

USGA 지반에 켄터키 블루그래스 조성 시 파종량 차이가 지상부 잔디생장 및 지하부 뿌리발달에 미치는 효과

김경남*

삼육대학교 과학기술대학 환경디자인원예학과

Effects of Seeding Rates on Top Growth and Root Development in Establishing Kentucky Bluegrass under the USGA Soil System

Kyoung-Nam Kim*

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

*Corresponding author: knkturf@syu.ac.kr

Abstract

This research was initiated to investigate the effects of seeding rates on top and root growth characteristics in Kentucky bluegrass (KB, *Poa pratensis* L.) under the USGA (United States Golf Association) soil system and to provide practical information on proper KB seeding rates. Treatments were comprised of the following five seeding rates: VLS ($6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), LS ($9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), MS ($12 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), HS ($15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) and VHS ($18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$). Each treatment was replicated four times in a randomized complete block design. Visual turfgrass color, turf quality and root growth were measured from May to December in 2009. These growth characteristics varied with seeding rate and increased with month after seeding (MAS). Evaluation in the establishment phase indicated that the best color was associated with VHS until 3 MAS, but with HS after that. The turf quality rating score was greatest with VHS until 5 MAS, but with HS after that. Data on root growth, however, showed opposite responses as compared with those of top growth characteristics. During the study, the lower the seeding rate, the longer the root length. Therefore, the best root growth performances were associated with LS and VLS, while HS and VHS, in which the seeding rate was over $15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, showed poor performances. In the first-year establishment phase, optimum seeding rates in KB are between 15 and $18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ in regards to turfgrass color and quality. However, in terms of root growth, they are in the range of 6 to $9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. Further data analysis in a mature-phase will be a practical necessity for the best turfgrass quality and sustainable performance on high-quality sports turf design, construction and management.

Additional key words: *Poa pratensis*, root length, sand-based soil system, turfgrass color, turfgrass quality

Received: February 3, 2022

Revised: May 1, 2022

Accepted: May 16, 2022

 OPEN ACCESS



HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY
41(2):153-163, 2023
URL: <http://www.hst-j.org>

pISSN : 1226-8763
eISSN : 2465-8588

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright©2023 Korean Society for Horticultural Science.

서 언

USGA(United States Golf Association) 지반은 미국골프장협회에서 그린용으로 개발한 모래 지반으로 미국 및 유럽에서 골프장 및 경기장에 많이 사용하고 있는 지반이다(Cockerham, 1994). 켄터키 블루그래스(*Poa pratensis* L.)는 온도가 15–24°C 사이에서 최적의 생장을 하며, 봄과 가을 서늘할 때 왕성하게 자라는 초종으로 중부지방에서 연중 녹색 유지 기간이 한국 잔디(*Zoysia japonica* Steud.)에 비해 3–4개월 정도 더 긴 장점이 있다(Kim, 2005). 또한 시각적으로 잔디밭 품질이 우수하고, 종자 파종이 가능해서 조성 후 잔디밭 표면의 평탄성이 양호하며, 지상부 잔디조직이 부드러워 관상용 및 스포츠 잔디밭 조성에 적합하다(Shim, 1996).

종자 파종은 영양 번식 방법에 비해 식재 비용과 인력 투입이 적게 요구되기 때문에 공원 및 골프장 조성과 같은 대단위 면적의 잔디밭 식재에 적합하다(Turgeon, 2005). 화분과 단자엽 식물인 켄터키 블루그래스로 잔디밭 설계 및 시공 시 파종량은 성공적인 잔디밭 조성에 대단히 중요한 요소이다(Kim, 2012). 화분과 작물 파종 시 종자 파종량이 적은 경우 잡초 출현 및 피복도 저하 등으로 인해 식생 품질이 불량해질 수 있다(Schadlich, 1986). 반대로 잔디밭 조성 시 파종량이 너무 많은 경우 단기적으로 잔디 녹화가 빠르고 피복이 촉진되면서 시공 초기 잔디 밀도가 높게 나타나지만, 장기적으로 뿌리발달이 불량해질 수 있다(Cho et al., 2005).

켄터키 블루그래스로 잔디밭 조성 시 종자 파종량은 미국에서는 3.5–10g·m⁻²(Beard and Beard, 2005; Turgeon, 2005), 국내에서는 5–15g·m⁻²(Kang et al., 2014; Korean World Cup Organizing Committee, 2000) 사이로 다양하게 보고되고 있다. 또한 국내 원예 및 조경 실무 현장에서는 잔디밭 설계 및 시공단계에서 초기 피복율을 높이기 위해 켄터키 블루그래스 파종 시 권장 파종량 이상으로 밀파하는 경향이 강하다(Kim, 2013). 즉 국내에서 관상용과 스포츠용 한지형 잔디 중 실무적으로 가장 많이 활용되고 있는 켄터키 블루그래스에 대한 적정 파종량에 대한 검증이 필요하다.

관행적으로 국내 실무 현장에서 잔디밭 조성 시 초기 시공 단계인 첫째 잔디피복, 잔디밭 밀도 및 초기 녹화를 위해 지상부 생장 위주의 밀파, 즉 15–20g·m⁻² 사이 고파종량을 사용하는 경우가 많다. 하지만 이러한 밀파 작업은 초기 잔디밭 피복이 빨리 이루어지기 때문에(Shim and Jeong, 1999), 잔디밭 조성이 완료된 성숙단계에서는 오히려 고밀도 잔디밭이 되면서 광선 등의 경합으로 인해 전체적인 잔디 생육이 부진해질 수 있다. 즉 켄터키 블루그래스 종자 파종 후 파종량 차이에 따른 조성단계 및 계절에 따라 잔디생장과 뿌리발육 특성에 대한 연구가 필요하다. 또한 실무에서 켄터키 블루그래스 잔디밭 완공 후 사람 출입과 이용, 그리고 장비 사용 등으로 인해 답압이 가해지는 현실을 고려해서 전체 잔디밭의 내구성도 고려해서 파종량을 판단할 필요가 있다.

