

축구경기장의 캘리포니아 지반에서 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스 및 툴 웨스큐의 생육특성 및 투수속도

김경남¹ · 김세은²

¹삼육대학교 과학기술대학 환경디자인원예학과, ²삼육대학교 대학원 환경원예학과

Growth Characteristics and Infiltration Rate in Kentucky Bluegrass, Perennial Ryegrass and Tall Fescue Grown under California Soil System in Soccer Field

Kyoung Nam Kim ¹, and Se Eun Kim ²

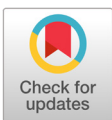
¹Dept. of Environmental Design and Horticulture, College of Science and Technology, Sahmyook University, Seoul 01795, Korea

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

Abstract

This study was conducted to compare growth characteristics and infiltration rate in major cool-season grasses (CSG) under California soil system and to provide basic information on sports turf design, construction and maintenance. Treatments were comprised of Kentucky bluegrass (KB, *Poa pratensis* L.), perennial ryegrass (PR, *Lolium perenne* L.) and tall fescue (TF, *Festuca arundinacea* Schreb.). Significant differences were observed with CSG and season. Turfgrass density increased with PR<TF<KB in order. Greatest density in KB was associated with a rhizomatous-type growth habit, while lowest density in PR was considered to result from a growth habit of bunch-type and a summer drought stress. Root growth in early May was ranked with an order of TF>PR>KB, and it did not increase in summer due to summer drought. KB, however, produced greatest root growth in late June and early October. Evaluation on rooting development showed the similar results as root growth. Overall thatch accumulation ranged from 11.93 to 14.12 mm, being 2.19 mm in differences among CSGs. This resulted from inconsistent, seasonal raking among turfgrass entries. Infiltration rate was greatest in order of KB>PR>TF, regardless of season. It was highly related to turfgrass growth-type and soil pore. There were consistent responses to growth characteristics, being greatest in May and lowest in early October. Growth habit and rooting characteristics had a great effect on drainage capacity. Shoot-growth type and root growth pattern are variable with turfgrasses. Water infiltration rate more easily decreased with a B-type TF and PR as compared with an R-type KB.

Key words: Cool-season grass, Infiltrometer, Root growth, Shoot-growth type, Turfgrass density



OPEN ACCESS

*Corresponding Author:

Tel) +82-2-3399-1731

FAX) +82-2-3399-1741

E-mail) knkturf@syu.ac.kr

Received: December 10, 2020

Revised: December 22, 2020

Accepted: December 23, 2020

© 2020 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

경기장에서 잔디관리 시 수분공급이 부족한 경우 잔디는 물질대사 및 영양분 흡수 등에 생리적인 장애가 나타나면서 정상적인 생장 및 발육이 어려워질 수 있다(Kneebone et al., 1992). 또한 잔디밭에 토양수분이 지나치게 많은 경우에도 식물생장 및 발육이 억제되면서 잔디가 고사할 수 있다. 왜냐하면 식재층 지반에 수분공급 과잉으로 인해 통기성이 불량해지고, 통기성 불량은 산소 부족과 유해가스를 발생시켜 뿌리생장 및 발육을 저해하므로 잔디생육이 불량해지기 때문이다. 따라서 잔디밭 식재층에 과다한 토양수분은 잔디생육 억제 및 품질 저하로 나타나기 때문에 적절한 배수기능을 유지하는 것이 중요하다.

경기장에서 적절한 배수성능 확보는 초기 조성단계에서 잔디지반 선정 시 유념해야 한다. 잔디지반은 크게 단층구조와 다층구조로 구분할 수 있으며, 과거에 국내 경기장은 주로 기존 토양을 사용해서 식재층만 갖는 단층구조 개념으로 조성되었다(Shim and Yeom, 1983), 2002년 한·일월드컵축구대회를 개최하면서 고품질 관리 지역에 주로 선호되고 있는 경기장 지반은 USGA (United States Golf Association) 지반이다(KOWOC, 2000b).

하지만 이 USGA 지반은 지선 및 간선 등 정교한 지하배수 시설을 설치하고 식재층, 중간층 및 배수층을 다층구조로 조성함으로써 인해 조성 비용이 많이 들기 때문에 골프장 페어웨이 등 중정도 수준으로 관리하는 스포츠 잔디밭은 이보다 시공이 간편한 캘리포니아 지반(California soil system)으로 많이 조성하고 있다. 미국 캘리포니아 주립대에서 개발한 이 지반은 바닥에 간선과 지선의 지하배수 시설을 설치하고 그 위에 다시 20-40 cm 정도의 모래 식재층을 포설 후 잔디를 식재하는 방식으로 USGA 지반조성에 비해 시공 비용이 저렴한 장점이 있다(Davis, 1990).

경기장 조성 후 잔디 그라운드는 게임, 문화행사, 잔디관리 등 다양한 요인에 의해 지반에 가해지는 답압으로 인해 토양이 고결화되면서 배수성능이 떨어질 수 있다(Carrow and Petrovic, 1992). 또한, 잔디지반 고결화와 답압 외에 잔디생육 특성으로 인해 배수성능이 불량해질 수 있다. 잔디밭 조성 후 시간이 지나면서 뿌리발육 정도에 따라 토양공극이 근계조직(rooting system)로 채워지면서 배수속도가 저하될 수 있다. 이것은 뿌리생장이 왕성할수록 토양 중 대공극이 차지하고 있는 비율이 감소하면서 배수능력이 저하될 수 있기 때문이다. 때로는 초종에 따라 대취 축적 및 밀도 차이 등으로 인해 수분이동이 영향을 받을 수도 있다(Vengris and Torello, 1982). 즉 잔디밭 관리 시 토양고결, 답압 요인 외에 초종별로 생육적인 특성도 고려해서 전체 잔디밭의 배수성능을 검토하는 것이 필요하다. 현재까지 잔디생육 특성을 투수속도와 연계한 실험결과는 충분하지 않으므로 향후 잔디밀도, 뿌리생장, 근계발달, 대취층 등 생육특성과 배수성능 관련 연구 데이터는 실무에 필요하다.

국내에서 한지형 잔디의 생육특성에 대한 연구 및 발표는 월드컵축구대회 개최 전후로 활발해지고 있다(Kim, 2005, 2015, 2019a; Kim and Cho, 2020; Kim and Kim, 2010; Kim and Nam, 2001; Kim and Shim, 2003, 2009; Kim et al., 2003a, 2003b; KOWOC, 2000a; Lee et al., 2001a, 2001b; Park, 2011; Shim, 1996; Shim and Jeong, 2002a, 2002b). 하지만 스포츠 잔디밭 지반의 투수속도를 체계적으로 수행한 연구결과는 많지 않으며(Kim and Cho, 2020; Kim and Shim, 2003; KOWOC, 2000a; Shim and Jeong, 2002a), 잔디밭에서 생육특성과 투수속도를 동시에 비교한 실험 및 계절간 비교한 연구는 아직 충분하지 않다(Kim and Cho, 2020; KOWOC, 2000a). 단층구조인 캘리포니아 지반에서 연중 계절별로 잔디생육 특성 및 투수속도 차이에 대한 데이터 및 관련 자료는 상당히 부족하다.

본 연구는 캘리포니아 지반에 파종한 주요 한지형 잔디인 켄터키 블루그래스(*Poa pratensis* L.), 퍼레니얼 라이그래스(*Lolium perenne* L.) 및 톨 웨스큐(*Festuca arundinacea* Schreb.)의 잔디밀도, 뿌리생장, 근계발달, 대취축적 및 투수속도 변화를 연중 계절별로 비교해서 잔디구장 설계와 시공, 그리고 관리에 활용하고자 시작하였다.

