the year. Turfgrass quality varied according to the time of year. Generally, NTG showed the best quality ratings from January to February and in mid to late November. During the other evaluations, however, plots in hybrid-type turfgrasses produced better quality than those of natural turf, being HTG-A > HTG-G > NTG in rank. Slow spring green-up and rapid deterioration in summer turf performance were observed with HTG-G as compared with HTG-A. From our study turfgrass performance was inconsistent among three NTG and HTG treatments according to the time of year. Practically HTGs showed better performance in summer season than NTG. Among two hybrid-type turfgrasses, HTG-A with KB cultivars from the USA was better than HTG-G with KB cultivars from Germany due to greater environmental adaptation to the Korean climate.

Key words: Chlorophyll content, Hybrid turfgrass, Kentucky bluegrass, Turf color index, Visual turfgrass quality



OPEN ACCESS

***Corresponding Author:**

Tel) +82-2-3399-1731

Fax) +82-2-3399-1741

E-mail) knkturf@syu.ac.kr

Received: December 02, 2022

Revised: December 18, 2022

Accepted: December 19, 2022

© 2022 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 언

국내 월드컵 경기장은 2002년 월드컵 축구대회를 성공적으로 개최한 이후 20년이상 경과되고 축구 경기는 물론 다양한 문화행사 등에 이용되면서 잔디그라운드 상태가 점점 악화되고 있다(Cho et al., 2021). 국가대표 홈구장으로 A-매치 경기가 많이 열리는 서울 상암 월드컵 경기장은 월드컵축구대회 전후로 잔디그라운드 품질을 제일로 하는 운영 컨셉에 따라 잔디밭 품질에 큰 문제가 없었다. 하지만 서울시 시설공단 산하의 공공 체육 시설인 상암구장은 월드컵대회 이후 수익성 극대화를 위해 축구 전용 구장에 부적절한 다양한 문화행사를 허용하면서 시설 노후화와 함께 잔디그라운드 상태가 점점 불량해지고 있다(Choi, 2017).

잔디그라운드 품질을 악화시키는 대표적인 요인 중 하나는 답압스트레스이다(Korea Sports Science Institute, 1998). 축구장에서 그라운드에 가해지는 답압의 분포는 골에어리어 지역과 중앙의 센터 서클 지역이 가장 심하게 나타난다(Shim and Jo, 1985). 또한 Ahn (2010)은 선수들의 경기 내용을 분석결과 중앙지역으로 가장 많은 공격을 시도하고, 볼을 가장 많이 점유하는 지역은 좌우 골에어리어 지역이라고 보고하였다. 즉 축구 경기에서 선수들의 공수 전환 시 나타나는 패턴으로 인해서 불균일하게 나타나는 답압 가중, 디벗 발생, 평탄성 저하 등은 그라운드의 품질을 저하시키는 주요 인 중 하나이다. 경기장 관리의 핵심은 잔디 개체 성장 보다는 전체 잔디밭을 균일하게 성장 시켜 잔디밭 밀도를 높게 유지하는 것이 중요하기 때문이다(Kim, 2013b).

잔디그라운드의 품질 저하는 종종 A-매치와 같은 중요한 경기에서 만족스럽지 못한 결과로 나타나고 있다. 축구 선수들의 개선 사항 중 하나는 최적의 기량 발휘를 위해 잔디그라운드의 평탄성 개선이다(Choi, 2017). 왜냐하면 현대 공격축구에서 잔디밭 지표면이 불균일한 경우 그라운드의 평탄성 저하로 볼 컨트롤 및 스피드 조절이 쉽지 않고 볼 구름 방향을 예측할 수 없어 선수들의 기량 발휘에 상당히 불리한 요소가 될 수 있기 때문이다(Kwon, 2022; Lim, 2021, 2022).

경기장에서 평탄성 문제를 해결하기 위한 방법 중 하나는 디벗 발생을 최소화 시키는 것이다. 이러한 디벗 피해 감소를 위한 대책으로 내구성이 강한 인조잔디 또는 하이브리드 잔디 필요성이 검토되고 있다(Yoon et al., 2010). 인조잔디는 1950년대 청소년의 야외 체육활동에 도움을 주고자 개발되기 시작하였으며, 오늘날 인조잔디는 1960년대 초반 내구성이 강한 polypropylene 계통의 합성 섬유 재질로 제조한 'Chemgrass'의 인조잔디가 제조되면서 사용하기 시작하였다(Morehouse, 1992).

인조잔디는 AstroTurf, Grass Sport 500, Omniturf, Superturf 등 다양한 제품 형태로 사용되었지만, 공통적으로 천연잔디에 비해 잔디밭 표면이 거칠고 부상 가능성이 크며 그라운드의 지표면 온도가 크게 증가하는 단점이 있다(Meyers and Bamhill, 2004; Morehouse, 1992). 즉, 인조잔디 조성 시 잔디밭 내구성은 우수하지만, 잔디밭의 기능 및 심미적 측면의 대부분의 특성은 천연잔디에 비해 상당히 떨어진다. 따라서 이러한 인조잔디의 단점을 보완하기 위해 천연잔디와 인조잔디의 장점을 결합한 하이브리드 잔디 시공방법이 개발되면서 오늘날 미국 및 유럽의 축구장에 잔디밭 조성 시 천연잔디 조성과 함께 하이브리드 잔디식재 방법도 활용되고 있다(Yoon et al., 2010).

국내에서도 디벗 피해 최소화 및 답압스트레스로 인한 생육 저하 문제를 해결하기 위한 개선 대책 중 하나로 천연잔디에 인조잔디를 식재하는 하이브리드 잔디 시공 방법이 최근 주목받고 있다(Kwon, 2022). 하이브리드 잔디는 기존의 천연잔디 또는 인조잔디 단독으로 조성하는 방식 대신, 이 두가지 종류의 잔디를 혼합해서 식재하는 경우를 의미한다(Anonymous, 2022). 즉 하이브리드 잔디시공은 인조 잔디 위에 천연잔디를 파종함으로 지하부 뿌리 조직의 연결력을 높이는 방식으로 거친 태클에도 쉽게 뽑히지 않고 디벗 발생이 감소하면서 전체적인 잔디밭 내구성이 향상되어 해외 선진국 경기장에서 이용되고 있다(Kwon, 2022; Park, 2019).

일반적으로 하이브리드 잔디의 시공방법은 잔디밭 식재면의 대부분을 천연잔디로 조성하되 5-20% 정도의 인조잔디를 네트 스타일로 혼합해서 조성하는 방식으로 직접 현장에 시공하는 방식인 설치형과 잔디 묘포장에서 인조잔디 매트 에 파종 및 재배 후 축구장으로 이식하는 방식인 뗏장 스타일의 카페트 방식이 있다(Anonymous, 2022). 국내 월드컵경기장에서조차 최상의 잔디그라운드 품질을 유지하기 위해 지속적인 잔디생육 환경 개선 노력과 함께 하이브리드 잔디 도입 등 선진 기술을 적극 검토하고 있다(Park, 2019).

