

Research Report

USGA 지반으로 설계된 스포츠 잔디밭에서 조성단계별 주요 한지형 잔디의 지하부 뿌리생육 특성 비교

김경남*

삼육대학교 과학기술대학 원예학과

Comparison of Underground Root Growth Characteristics of Major Cool-Season Grasses according to Establishment Stages in Sports Turf Designed by the USGA Soil System

Kyoung-Nam Kim*

Department of Horticulture, College of Science and Technology, Sahmyook University, Seoul 139-742, Korea

Abstract: Research was initiated to investigate root growth characteristics of major cool-season grasses (CSG) and to collect basic information useful for sports turf design, construction and maintenance. Several turfgrasses were evaluated in the USGA (United States Golf Association) soil system. Turfgrass entries were comprised 3 blends and 3 mixtures of Kentucky bluegrass (KB, *Poa pratensis* L.), perennial ryegrass (PR, *Lolium perenne* L.), and tall fescue (TF, *Festuca arundinacea* Schreb.). Significant differences were found in root growth, rooting potential and rooting development. These characteristics increased with time after seeding, but varied with establishment stages. In early stage, root length was highest with PR, intermediate with TF and lowest with KB. Evaluation in a middle stage indicated that root growth was similar to early-stage evaluation, but decreased by 13 to 31% compared with early-stage values. Root growth of late stage increased by 34 to 85% over middle-stage root growth. Overall, there was not much difference in root length among treatments, with all except Mixture I reaching 22 cm in root length. Rooting potential ranking was variable with establishment stage, being PR > KB > TF in early stage, PR > TF > KB in middle stage and TF > PR > KB in late stage. At the end of the study, TF was rated best for rooting development, followed by PR and finally KB. Our results showed that TF was the best species in regard to overall rooting characteristics. TF exhibited excellent rooting development with time after establishment. Bunch-type PR showed fast root growth in the early stage, but rooting quality characteristics decreased with time, especially for rooting development. By contrast, rhizomatous-type KB was poor in early-stage root growth, but rooting characteristics improved with time after establishment. These variations in rooting characteristics among CSGs were considered to arise from differences in establishment vigor, growth habit and genetic characteristics. Information on root growth, rooting potential and rooting development by establishment stages will be useful for sports turf design, construction and maintenance.

Additional key words: Kentucky bluegrass, perennial ryegrass, rooting development, root growth, sand-based soil system, tall fescue

서 언

국내에서 정원, 공원, 골프장 및 경기장에 잔디이용 경향은 대부분 들잔디(Korean lawngrass, *Zoysia japonica* Steud.)

위주로 사용되었다. 정원, 공원, 퍼블릭 코스 및 학교 운동장 등 저 관리지역(low maintenance area)은 관리가 용이하고 여름 고온 및 건조에 강한 들잔디 위주로 사용하는 것이 바람직하다(KISS, 1998). 하지만 고품질 골프장 및 경기장의

*Corresponding author: knkturf@syu.ac.kr

※ Received 11 February 2014; Revised 2 June 2014; Accepted 3 July 2014. 본 논문은 2015학년도 삼육대학교 학술연구비 지원에 의해 수행된 것임.

경우 연중 녹색기간이 많이 요구되기 때문에 들잔디 사용은 적절한 선택은 아니다. 왜냐하면 들잔디로 조성 시 가을부터 봄까지 잔디 엽 조직의 탈색으로 품질 저하 및 사용기간 제한, 거친 엽 조직으로 인한 부상 위험성, 격렬한 게임 후 느린 회복속도 등의 특성으로 인해 고품질이 요구되는 스포츠 잔디에는 적합하지 않기 때문이다(Shim, 1996).