재료 및 방법

연구포지 조성

본 연구는 삼육대학교 잔디실험포장에 조성된 캘리포니아 지반을 이용해서 실시하였다. 캘리포니아 지반은 전체 식재층 깊이를 30 cm로 조성하였고, 이 때 사용한 골재는 입경이 0.25 mm에서 1.0 mm 사이의 중사와 조사가 60% 이상 차지하는 모래를 이용하였다. 잔디지반 조성 후 공시재료는 3종류의 한지형 초종으로 준비하였다. 따라서 실험구는 처리구1에 한지형 축구장에 가장 많이 사용되고 있는 켄터키 블루그래스(KB, *Poa pratensis* L.)를 준비하였다. 처리구 2에는 KB와 혼합 파종 시 많이 이용하고 있는 퍼레니얼 라이그래스(PR, *Lolium perenne* L.)를 배치하였다. 그리고 처리구3에는 저관리용 잔디구장에 주로 이용되고 있는 툴 웨스큐(TF, *Festuca arundinacea* Schreb.)로 준비해서 전체 총 3개의 처리구를 준비하였다. 한지형 실험구 조성 시 종자 파종량은 초종별 기준 파종량으로 KB, PR 및 TF 초종별로 각각 12, 35 및 45 g·m²을 이용하였다.

연구포지의 잔디관리는 중정도 수준으로 유지되고 있는 스포츠 잔디밭 수준으로 관리하였다. 관수관리는 자동 스프링클러 장치인 기어식 팝업 시스템(pop-up system)을 설치해서 수분 요구 정도에 따라 주2-4회 실시하였다. 예초 관리는 한지형 잔디의 생장속도에 따라 주 2-3회 정도, 예고는 25-27 mm 사이로 실시하였다. 시비관리는 엽색 및 생육상태에 따라 완효성 비료를 이용하여 순수 질소 성분 기준으로 연간 15 g·m² 기준으로 적용하였다.

잔디생육조사

캘리포니아 지반에서 한지형 잔디의 생육특성과 투수성능 차이를 비교하기 위해 3종류의 한지형 잔디를 2008년 봄에 파종 후 2년이 지난 시점에 잔디밀도, 뿌리생장, 근계발달, 대취축적 등 생육특성과 투수속도를 조사하였다. 잔디밀도는 피복상태, 엽수발생 및 분얼 정도를 종합적으로 고려하여 잔디포장 실험에서 많이 사용하고 있는 가시적 평가방법(visual rating system)을 활용해서 평가하였다. 이 때 잔디피복이 양호하며 엽수 출현 및 분얼이 왕성한 최적의 상태를 9점으로 하였고, 잔디피복이 고르지 않고 엽수 발생 및 분얼이 적을수록 낮은 점수를 부여하여 평가하였다.

뿌리생장은 홀 커터(직경 10 cm, 길이 20 cm)로 코어 샘플을 채취하여 뿌리길이를 측정하였다. 샘플 채취 후 각 코어의 측면 4 지점의 뿌리길이를 조사하였다. 근계발달은 뿌리길이 조사 시 채취한 코어 샘플을 이용하여 근계를 조사하였다. 이때 근계발달 범위는 전체 뿌리발달의 70% 정도 되는 부분까지로 하였으며, 각 코어의 측면 4 지점의 근계범위를 직접 측정하였다. 대취축적도 동일 규격의 홀 커터를 이용해서 코어 샘플 채취 후 대취축적 정도를 측정하였다. 샘플 채취 후 대취층은 코어의 4 지점에서 대취층 두께를 측정해서 평균값을 구했다.

투수속도는 투수속도 측정기(IN2-W Turf-Tec Infiltrometer, Turf-Tec International, Oakland Park, FL, USA)를 이용하여 조사하였다. 투수속도 조사 직전 자동 관수 시스템을 이용하여 지반을 충분히 포화시킨 후 투수속도 측정기를 식재층에 삽입하고 내부에 설치되어 있는 투수관(폭 6.8 cm, 높이 12.6 cm)에 물을 붓고 지시눈금이 7 cm까지 내려가는 시간을 측정하였다. 전체 잔디생육특성 및 투수속도 데이터 조사는 2010년 5월부터 10월까지 계절별로 전체 4회(5월 초순, 6월 하순, 8월 초순, 10월 초순) 실시하였다. 실험기간 중 연중 평균온도는 최저 -10°C에서 최고 27°C 사이로 나타났다.

시험구 배치 및 통계분석

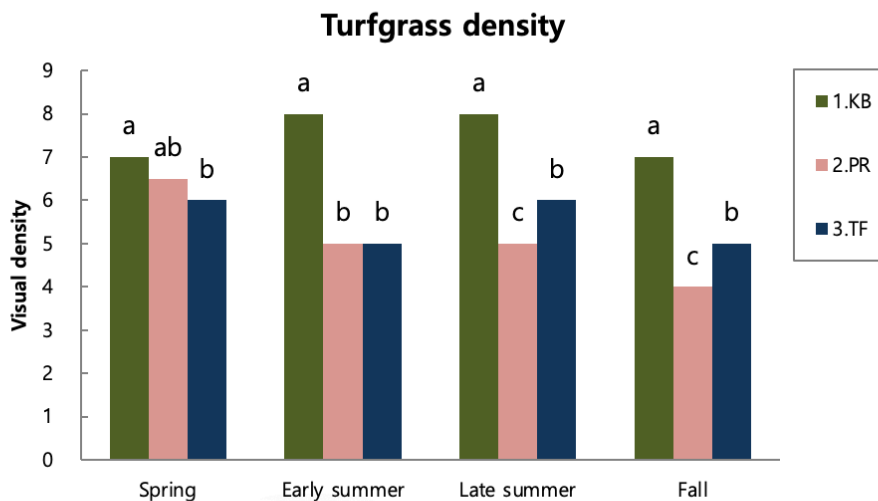
시험구 배치는 공시 3 초종의 처리구를 난괴법 4반복으로 배치하였다. 시험면적은 처리구 하나의 단위 실험구가 1×2.5 m로 전체 12개 실험구의 총 면적은 30 m²이었다. 데이터 분석은 SAS (Statistical Analysis System) 통계 프로그램(Ver. 8.00, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 ANOVA 분석을 실시하였으며(SAS Institute, 2001), 처리구간 유의성 검정은 DMRT (Duncan's multiple range test) 5% 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

잔디밀도

KB, PR, TF 생육특성 및 투수속도 조사 결과 잔디밀도, 뿌리생장, 대취축적 및 투수속도는 한지형 초종과 계절에 따라 통계적으로 차이가 유의하게 나타났다. 잔디밀도는 시간이 지나면서 한지형 잔디 초종 및 계절에 따라 다양하게 나타났다(Fig. 1A). 초종별 연중 평균 잔디밀도 경향은 KB>TF>PR 순서로 KB 초종의 평균 평가점수가 7.50점으로 가장 높았으며, PR의 평가점수가 5.25점으로 가장 낮게 나타났다. TF의 평가점수는 KB와 PR 중간인 5.50점으로 나타났다(Fig. 1B). 하지만 통계적으로 TF와 PR 초종 간의 유의성 차이는 나타나지 않았다.