잔디밭 시공 및 관리의 핵심은 잔디개체보다는 전체 잔디밭 집단의 생장을 균일하게 유지하는 것이 중요하다. 따라서 잔디밭 조성 시 종자 파종 후 파종량에 따른 지상부 엽조직의 생장과 지하부 뿌리발육 등의 특성을 파악하는 것은 잔디색상, 품질 및 내구성 등 실무 현장에서 중요하다. 국내에서 켄터키 블루그래스를 이용한 연구 발표는 2002년 월드컵 축구대회 개최 전후로 활발해지고 있다(Shim and Jeong, 1999; Korean World Cup Organizing Committee, 2000; Lee et al., 2001; Shim and Jeong, 2002; Kim et al., 2003; Kim and Park, 2003; Kim, 2005; Bae et al., 2012; Park, 2012; Kim et al., 2013; Lee, 2016; Lee et al., 2018; Kim, 2022). 하지만 정식 규격의 USGA 모래지반에서 켄터키 블루그래스를 체계적으로 수행한 연구결과는 많지 않으며, 잔디밭 지반을 약식으로 조성하거나 소규모 트레이 수준에서 실시한 연구가 대부분이다(Shim and Jeong, 2002; Kim and Park, 2003; Kim et al., 2003; Kim, 2005). 또한 한지형 잔디 종자 파종 시 적정 파종 한계량을 구명하기 위한 연구도 충분하지 않다(Cho et al., 2005; Kim and Shim, 2009).

본 연구는 USGA 모래 지반으로 연구포장을 조성 후 켄터키 블루그래스 종자를 다양한 수준으로 파종 후 1년간 잔디엽색 및 품질 등의 지상부 생장과 지하부 뿌리발달의 생육 특성을 계절별로 파악해서 켄터키 블루그래스 조성 시 지상부 및 지하부 뿌리발달에 적합한 파종량을 파악하고자 시작하였다.

재료 및 방법

공시 초종과 파종량

본 연구는 월드컵주경기장에 조성한 USGA 지반의 잔디연구포장에서 실시하였다. 잔디연구포장의 지반조성 시 사용한 골재는 배수층(10cm)에 6-9mm 규격의 콩자갈이 65% 이상 포함된 자갈을 사용하였으며, 중간층(5cm)에는 입경 1-4mm 규격의 왕사가 90% 이상인 모래를 포설하였다. 그리고 식재층(30cm)에는 USGA스펙에 적합한 모래를 이용하였다 (Cockerham, 1994).

USGA 지반 조성 후 2009년 4월 중순 파종한 켄터키 블루그래스(*Poa pratensis* L.)의 파종량은 잔디종묘회사의 실무 현장 추천량인 $12-15\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 을 참조(Taesung Afforestation, 2012)해서 $6-18\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 사이로 전체 5 수준의 처리구를 준비해서 파종하였다. 즉 처리구1은 파종량이 $6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 초저파종 처리구(VLS), 처리구2는 파종량이 $9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 저파종 처리구(LS), 그리고 처리구3은 파종량이 $12\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 중파종 처리구(MS)이었다. 이 밖에 처리구4는 파종량이 $15\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 고평파종 처리구(HS)였고, 처리구5는 파종량이 $18\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 초고파종 처리구(VHS)이었다.

본 실험에 사용한 켄터키 블루그래스 품종(Courtyard, Excursion, Midnight II, Prosperity)은 국내 및 해외에서 사용하고 있는 종류로 국내잔디전문 종자회사(Taesung Afforestation Industry Co., Ltd., Sungnam, Kyonggi, Korea)를 통해 확보하였다. 이 때 종자는 예비실험을 통해 80% 이상의 발아율을 확인 후 양질의 종자를 사용하였다. 잔디연구포장의 관수관리는 자동 관수 장치를 이용해서 주 3-5회, 1회 3-4mm 기준으로 적용하였다. 잔디밭 예초는 주 3회 정도, 20-23mm 사이의 예기로 실시하였다. 시비관리는 다양한 잔디전용비료(18-3-18, 20-3-20, 21-2-21 등)를 이용하여 순수 질소성분 기준으로 연간 $20\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 을 적용하였다.

잔디생육조사

지상부 생장 차이를 비교하기 위해서 잔디엽색 및 잔디밭 품질을 조사하였다. 잔디 엽색은 잔디포장시험에서 가장 많이 사용하고 있는 가시적 평가방법(visual rating system)을 이용하였다(Skogley and Sawyer, 1992). 즉 생육 전성기에 나타나는 진하고 균일한 녹색을 최고 점수인 9점으로 하였고, 휴면기에 완전 탈색 후 나타나는 갈색을 최저 점수인 1점으로 하여 1-9점 사이에서 색상 평가를 실시하였다. 그리고 켄터키 블루그래스로 조성한 스포츠 잔디밭에서 보통 수준의 잔디 엽색을 6점 기준으로 평가하였다(visual color rating 1-9; 1 = brown, 6 = acceptable, 9 = dark green).

잔디밭 품질 조사도 가시적 평가방법을 이용하였는데 가장 양호한 상태를 9점, 겨울 저온기에 나타나는 가장 불량한 불량한 상태를 1점으로 하여 1-9점 사이에서 품질을 평가하였다. 그리고 켄터키 블루그래스로 조성한 스포츠 잔디밭에서 보통 수준의 잔디 품질을 6점으로 평가하였다(visual quality rating, 1-9; 1 = poorest, 6 = acceptable, 9 = best quality). 또한 파종량에 따른 처리구간 지하부 뿌리발달 차이를 비교하기 위해서 뿌리생장을 조사하였다. 뿌리생장은 처리구당 $5 \times 20\text{cm}$ 크기의 코어를 채취한 뒤 잔디밭 포장 시험에서 사용하는 조사 방식인 코어의 측면 3지점의 뿌리 길이를 조사하였다.

본 실험에서 지상부 잔디엽색 및 품질은 파종 후 1개월 경과하면서 5월부터 12월까지 월 2회 기준으로 실시하였다. 그리고 지하부 뿌리길이 조사는 잔디밭 파종 후 1개월 시점인 5월 중순부터 11월까지 월 1회 기준으로 실시하였다.

시험구 배치 및 통계분석

본 실험에서 시험구 배치는 5수준의 파종량 실험 처리구를 난괴법 4반복으로 배치하였다. 시험면적은 처리구 하나의 단위 실험구가 $2 \times 2\text{m}$ 로 전체 20개 실험구의 총 면적은 80m^2 이었다. 통계분석은 SAS(statistical analysis system) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석을 실시하였으며(SAS Institute, 2001), 처리구간 유의성 검정은 DMRT(duncan's multiple range test) 5% 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

잔디엽색

켄터키 블루그래스 종자 파종 후 2주 간격으로 조사한 잔디엽색은 시간이 경과하면서 처리구간 차이가 유의하게 나타났다. 잔디엽색은 초기 발아부터 10월 하순까지 지속적으로 증가하였다. 하지만 파종량에 따라 처리구간 잔디엽색 차이가 상당히 다르게 나타났다. 본 실험에서 켄터키 블루그래스의 종자 발아는 파종 후 1-2주 사이에 시작되었고, 대부분 실험구에서 육안으로 쉽게 관찰될 수 있을 정도의 잔디피복은 파종 후 4-5주 정도 경과하면서 나타났다.