스포츠 잔디는 태클, 슬라이딩 및 갑작스런 공수 전환 등 선수들의 격렬한 플레이 및 선수들간 몸싸움으로 인해 생육에 불리한 여러 가지 스트레스를 받으며, 또한 잔디밭 표면 및 식재층 기반상태도 조성 후 변하기 때문에 생육에 불리한 환경에서 자란다(Kim, 2013). 이렇게 생육에 불리한 환경이지만 스포츠 잔디는 TV 시청자 및 관람객 입장에서 연중 녹색기간 및 품질이 우수하고, 경기력 측면에서 답압에 대한 저항성 및 회복력이 강하고, 선수 보호 측면에서 부상을 줄일 수 있는 완충력이 좋은 잔디 그리고 축구공의 반발력을 높일 수 있는 특성 등이 필요하다(Adams and Gibbs, 1994; Harper II, 1969). 이러한 관점에서 고품질 컨셉의 스포츠 시설에는 한지형 잔디의 사용이 필요하며, 또한 전 세계적으로 수준 높은 경기장에는 연중 잔디품질이 우수한 한지형 잔디(cool-season grass)가 더 많이 이용되고 있다(Kim et al., 1998b; KOWOC, 1999).

한지형 잔디는 생육적온이 15-24°C로 국내 기후 조건에서 봄과 가을 서늘할 때 최적의 생장을 하는 초종으로(Beard, 1973; Kim et al., 1998a), 들잔디에 비해 연중 녹색유지 기간이 3-4개월 정도 길고 잔디밭 사용기간도 그만큼 더 오래 사용할 수 있다(Kim, 2005). 또한 시각적 잔디품질이 우수하고, 종자 파종이 가능해 조성 후 잔디밭 표면의 평탄성이 양호하며, 엽 조직이 부드러워 스포츠용에 적합하다(Kim et al., 2003a; Shim, 1996). 하지만 일반적으로 난지형 잔디(warm-season grass)에 비해 내서성(heat tolerance) 및 내건성(drought tolerance)이 약해 여름 고온 및 건조기에 생육이 저하되고 초종에 따라서는 하고현상에 의한 피해(summer drought injury)가 나타나는 단점도 있다(Beard and Beard, 2005; Kim, 2006).

기후적으로 우리나라는 난대 및 한대 기후대 사이에 속하기 때문에 국내 대부분의 지역은 한지형 및 난지형 잔디 모두가 생육할 수 있다. 하지만, 사용목적, 용도 및 기대수준에 따른 잔디지반 구조와 사후 관리를 고려해서 적합한 한지형 잔디를 선정해서 사용해야 하는데, 무분별한 한지형 잔디의 도입으로 인해 실패한 경우가 있었던 것이 사실이다(Kim et al., 1998a; Lee, 1997). 국내 한지형 잔디의 사용 현황은 고

품질 골프장 및 2002년 월드컵축구대회 전후로 조성된 일부 경기장을 제외하고는 대부분 경험이 일천하고, 또한 선진국에 비해 이에 대한 연구도 부족한 실정이므로 한지형 잔디에 대한 체계적인 연구는 지속적으로 필요하다.

잔디지반은 크게 단층구조와 다층구조로 나눌 수 있으며 단층구조와 다층구조는 다시 각각 여러 가지 형태로 세분할 수 있다(Adams and Gibbs, 1994). 국내 잔디구장은 주로 기존 토양 위에 간단히 식재층만 갖는 단층구조 위주로 조성되어왔다(Shim, 1992; Shim and Yeam, 1983). 하지만 2002년 월드컵축구대회 전후로 고품질 지역에 주로 선호되고 있는 방식은 식재층, 중간층 및 배수층을 갖는 다층구조 개념의 USGA(United States Golf Association) 지반구조이다(KOWOC, 2000b). 이 USGA 구조는 미국골프협회에서 퍼팅 그린용 잔디로 개발한 지반으로 골프장 및 경기장 조성 역사가 깊은 미국 및 유럽에서 많이 사용하고 있는 다층구조 컨셉의 지반이다(Cockerham, 1994; Kim et al., 1998b; USGA Green Section Staff, 1973).