이러한 하이브리드 잔디 식재 기술은 디벗 발생 감소와 지표면의 평탄성 유지 등 이론적으로 우수한 장점이 있다. 하지만, 초기 조성 비용이 많이 소요되고, 잔디 색상 및 품질의 균일도 저하, 잔디밭 관리 시 갱신 및 배토작업의 어려움과 함께 하중이 있는 승용식 관리 장비 사용에 제한이 있을 수 있다. 또한 잔디밭은 초종에 따라 주형생장형의 잔디부터 포복·지하경형 잔디까지 줄기 생장이 다양하기 때문에(Beard and Beard, 2005; Hanson et al., 1969), 실무 현장에서 잔디 초종별 검정이 필요하다. 즉 해외에서 잔디관리 기술을 도입 시 기상 환경이 다른 우리나라 기후 조건에서 실무 검증을 통해 적응성 여부를 체계적으로 확인할 필요가 있다.

국내에서도 최근 하이브리드 잔디밭 조성에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있지만 경기장 관련 잔디 연구는 대부분 천연잔디 위주로 진행되어 왔다(Bae et al., 2012, 2016; Han et al., 2017; Kim, 2015; Kim and Kim, 2020; Kim and Shim, 2003; Kim et al., 1998, 2003a, 2003b; KOWOC, 2000; Lee, 2016; Lee et al., 2001; Shim, 1996; Shim and Jeong, 2002; Yoon et al., 2010). 따라서 국내 실무 검정을 위해서는 기존에 사용하던 천연잔디와 하이브리드 잔디를 체계적으로 비교한 연구가 필요하다. 본 연구는 국내 월드컵 경기장의 대표 초종인 켄터키 블루그래스 잔디밭에 하이브리드 잔디 조성 후 잔디엽색, 엽록소 함량 및 품질을 조사하여 천연잔디와 하이브리드 잔디의 성능을 비교해서 실무 현장에 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

식재재료

본 실험은 서울 월드컵 경기장의 잔디예비포장(70×30 m)에서 시작하였다. 잔디포장의 지반은 USGA 지반구조로 식재층(30 cm), 중간층(5 cm) 및 배수층(10 cm)으로 조성하였다. 식재재료는 천연잔디와 하이브리드 잔디로 3종류의 처리구를 준비하였다. 처리구 1은 하이브리드 잔디 처리구(HTG-A)로 전세계에서 많이 사용하는 원산지가 미국인 켄터키 블루그래스(*Poa pratensis* L.) 종자를 구입(Taesung Afforestation Industry Co. Ltd., Sungnam, Kyunggi-do, Korea)해서 조성하였다(Table 1). 처리구 2도 하이브리드 잔디 처리구(HTG-G)이지만 유럽지역에서 많이 사용하는 원산지가 독일인 켄터키 블루그래스 종자를 구입(Green Power Plant, Siheung, Kyunggi-do, Korea)해서 조성하였다. 처리구3은 인조잔디를 전혀 혼합하지 않은 100% 천연잔디 처리구(NTG)로 서울 월드컵 주경기장과 동일한 미국에서 도입한 켄터키 블루그래스로 조성하였다.

잔디밭은 2018년 8월 조성하였는데 하이브리드 잔디 시공은 잔디 포지의 지표면을 정리 후 부직포를 깔고, 부직포 위에 매트형의 인조잔디를 포설 후 모래로 4 cm 정도 복토를 실시하였다. 파종은 인조잔디 포설 후 8월 하순 식재재료 처리구 1-3에 알맞게 각각 준비한 미국산 및 독일산 종자를 15 g m² 기준으로 파종하였다. 잔디 종자 파종 후에는 종자가 덮이도록 0.5 mm 정도 복토 후 차광막으로 피복을 하였다.

Table 1. Turfgrass composition, cultivars, origin and seeding rate for treatments in the study.

| No. | Treatment | ID | Turfgrass composition | Cultivars | | Seeding rate (g·m ⁻²) |
|-----|---------------|-------|--|---|---------|--------------------------------------|
| | | | | Name | Origin | |
| 1 | Hybrid turf-A | HTG-A | Kentucky bluegrass + mat-type artificial turf | 'After Midnight', 'Jump Start' 'Moonlight', 'Prosperity' | USA | 15 |
| 2 | Hybrid turf-G | HTG-G | Kentucky bluegrass + mat-type artificial turf | 'Cocktail', 'Limousine' 'Rubicon', 'Yvette' | Germany | 15 |
| 3 | Natural turf | NTG | Kentucky bluegrass | 'After Midnight', 'Jump Start' 'Moonlight', 'Prosperity' | USA | 15 |

잔디관리

잔디포장의 관리는 월드컵 경기장에 준하는 수준으로 관리하였다. 파종 후 초기 조성단계에서 관수는 자동 스프링클러를 이용하여 일평균 1-3회, 1회 3 mm 정도 수분을 공급하였다. 예초는 잔디생장 속도에 따라 승용식 5쟁 릴모어 장비(LF3800, JACOBSEN, Salt Lake City, UT, USA)를 이용해서 22-30 mm 사이에서 실시하였다. 잔디밭 시비는 순수 질소 성분 기준으로 연 20 g N m⁻²으로 관리를 하였다.

생육특성

천연잔디와 하이브리드 잔디 조성 후 처리구간 잔디생육 특성을 비교하기 위해 엽색, 엽록소 함량 및 잔디밭 품질을 연중 조사하였다. 잔디생육 조사는 2019년 1월부터 12월까지 주 1회 기준으로 조사해서 각 처리구당 4반복 평균값을 비교하였다.

잔디엽색은 엽색측정기(FieldScout TCM500 NDVI Turf Color Meter, Spectrum Technologies, Inc., Aurora, IL, USA)로 잔디 엽색지수를 측정해서 평가하였다. 이 때 측정방법은 Chang et al. (2009)의 조사방법을 참조하였다. 잔디 엽록소 측정은 엽록소 측정기(Field Scout CM1000™ Chlorophyll Meter, Spectrum Technologies, Inc, Aurora, IL, USA)를 이용해서 단위 면적당 상대적인 엽록소 함량을 조사하였다. 엽록소 측정방법도 Chang et al. (2009)의 조사방법을 참조해서 측정하였다.