켄터키 블루그래스의 가시적인 엽색 평가 점수는 최저 0.30(처리구1) - 최고 7.60점(처리구4) 사이로 나타났다(Table 1). 전체 모든 시험구에서 유묘 발달이 관찰된 5월 14일 조사한 잔디 엽색은 각 실험구의 피복 정도에 따라 약간의 차이가 나타났다. 엽색이 가장 양호한 처리구는 파종량이 18g·m²으로 초고파종 처리구인 VHS 파종구(처리구5)이었다. 다음으로 양호한 처리구는 고파종 처리구인 HS파종구(처리구4)로 나타났다. 잔디엽색이 가장 불량한 처리구는 파종량이 6g·m²으로 가장 낮은 초저파종 처리구인 VLS 파종구(처리구1)이었다.

켄터키 블루그래스의 잔디엽색은 파종 후 2개월 경과하면서 처리구별 유의한 차이가 더욱 뚜렷하게 나타나기 시작하였다. 일반적으로 조성 초기 3개월 동안 잔디엽색은 파종량 수준과 밀접한 연관이 있는 것으로 나타났다. 파종 후 3개월 경과 시점인 7월 15일 조사 시 엽색이 가장 우수한 처리구는 파종량이 가장 많은 초고파종 처리구인 VHS 파종구로 가시적 엽색 점수가 6.15점으로 나타났다. 두 번째로 우수한 처리구는 HS 파종구로 평가점수가 5.80점이었다. 반대로 잔디엽색이 가장 불량한 처리구는 파종량이 가장 적은 VLS 파종구로 평가점수가 4.75점으로 가장 낮았다.

7월 중순 이후 12월 초순까지 잔디엽색도 파종량 수준에 따라 차이가 다양하게 나타났다. 조성 초기와 마찬가지로 이 기간에도 파종량이 15g·m² 이상의 HS 및 VHS 파종구의 잔디엽색이 우수한 경향으로 나타났다. 하지만 처리구간 우열관계는 조성 초기와 다르게 나타났다. 7월 28일 조사 시 잔디엽색의 평가점수는 모든 처리구에서 켄터키 블루그래스로 조성한 고품질 스포츠 잔디밭에서 보통 만족할 정도의 잔디 색상 수준인 6점 이상으로 나타났고, 이 중 가장 우수한 처리구는 고파종 처리구인 HS 파종구로 가시적 엽색 점수가 7.60점이었다. 다음으로 양호한 처리구는 VHS 파종구로 평가점수가 7.42점으로 나타났다. 반대로 잔디엽색이 가장 불량한 처리구는 파종량이 6g·m²으로 가장 적은 초저파종 처리구인 VLS 파종구로 가시적 평가점수가 6.80점으로 가장 낮게 나타났다.

Table 1. Effect of seeding rates on turfgrass color of Kentucky bluegrass grown under the USGA soil system from May to December, 2009. Turfgrass color was rated on a visual rating scale of 1 to 9, where 1 = brown, 6 = acceptable, and 9 = dark green

Treatment ^z	Visual turfgrass color												
	May 14	May 27	June 10	June 25	July 15	July 28	Aug. 17	Sep. 2	Sep. 16	Oct. 7	Oct. 26	Nov. 13	Dec. 4
1. VLS	0.30 c ^y	0.50 c	0.92 d	1.50 c	4.75 c	6.80 b	4.00 b	4.20 b	5.00 a	5.72 a	5.92 a	5.92 a	5.37 a
2. LS	0.40 bc	0.70 c	1.07 cd	1.72 bc	4.97 bc	7.32 a	4.40 ab	5.07 a	5.75 a	6.47 a	6.75 a	6.50 a	6.32 a
3. MS	0.50 b	1.00 b	1.32 c	2.05 b	5.47 abc	7.42 a	4.70 ab	5.32 a	5.82 a	6.50 a	6.72 a	6.30 a	6.00 a
4. HS	0.65 b	1.15 b	1.67 b	2.45 a	5.80 ab	7.60 a	5.30 a	5.87 a	6.45 a	6.92 a	7.17 a	6.62 a	6.25 a
5. VHS	0.77 a	1.50 a	2.00 a	2.50 a	6.15 a	7.42 a	5.10 ab	5.77 a	6.30 a	6.85 a	7.05 a	6.67 a	6.32 a
Mean	0.52 [*]	0.97 [*]	1.39 ^{**}	2.04 [*]	5.42 ^{**}	7.31 [*]	4.70 ^{**}	5.24 ^{***}	5.86 ^{ns}	6.49 ^{ns}	6.72 ^{ns}	6.40 ^{ns}	6.05 ^{ns}

^zVLS: very low seeding (6 g·m²), LS: low seeding (9 g·m²), MS: medium seeding (12 g·m²), HS: high seeding (15 g·m²), VHS: very high seeding (18 g·m²).

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at *p* = 0.05.

^{ns}, *, **, *** Nonsignificant or significant at *p* < 0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

8월-12월 초순 사이에도 이와 비슷한 경향이 나타나 이 기간에 가장 우수한 처리구는 가지적 엽색 평가점수가 5.30-7.17 점 사이로 나타난 HS 파종구였고, 다음으로 양호한 처리구는 평가점수가 5.10-7.05점 사이로 나타난 VHS 파종구이었다. 즉 잔디밭 파종 초기 3개월 경과 후인 후반기 7월 중순부터 12월까지 6개월 동안 잔디엽색은 파종량이 18g·m⁻²인 VHS 파종구보다 파종량이 15g·m⁻²인 HS 파종구가 좀 더 양호한 것으로 나타났다. 하지만 가장 불량한 처리구는 조성 초기와 마찬가지로 파종량이 가장 적은 VLS 파종구로 나타났다.

본 실험에서 파종 후 초기 2.5개월, 즉 6월 하순까지 가지적 엽색 평가점수 범위는 0.30-2.50점 사이로 대단히 저조하였다. 이렇게 잔디밭 조성 초기 엽색 평가점수가 낮은 것은 발아 초기 잔디색상이 연한 녹색으로 나타났기 때문이다. 또한, 잔디밭 조성 1년차 시공단계의 잔디색상 평가점수는 시간이 경과하면서 전반적으로 증가하였지만, 8월부터 9월 초순 사이 평가점수는 4.00-5.87점 사이로 직전 7월 하순 평가에 비해 20-40% 정도 저조하게 나타났다. 이러한 엽색 감소는 한지형 잔디의 경우 여름 고온기에 하고현상으로 인해 잔디생육 저하가 나타나면서, 이로 인해 광합성 및 엽록소 생합성이 감소하고 그 결과 잔디 색상이 떨어지는 것으로 판단되었다(Christians, 2004; Kang, 2013).