USGA 지반은 식재층 전체를 모래 위주로 포설하고, 지선 및 간선 등 지하배수 시설과 함께 배수층을 별도로 설치하기 때문에 내답압성 및 투수성능이 우수해서 스포츠 잔디밭에 적합한 지반이다(Puhalla et al., 2002; Snow, 1993; USGA Green Section Staff, 1993). 국내에서 그 사용은 정교한 지하배수 시설을 포함해서 식재층, 중간층 및 배수층을 다층으로 조성함으로써 시공비가 많이 들기 때문에 제한적이었다. 하지만 월드컵축구대회 유치 전후로 한지형 잔디 사용과 함께 그 이용빈도가 크게 증가하고 있다(Kim, 2013).

국내에서 한지형 잔디를 이용한 연구 및 발표는 2002년 월드컵축구대회 개최 전후로 활발해지고 있다(Jung, 2010; Kim, 2005, 2011; Kim and Nam, 2001, 2003; Kim and Park, 2003; Kim and Shim, 2003; Kim et al., 1998a, 1998b, 2003a, 2003b; KISS, 1998; KOWOC, 2000a, 2000b; Lee et al., 2001a, 2001b; Park, 2011, 2012; Shim, 1996; Shim and Jeong, 2002a, 2002b; Shim et al., 2000). 하지만, 시공비 부담이 높은 고품질 지반구조인 USGA 지반에서 한지형 잔디의 생육특성 비교를 체계적으로 수행한 연구결과는 아직 충분하지 않다(Kim, 2005; Kim and Nam, 2001; Kim and Park, 2003; Kim et al., 2003a; KOWOC, 2000a; Park, 2011; Shim and Jeong, 2002b; Shim et al., 2000). 또한 USGA 지반에서 조성단계별 뿌리생육 조사에 대한 정보는 더욱 부족하다. 본 연구는 USGA 모래지반으로 설계된 연구포장에 주요 한지형 잔디를 뗏장으로 조성 후 조성단계별 초종 간 뿌리생

장, 뿌리활착도 및 근계발달 등 지하부 뿌리조직의 생육특성을 파악하고자 시작하였다.

재료 및 방법

지반조성

연구포장의 지반은 깊이 45cm인 USGA 지반구조(USGA soil system)로 조성하였다. 즉 잔디밭 지표면에서부터 식재층(rootzone layer) 30cm, 중간층(intermediate layer) 5cm 및 배수층(drainage layer) 10cm로 조성하였다(Fig. 1). 잔디지

반 조성 시 사용한 골재는 배수층 10cm에 6-9mm 사이의 콩자갈이 65%이상 포함된 자갈을 포설하였으며, 식재층과 배수층 사이 중간층 5cm에는 입경이 1-4mm 사이가 90% 이상인 왕사를 사용하였다. 뿌리가 자라는 근권층인 식재층 30cm에는 USGA스펙에 적합한 모래를 이용하였다. 즉 본 연구에 사용된 식재층 모래의 입경분포는 극세사(very fine sand) 1.2%, 세사(fine sand) 2.8%, 중사(medium sand) 및 조사(coarse sand)가 93.8%, 극조사(very coarse sand)가 1.3%로 USGA 스펙의 식재층 기준에 만족하는 모래였다(Table 1).

공시초종 및 파종량

잔디밭 조성은 1999년 가을에 한지형 잔디를 모래 조성된 토양에 파종하여 다음해 2000년 봄 이식이 가능한 정도의 뗏장 형성을 확인 후 이식하여 조성하였다. 공시초종은 Table 2에 제시된 한지형 잔디 6종류이었다. 처리구1은 켄터키 블루그래스 100%(*Poa pratensis* L.), 처리구2는 퍼레니얼 라이그래스 100%(perennial ryegrass, *Lolium perenne* L.), 처리구3은 켄터키 블루그래스와 퍼레니얼 라이그래스를 40:60으로 혼합한 잔디(Mixture I), 처리구4는 톨 페스큐100% (*Festuca arundinacea* Shreb.), 처리구5는 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스와 톨 페스큐를 25:25:50으로 혼합한 잔디(Mixture II), 그리고 처리구6은 켄터키 블루그래스와 퍼레니얼 라이그래스를 30:70으로 혼합한 잔디(Mixture III)였다.