잔디밭 품질 조사는 잔디생육 상태와 관계가 있는 엽색, 질감, 균일도, 평탄성 등을 종합적으로 고려하여 잔디밭에서 자주 사용하고 있는 가시적 평가방법을 이용해서 1-9점 사이에서 평가하였다(Skogley and Sawyer, 1992). 이 때 켄터키 블루그래스로 조성한 서울 월드컵 경기장에서 보통 만족할 수준으로 유지되고 상태의 잔디 품질을 6점 기준으로 평가(visual quality rating, 1-9; 1=poorest, 6=acceptable, 9=best)하였다.

통계분석

시험구 배치는 3종류의 식재재료 처리구를 난괴법 4반복으로 배치하였으며, 처리구 하나의 단위 실험구는 1 m×1 m 이었다. 통계분석은 SAS (Statistical Analysis System) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석을 실시하였다(SAS Institute, 2001). 이 때 처리구간 유의성 검정은 DMRT (Duncan's Multiple Range Test) 5% 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

잔디엽색지수

잔디엽색지수는 처리구에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 실험기간 중 전체 처리구 1-3의 평균 잔디엽색은 2/21일 최저 4.77에서 5/2일 최고 6.75 사이로 계절에 따라 다양하게 나타났다(Fig. 1). 전체 처리구의 잔디엽색 평가 점수가 가장 낮은 시기는 2월 중순-3월 하순 사이로 나타났으며, 가장 높게 나타난 시기는 5월 초순에 나타났다.

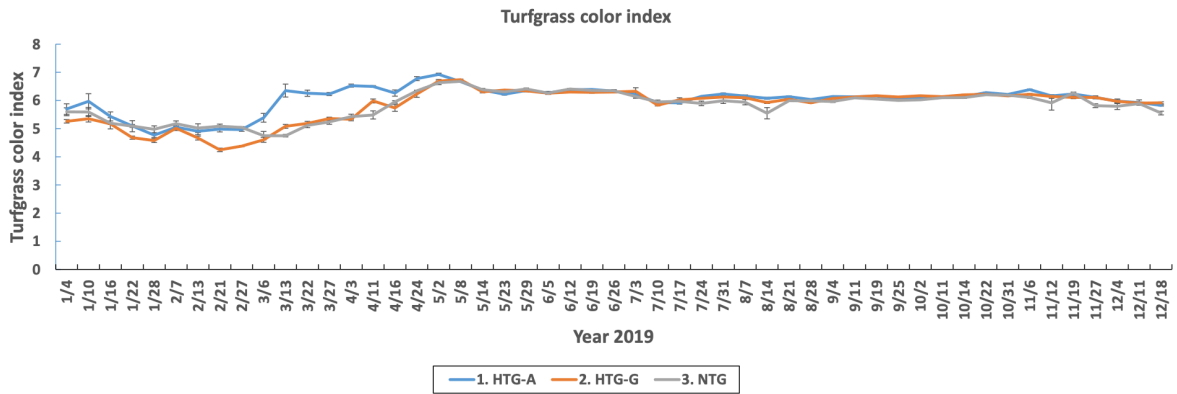


Fig. 1. Turfgrass color index as affected by natural and hybrid turfgrasses in Kentucky bluegrass during the study. Turfgrass color evaluation was made from January to December in 2019 with TCM 500 Turf Color Meter (Spectrum Technologies, Inc., Aurora, IL, USA). Turfgrass composition and cultivars for HTG-A, HTG-G and NTG treatments are described in Table 1.

잔디엽색을 조사하기 시작한 초기 단계인 1월 하순부터 2월 하순 사이 가장 우수한 처리구는 천연잔디인 NTG 처리구(처리구3)로 엽색 점수가 4.98-5.18 사이로 엽색 평가 점수가 4.25-5.05 사이로 나타난 하이브리드 잔디에 비해 높게 나타났다. 잔디엽색 점수는 3월 초순부터 증가하기 시작하였다. 한지형 잔디의 spring green-up이 시작되는 3월부터 5월 초순 사이 잔디엽색이 가장 높게 평가된 처리구는 미국산 켄터키 블루그래스로 조성한 HTG-A(처리구1)이었다. 3/13일 조사 시 잔디엽색 평가 점수는 하이브리드 잔디인 HTG-A 및 HTG-G(처리구2)의 경우 각각 6.35 및 5.08로 나타났고, 천연잔디인 NTG(처리구3)는 4.75로 나타났다.

한지형 잔디에 하고현상 피해가 나타나는 여름 고온기인 8월 한달 처리구간 잔디색상은 하이브리드 잔디로 조성한 HTG-A 및 HTG-G 처리구가 천연잔디인 NTG 처리구보다 높게 나타났다. 즉 한여름 고온기인 8/14일 평가 시 미국산 HTG-A 및 독일산 HTG-G 처리구는 각각 6.08 및 5.93으로 천연잔디 NTG 처리구의 5.55보다 높게 나타났다.

본 실험에서 TCM 500 엽색 측정기로 조사한 켄터키 블루그래스 전체 처리구 평균의 연중 잔디엽색지수 평가점수 범위는 4.77-6.75 사이로 나타났다. 이러한 결과는 다른 연구에서 동일한 엽색 측정기로 켄터키 블루그래스의 잔디 색상을 조사한 평가 점수인 5.93-6.51 범위와 비교 시 다소 차이가 나타나는 것이었다(Chang et al., 2009). 이러한 차이는 본 실험의 경우 엽색 지수 평가를 1월부터 12월까지 연중 50회 정도 조사한 데이터이지만, Chang et al. (2009)의 연구는 계절적으로 한지형 잔디 생육이 양호한 11월 하순 1회만 켄터키 블루그래스 품종간 차이를 조사한 데이터를 보고했기 때문에 나타난 결과로 판단되었다.

본 연구를 통해 나타난 전체 처리구의 잔디엽색지수 경향은 하이브리드 잔디식재와 이 때 사용한 켄터키 블루그래스의 원산지에 따라 계절별로 유의한 차이가 나타났다. 즉 잔디 엽색은 동절기 1월 하순부터 2월 하순 사이에는 천연 켄터키 블루그래스 잔디, 3월 초순-5월 초순 사이에는 미국산 켄터키 블루그래스로 식재한 하이브리드 잔디의 엽색이 더 짙은 색상으로 나타났다. 하지만 나머지 기간에는 천연잔디와 하이브리드 잔디 처리구간 차이가 나타나지 않았다.