이상에서 켄터키 블루그래스 잔디색상 경향은 조성 초기 3개월 동안에는 초고파종 처리구인 VHS 파종구가 가장 우수하였고, 다음으로 우수한 처리구는 HS 파종구이었다. 하지만 3개월 이후에는 초고파종구인 VHS 파종구보다 고파종 처리구인 HS 파종구가 가장 우수한 것으로 나타났다.

잔디품질

종자파종 후 2주 간격으로 조사한 잔디품질도 파종량에 따라 유의한 차이가 나타났다. 잔디품질은 시간이 경과하면서 전반적으로 향상되었고, 파종량에 따른 처리구별 품질 차이가 상당히 크게 나타났다(Table 2). 잔디품질은 전체 처리구의 가지적 평가점수가 5월 중순 최저 0.40점(처리구1)에서 11월 중순 최고 5.87점(처리구4) 사이로 다양하게 나타났다. 일반적으로 잔디 품질도 파종량 수준과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 따라서 파종량이 15g·m⁻²이상으로 중파종구보다 높은 HS 파종구(처리구4) 및 VHS 파종구(처리구5)의 잔디품질이 가장 우수하였다. 반대로 VLS 파종구(처리구1)의 경우 파종량이 6g·m⁻²으로 가장 낮았는데 이로 인해 조성 초기 단계인 파종 후 1년차 잔디 생장 시 전체 분얼경이 적게 발생됨으로 인해 잔디 품질 평가 점수가 가장 낮게 나타난 것으로 판단되었다.

Table 2. Effect of seeding rates on turfgrass quality of Kentucky bluegrass grown under the USGA soil system from May to December in 2009. Turfgrass quality was rated on a visual rating scale of 1 to 9, where 1 = poor, 6 = acceptable, and 9 = best quality

Treatment ^z	Visual turfgrass quality												
	May 14	May 27	June 10	June 25	July 15	July 28	Aug. 17	Sep. 2	Sep. 16	Oct. 7	Oct. 26	Nov. 13	Dec. 4
1. VLS	0.40 b ^y	0.60 d	1.00 c	1.75 c	3.12 b	3.82 b	3.57 b	2.90 b	3.17 c	3.30 c	3.37 b	3.67 b	3.55 b
2. LS	0.40 b	0.65 cd	1.07 c	2.15 bc	3.40 b	3.72 b	3.45 b	3.55 ab	3.75 b	4.02 b	4.12 ab	4.35 ab	4.15 ab
3. MS	0.45 b	0.77 c	1.47 b	2.35 b	3.42 b	3.70 b	3.37 b	3.57 ab	3.72 b	4.00 b	4.12 ab	4.57 ab	4.50 ab
4. HS	0.60 b	1.00 b	1.72 ab	2.75 ab	4.15 a	4.70 ab	4.35 ab	4.50 a	4.82 a	5.10 a	5.37 a	5.87 a	5.70 a
5. VHS	0.85 a	1.35 a	2.05 a	3.12 a	4.50 a	4.92 a	4.62 a	4.67 a	4.80 a	5.00 a	5.07 ab	5.50 ab	5.30 ab
Mean	0.54 [*]	0.87 [*]	1.46 [*]	2.42 ^{***}	3.71 ^{**}	4.17 ^{**}	3.87 [*]	3.83 ^{***}	4.05 [*]	4.28 [*]	4.41 ^{***}	4.79 ^{***}	4.64 ^{***}

^zVLS: very low seeding (6 g·m²), LS: low seeding (9 g·m²), MS: medium seeding (12 g·m²), HS: high seeding (15 g·m²), VHS: very high seeding (18 g·m²).

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at *p* = 0.05.

^{*}, ^{**}, ^{***} Significant at *p* < 0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

종자 발아 초기부터 파종 5개월 지난 시점인 9월 초순까지 잔디품질 경향은 파종량이 $18\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 가장 높은 VHS 파종구의 평가점수가 0.85–4.92점 사이로 통계적으로 가장 우수하였다. 두 번째로 우수한 처리구는 0.60–4.70점 사이로 나타난 파종량이 $15\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 인 HS 파종구이었다. 반대로 이 기간에 가장 불량한 처리구는 평가점수가 0.40–3.82점 사이로 나타난 파종량이 $6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 초저파종 처리구인 VLS 파종구이었다. 하지만 9월 중순 이후 12월까지 조성 1년차 시공 후기 단계에서 처리구간 잔디품질 우열관계는 다르게 나타났다. 이 기간에는 HS 파종구의 평가점수가 4.82–5.87점 사이로 나타나 4.80–5.50점 사이로 나타난 VHS 파종구보다 더 우수한 경향으로 나타났다. 그리고 가장 불량한 처리구는 평가점수가 3.17–3.67점 사이로 나타난 VLS 파종구로 조성 초기와 마찬가지로 저조하였다. 즉 켄터키 블루그래스의 잔디품질은 초기 약 5개월 동안은 초고파종 처리구인 VHS 파종구가 가장 우수하였고, 다음으로 양호한 처리구는 HS 파종구이었다. 하지만 파종 후 5개월이 지난 후반 기에는 우열 관계가 달라지면서 HS 파종구가 VHS 파종구보다 좀 더 우수한 경향으로 나타났다.

이상에서 조성 1년차 시공 단계의 잔디 색상 및 품질은 7월 하순부터 8월 중순 사이 공통적으로 평가 점수가 감소하였는데 이는 엽수 출현 및 뿌리발달 정도와 관련이 있는 것으로 판단되었다. 즉 이 시기에 여름철 고온기 스트레스로 인해 엽수 발생 속도가 둔화되면서 실험구의 밀도가 급격히 감소하였다. 7월 28일 전체 처리구의 평균 엽색 점수가 7.31에서 8월 17일 4.70으로 크게 감소하였고, 전체 처리구의 평균 잔디품질 점수도 7월 28일에 4.17에서 8월 17일 3.87로 감소하였다. 잔디 지상부 조직의 이러한 생장 감소는 뿌리의 생육발달 정도와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되었다.

본 실험에서 6월 하순–7월 하순 사이 뿌리 발달 경향을 살펴보면 6월 26일 조사 시 뿌리길이가 4.95–5.65cm 사이로 전체 처리구의 평균 뿌리 길이가 5.40cm 이었지만 7월 15일 뿌리길이는 2.92–4.10cm 사이로 전체 처리구의 평균 뿌리 길이가 3.60cm로 나타나 7월 중순 뿌리생장이 $\frac{1}{3}$ 정도 급격하게 떨어졌다(Table 3). 이러한 결과는 식물체내 이용 가능한 저장 탄수화물 및 환경적응력과 관련이 있는 것으로 추정되었다. 즉 파종 후 초기 어린 유묘 위주의 잔디밭에서 6월 하순–7월 중순 사이 평균온도가 거의 25°C 까지 상승하면서(Fig. 1) 잔디 뿌리발달과 지상부 엽조직 생장이 떨어지고, 물질 대사 기능이 감소하면서 나타난 결과로 판단되었다.