잔디종자 파종량은 단일 초종인 처리구1, 2, 4의 파종량은 각각 12, 35 및 40g·m⁻²이었다. 그리고 혼합구의 파종량은 혼합구 I(처리구3)과 혼합구 III(처리구6) 모두 20g·m⁻²이었고, 혼합구 II(처리구5)는 25g·m⁻²이었다. 종자 파종 시 공시 처리구에 사용한 품종은 Table 2와 같다.

잔디관리

연구포장의 물 관리는 자동 관수 장치인 기어식 팝업 시스템

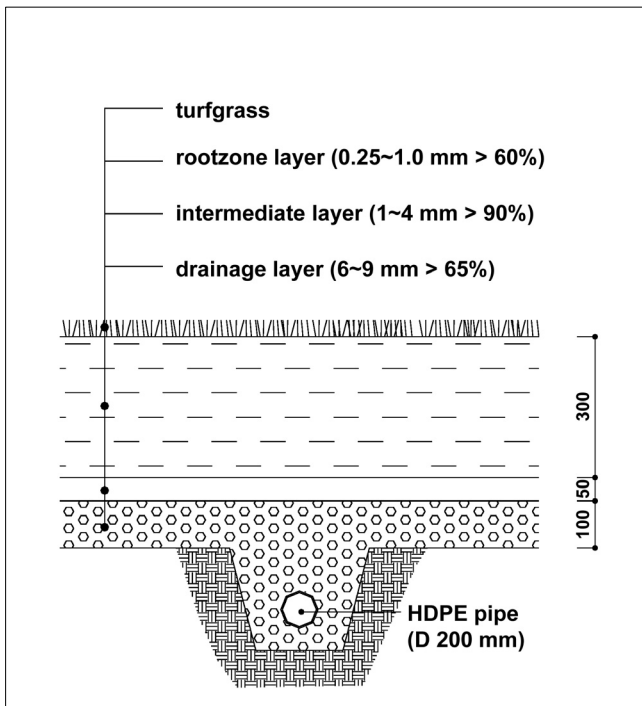


Fig. 1. Cross-sectional diagram of USGA soil system at the site of research field, in which rootzone, intermediate and drainage layers were established by 30 cm, 5 cm, and 10 cm, respectively.

Table 1. Particle size distribution of rootzone sand used for USGA² soil system in the research field.

Particle size (mm)	Particle size distribution (%)							
	Fine gravel (2.0-3.4)	Very coarse sand (1.0-2.0)	Coarse sand (0.5-1.0)	Medium sand (0.25-0.5)	Fine sand (0.15-0.25)	Very fine sand (0.05-0.15)	Silt (0.002-0.05)	Clay (< 0.002)
USGA Spec.	≤ 3%	≤ 7%	≥ 60%		≤ 20%	≤ 5%	≤ 5%	≤ 3%
Sand	0.2	1.3	74.9	18.9	2.8	1.2	0.7	0.03

²United States Golf Association.

Table 2. Turfgrasses, cultivars and seeding rate in the study.

Treatment no.	Turfgrass entries ^z		Seeding rate (g·m ⁻²)
	Common name	Cultivars	
1	Kentucky bluegrass	'Award' 'Challenger' 'Midnight'	12
2	Perennial ryegrass	'Accent' 'Manhattan III' 'Palmer II'	35
3	40 KB + 60 PR (Mixture I)	KB: 'Award', 'Midnight' PR: 'Accent', 'Manhattan III'	20
4	Tall fescue	'Apache II' 'Rebel Jr. III' 'Tomahawk'	40
5	25 KB + 25 PR + 50 TF (Mixture II)	KB: 'Award', 'Midnight' PR: 'Accent' TF: 'Tomahawk'	25
6	30 KB + 70 PR (Mixture III)	KB: 'Award', 'Midnight' PR: 'Accent', 'Manhattan III'	20

^zKB, Kentucky bluegrass; PR, perennial ryegrass; TF, tall fescue.