잔디 엽록소

잔디 엽조직의 엽록소 함량은 계절에 따라 처리구간 유의한 차이가 다양하게 나타났다. 전체 처리구의 평균 잔디 엽록소 함량은 2/13일 최저 107.5에서 5/29일 최고 474.9로 처리구간 차이가 크게 나타났으며, 연중 계절에 따라 천연잔디와 하이브리드 잔디 처리구간 우열 관계가 다르게 나타났다(Fig. 2). 엽록소 함량이 가장 낮게 나타난 시기는 동절기 1-2월 사이로 이때 전체 처리구 평균 엽록소 함량은 107.5-180.2 사이로 나타났다. 반대로 잔디엽록소 함량이 가장 높게 나타난 시기는 5월 하순-6월 하순 사이로 전체 처리구 평균 엽록소 함량은 395.9-474.9 사이로 나타났다.

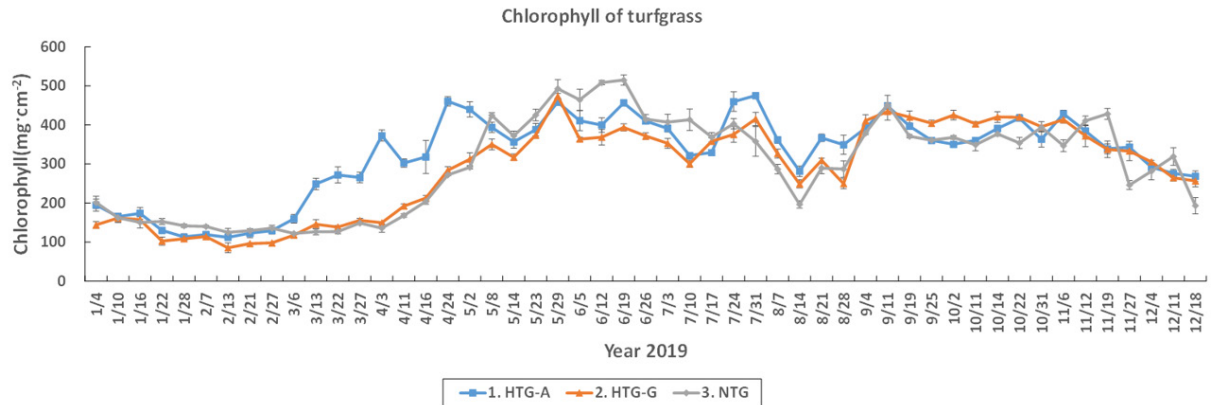


Fig. 2. Turfgrass chlorophyll as affected by natural and hybrid turfgrasses in Kentucky bluegrass during the study. Turfgrass chlorophyll content was measured from January to December in 2019 with CM 1000 Chlorophyll Meter (Spectrum Technologies, Inc., Aurora, IL, USA). Turfgrass composition and cultivars for HTG-A, HTG-G and NTG treatments are described in Table 1.

이러한 결과는 켄터키 블루그래스의 생육특성과 관련이 있는 것으로 판단되었다. 한지형 계통인 켄터키 블루그래스 잔디는 생육적온이 15-24°C 사이로 일장이 점점 길어지는 5-6월의 최적의 온도 조건에서 가장 왕성한 생장을 하며, 반대로 연중 일장이 가장 짧은 12월 하순 동지를 지나면서 대기 온도가 가장 낮은 한겨울 1월부터 2월 사이 기간에 잔디생장이 가장 저조한 편이다(Turgeon, 2005).

하이브리드 잔디와 천연잔디의 엽록소 데이터를 비교하면 1/4일부터 2/27일 까지 2개월간 엽록소 함량은 천연잔디인 NTG 처리구가 124.8-201.5 사이로 하이브리드 잔디 처리구보다 양호하게 나타났다. 하지만 2월 하순부터 5월 초순까지 이른 봄에는 미국산 켄터키 블루그래스 품종으로 조성한 HTG-A 하이브리드 잔디 처리구의 엽록소 함량이 129.3-460.8 사이로 가장 높게 나타났다.

5월 하순부터 9월 초순까지 이 기간에는 NTG 천연잔디와 HTG-A 미국산 하이브리드 잔디가 우수하였는데 시기에 따라 우열 관계가 다소 다르게 나타났다. 즉, 5/29부터 7월 중순 사이 엽록소 함량의 우열 관계는 NTG > HTG-A > HTG-G 처리구 순서로 나타났지만, 7/24부터 8월 하순까지 엽록소 함량은 HTG-A > HTG-G > NTG 처리구 순서로 나타났다. 또한 가을 9월 초부터 10/31일까지 기간에는 원산지 독일산 켄터키 블루그래스 품종으로 조성한 HTG-G 하이브리드 잔디 처리구의 엽록소 함량이 395.3-434.5 사이로 가장 양호하였다.

본 실험에서 이른 봄 잔디생장이 정상적으로 시작된 이후 처리구간 엽록소 함량 차이가 크게 나타난 것은 여름 고온기를 전후해서이다. 고온기 이전 6월 초순부터 7월 중순 까지 기간에는 천연잔디인 NTG 처리구가 HTG-A 및 HTG-G 하이브리드 잔디 처리구보다 엽록소 함량이 높게 나타났다. 즉 6/19일 엽록소 함량은 NTG 처리구의 평가 점수가 515.0으로 가장 높았고, 반면 미국산 및 독일산 하이브리드 잔디인 HTG-A 및 HTG-G 처리구는 각각 456.5 및 393.8로 이보다 적

게 나타났다. 하지만 한지형 잔디의 하고현상이 나타나는 여름 고온기인 7월 하순-8월 중순 사이에는 천연잔디의 엽록소 함량이 가장 낮게 나타났다. 8/14일 조사 시 하이브리드 잔디인 HTG-A와 HTG-G 처리구의 엽록소 함량은 각각 281.3 및 248.8로 나타났지만, 천연잔디인 NTG 처리구의 엽록소 함량은 196.5로 하이브리드 잔디에 비해 낮게 나타났다.

여름 고온 기간에 NTG 천연잔디의 엽록소 함량이 가장 적게 나타난 것은 고온으로 인해 한지형 잔디의 광합성 작용이 감소하면서 생육 저하 및 잔디밀도 감소로 나타난 것으로 판단되었다. C₃ 식물인 켄터키 블루그래스는 동절기를 지나 이른 봄에 온도가 10°C 이상으로 상승하면서 광합성 속도가 증가하고, 잔디생장이 왕성해지면서 15-24°C 조건에서 최적의 생장을 한다(Beard and Beard, 2005). 하지만 25°C 이상의 고온 환경에서는 광호흡 속도가 빨라지면서 탄수화물 소비량이 크게 증가하고, 결국 광합성 효율이 상당히 저하될 수 있다. 즉 광합성 효율 저하로 체내 물질대사 기능이 감소하면서 식물체내 엽록소 생산량은 감소할 수밖에 없다(Salisbury and Ross, 1992).