A



B

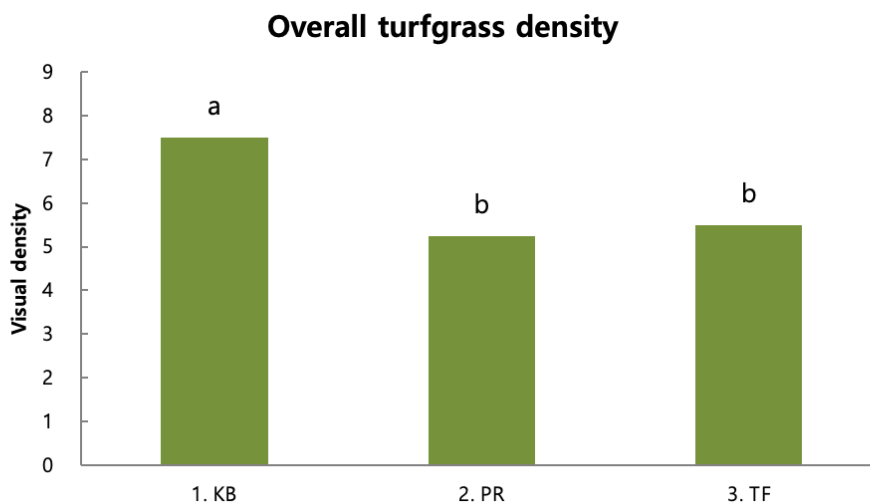


Fig. 1. Seasonal (A) and overall (B) turfgrass density of major cool-season grasses in California system. KB, PR, and TF represent Kentucky bluegrass, perennial ryegrass and tall fescue, respectively. a-c: Bars with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

봄철인 5월 초순에 초종 간 잔디밀도 평가 점수는 6.0-7.0점 사이로 나타났다. 한지형 초종 중 KB 평가점수가 7.0점으로 가장 높았고, TF 평가점수가 6.0점으로 가장 낮았다. PR의 잔디밀도는 6.5점으로 KB와 TF 중간으로 나타났다. 여름 고온 기간에 잔디밀도는 초종에 따라 평가점수가 5.0-8.0점 사이로 나타났다. 초여름 6월 하순 및 늦여름 8월 초순 조사 시 잔디밀도는 KB의 경우 평가점수가 8.0점으로 5월에 비해 많이 향상되었다. 반면 PR의 평가점수는 5.0점으로 5월 초순에 비해 25% 정도 떨어졌다. 그리고 TF는 6월 하순 및 8월 초순 각각 5.0점 및 6.0점으로 KB와 PR의 중간으로 나타났다.

하절기에 PR 잔디밀도가 가장 저조한 것은 고온 및 건조에 대한 적응력이 약해서 나타난 것으로 판단되었다. Youngner (1962)는 한지형 잔디의 내서성 비교에서 PR 초종은 KB 및 TF에 비해 떨어진다고 보고하였으며, 온실과 포장 (Minner et al., 1983; Wehner and Watschke, 1981)에서 실시한 실험에서도 모두 PR의 내서성이 약한 것으로 나타났다. 또한 한지형 잔디 중 PR은 KB나 TF에 비해 내건성도 낮은 것으로 알려져 있다(DiPaola and Beard, 1992). 즉 PR은 내서성 및 내건성이 약하므로 고온 및 건조 피해를 쉽게 받을 수 있기 때문에 잔디밀도가 감소할 수 있다. 국내 기후 조건의 USGA 지반에서 실시한 연구(Kim, 2005)에 의하면 PR의 잔디 품질은 7월 중순-8월 중순 사이 평균 13% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

가을인 10월 초순에 조사한 밀도는 여름에 비해 모든 처리구에서 다소 떨어지는 경향으로 나타났다. 이러한 감소는 한지형 잔디는 15-24°C에서 왕성하게 자라는데 9월 하순 이후 15°C 이하로 내려가면서, 잔디생장 속도가 둔화되면서 밀도가 감소하기 때문이다. 이 때 잔디밀도가 가장 양호한 초종은 KB로 평가점수가 7.0점이었고, 가장 저조한 초종은 평가점수가 4.0점인 PR이었다. TF 초종의 평가점수는 5.0점으로 KB와 PR의 중간 정도로 나타났다.

본 실험에서 KB의 밀도는 이른 봄부터 가을까지 가장 양호하였는데 이것은 초종 간 생육형 차이 때문에 나타난 것으로 판단되었다. 생육형이 주형잔디(bunch-type, B-type)인 TF 및 PR은 줄기생장이 내부로만 분얼하지만, KB는 지하경형 잔디(rhizomatous-type, R-type)이기 때문에(Watschke and Schmidt, 1992), B-type 초종 보다 더 왕성한 생장으로 인해 잔디 밀도가 더 높게 나타난 것으로 판단되었다.

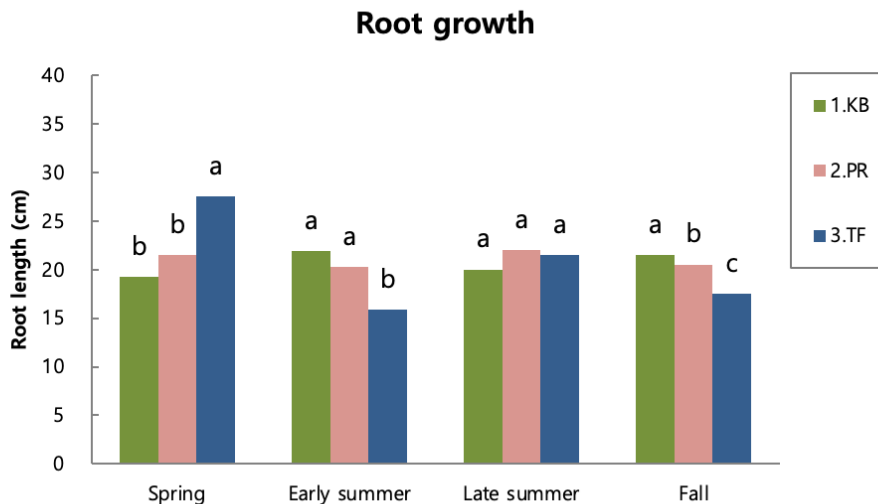
공시 초종 중 PR의 밀도가 가장 낮게 나타난 것은 하절기 환경적응력이 약하기 때문이다. 국내에서 여름 고온기 한지형 잔디에 크게 영향을 주는 요인은 고온환경이다. 광합성 기작이 C₃ 형인 한지형 잔디는 생육적온이 15-24°C로 25°C 이상 올라가는 여름 고온기에 스트레스를 쉽게 받기 때문에 잔디 엽조직이 약해지면서 생육속도가 감소할 수 있다 (Wallner et al., 1982). 특히 한지형 잔디 중 PR은 KB 및 TF에 비해 내서성 및 내건성이 약해 하고현상으로 인해 잔디밀도 저하가 크게 나타날 수 있기 때문이다(DiPaola and Beard, 1992; Wehner and Watschke, 1981).

반대로 TF는 한지형 잔디 중 내서성 및 내건성이 가장 뛰어난 초종이지만 하절기 잔디밀도는 KB에 비해 낮게 나타났는데, 이는 KB에 비해 저예고 적응력이 약하기 때문에 나타난 것으로 판단되었다(Christians, 2004). 본 실험기간 중 연구 포장의 예초는 25-27 mm 사이로 유지하였는데, 이는 TF 초종의 적정 예고 범위보다 다소 낮기 때문에 TF의 잔디밀도가 떨어질 수 있다(Kim, 2019b; KOWOC, 2000a). Kim (2005)은 USGA 지반에서 한지형 잔디적응력 및 하고현상에 대한 연구에서 TF 초종은 예고를 낮출 때 잔디품질이 떨어진다고 보고하였다.