텀(pop-up system)을 이용하였고, 관수회수는 생육기간 중 주 1-5회, 관수량은 토양수분 및 증발산량에 따라 1회 2-6mm 기준으로 실시하였다. 실험기간 중 예초관리는 19-50mm 사이에서 실시하였다. 시비관리는 다양한 비료를 이용하였으며, 연간 시비량은 순수 질소성분으로 20g·m⁻² 기준으로 적용하였다.

뿌리생육 특성조사

뿌리생육 특성은 뿌리생장, 뿌리활착도 및 근계발달에 대해서 조사하였다. 뿌리생장은 초종별로 5 × 20cm 크기의 직사각형 샘플을 채취한 뒤 뿌리길이를 조사하여 평가하였다. 이 때 뿌리길이 조사는 조성단계에 따라 1차년도 뿌리활착이 완료된 조성 초기 1회(1999년 7월 하순), 조성 2년차 봄인 조성 중기 1회(2000년 4월 하순) 및 2차년도 생육이 왕성한 조성 후기 1회(2000년 6월 하순) 등 연구기간 동안 전체 3회 실시하였다. 뿌리활착도는 초종별로 5 × 20cm 크기의 샘플을 채취하여 뿌리길이 조사 시 뿌리활착도를 동시에 평가하였다. 뿌리활착도 평가는 각 처리구의 전체 뿌리발달 범위를 참조해서 잔디포장 시험에서 많이 사용하고 있는 시각적 평가방법(visual rating scale)을 이용하여 조사하였다 (Skogley and Sawyer, 1992). 즉, 뿌리발달 분포 및 범위가 6cm 이하로 가장 불량한 상태를 1점, 뿌리발달 분포 및 범위가 18cm 이상으로 가장 좋은 상태를 9점으로 하여 1-9점 사

이에서 뿌리활착도(visual rooting system, 1-9; 1 = poorest, 6cm 이하, 6 = acceptable, 12cm 전후; 9 = best rooting, 18cm 이상)를 평가하였다. 그리고 근계발달은 본 연구 종료 시 초종별로 전체 뿌리생장의 80% 정도 자란 범위를 기준으로 측정하였다.

시험구 배치 및 통계분석

시험구 배치는 공시 6종류의 처리구를 난괴법 3반복으로 배치하였다. 시험면적은 공시초종 하나의 단위 시험구가 5 × 2m로 전체 18개 시험구의 총 면적은 180m²이었다. 통계 분석은 SAS(Statistical Analysis System) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석을 실시하였다(SAS Institute, 2001). 처리구 간의 유의성 검정은 DMRT(Duncan's Multiple Range Test) 5% 수준에서 실시하였다(Steel and Torrie, 1980).

결과 및 고찰

뿌리생장

뿌리생장은 조성 후 시간이 경과함에 따라 조성단계에 따라 초종별 차이가 크게 나타났다. 조성 후 약 3개월 경과 후인 조성 초기 조사 시 뿌리생장은 단일 초종구 중 퍼레니얼 라이그래스가 20.0cm로 가장 길게 나타났고, 반대로 켄터키 블루그래스는 16.3cm로 뿌리길이가 가장 짧았다(Fig.

2A). 톨 페스큐는 뿌리길이가 19.3cm로 켄터키 블루그래스와 퍼레니얼 라이그래스 사이로 나타났다. 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스 및 톨 페스큐 잔디를 혼합하여 파종한 혼합구 I, II, III은 초종 혼합율에 따라 뿌리길이가 다르게 나타났다. 이중 퍼레니얼 라이그래스가 가장 많이 섞인 혼합구 III의 뿌리길이가 19.0cm로 가장 양호한 반면, 켄터키 블루그래스가 가장 많이 혼합된 혼합구 I이 16.0cm로 가장 저조하였다.