잔디품질

잔디 품질도 하이브리드 잔디 조성 유무와 하이브리드 잔디 조성 시 사용한 켄터키 블루그래스의 원산지에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 전체 처리구 평균의 잔디품질 평가 점수는 1/28일 최저 1.93에서 6/12일 최고 8.00 사이로 다양하게 나타났다(Fig. 3). 잔디품질 평가 점수가 연중 가장 낮은 시기는 1월 하순-3월 초순 사이였으며, 가장 높은 시기는 6월 초순-6월 하순 사이에 나타났다.

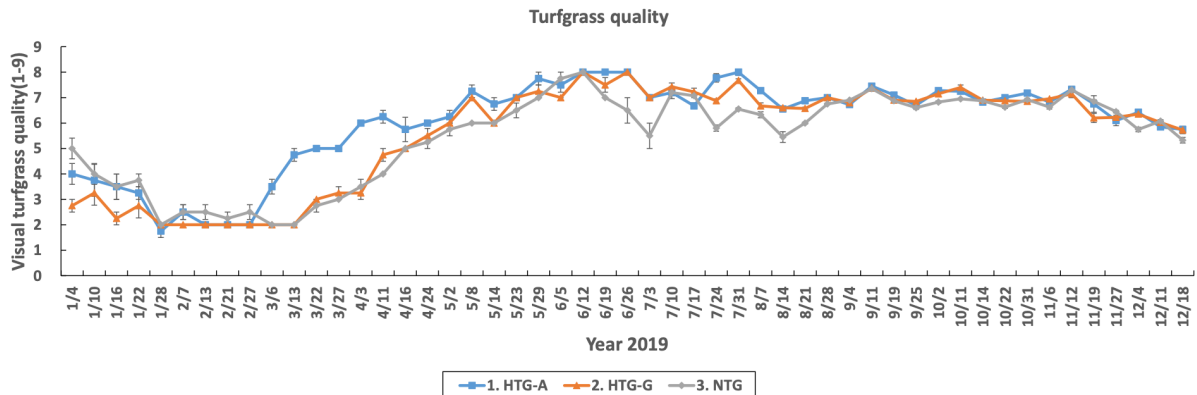


Fig. 3. Turfgrass quality as affected by natural and hybrid turfgrasses in Kentucky bluegrass during the study. Turfgrass quality evaluation was made from January to December in 2019 with a visual rating of 1 to 9 scale (1=poorest, 6=acceptable and 9=best quality). Turfgrass composition and cultivars for HTG-A, HTG-G and NTG treatments are described in Table 1.

동절기 1월부터 2월까지 가시적으로 평가한 잔디품질 평가 점수는 천연잔디인 NTG 처리구가 2.0-5.0 사이로 하이브리드 잔디 처리구인 HTG-A 및 HTG-G의 평가점수 1.8-4.0 보다 높게 나타났다. 국내에서 한지형 잔디의 spring green-up이 시작되는 3월부터 늦가을 11월 중순까지 잔디 품질 평가점수는 전반적으로 하이브리드 잔디로 조성한 HTG-A 및 HTG-G 처리구의 잔디 품질이 천연잔디인 NTG 처리구에 비해 양호한 경향으로 나타났다.

본 실험에서 비교 분석한 하이브리드 잔디 중 미국산 품종으로 조성한 HTG-A 처리구가 독일산 하이브리드 잔디인 HTG-G 처리구에 비해 전반적으로 품질이 우수한 것으로 나타났다. 이른 봄 3월 초순부터 5월 하순 사이 미국산 HTG-A 처리구의 평가 점수는 3.5-7.8 사이로 나타났지만, 독일산 HTG-G 처리구의 평가 점수는 2.0-7.0 사이로 미국산 하이브리드 잔디보다 낮게 나타났다. 특히 국내에서 한지형 잔디의 하고 현상 피해가 자주 나타나는 한여름 고온기인 7월 하순-8월 초순 사이에 독일산 켄터키 블루그래스 품종으로 조성한 하이브리드 잔디는 잔디 품질이 급격하게 떨어지는 것으로

나타났다. 즉 7/24일 조사 시 독일산 HTG-G 평가점수는 6.9로 미국산 HTG-A의 평가점수 7.8보다 더 낮게 나타났다. 이러한 결과는 국내 기후 조건에 비해 온화한 환경에서 개량된 독일산 켄터키 블루그래스 종자로 조성한 HTG-G 처리구의 경우 독일보다 평균 최고 기온이 더 높은 우리나라에서는 여름 고온기에 한지형 잔디에 나타나는 하고 현상으로 인해 환경 적응력이 크게 떨어짐으로, 이로 인해 잔디 품질이 급격하게 저하되기 때문에 나타난 결과로 판단되었다(Kim et al., 1998).

여름 하고 현상 시기를 지나 한지형 잔디의 가을 생장이 시작되는 8월 하순부터 11월 중순까지 잔디품질 평가 결과는 여름 고온기 이전에 나타난 처리구간 차이만큼 큰 차이가 나타나지 않았다. 이 기간 잔디 품질의 우열관계는 HTG-A, HTG-G > NTG 처리구 순서로 나타났다. 그리고 11/19 조사 시 독일산 HTG-G 처리구의 잔디품질 평가점수는 6.2로 가장 낮았고, 천연잔디인 NTG 처리구와 미국산 HTG-A 처리구의 평가점수는 각각 6.9 및 6.8로 독일산 하이브리드 잔디에 비해 평가점수가 더 높게 나타났다.

본 연구를 통해 연중 잔디엽색, 엽록소 함량 및 잔디품질은 1-2월에 비해 3월 초순부터 전반적으로 크게 증가하기 시작하였다. 이는 한지형 잔디의 경우 생육적온이 15-24°C 이기 때문에 계절적으로 최저 온도가 영하로 내려가는 12월부터 신초 출현 및 잔디생장이 저조함으로 동절기 1월-2월 사이 기간에는 식생 변화가 거의 없지만, 이른 봄 기온 상승과 함께 잔디의 성장속도가 빠르게 진행됨으로 나타난 결과로 판단되었다(Fry and Huang, 2004).