뿌리생장

2010년 캘리포니아 지반에서 자란 한지형 잔디의 전체 뿌리생장 범위는 최저 15.87 cm -최대 27.50 cm 사이로 초종 및 계절에 따라 다양한 차이가 나타났다(Fig. 2A). 그리고 초종별 연중 평균 뿌리길이는 20.60-21.25 cm 사이로 KB, PR, TF 뿌리생장이 거의 비슷한 것으로 나타났는데(Fig. 2B), 이것은 계절별 초종 간 우열관계가 일정하지 않았기 때문에 나타난 것으로 판단되었다.

A



B

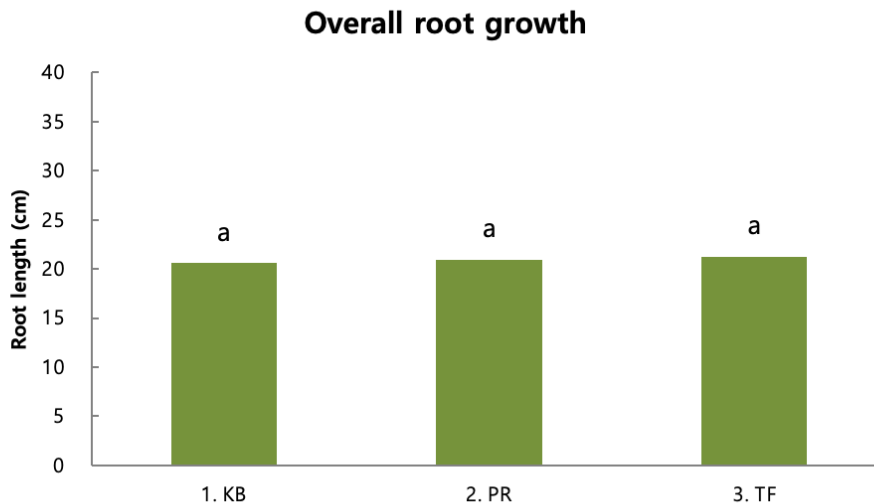


Fig. 2. Seasonal (A) and overall (B) root growth in major cool-season grasses in California system. KB, PR, and TF represent Kentucky bluegrass, perennial ryegrass and tall fescue, respectively. a-c: Bars with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

봄철인 5월 초순 조사 시 뿌리길이는 19.25-27.50 cm 로 초종 간 차이가 8.25 cm 로 나타났다. 뿌리생장이 가장 양호한 초종은 TF로 뿌리길이가 27.50 cm 로 나타났다. 즉 뿌리길이가 19.25 cm 로 가장 짧은 KB에 비해 30% 정도 뿌리길이 생장이 더 왕성하였다. PR 초종은 21.50 cm 로 TF 및 KB 사이로 나타났으나, KB와 PR 초종간에는 통계적으로 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 여름철 고온 기간에 뿌리생장은 15.87-22.00 cm 사이로 초종 간 차이가 6.13 cm 로 나타났다. 하지만 초종 간 뿌리생장 우열관계는 5월 초순 조사 결과와 반대로 나타났다. 초여름 6월 하순 조사 시 뿌리생장은 KB 초종이 21.87 cm 로 가장 양호하였고, 반대로 TF는 15.87 cm 로 가장 저조하였다. 그리고 PR 초종은 20.25 cm 로 KB 및 TF 사이로 나타났다. 장마 후 늦여름 8월 초순 뿌리생장은 KB, PR, TF 초종은 21 cm 전후로 통계적으로 유의성 없이 비슷한 수준으로 나타났다.

가을인 10월 초순 조사 시 뿌리생장은 17.50-21.50 cm 사이로 초종에 따른 뿌리생장 차이가 4 cm 로 나타났다. 이 때 가장 양호한 처리구는 KB로 뿌리길이가 21.50 cm 이었고, 가장 저조한 초종은 TF로 17.50 cm 로 나타났다. 즉 KB 뿌리길이는 TF에 비해 22.8% 정도 더 왕성하게 자라는 것으로 나타났다. 이상에서 초종별 뿌리생장 패턴은 KB의 경우 19.25-21.87 cm 사이로 연중 20 cm 전후, 그리고 PR 초종은 20.25-22.00 cm 사이로 연중 21 cm 전후로 일정하였다. 하지만 TF는 연중 뿌리생장이 15.87-27.50 cm 사이로 차이가 11.63 cm 로 계절에 따라 크게 나타났다.

본 실험에서 5월 초순 초종 간 뿌리길이 생장 우열관계는 TF>PR>KB 순서로 나타났는데, 이러한 차이는 생육형 및 유전적 특성이 다르기 때문에 나타난 것으로 판단되었다. TF 및 PR는 생육형이 B-type으로 직근성의 뿌리발달이 특징이다. 또한 TF 초종은 유전적으로 뿌리생장이 왕성해서 최적 생육환경에서 근계발달은 심근성(deep and extensive rooting system)으로 나타나고 있다(Kim et al., 1999; Meyer and Watkins, 2003). 하지만 KB는 생육형이 R-type으로 수평생장을 하기 때문에 상대적으로 수직방향의 뿌리길이는 짧은 편이다.

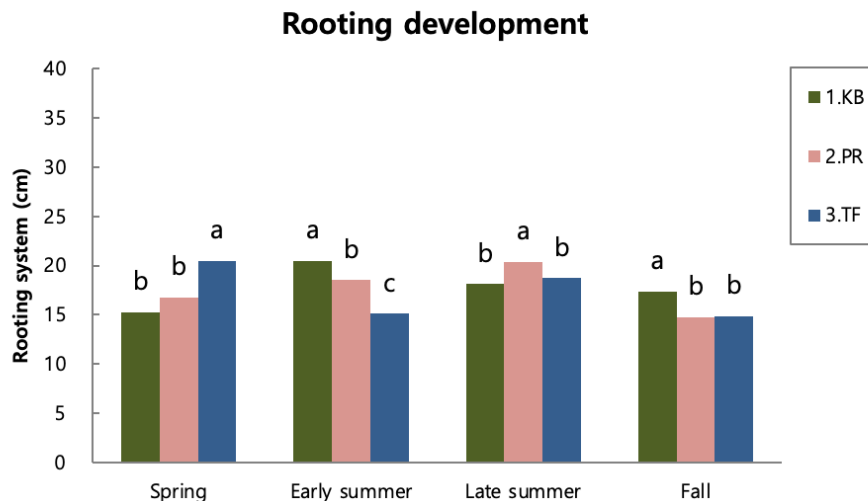
초여름 및 가을 조사 시 우열 관계는 5월 초순과는 달리 KB>PR>TF 순서로 KB 초종이 가장 양호하였는데, 이것은 저장탄수화물 때문에 나타나는 것으로 판단되었다. Watschke et al. (1972)는 생육환경 및 잔디관리에 따라 체내 조직에 축적되는 탄수화물량이 달라지고, 이러한 탄수화물 축적 차이는 내서성에 영향을 준다고 발표하였다. 즉 지하경으로 생장하는 KB는 지하경에 저장 탄수화물을 저장할 수 있어 여름 고온기 불량환경에서도 체내 대사작용을 지속하면서 잔디생장을 할 수 있다. 하지만, 직립경으로만 내부 분얼하는 PR나 TF는 여름 고온기 및 저예고 조건에서 저장 탄수화물량이 낮아지고, 이로 인해 내서성이 약화되면서 전체 잔디생장이 감소하는 것으로 판단되었다.