지상부 잔디생장 데이터 분석을 통해서 켄터키 블루그래스 조성 시 잔디색상 및 품질 위주로 판단 시 적합한 한계 파종량은 최상의 잔디발 색상 및 품질 상태를 기대하는 완공 시기에 따라 선택 할 필요가 있다. 즉 켄터키 블루그래스 지상부 잔디생장 관점에서 실무 현장에서 잔디색상 및 피복도 위주의 조성 목표 시기가 파종 후 6개월 이내 단기간인 경우에는 $18\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 파종 후 6개월–12개월 사이인 경우에는 $15\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 이 적절하다고 판단되었다.

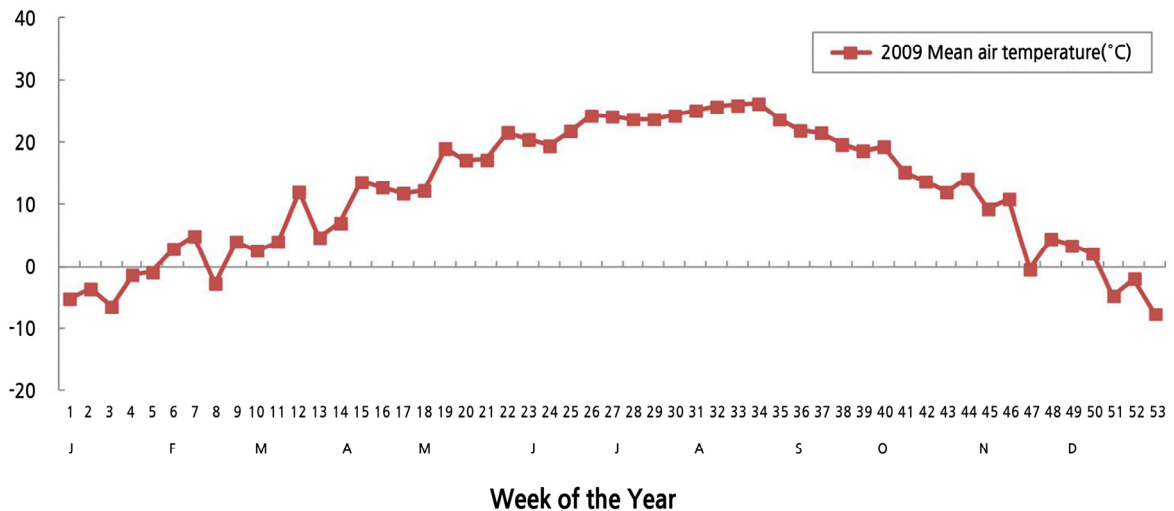


Fig. 1. Mean air temperature by week in Seoul, 2009, during the study period. J through D on the X-axis represents the month from January through December, respectively.

뿌리생장

켄터키 블루그래스 뿌리생장도 종자 파종 후 시간이 경과하면서 파종량 처리구간 차이가 유의하게 나타났다. 잔디밭 조성 1년차 시공단계인 2009년 전체 뿌리생장은 최저 1.12cm(처리구5)에서 최대 15.00cm(처리구2)까지 파종량 수준에 따라 다양한 차이가 나타났다(Table 3). 뿌리생장은 잔디엽색 및 잔디 품질과는 다르게 파종 초기에는 처리구간 통계적인 유의성 차이가 거의 나타나지 않았다. 파종 1개월 후인 5월 14일 조사 시 뿌리길이는 1.12 – 1.75cm 사이로 전체 처리구의 뿌리생장이 짧게 나타났다. 이러한 결과가 나타난 것은 켄터키 블루그래스 초종의 경우 한지형 계통 잔디 중 발아속도가 가장 늦어 잔디생장이 늦게 시작됨으로(Beard and Beard, 2005), 파종 후 1개월은 아직 처리구간 뿌리생장 차이가 충분히 나타날 수 있는 생육기간이 아니기 때문이다.

파종 후 2개월 지난 시점인 6월 26일 조사 시 뿌리생장은 5월 중순 1차 조사에 비해 전체 처리구에서 평균 2–4배 정도 증가해서 뿌리길이가 4.95 – 5.65cm 사이로 나타났지만, 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 이 때 뿌리생장 경향을 살펴보면 가장 양호한 처리구는 파종량이 9g·m⁻²로 저파종 처리구인 LS 파종구(처리구2)로 5.65cm 이었다. 반면 가장 불량한 처리구는 파종량이 18g·m⁻²로 초고파종 처리구인 VHS 파종구(처리구5)로 4.95cm 이었다. 이는 뿌리 길이가 가장 길었던 LS 파종구에 비해 약 12.3% 정도 낮은 것을 의미한다.

처리구간 통계적인 유의한 차이는 종자 발아 후 시간이 경과하면서 왕성한 지상부 생장과 함께 피복도가 증가하면서 파종 후 3개월 경과 시점인 7월 중순 이후 뿌리생장 조사 시 나타났다. 7월 15일 조사 시 뿌리길이는 2.92 – 4.10cm 사이로 나타났으며, 뿌리생장이 가장 양호한 처리구는 저파종 처리구인 LS 파종구로 4.10cm 이었다. 반면 가장 불량한 처리구는 고파종 처리구인 HS 파종구(처리구4)로 뿌리길이가 2.92cm 이었다. 즉 HS 파종구의 뿌리생장은 LS 파종구에 비해 28.7% 정도 낮은 수준으로 나타났다.

8월 하순 뿌리생장은 7월 중순에 비해 전체적으로 약 1.5–3배 정도 증가해서 8월 28일 켄터키 블루그래스의 뿌리길이는 10.00 – 11.00cm 사이로 대부분 처리구에서 비슷하게 나타났다. 뿌리생장이 가장 양호한 처리구는 초저파종 처리구인 VLS 파종구(처리구1)로 뿌리길이가 11.00cm 이었고, 두 번째로 양호한 처리구는 중파종 처리구인 MS 파종구(처리구3)로 뿌리길이가 10.5cm 이었다. 나머지 처리구의 뿌리길이는 모두 10.00cm로 동일하였다. 7월 중순보다 8월 하순 전체적으로 뿌리생장이 크게 증가한 것은 6월 중순 이후 지속적인 온도 상승이 8월 중순 이후 낮아지게 되면서 온도 환경이 한지형 잔디생육에 적합한 조건으로 개선되었고(Fig. 1) 또한 8월 초순 이후 비료 공급으로 잔디생장이 왕성하게 나타난 것으로 판단되었다. 즉 잔디밭