조성 중기, 즉 2차년도 이른 봄인 2000년 4월 하순 2차 조사 시에도 조성 초기와 마찬가지로 퍼레니얼 라이그래스의 뿌리생장이 16.6cm로 가장 길게 나타났다. 톨 페스큐는 13.3cm

로 중간 정도였고, 켄터키 블루그래스의 뿌리생장은 11.5cm로 가장 짧았다(Fig. 2B). 이 밖에 혼합구 I, II, III의 뿌리길이는 13.8-14.1cm 사이로 대부분 비슷하게 나타났다. 즉 조성 중기 조사 시 초종간 뿌리생장은 조성 초기 1차 조사와 비슷한 경향이였다. 하지만 전체적인 뿌리생장은 조성 초기에 비해 크게 감소하였다. 켄터키 블루그래스의 경우 초기 1차 조사 시 16.3cm에서 11.5cm로 29.4% 정도 감소하였고, 퍼레니얼 라이그래스는 20.0cm에서 16.6cm로 17.0% 정도 감소하였다. 그리고 톨 페스큐의 경우 19.3cm에서 13.3cm로 31.0% 정도 감소하였다. 혼합구의 경우 1차 조사 시 16.0cm로 가장 짧았던 혼합구 I은 13.8cm로 13% 정도 감소하였다. 반대로 1차 조사 시 19.0cm로 가장 길었던 혼합구 III은 14.0cm로 26% 정도 크게 감소하였다. 그리고 1차 조사 시 17.0cm였던 혼합구 II는 14.1cm로 17% 정도 감소하였다. 즉 조성 중기 2차 조사 시 전체적인 뿌리생장은 조성 초기에 비해 13-31% 정도 낮게 나타났다.

이러한 뿌리생장 감소는 계절에 따른 생육환경 차이 때문에 나타난 것으로 판단되었다. 한지형 잔디의 뿌리생육은 영하로 떨어지는 동절기 기간을 제외하고 신근 발생을 관찰할 수 있다(Beard, 1973). 국내 중부지방에서 한지형 잔디의 뿌리생장은 초종에 따라 일 평균기온이 0°C 이상 유지되는 시기, 즉 계절적으로 2-3월부터 시작해서 12월까지 지속된다(Kim, 2011; Park, 2011) 하지만 4월의 기상조건은 중부지방의 경우 일 평균기온이 12°C 전후로(Kim, 2013), 아직 최적의 뿌리생육 환경이 아니기 때문에 초종 및 혼합구의 뿌리생장이 생육 왕성기인 조성 초기 1차 조사에 비해 전반적으로 저조하게 나타난 것으로 판단되었다.

조성 후기, 즉 조성 2년차 생육 적기인 6월에 3차 조사 시 뿌리생장은 이른 봄에 비해 공시초종 모두 왕성하게 나타났으며, 뿌리길이가 가장 긴 혼합구 I을 제외한 대부분 한지형 처리구의 뿌리길이는 22cm 전후로 비슷하게 나타났다(Fig. 2C). 켄터키 블루그래스가 40%로 가장 많이 혼합된 혼합구 I은 조성 초기 1차 조사 시 뿌리생장이 가장 저조하였지만, 조성이 완료된 2년차 생육 전성기인 3차 조사 시 뿌리길이는 24.3cm로 가장 양호하게 나타났다. 전체적으로 조성 후기 뿌리생장은 조성 중기인 이른 봄 생장과 비교 시 초종에 따라 뿌리길이가 34-85% 정도 크게 증가하였다. 특히 이른 봄에 뿌리생장이 저조하였던 초종의 증가율이 두드러지게 관찰되었는데, 뿌리길이가 가장 짧았던 켄터키 블루그래스의 경우 11.5cm에서 21.3cm로 증가율이 85.2%로 가장 높게 나타났다. 하지만 2차 조사 시 뿌리길이가 가장 길었던