근계발달

뿌리생장의 70% 범위를 차지하는 근계발달 정도를 조사한 결과 근계발달 범위는 최저 14.75 cm-최대 20.50 cm 사이로 초종 및 계절에 따라 다양한 차이가 나타났다(Fig. 3A). 그리고 초종별 연중 평균 근계 발달은 17 cm 정도로 KB, PR 및 TF 세 초종 모두 거의 비슷하게 나타났다(Fig. 3B).

계절에 따른 초종간 근계발달 패턴은 전반적으로 뿌리생장과 비슷한 경향으로 나타났다. 봄철 5월 초순 조사 시 근계 발달 범위는 15.25-20.50 cm 로 초종 간 차이가 4.8 cm 로 나타났으며, 우열관계는 TF>PR>KB 경향으로 나타났지만, PR 과 KB 초종 간 차이는 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 여름 고온 기간에 근계발달은 15.12-20.50 cm 사이로 초종 간 차이가 5.38 cm 로 나타났다. 하지만 초종 간 근계발달 우열관계는 5월 초순과 다르게 나타나서 초여름 6월 하순 우열 관계는 KB>PR>TF 순서로 나타났다. 가을 10월 초순 조사 시 근계발달은 14.75-17.37 cm 사이로 초종간 차이가 2.62 cm 로 나타났다. 이 때 가장 양호한 처리구는 KB로 17.37 cm 이었고, 반대로 PR 및 TF 초종의 근계발달은 14.75 cm 및 14.87 cm 로 비슷하였다. 즉 KB 근계는 이들 초종에 비해 약 18% 정도 더 왕성하게 자라는 것으로 나타났다.

A



B

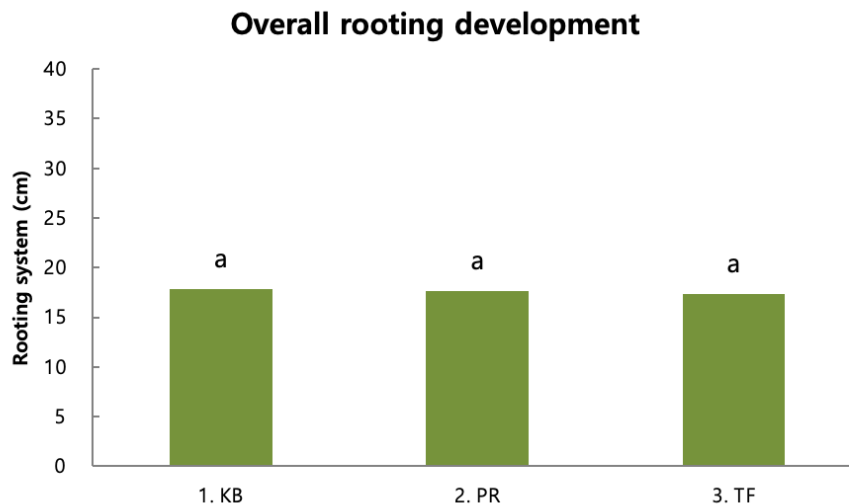


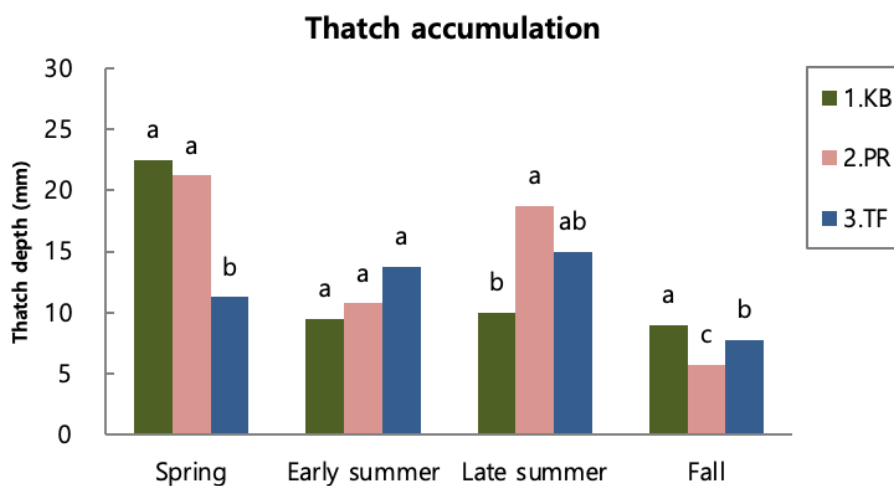
Fig. 3. Seasonal (A) and overall (B) rooting system development of major cool-season grasses in California system. KB, PR, and TF represent Kentucky bluegrass, perennial ryegrass and tall fescue, respectively. a-c: Bars with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

대취층 발달

잔디 대취층적범위는 최저 5.75 mm에서 최대 22.50 mm 사이로 초종 및 계절에 따라 다양하게 나타났다(Fig. 4A). 초종 별 연중 평균 대취층적은 PR 초종이 14.12 mm로 가장 높게 나타났고, 반대로 TF 초종은 11.93 mm로 가장 낮았다. 그리고 KB 초종의 대취층적은 12.75 mm로 PR 및 TF 사이로 나타났다(Fig. 4B). 하지만 KB, PR 및 TF 초종간 통계적 유의성은 나타나지 않았다.

봄철인 5월 초순 대취축적은 11.25-22.50 mm 사이로 초종간 차이가 11.25 mm로 크게 나타났다. 이 때 대취층이 많이 축적된 초종은 KB와 PR로 각각 22.50 mm 및 21.25 mm로 나타났다. 반대로 대취축적이 적은 초종은 TF로 11.25 mm로 나타났다. 하지만 여름 고온 기간에 대취축적은 9.5-18.75 mm 사이로 5월 초순에 비해 평균 15% 정도 감소하였으며, 초종 간 대취축적 경향도 일정하지 않았다. 봄철 대취축적이 가장 높았던 KB는 9.50-10.00 mm 사이로 PR 및 TF 보다 적게 나타났다. TF의 경우 초여름 6월 하순 13.75 mm로 가장 높았고, PR 초종은 늦여름 8월 초순 조사 시 18.75 mm로 가장 높게 나타났다. 10월 하순 가을에 조사한 대취축적 범위는 5.75-9.00 mm 사이로 초종 간 대취축적 차이가 3.25 mm로 적게 나타났다. 대취축적이 가장 높은 초종은 KB로 9.00 mm이었고, 가장 적은 초종은 PR로 5.75 mm로 나타났다.

A



B

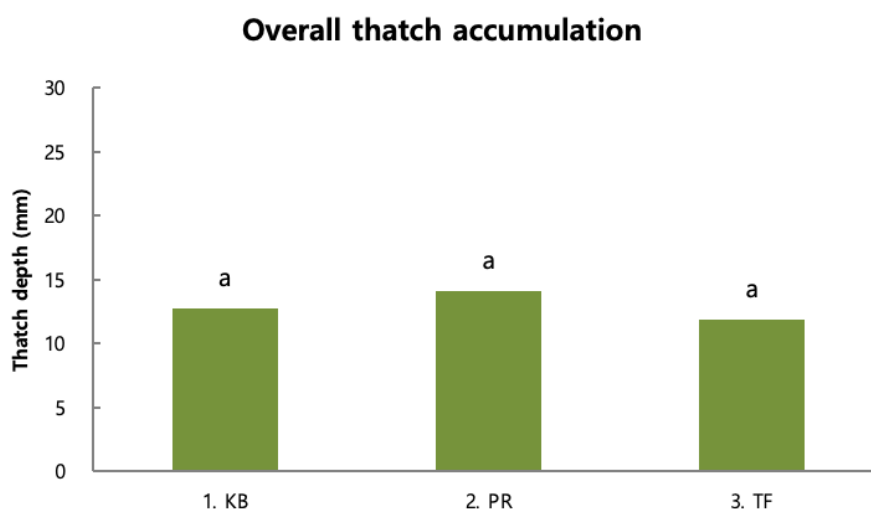


Fig. 4. Seasonal (A) and overall (B) thatch accumulation of major cool-season grasses in California system. KB, PR, and TF represent Kentucky bluegrass, perennial ryegrass and tall fescue, respectively. a-c: Bars with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