Table 3. Effect of seeding rates on root growth of Kentucky bluegrass grown under the USGA soil system from May to November in 2009

Treatment ²	Root length (cm)					
	May 14	June 26	July 15	August 28	October 26	November 8
1. VLS	1.37 a ^y	5.50 a	3.60 ab	11.00 a	13.75 a	14.00 a
2. LS	1.62 a	5.65 a	4.10 a	10.00 b	12.25 b	15.00 a
3. MS	1.50 a	5.50 a	3.65 ab	10.50 ab	11.50 b	12.50 b
4. HS	1.75 a	5.42 a	2.92 b	10.00 b	11.12 b	12.50 b
5. VHS	1.12 a	4.95 a	3.77 ab	10.00 b	11.50 b	14.00 a
Mean	1.47 ^{ns}	5.40 ^{ns}	3.60 [*]	10.30 [*]	12.02 ^{**}	13.60 ^{***}

²VLS: very low seeding (6 g·m²), LS: low seeding (9 g·m²), MS: medium seeding (12 g·m²), HS: high seeding (15 g·m²), VHS: very high seeding (18 g·m²).

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

^{ns, *, **, ***} Nonsignificant or significant at $p < 0.05, 0.01$ and 0.001 , respectively.

시비 효과와 더불어 평균 온도가 24°C 이하로 떨어지면서 켄터키 블루그래스의 잔디생장이 양호해지고 저장 탄수화물이 축적됨에 따라 지하부 뿌리조직도 왕성하게 성장하게 되는 것이다(Kim, 2013). 잔디식물체에서 뿌리생장은 체내 탄수화물 축적 정도에 영향을 받으며, 특히 한지형 잔디의 경우 지상부 엽 조직의 물질대사 기능이 저하되는 여름 고온기에 뿌리생장도 크게 감소한다(Turgeon, 2005).

10월 하순 뿌리생장은 8월 하순에 비해 평균 10-30% 정도 증가해서 10월 26일 조사한 켄터키 블루그래스의 뿌리길이는 11.12-13.75cm 로 나타났다. 9월-10월의 평균온도는 12-22°C 사이로 뿌리생육에 적합한 환경이므로 뿌리생장이 지속적으로 왕성하게 나타난 것으로 판단되었다(Fig. 1). 왜냐하면 켄터키 블루그래스 뿌리생장에 적합한 최적온도는 10-18°C 사이로 한지형 잔디의 경우 뿌리발달은 봄과 가을 왕성하게 나타나며, 계절적으로 최적의 뿌리생장은 봄보다 가을에 나타나는 것으로 알려져 있다(Christians, 2004). 이 기간에 뿌리생장이 가장 양호한 처리구는 초저파종 처리구인 VLS 파종구로 13.75cm 이었고, 다음으로 양호한 처리구는 저파종 처리구인 LS 파종구로 12.25cm 이었다. 반대로 뿌리생장이 가장 불량한 처리구는 고파종 처리구인 HS 파종구로 11.12cm 이었다. 즉 HS 파종구의 뿌리길이는 뿌리생장이 가장 양호한 VLS 파종구에 비해 19.1% 정도 저조하였다.

켄터키 블루그래스 종자 파종 후 거의 7개월 정도 시점에 조사한 11월 초순 뿌리생장은 10월 하순에 비해 약간 증가하였다. 11월 8일 조사 시 켄터키 블루그래스의 뿌리 범위는 12.50-15.00cm 사이로 나타났다. 이 때 뿌리생장이 가장 양호한 처리구는 파종량이 9g·m⁻²로 저파종 처리구인 LS 파종구로 15.00cm 이었고, 두 번째로 양호한 처리구는 파종량이 파종량이 6g·m⁻²로 가장 적은 VLS 파종구로 뿌리 길이가 14.00cm 이었다. 그리고 나머지 처리구의 뿌리생장은 12.50cm로 나타났다.

본 실험을 통해 켄터키 블루그래스 종자 파종 후 초기 조성 단계인 1년차 뿌리생장은 파종량이 낮은 초저파종 처리구인 VLS 파종구와 저파종 처리구인 LS 파종구가 가장 우수하였다. 그리고 중파종구보다 높은 HS 및 VHS 파종구의 뿌리길이는 실험 기간 내내 가장 저조하게 나타났다. 이것은 앞에서 설명한 잔디색상 및 잔디품질 데이터 경향과 상당히 다른 결과이다. 즉, Tables 1 and 2의 실험 데이터에서 켄터키 블루그래스의 잔디엽색 및 품질 등 지상부 생육특성은 일반적으로 중파종구보다 더 높은 범위의 파종량인 15-18g·m⁻² 사이의 HS 및 VHS 파종 처리구가 가장 우수한 경향으로 나타났다.

조성 초기 파종 후 3개월 경과 시점인 7월 중순 여름 고온기의 뿌리생장은 처리구에 관계없이 6월 하순에 비해 약 20-50% 정도 감소하였다. 이것은 파종 후 초기 어린 유묘 위주의 잔디밭에서 6월 초순 이후 지속적인 온도 상승으로 평균온도가 거의 25°C까지 올라가면서(Fig. 1) 어린 유묘의 뿌리발달에 부적합하기 때문에 나타난 것으로 판단되었다. 한지형 잔디의 경우 지하부 뿌리생장의 최적온도는 10-18°C 사이로 알려져 있다(Christians, 2004).

국내기후에서 한지형 계통의 잔디관리 시 여름 잔디 생육에 크게 영향을 주는 요인은 온도 환경이다. 광합성 기작이 C₃ 형인 한지형 잔디는 생육적온이 15-24°C로 광합성 기작이 C₄ 형인 난지형 한국잔디에 비해 내건성 및 내서성이 약하기 때문에 온도가 25°C 이상 올라가는 여름 고온기에 생장 시 고온 및 건조 스트레스를 쉽게 받아 잔디조직이 약해지면서 엽수 출현 감소와 함께 잔디생육이 저하될 수 있다(Wallner et al., 1982). 이 시기에 관찰한 분얼경당 잔디 엽수는 4매 전후로 나타났는데, 이는 Park(2012)이 보고한 생육적기 켄터키 블루그래스의 잔디엽수 상태인 평균 4-6매 정도와 비교 시 낮은 상태이다. 즉 여름 고온 스트레스로 인해 엽수발생 감소, 지상부 엽조직의 물질대사 저하, 체내 저장탄수화물 감소 및 생육저하 등으로 인해 뿌리생장이 크게 감소하는 것으로 판단되었다.