이른 봄 녹화는 켄터키 블루그래스 품종의 원산지에 따라 녹화 정도가 다르게 나타났다. 국내에서 한지형 잔디의 spring green-up은 동절기를 지나면서 3월 전후 시작되는데(Kim, 2013a), 본 실험에서 3월 초순부터 5월 초순까지 기간에 잔디품질은 미국산 하이브리드 잔디인 HTG-A 처리구의 품질이 가장 높게 나타났다. 4/11 조사 시 잔디품질 우열관계는 미국산 HTG-A > 독일산 HTG-G > 천연잔디 NTG 처리구 순서로 나타났다. 즉 국내 기후 조건에서는 온화한 환경조건에서 개량 육성된 독일산 켄터키 블루그래스 품종보다는 여름과 겨울의 온도 차가 크게 나타나는 대륙성 기후대인 미국에서 육성한 켄터키 블루그래스 품종이 더 적합하다고 할 수 있다. 2002년 월드컵축구대회 이후 잔디전문 종자회사를 통해 수입해서 국내에 사용되고 있는 미국산 켄터키 블루그래스 잔디는 우리나라 기후조건에서 잔디환경 적응력에 문제가 없어 골프장, 경기장 및 공원 등에 많이 활용되고 있다(Han et al., 2017; Kim, 2015; Kim et al., 2003a, 2003b; Lee, 2016; Shim and Jeong, 2002; Shim et al., 2000).

식물생장에 중요한 엽록소 함량은 기본 핵심 물질대사 작용인 광합성과 밀접한 관계가 있다. 본 실험에서 처리구 전체의 평균 엽록소 함량은 2월 하순 120.9에서 5월 하순 474.9 사이로 계절별로 엽록소 함량이 354 정도로 크게 차이가 나타났다. 고등식물에서 엽록소 함량은 유전적인 특성, 환경 및 관리 수준에 따라 차이가 나타날 수 있다(Salisbury and Ross, 1992). 국내에서 동일한 관리조건에서 한지형 잔디의 엽록소 함량을 조사한 결과 그 우열관계는 톨 웨스큐(*Festuca arundanacea* Shreb.) > 퍼레니얼 라이그래스(*Lolium perenne* L.) > 켄터키 블루그래스 > 크리핑 벤트 그래스(*Agrostis palustris* L.) 순서로 나타나고 있으며, 또한 동일한 초종에서도 품종 및 계절별로 다르게 나타나고 있다(Chang et al., 2009, 2010; Koo et al., 2015). 또한 CM 1000 측정기로 이른 봄 잔디 생육기에 측정한 크리핑 벤트그래스 및 켄터키 블루그래스의 엽록소 함량은 잔디관리 시 사용한 비료 종류에 따라 각각 181.9-347.7과 41.2-451.7 사이로 다양하게 나타나는 것으로 보고되고 있다(Koo et al., 2015).

본 실험에서 비교 분석한 하이브리드 잔디 중 독일산 HTG-G 처리구는 전반적으로 미국산 HTG-A 처리구에 비해 품질이 떨어지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 국내 기후와 독일의 기상 환경이 다르기 때문에 나타나는 것으로 판단되었다. 북반구에서 독일은 우리나라보다 북쪽에 있기 때문에 7-8월 여름 고온기 평균 최고 기온이 3-5°C 정도 낮아 상대적으로 서늘한 편으로 한지형 잔디의 하고 현상으로 나타나는 피해가 국내에 비해 적은 편이다(Kim et al., 1998). 또한 동절기 1-2월에는 평균 최저 기온이 3-5°C 정도 높아 한지형 잔디의 연중 잔디 품질이 우리나라보다 양호하며 세계질 푸른 잔디도 가능하다(Kim, 1998). 하지만 독일과 기후 조건이 다른 국내에서 재배 및 관리할 경우 잔디품질 및 잔디발 환경적응력이 다르게 나타날 수 있다. 이와 같은 분석은 국내에서 1990년대 후반 2002년 월드컵축구대회를 유치하면

서 사계절 푸른 잔디목적으로 남부지역의 학교 운동장에 도입된 독일 잔디가 조성 후 초기단계에는 잔디품질이 양호하였지만, 여름 고온기를 지나면서 잔디 품질이 급격하게 저하되어 보급에 실패한 사례를 통해서도 확인되고 있다(Kim, 1998).

본 실험에서 하이브리드 잔디 조성 유무에 따른 처리구간 유의적인 차이가 크게 나타난 시기는 6월 중순부터 8월 중순 사이였다. 이 기간에 천연잔디인 NTG 처리구의 잔디 품질 평가 점수는 하이브리드 잔디인 HTG-A 및 HTG-G 처리구에 비해 낮게 나타났다. 7/3일 조사 시 미국산 HTG-A 및 독일산 HTG-G 처리구는 모두 7.0으로 나타났지만, 천연잔디인 NTG 처리구는 5.5로 나타났다. 또한 8/14 조사 시 하이브리드 잔디인 HTG-A 및 HTG-G 처리구의 평가 점수는 똑같이 6.6으로 나타났고, NTG 처리구는 이보다 낮은 5.5로 나타났다. 여름 고온기에 하이브리드 잔디가 천연잔디보다 적응력이 양호하게 나타난 이유는 천연잔디에 인조잔디가 혼합 식재되어 있기 때문에 하고현상 피해로 나타나는 잔디밭 밀도 감소가 천연잔디보다 상대적으로 적게 나타나기 때문에, 즉 상대적으로 잔디밀도 증가 효과가 나타나기 때문이라 판단되었다(Kwon, 2022).

종합적으로 본 연구를 통해 하이브리드 잔디 조성 후 연중 전체 잔디 적응력을 비교 시 천연잔디와 하이브리드 잔디 간에 그 차이가 일정하지 않았고, 계절에 따라 처리구간 우열 관계가 다르게 나타났다. 실무적으로 하이브리드 잔디 시공은 여름 고온기 하고현상으로 인해 한지형 잔디 피해가 나타나는 여름철 7-8월에 가장 큰 효과가 나타났다. 이는 하이브리드 잔디 식재 시 5-20% 정도의 인조잔디 섬유조직이 천연잔디의 뿌리 활착력을 향상시켜주면서, 천연잔디에 비해 하고현상으로 인한 잔디밀도 감소가 적어 고온기 잔디밭 환경 적응력이 상대적으로 더 양호하게 나타나는 것으로 판단되었다.

최근 국내에 도입 되고 있는 하이브리드 잔디밭 조성 시 잔디적응력은 전반적으로 유럽에서 주로 사용되고 있는 독일산 품종보다는 원산지가 미국인 켄터키 블루그래스 잔디 품종을 사용하는 것이 더 양호하게 나타나는 것으로 나타났다. 왜냐하면 독일산 켄터키 블루그래스로 식재 조성한 하이브리드 잔디의 경우 잔디색상이 연한 녹색으로 이는 국내 잔디밭 색상 기호도측면에서 다소 떨어지며, 이른 봄 녹화 지연과 함께 여름 고온기에 잔디 적응력이 상당히 불량하게 나타날 수 있기 때문이다.