본 실험에서 대취충은 6월 이후 감소하는 경향으로 나타났는데, 이는 잔디생육 시 환경이 다르기 때문에 나타난 것으로 판단되었다. 잔디밭에서 대취충적은 전체 생체량 생산속도가 그 분해속도보다 빨라 유기물이 축적되는 것으로 일반적으로 잔디생육이 왕성할수록, 미생물 분해가 느릴수록 더 많이 축적될 수 있다(Couillard et al., 1997; Kim, 2019b). 즉 여름 고온기 대취충적 감소는 한지형 잔디에 나타나는 하고현상으로 인해 생육저하 때문에 나타나는 것으로 판단되었다. 광합성 기작이 C₃ 형인 한지형 잔디는 국내기후에서 기온이 25°C 이상 올라가는 여름에 고온 및 건조 스트레스를 쉽게 받아 잔디 엽조직이 약해지면서 생육이 크게 저하될 수 있다(Wallner et al., 1982).

포화투수속도

한지형 잔디의 투수속도는 초종 및 계절에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Fig. 5A). 2010년 초종별 연중 평균 투수속도는 KB 초종이 685.22 mm·hr⁻¹로 가장 빨랐고, TF 초종이 140.27 mm·hr⁻¹로 가장 느리게 나타났다(Fig. 5B). 그리고 PR 초종의 투수속도는 365.96 mm·hr⁻¹로 KB와 TF 중간으로 나타났다. 즉 초종 간 차이가 544.95 mm·hr⁻¹로 크게 나타났다.

연중 4회에 걸쳐 조사한 계절에 따른 초종 간 투수속도도 KB>PR>TF 경향으로 나타났다. 봄철 5월 투수속도는 180.35-428.57 mm·hr⁻¹ 사이로 KB 초종의 투수속도가 428.57 mm·hr⁻¹로 가장 빠르게 나타났다. PR과 TF의 경우 각각 180.35 mm·hr⁻¹ 및 212.13 mm·hr⁻¹로 느리게 나타났다. 초여름 장마 직전 6월 하순 투수속도는 TF 초종이 최저 187.04 mm·hr⁻¹, KB 초종이 최대 1,027.76 mm·hr⁻¹로 나타나 초종 간 투수속도 차이가 840.72 mm·hr⁻¹로 연중 가장 크게 나타났다. 그리고 PR의 투수속도는 379.47 mm·hr⁻¹로 KB와 TF 사이로 나타났다. 즉 KB의 투수속도는 PR에 비해 2.70배, 그리고 TF 초종보다 5.49배 정도 더 빠르게 나타났다.

늦여름인 8월 초순 투수속도는 최저 89.01 mm·hr⁻¹-최대 640.91 mm·hr⁻¹ 사이로 초종 간 차이가 551.90 mm·hr⁻¹로 나타났다. 이 때도 초종 간 우열관계는 6월 하순과 마찬가지로 KB>PR>TF로 비슷한 경향으로 나타났다. 가을인 10월 초순에 조사 시 투수속도는 최저 72.91 mm·hr⁻¹에서 최대 643.63 mm·hr⁻¹ 사이로 초종 간 차이가 570.72 mm·hr⁻¹로 8월 초순과 비슷한 경향이였다. 하지만 초종 간 우열관계는 KB, PR>TF로 나타났다. 즉 KB와 PR의 투수속도는 각각 643.63 mm·hr⁻¹ 및 615.79 mm·hr⁻¹로 비슷하게 나타났다.

본 실험에서 초종 간 투수속도는 연중 계절에 관계없이 KB>PR>TF로 나타났는데 이러한 경향은 잔디생육 특성 및 지반의 토양공극과 관계가 있는 것으로 판단되었다. 즉 생육형이 B-type인 잔디는 분얼경에 의해 주로 수직생장을 하며, 반면 지하경이 있는 R-type 잔디는 수평생장을 하기 때문에 뿌리발달에 의한 대공극 점유 비율이 상대적으로 적은 편이다(Watschke and Schmidt, 1992). 따라서 B-type 생육형인 PR 및 TF는 수직생장과 직근성의 뿌리발달로 인해 R-type KB에 비해 상대적으로 대공극 비율이 감소하면서 투수속도가 저하될 수 있다. 잔디밭에서 투수속도는 대공극과 모세공극 비율에 따라 결정되는데, 특히 대공극 비율이 낮아질수록 투수속도는 감소한다(Carrow and Petrovic, 1992).

국내에서 다양한 종류의 지반에서 조사한 연구에서도 초종별 투수속도 비교 시 뿌리발달이 직근성으로 많이 발달할수록 투수속도가 감소해서 배수력에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(KOWOC, 2000a). Shim and Jeong (2002b)은 하고현상이 나타나는 여름 고온기를 제외한 뿌리생장은 PR 초종이 KB에 비해 왕성하다고 보고하였다. 또한 USGA 다층구조 지반에서 조성 단계별 뿌리발달을 비교한 연구에서도 PR는 초기 피복 속도가 빨라 직근성의 뿌리발달이 조성 초기부터 후기까지 나타나지만, KB의 뿌리생장은 종자 파종 후 잔디밭 조성이 완료되는 시점까지 TF, PR 및 혼합구에 비해 저조하였다(Kim, 2015). 또한 국내에서 Kim (2019a)은 뿌리특성과 투수속도의 상관분석에서 뿌리생장이 왕성할수록 투수속도는 감소한다($r=0.611$)고 보고하였다.