전체적으로 켄터키 블루그래스의 뿌리생장은 파종량이 적을수록 양호하였고, 반대로 종자 파종량이 많을수록 불량하게 나타났다. 따라서 잔디색상 및 품질을 고려하지 않고 지하부 뿌리발달 위주로 판단 시 켄터키 블루그래스 뿌리생장에 적합한 한계 파종량은 조성 1년차 시공 단계에서는 중파종구보다 파종량이 낮은 6-9g·m⁻² 사이로 판단되었다. 이러한 결과는 파종량이 증가할 경우 분얼경 개체수 증가로 상대적으로 초기 파복이 빠르고 잔디밀도가 증가하면서, 지하부 뿌리생장보다는 지상부 생장이 더 왕성하게 진행되기 때문이다(Lee et al., 1995). 즉 VLS 및 LS와 같은 저파종구에 비해 HS 및 VHS 고파종구의 경우

지상부 생장이 촉진되면서 체내 저장된 탄수화물을 많이 이용하게 됨으로 상대적으로 뿌리생장 및 발달이 불량해질 수 있다 (Christians, 2004). 즉 잔디밭은 조성 후 지하부 뿌리발달이 양호해서 내구성이 있어야 여러 해 동안 양질의 잔디밭으로 지속적인 유지가 가능하다. 이런 관점에서 국내 실무 현장에서 켄터키 블루그래스 종자 파종 시 적용하는 중파종구 이상의 고파종 밀파는 뿌리생장 관점에서 대단히 부적절한 것으로 판단되었다.

종합적으로 켄터키 블루그래스 잔디밭 조성 시 종자 파종 후 최적의 관리를 할 경우 잔디색상은 3-4개월 정도 경과 시 고품질 켄터키 블루그래스 잔디밭에서 보통의 잔디색상 수준인 평가점수 6.0에 도달하는 것으로 판단되었다. 하지만 잔디 품질의 경우 적어도 파종 후 7-8개월 정도 지나야 거의 도달할 수 있는 것으로 판단되었다. 이는 잔디 품질의 경우 색상뿐만 아니라 질감, 밀도, 균일도 등의 여러가지 요소를 종합적으로 고려해서 판단하기 때문에(Turgeon, 2005), 켄터키 블루그래스로 조성한 잔디밭에서 볼 수 있는 보통 수준의 잔디품질에 도달하는데 필요한 기간이 잔디색상에 비해 좀 더 오래 걸린다. 즉 이러한 결과는 국내 실무 현장에서 켄터키 블루그래스로 조성 시 초기 단계인 파종 1년차에 지상부 잔디밭의 색상, 피복 및 밀도 위주로 판단해서 잔디밭을 사용하는 관행은 지양할 필요가 있다.

잔디밭 조성 후 관리의 요체는 개체 생장 보다는 전체 잔디밭 집단의 생장을 균일하게 유도하는 것이다(Vengris and Torello, 1982). 성공적인 잔디밭 조성에 필요한 적정 한계 파종량은 조성목적, 완공시기, 기대 품질 요소 및 관리시스템 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 컨셉에 의해 결정하는 것이 필요하다. 국내에서는 잔디밭 조성 시 설계 및 시공과정에서 컨셉에 의해 결정하기 보다는 단기적으로 조기 녹화 등 가시적인 전시 효과를 위해서 추천 파종량보다 더 많은 고파종 위주로 밀파를 하는 경향이 강하다. 특히 켄터키 블루그래스의 경우 주요 한지형 잔디 중 조성 속도가 가장 느리기 때문에(Beard and Beard, 2005), 실무 현장에서는 초기 시공단계에서 조기 녹화 및 빠른 피복을 위해 기본 추천량보다 많은 $15\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 이상의 밀파를 선호하는 경향이 심하다.

하지만 이러한 고파종량으로 밀파 식재를 할 경우 잔디밭 조성 초기 시공단계에서 분얼경 발달 개체수가 많아지면서 잔디 피복이 빨리 나타나지만(Cho et al., 2005), 잔디밭 조성이 완료된 단계에서는 오히려 고밀도로 인해 물질대사에 필요한 광선 및 수분 등의 경합으로 인해 전체적인 잔디 생육이 부진해질 수 있다(Turgeon, 2005). 따라서 잔디밭 완공 후 사용단계에서는 지상부 생장, 지하부 뿌리발달, 잔디품질 및 잔디밭 내구성 등 여러가지 문제가 나타날 수 있다. 즉 종자 파종으로 잔디밭 조성 시 잔디색상 및 초기 피복 뿐만 아니라, 뿌리생장, 잔디밭 내구성, 기대품질수준 및 최고품질 목표시기 등 여러 요인을 종합적으로 고려해서 컨셉에 의해 적정 파종 한계량을 결정하는 것이 중요하다(Cho et al., 2005).

본 연구결과 잔디밭 시공단계에서 지상부 생장 및 지하부 뿌리발육에 적합한 한계 파종량 범위는 다르게 나타났다. 즉 잔디 피복, 색상, 잔디밭 밀도 등 지상부 생장관점에서 파종량은 $15-18\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 사이인 HS 및 VHS 파종구가 우수하였다. 하지만 지하부 생장관점에서 뿌리발달은 파종량이 $6-9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 사이인 LS 및 VLS 파종구가 양호하였다. 향후 잔디밭 조성 시 파종량에 따른 초기 시공 단계인 1년차 데이터뿐만 아니라, 잔디밭 성숙 단계인 2년차, 3년차 데이터 수집을 통해 장기적인 생육 변화를 파악할 수 있다면 고품질 스포츠 잔디밭 조성 및 관리 시 실무에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

초 록

USGA 모래 지반에 켄터키 블루그래스 종자 파종 후 조성 1년차 시공단계에서 지상부 잔디생장 및 지하부 뿌리발달에 최적인 파종량수준을 규명하고자 시작하였다. 공시 파종 처리구는 전체 5 수준의 파종량(VLS 6g, LS 9g, MS 12g, HS 15g, VHS $18\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)으로 하였으며, 시험구는 난괴법 4반복으로 배치하였다. 지상부 잔디생장과 뿌리발달 차이를 비교하기 위해서 잔디 엽색, 품질 및 뿌리 길이를 2009년 5월부터 12월까지 연중 조사하였다. 이러한 생육 특성은 파종 후 시간이 경과함에 따라 증가하였으며, 파종량에 따라 처리구간 차이가 나타났다. 잔디색상은 초기 시공 단계인 3개월 동안은 VHS 파종구, 그리고 3개월 이후에는 HS 파종구가 가장 양호하였다. 잔디품질은 초기 약 5개월은 VHS 파종구, 그리고 5개월 이후에는 HS 파종구가 좀

더 우수한 경향으로 나타났다. 하지만 지상부 생장특성과 다르게 지하부 뿌리발달은 파종량이 낮을수록 양호하였고, 파종량이 높을수록 불량하게 나타났다. 따라서 잔디밭 조성 1년차 시공단계에서 뿌리생장은 파종량이 $9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 이하인 VLS 및 LS 파종구가 가장 우수하였으며, 파종량이 $15\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 이상인 HS 및 VHS 파종구는 실험기간 내내 저조하였다. 즉 조성 1년차 시공단계의 적정 파종량은 지상부 생장관점에서 잔디색상 및 품질 위주로 판단 시 $15 - 18\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 사이가 양호하였지만, 지하부 생장관점에서 뿌리발달 위주로 판단할 경우에는 $6 - 9\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 사이가 더 적절하였다. 향후 잔디밭 성숙 단계인 2년차에 데이터 수집을 통해 지상부 및 지하부 조직의 생육 특성 변화를 비교할 수 있다면 장기적으로 잔디품질과 내구성이 우수한 고품질 잔디밭 조성 및 유지 관리에 도움이 될 것이다.