하지만, 본 실험을 수행한 연구 포장은 경기 진행 및 답압 가중 등의 실제 경기장과 동일한 환경 조건이 아니기 때문에 향후 하이브리드 잔디 관련 추가 연구를 통해 국내 기후 조건에서 지상부 생육, 뿌리 발달, 디벗 피해, 회복속도, 투수 속도, 볼 스피드, 볼 바운드, 관리 수준 등의 특성을 포함해서 종합적으로 하이브리드 잔디 품질 및 환경적응력에 대한 검증 후 사용하는 것이 적절하다고 판단되었다.

요 약

본 연구는 USGA 모래 지반의 켄터키 블루그래스 잔디밭에 하이브리드 잔디 조성 후 잔디생육 특성 및 품질을 조사하여 천연잔디와 하이브리드 잔디의 성능을 비교 분석해서 스포츠용 잔디관리 실무에 활용하고자 실시하였다. 실험 재료는 미국산 켄터키 블루그래스 종자로 조성한 하이브리드 잔디(HTG-A), 독일산 켄터키 블루그래스로 조성한 하이브리드 잔디(HTG-G), 그리고 천연 켄터키 블루그래스 잔디(NTG) 3처리구를 준비하였다. 처리구간 생육차이를 비교하기 위해서 잔디엽색, 엽록소 함량 및 잔디품질을 1주 간격으로 연중 조사하였다. 하이브리드 잔디 시공에 따른 잔디생육 특성은 처리구에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 잔디 엽색은 동절기 1월 하순부터 2월 하순 사이에는 천연 켄터키 블루그래스 잔디, 3월 초순~5월 초순 사이에는 미국산 켄터키 블루그래스 하이브리드 잔디가 양호하였다. 잔디 엽록소 함량은 하이브리드 잔디인 HTG-A 및 HTG-G 처리구와 천연잔디인 NTG 처리구간 우열관계가 연중 계절에 따라 다르게 나타났다. 즉 미국산 HTG-A 처리구는 spring greenup이 진행되는 2월 하순부터 5월 초순까지, 그리고 여름 고온기인 7월 중순부터 9월 초순 사이, 그리고 독일산 HTG-G 처리구는 9월 초순부터 10월 하순까지 2달 정도 가장 높게

나타났다. 하지만 나머지 기간에는 천연잔디인 NTG 처리구의 엽록소 함량이 가장 높게 나타났다. 잔디 품질도 천연잔디와 하이브리드 잔디 처리구간 우열관계가 계절에 따라 일정하지 않았다. 일반적으로 동절기 1-2월과 11월 중·하순의 잔디품질은 천연잔디인 NTG 처리구가 가장 우수하였다. 하지만 나머지 기간에는 천연잔디에 비해 하이브리드 잔디의 품질 평가 점수가 높게 나타났지만, 독일산 HTG-G 보다 미국산 HTG-A 처리구의 잔디 품질이 더 양호한 경향으로 나타났다. 특히 독일산 하이브리드 잔디는 미국산 하이브리드 잔디에 비해 spring green-up이 더디게 나타나며 여름 고온기 7월 하순-8월 초순 사이에 잔디품질이 현저하게 떨어졌다. 본 연구를 통해 하이브리드 잔디 조성 후 연중 전체 잔디 적응력을 비교 시 천연잔디와 하이브리드 잔디 간에 그 차이가 일정하지 않았고, 계절에 따라 처리구간 우열 관계가 다르게 나타났다. 최근 도입이 검토되고 있는 하이브리드 잔디의 적응력은 유럽에서 많이 사용하고 있는 독일산 켄터키 블루그래스 품종보다는 미국산 켄터키 블루그래스 품종으로 조성한 하이브리드 잔디가 더 양호한 것으로 나타났다. 하지만, 본 실험을 수행한 잔디연구 포장은 경기 진행 및 답압 가중 등의 실제 경기장과 동일한 조건이 아니기 때문에 향후 하이브리드 잔디 관련 추가 연구를 통해 지상부 생육, 뿌리발달, 디벗 피해 및 회복속도, 투수속도, 볼 스피드, 볼 바운드, 관리수준 등 하이브리드 잔디 적응력에 대한 종합 검정 후 사용하는 것이 적절하다고 판단되었다.

주요어: 엽록소 함량, 하이브리드 잔디, 켄터키 블루그래스, 잔디엽색지수, 가시적 잔디품질

Authors Information

Won-Kyu Park, Seoul Worldcup Stadium, Seoul Metropolitan Installation Management Corporation, Turfgrass Manager

Chan-Ho Cho, Department of Environmental Horticulture, Graduate School, Sahmyook University, Master

Ki-Wan Song, Department of Environmental Horticulture, Graduate School, Sahmyook University, Master Student

Kyoung-Nam Kim, Department of Environmental Design and Horticulture, College of Science and Technology, Sahmyook University, Professor

References

- Ahn, J.S. 2010. A study on enhancing match performance through analyzing the K league's and the EPL's ball possession in each zone and attack direction. Kor. Coaching Development Center 12(3):17-23. (In Korean)
- Anonymous. 2022. Hybrid grass guide: The uses, benefits and maintenance explained. <http://sispitches.com/products/hybrid-pitch-sisgrass> (Accessed June 1. 2022).
- Bae, E.J., Han, J.J., Choi, S.M., Lee, K.S., et al. 2016. H₂O₂ pretreatment modulates growth and the antioxidant defense system of drought-stressed zoysiagrass and Kentucky bluegrass. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 34:383-395. (In Korean)
- Bae, E.J., Lee, K.S., Huh, M.R. and Lim, C.S. 2012. Silicon significantly alleviates the growth inhibitory effects of NaCl in salt-sensitive 'Perfection' and 'Midnight' Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) Hort. Environ. Biotechnol. 53:477-483.
- Beard, J.B. and Beard, H.J. 2005. Beard's turfgrass encyclopedia for golf courses, grounds, lawns and sports fields. Michigan State Univ. Press. East Lansing, MI, USA.
- Chang, T.H., Lee, Y.S. and Jeong, B.R. 2009. Quality evaluation for some cultivars in cool season turfgrass. Kor. Turf. Sci. 23:295-306. (In Korean)