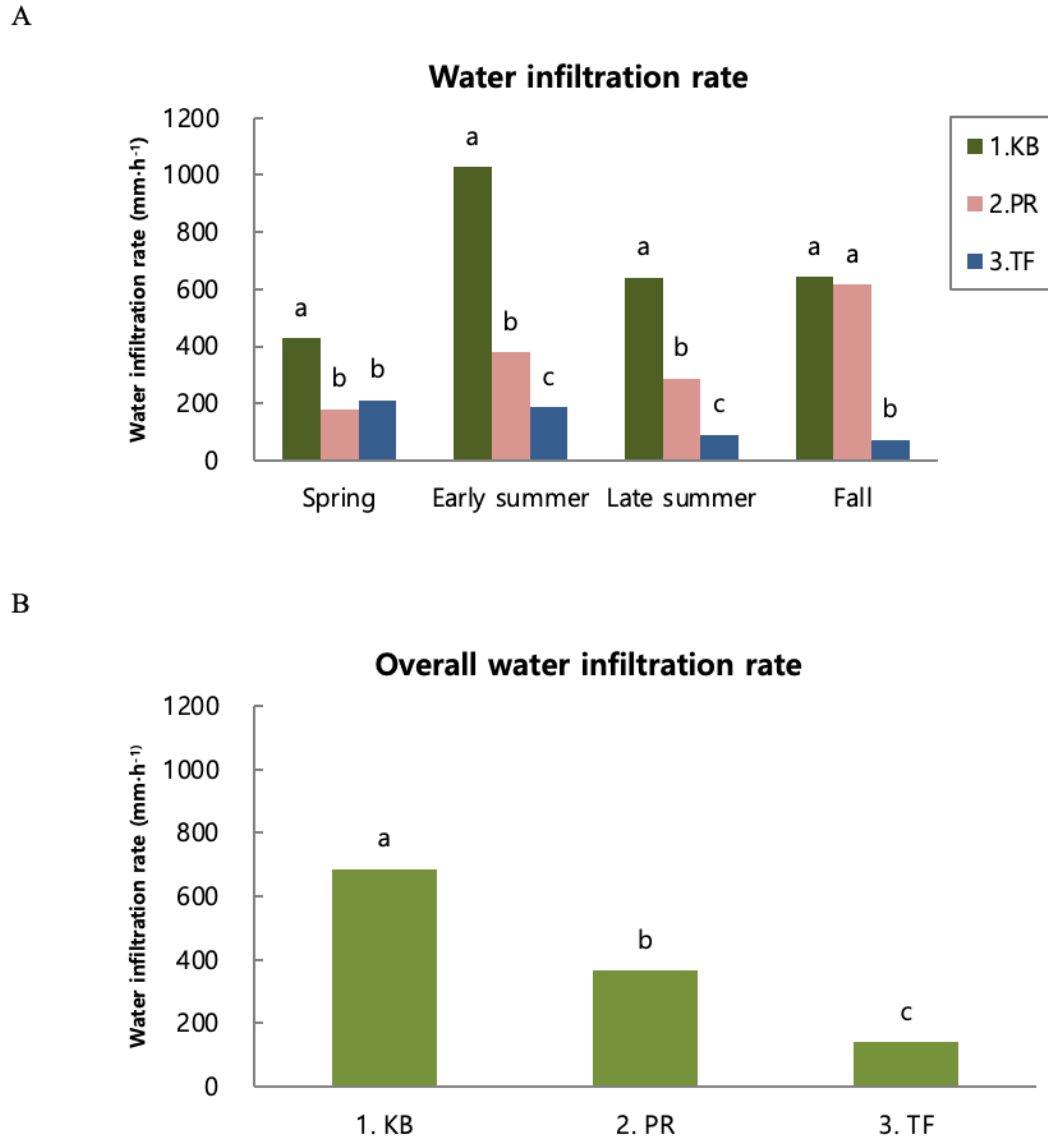


Fig. 5. Seasonal (A) and overall (B) infiltration rate of major cool-season grasses in California system. KB, PR, and TF represent Kentucky bluegrass, perennial ryegrass and tall fescue, respectively. a-c: Bars with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

장기적으로 잔디밭은 강우, 관수, 관리장비, 관리자 및 이용객 등으로 인해 누적적으로 가중되는 답압으로 인해 지반이 다져지면서 토양구조가 파괴되어 배수가 불량해질 수 있다. Carow and Petrovic (1992)은 잔디밭에 답압이 가해질 때 토양 중 대공극이 감소한다고 보고하였다. 따라서 B-type 초종에 비해 수평생장을 하는 R-type KB 초종에서 대공극 비율이 상대적으로 높기 때문에 투수속도가 연중 가장 빠르게 나타나는 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 다른 연구결과에서도 확인되고 있다. Kim and Shim (2003)과 Shim and Jeong (2002a)이 수행한 주요 잔디의 투수성 비교에서 생육형이 R-type인 KB가 가장 우수하였다. 또한 혼합 초종구(mixture)의 투수속도도 KB가 많이 혼합될수록 빠르지만, 반대로 생육형이 B-type인 PR 및 TF 초종이 혼합될수록 투수속도는 감소하였다.

본 실험에서 한지형 잔디의 생육반응은 모두 계절적으로 일정한 경향으로 나타났다. 즉 잔디밀도, 뿌리생장, 근계발달 및 대취축적 등 생육특성의 연중 변화 패턴은 봄철 5월 가장 왕성하였지만, 여름 고온기를 지나 10월 초순 가을 조사 시 대부분 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 감소는 한지형 잔디의 경우 9월 하순 이후 온도환경이 15°C 이하로 내려가면서, 성장속도가 둔화되고 잔디생육이 감소하기 때문인 것으로 판단되었다.

연중 한지형 초종의 투수성능은 KB>PR>TF 순서로 나타났는데, 이는 잔디생육 특성 중 특히 생육형 및 뿌리특성이 배수기능에 크게 영향을 주는 것으로 판단되었다. 즉 R-type KB 초종에 비해서 생육형이 B-type인 직근성의 PR, TF 초종의 경우 뿌리가 발달하면서 대공극을 많이 점유할 수 있기 때문에 수분이동이 느리게 나타나는 것으로 추정되었다. 특히 이와 같은 경향은 계절적으로 봄부터 가을까지 뚜렷하게 나타났으며 다른 연구에서도 확인되고 있다. 경기장 주변 종류별 투수성능을 비교한 연구 결과(Kim and Shim, 2003; Kim et al., 2003a) KB는 조성속도가 느리고, 직근성의 뿌리생장은 저조하지만, 투수속도는 TF 및 PR 초종에 비해 10-40% 정도 빠른 것으로 나타났다. 즉 잔디생육 상태에 따라 투수속도가 달라질 수 있는데, 이것은 수분이동과 밀접한 대공극 비율이 뿌리생장 정도에 따라 달라질 수 있기 때문이다. 또한 Kim and Cho (2020)가 수행한 파종시기별 KB 투수속도 평가에서도 파종시기가 늦는 경우 잔디밀도, 대취축적 및 뿌리생장이 저조해서, 투수속도는 오히려 가장 빠르게 나타났다.

축구장 조성 및 관리 시 배수는 대단히 중요하다. 배수불량 지역은 뿌리 호흡이 원활하지 않아 결국에는 잔디가 고사하게 됨으로(Kneebone et al., 1992), 적절한 배수력을 유지하는 것이 필요하다. 한지형 초종에 따라 생육형 및 뿌리생장 특성이 다르고, 특히 PR 및 TF는 직근성의 뿌리생육 특성으로 인해 이러한 잔디로 조성한 잔디밭에서 대공극 점유율이 더 높아질 수 있다. 즉 초종에 따라 뿌리생장 패턴이 다르고, 동일한 환경 및 관리 조건에서는 R-type 초종에 비해 직근성 B-type 잔디의 투수성능은 더 빨리 저하될 수 있으므로 잔디밭 관리 시 유의해야 한다. 그리고 본 실험을 통해 밝혀진 초종별 연중 한지형 잔디의 생육특성과 투수속도 비교 데이터는 잔디구장 설계 및 시공, 그리고 조성 후 그라운드 관리에 실무적으로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