추가 주요어 : *Poa pratensis*, 뿌리길이, 모래지반, 잔디색상, 잔디품질

Literature Cited

- Bae EJ, Lee KS, Huh MR, Lim CS (2012) Silicon significantly alleviates the growth inhibitory effects of NaCl in salt-sensitive 'Perfection' and 'Midnight' Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) Hortic Environ Biotechnol 53:477-483. doi:10.1007/s13580-012-0094-3
- Beard JB, Beard HJ (2005) Beard's turfgrass encyclopedia for golf courses, grounds, lawns and sports fields. Michigan State University Press, East Lansing, MI, USA
- Cho NK, Kang YK, Song CK, Cho YI, Park SJ (2005) Effect of seeding rates on turf vegetation of creeping bentgrass. J Korean Soc Grassl Forage Sci 25:131-136. doi:10.5333/KGFS.2005.25.2.131
- Christians N (2004) Fundamentals of turfgrass management. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA
- Cockerham ST (1994) Rootzone mixes, turfgrass selection, and maintenance on the world cup soccer fields in the USA, pp 31-43. In Proceedings of International Symposium on Soccer Field, The Committee of International Symposium on Soccer Field, Tokyo, Japan, October 27-28, 1994
- Kang HC, Kim KD, Kim KS, Kim DK, Kim YS, Kim JJ, Park HS, Song KJ, Shin SC, et al. (2014) Production and management of landscape plants. Moonundang, Seoul, Korea
- Kang YH (2013) New plant physiology. Jigu Publishing Co., Paju, Kyonggi-Do, Korea. (In Korean)
- Kim JH, Shim SR (2009) A study on the growth characteristics of native plants by seeding amounts of cool-season turfgrasses on the disturbed slope. J Korean Env Res Tech 12:1-12
- Kim KN (2005) Comparison of summer turf performance, color, and green color retention among cool-season grasses grown under USGA soil system. J Kor Inst Landscape Architecture 33:18-30. (In Korean)
- Kim KN (2012) STM series I: Introductory turfgrass science. 2nd ed., Sahmyook University Press, Seoul, Korea
- Kim KN (2013) STM series III: Turfgrass establishment. 2nd ed, Sahmyook University Press, Seoul, Korea
- Kim KN (2022) Comparison of turfgrass density, root growth, thatch accumulation, and infiltration rate in warm-season Korean lawngrass (*Zoysia japonica* Steud.) and major cool-season grasses in the anysoil system. Hortic Sci Technol 40:179-191. doi:10.7235/HORT.20220017
- Kim KN, Choi JS and Nam SY (2003) 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 Hortic Sci 44:539-544
- Kim KN, Park WK (2003) A study on cultural practices, growth rate and time to harvest in sod production of cool-season grass grown under pure sand soil. J Nat Sci Sahmyook University 8:19-33
- Kim YS, Jo KJ, Lee HS, Kang YN, Lim HJ, Lee KS (2013) Effects of several herbicides on control of creeping bentgrass in the Kentucky bluegrass and its recovery. Weed Turf Sci 2:395-401. doi:10.5660/WTS.2013.2.4.395
- Korean World Cup Organizing Committee (2000) Guidelines to the establishment and maintenance of the turfgrass ground of 2002 world cup soccer stadium. Kor. Organizing Committee for the 2002 FIFA World Cup-Korea/Japan, Seoul, Korea, p 133
- Lee JH, Kim JH, Shim GY, Kwak YS (2018) First report of red thread of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) caused by *Laetisaria fuciformis* on golf course in Korea. Weed Turf Sci 7:269-274
- Lee JP, Kim NC, Hong SK (1995) Studies on seed mixtures for slope revegetation of the Road. J Kor Inst Landscape Architecture 23:113-123
- Lee JP, Kim SJ, Seo HY, Han IS, Lee SJ, Kim TJ, Kim DH (2001) The effect of shade net on summer stress of cool-season turfgrass. Kor J Turfgrass Sci 15:51-64
- Lee SK (2016) Potassium rate and mowing height for Kentucky bluegrass growth. Weed Turf Sci 5:268-273. doi:10.5660/WTS.2016.5.4.268
- Park SH (2012) Comparison of germination, early establishment, and growth characteristics in warm-season grasses and cool-season grasses. MS Thesis, Sahmyook University, Seoul, Korea

- SAS Institute, Inc.** (2001) SAS/STAT user's guide: Statistics, Version 8.00, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA
- Schadlich F** (1986) Effect of sowing date and rate composition on culm stability of winter rye. *Field Crop Abstr* 39:955
- Shim SR** (1996) Characteristics, uses, and establishment method of cool-season grasses of four-season green color. *The Environ and Landscape Architecture Kor* 97:148-153
- Shim SR, Jeong DY** (1999) Soil media and seeding rates for the establishment of Kentucky bluegrass carpet-type sod over a plastic sheet. *J Korean Env Res Reveg Tech* 2:20-28
- Shim SR, Jeong DY** (2002) Turfgrass selection for soccer fields - A simulation of the Incheon 2002 world cup stadium-. *J Kor Inst Landscape Architecture* 30:88-94
- Skogley CR, Sawyer CD** (1992) Field research. *Agron Monogr* 32:589-614. *In* DV Waddington, RN Carrow, RC Shearman, eds, *Turfgrass*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA
- Taesung Afforestation** (2012) Catalogue for Taesung and Turf Seed Inc., Taesung Afforestation, Sungnam, Kyounggi, Korea
- Turgeon AJ** (2005) *Turfgrass management*. 7th ed, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA
- Vengris J, Torello WA** (1982) *Lawns-Basic factors, construction, and maintenance of fine turf areas*. Thomson Publications, Fresno, CA, USA
- Wallner SJ, Becwar MR, Butler JD** (1982) Measurement of turfgrass heat tolerance in vitro. *J Am Soc Hortic Sci* 107:608-613