- Chang, T.H., Park, S.Y., Kang, J.Y. and Lee, Y.S. 2010. Spring greenup on cool season turfgrass cultivars and species in spring. *Kor. Turf. Sci.* 24:50-55. (In Korean)
- Cho, C.H., Park, W.K., Lee, S.M., Kim, S.E., et al. 2021. Growth characteristics in Kentucky bluegrass affected by natural light intensity, heating system and hybrid turfgrass in Seoul World Cup Stadium. *Proc. Kor. Turf Soc. Conf.*, Jan. 28, 2021. pp. 115-116. (In Korean)
- Choi, Y.J. 2017. Good morning, turfgrass in Sangam Worldcup Stadium news on August 25, 2017. Available via <http://news.jtbc.joins.com> (Accessed March 1. 2022). (In Korean)
- Fry, J. and Huang, B. 2004. *Applied turfgrass science and physiology*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ, USA.
- Han, S.W., Soh, H.S., Choi, B.R., Won, S.Y., et al. 2017. Effect of cool-season grass overseeding on turf quality, green period and turf density in zoysiagrass lawn. *Weed Turf. Sci.* 6:333-344. (In Korean)
- Hanson, A.A., Juska, F.V. and Burton, G.W. 1969. Species and varieties. *Agron. Monogr.* 14:370-409. In: Hanson, A.A. and Juska, F.V. (Eds.), *Turfgrass science*. ASA, Madison, WI, USA.
- Kim, K.N. 1998. The selection and development of athletic turfgrass. *Environ. Landscape Architecture Kor.* 122:118-127. (In Korean)
- Kim, K.N. 2013a. Comparison of color quality, winter color, and spring green-up among major turfgrasses grown under three under three different soil systems. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31:257-268. (In Korean)
- Kim, K.N. 2013b. *STM series III: Turfgrass establishment*. 2nd ed, Sahmyook Univ. Press, Seoul, Korea. (In Korean)
- Kim, K.N. 2015. Comparison of underground root growth characteristics of major cool-season grasses according to establishment stages in sports turf designed by USGA soil system. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33:166-176. (In Korean)
- Kim, K.N. and Kim, S.E. 2020. Growth characteristics and infiltration rate in Kentucky bluegrass, perennial ryegrass and tall fescue grown under California soil system in soccer field. *Weed Turf. Sci.* 9:399-413. (In Korean)
- Kim, K.N. and Shim, S.R. 2003. Comparison of soil surface hardness, soil compaction, and infiltration rate of warm-season and cool-season grasses grown under athletic field soil systems. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:991-997. (In Korean)
- Kim, K.N., Choi, J.S. and Nam, S.Y. 2003a. Turf performance of warm-season grass and cool-season grass grown in multi-layer system, USGA System and mono-layer system for athletic field. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:539-544. (In Korean)
- Kim, K.N., Park, W.K. and Nam, S.Y. 2003b. Comparison of establishment vigor, uniformity, rooting potential and turf quality of sods of Kentucky bluegrass, perennial ryegrass, tall fescue and cool-season grass mixtures grown in sand soil. *Kor. J. Turfgrass Sci.* 17:129-146. (In Korean)
- Kim, K.N., Shim, S.R., Yoon, P.S., Han, S.K. et al., 1998. Sports turf recommendation for soccer field with investigation of athletic fields in Japan, Germany, and USA. *J Nat Sci. Sahmyook Univ.* 3(3):51-60. (In Korean)
- Koo, J.H., Heo, H.J., Kim, Y.S., Yun, J.H., et al., 2015. Application of organic fertilizer preparation for increasing of coverage and growth of cool season turfgrasses. *Weed Turf. Sci.* 4:268-277. (In Korean)

- Korea Sports Science Institute. 1998. Establishment and maintenance of turfgrass ground. Dongweonsa, Seoul, Korea. (In Korean)
- Korean World Cup Organizing Committee (KOWOC). 2000. Comprehensive project report on the establishment of the turfgrass ground of 2002 world cup soccer stadium. Kor. Organizing Committee for the 2002 FIFA World Cup-Korea/Japan, Seoul. p. 306. (In Korean)
- Kwon, S.H. 2022. The first domestic hybrid turf in Seoul Worldcup Soccer Field: Reduced the intensity of divot damage. News on March 24, 2022. <http://news.jtbc.joins.com> (Accessed June 15, 2022).
- Lee, S.K. 2016. Potassium rate and mowing height for Kentucky bluegrass growth. Weed Turf. Sci. 5:268-273. (In Korean)
- Lee, J.P., Kim, S.J., Seo, H.Y., Han, I.S. et al., 2001. The effect of shade net on summer stress of cool-season turfgrass. Kor. J. Turf. Sci. 15:51-64. (In Korean)
- Lim, C.Y. 2021. Introducing the first domestic hybrid turfgrass in Seoul Worldcup Stadium. News on October 4, 2021. <http://www.asiae.co.kr/article> (Accessed May 27, 2022). (In Korean)
- Lim, M.N. 2022. The first domestic hybrid turf at a home game to FC Seoul in Seoul Worldcup Stadium. Online: News on March 16, 2022. <http://www.yna.co.kr/view> (Accessed May 30, 2022). (In Korean)
- Meyers, M.C. and Barnhill, B.S. 2004. Incidence, causes, and severity of high school football injuries on field turf versus natural grass. Am. J. Sports Medicine 32:1626-1638. (In Korean)
- Morehouse, C.A. 1992. Artificial turf. Agron. Monogr. 32:89-127. In: Waddington, D.V., Carrow, R.N. and Shearman, R.C. (Eds.), Turfgrass. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA.
- Park, W.K. 2019. New challenges and innovations at Seoul Worldcup Stadium. Proc. Kor. Turf. Soc. Conf., Jan. 28, 2019. pp. 51-93. (In Korean)
- Salisbury, F.B. and Ross, C.W. 1992. Plant physiology. 4th ed., Wadsworth Publishing Company. Belmont, CA, USA.
- SAS Institute, Inc. 2001. SAS/STAT user's guide: Statistics, Version 8.00, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA.
- Shim, S.R. 1996. Characteristics, uses, and establishment method of cool-season grasses of four-season green color. The Environ. and Landsc. Archit. Kor. 97:148-153. (In Korean)
- Shim, S.R. and Jeong, D.Y. 2002. Turfgrass selection for soccer fields -A simulation of the Incheon 2002 world cup stadium-. J. Kor. Inst. Landscape Architecture 30:88-94. (In Korean)
- Shim S.R. and Jo, D.B. 1985. A study on the distribution of trampling frequency on the athletic turf of soccer field. J. Kor. Inst. Landscape Architecture 13(1): 123-130. (In Korean)
- Shim, S.R., Jeong, D.Y. and Kim, K.N. 2000. Planting foundations and turfgrass species adapted to grounds. J. Kor. Inst. Landscape Architecture 28(2):61-70. (In Korean)
- Skogley, C.R. and Sawyer, C.D. 1992. Field research. Agron. Monogr. 32:589-614. In: Waddington, D.V., Carrow, R.N. and Shearman, R.C. (Eds.), Turfgrass. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA.
- Turgeon, A.J. 2005. Turfgrass management. 7th ed., Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Yoon, J.H., Lee, J.P., Kim, D.H., Park, S.M. and Lee, S.K. 2010. Species selection for composite turfgrass. Kor. Turfgrass Sci. 24:62-66. (In Korean)