요약

본 연구는 캘리포니아 지방에서 주요 한지형 잔디의 생육특성 및 투수속도 변화를 연중 계절별로 비교해서 잔디그라운드 설계, 시공 및 관리에 활용하고자 시작하였다. 처리구는 공시 초종 KB, PR 및 TF 3종류이었으며, 잔디 초종과 계절에 따라 잔디밀도, 뿌리생장, 근계발달, 대취축적 및 투수속도에 유의한 차이가 나타났다. 잔디밀도는 KB>TF>PR 경향으로 나타났으며, KB 밀도가 가장 높은 것은 R-type의 생육형 특성 때문으로 판단되었다. 그리고 PR의 밀도가 가장 낮은 것은 하고 현상으로 인해 잔디밀도 저하가 크게 나타나기 때문이다. 뿌리생장은 봄철인 5월 초순 조사 시 TF>PR>KB 경향으로 나타났으며, 여름 고온기에 뿌리생장은 하고 현상으로 크게 증가하지 않았다. 하지만 6월 하순 및 10월 초순 조사 시 뿌리생장 결과는 지하경이 있는 KB가 가장 양호하였다. 근계발달도 전반적으로 뿌리생장과 비슷한 경향으로 나타났다. 연중 초종별 대취축적은 11.93-14.12 mm 사이로 차이가 2.19 mm로 짧게 나타났는데, 이는 계절에 따라 초종 간 우열관계가 일정치 않기 때문에 나타난 것으로 판단되었다. 투수속도는 계절에 관계없이 KB>PR>TF로 나타났는데 이것은 잔디생육 특성 및 토양공극과 관계가 있는 것으로 판단되었다. 특히 여름 고온기 KB의 투수속도는 PR에 비해 2.70배, 그리고 TF 초종보다 5.49배 정도 더 빠르게 나타났다. 잔디생육 특성 중 - 특히 잔디생육형 및 뿌리특성이 배수성능에 크게 영향을 주는 요인으로 판단되었다. 잔디밭 관리 시 초종에 따라 생육형 및 뿌리생장 패턴이 다르고, 동일한 환경 및 관리 조건에서 직근성 B-type 잔디의 투수성능이 R-type에 비해 더 빨리 저하될 수 있으므로 잔디 생육특성 및 배수기능을 연계해서 효율적인 잔디관리를 하는 것이 필요하다.

주요어: 대취축적, 뿌리생장, 생육형, 잔디밀도, 투수속도 측정기

Authors Information

Kyoung Nam Kim, Environmental Design and Horticulture, Sahmyook University, Professor

Se Eun Kim, Environmental Horticulture, Sahmyook University, Master student

References

- Carrow, R.N. and Petrovic, A.M. 1992. Effects of traffic on turfgrasses. *Agron. Monogr.* 32:285-330. In: Waddington, D.V., Carrow, R.N. and Shearman, R.C. (Eds.), *Turfgrass*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA.
- Christians, N.E. 2004. *Fundamentals of turfgrass management*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- Couillard, A., Turgeon, A.J. and Rieke, P.E. 1997. New insights into thatch biodegradation. *Int. Turfgrass Soc. Res. J.* 8:427-435.
- Davis, W.B. 1990. *The sand putting green: Construction and management*. University of California Agric. Exp. Stn. Publication 21448.
- Dipaola, J.M. and Beard, J.B. 1992. Physiological effects of temperature stress. *Agron. Monogr.* 32:231-267. In: Waddington, D.V., Carrow, R.N. and Shearman, R.C. (Eds.), *Turfgrass*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA.
- Kim, J.H. and Shim, S.R. 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. & Reveg. Tech.* 12(5):1-12. (In Korean)
- Kim, K.N. 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(5):18-30. (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(2):166-176. (In Korean)
- Kim, K.N. 2019a. Correlation analysis of root growth and soil physical properties of major cool-season turfgrasses on USGA soil profile. *Weed Turf. Sci.* 8(2):149-158. (In Korean)
- Kim, K.N. 2019b. *STM series II: Turfgrass management*. 2nd ed. KS Publishing Company, Seoul, Korea.
- Kim, K.N. and Cho, C.H. 2020. Seasonal differences in growth characteristics and infiltration rate in Kentucky bluegrass grown under USGA soil system according to establishing maturity by seeding time. *Weed Turf. Sci.* 9(2):179-191. (In Korean)
- Kim, K.N. and Kim, B.J. 2010. Comparison of thatch accumulation in warm-season and cool-season turfgrasses under USGA and mono-layer soil systems. *J. Kor. Inst. Landscape Architecture* 38(1):129-136. (In Korean)
- Kim, K.N. and Nam, S.Y. 2001. Comparison of cool-season turfgrass performance under the transition climate of Korea. *Agron. ASA-CSSA-SSSA, Charlotte, NC, USA*. (Abstr.)
- 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(6):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(4):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., Shearman, R.C. and Riordan, T.P. 1999. Top growth and rooting responses of tall fescue cultivars grown in hydroponics. Crop Sci. 39(5):1431-1434.
- Kneebone, W.R., Kopec, D.M. and Mancino, C.F. 1992. Water requirements and irrigation. Agron. Monogr. 32:441-472. In: Waddington, D.V., Carrow, R.N. and Shearman, R.C. (Eds.), Turfgrass. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA.
- KOWOC (Korean World Cup Organizing Committee). 2000a. 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)
- KOWOC (Korean World Cup Organizing Committee). 2000b. 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. p. 133. (In Korean)
- Lee, H.J., Song, J.W. and Ku, J.H. 2001b. Effect of root zone cooling on growth and mineral contents of turfgrasses in simulated athletic field during summer season. Kor. J. Turfgrass Sci. 15:169-179. (In Korean)
- Lee, J.P., Kim, S.J., Seo, H.Y., Han, I.S., Lee, S.J., et al. 2001a. The effect of shade net on summer stress of cool-season turfgrass. Kor. J. Turfgrass Sci. 15:51-64. (In Korean)
- Meyer, W.A. and Watkins, E. 2003. Tall fescue (*Festuca arundinacea*). pp. 107-127. In: Casler, M.D. and Duncan, R.R. (Eds.), Turfgrass Biology, Genetics, and Breeding. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- Minner, D.D., Dernoeden, P.H, Wehner, D.J. and McIntosh, M.S. 1983. Heat tolerance screening of field-grown cultivars of Kentucky bluegrass and perennial ryegrass. Agron. J. 75:772-775.
- Park, W.K. 2011. Effect of seeding rates on the growth, turf performance and sod quality in Kentucky bluegrass grown in USGA soil system. MS Thesis, Sahmyook Univ., Seoul, Korea. (In Korean)
- SAS Institute. 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 Landscape Architecture Kor. 97:148-153. (In Korean)
- Shim, S.R. and Jeong, D.Y. 2002a. Physical properties of soil and turfgrass wear characteristics of soccer fields: A simulation of the Incheon 2002 world cup stadium. J. Kor. Inst. Landscape Architecture 30(1):96-104. (In Korean)
- Shim, S.R. and Jeong, D.Y. 2002b. Turfgrass selection for soccer fields - A simulation of the Incheon 2002 world cup stadium- J. Kor. Inst. Landscape Architecture 30(2):88-94. (In Korean)
- Shim, S.R. and Yeom, D.Y. 1983. Rootzone construction for athletic turf area. J. Kor. Inst. Landscape Architecture 11(1):35-43. (In Korean)

- Vengris, J. and Torello, W.A. 1982. Lawns-Basic factors, construction, and maintenance of fine turf areas. Thomson Publications, Fresno, C.A., USA.
- Wallner, S.J., Becwar, M.R. and Butler, J.D. 1982. Measurement of turfgrass heat tolerance *in vitro*. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 107:608-613.
- Watschke, T.L. and Schmidt, R.E. 1992. Ecological aspects of the turf communities. Agron. Monogr. 32:129-174. In: Waddington, D.V., Carrow, R.N. and Shearman, R.C. (Eds.), Turfgrass. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA.
- Watschke, T.L., Schmidt, R.E., Carson, E.W. and Blaser, R.E. 1972. Some metabolic phenomena of Kentucky bluegrass under high temperature. Crop Sci. 12:87-90.
- Wehner, D.J. and Watschke, T.L. 1981. Heat tolerance of Kentucky bluegrass, perennial ryegrass and annual bluegrass. Agron. J. 73:79-84.
- Youngner, V.B. 1962. Which is the best turfgrass? Calif. Turfgrass Culture 12:30-31.