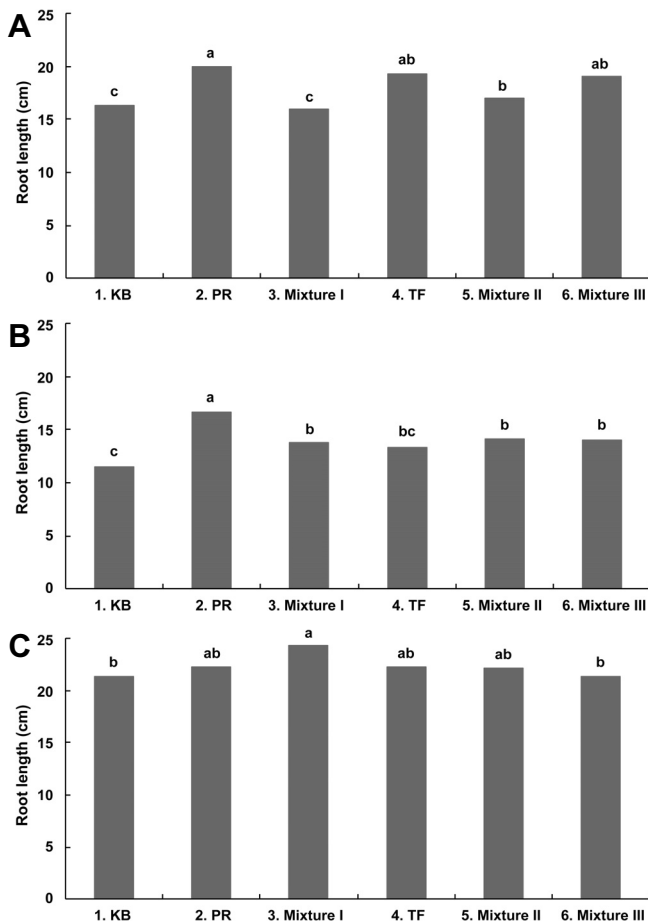


Fig. 2. Root growth of 6 cool-season turfgrasses under USGA system evaluated in early (A), middle (B), and late (C) stages of establishment, respectively. Treatments as described in Table 2 are 1 = Kentucky bluegrass (KB), 2 = perennial ryegrass (PR), 3 = Mixture I (40 KB + 60 PR), 4 = tall fescue (TF), 5 = Mixture II (25 KB + 25 PR + 50 TF), and 6 = Mixture III (30 KB + 70 PR). Bars with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

퍼레니얼 라이그래스는 16.6cm에서 22.3cm로 증가율이 34.3%로 가장 낮게 나타났다. 2차 조사 시 뿌리생장이 중간 정도였던 톨 페스큐는 뿌리길이가 13.3cm에서 22.3cm로 67.6% 정도 증가하였다. 이 밖에 혼합구 I, II, III은 각각 24.3cm, 22.1cm 및 21.3cm로 조성 중기 2차 조사 시 뿌리생장에 비해 최저 52.1%에서 최대 76.0%까지 증가하였다.

조성 후기 모든 처리구에서 뿌리생장이 왕성하게 나타난 것은 생육환경이 양호하였기 때문이다. 즉 본 실험이 진행된 서울지역의 이른 봄 3-4월의 일 평균온도는 5-12.3°C로 나타났지만(Kim, 2013), 조성 후기 5-6월의 일 평균온도는 17.5-22.0°C 사이로 이른 봄에 비해 잔디생장이 훨씬 더 왕성하였는데 이는 한지형 잔디의 경우 최적생장이 15-24°C에서 나타나기 때문이다(Fry and Huang, 2004; Kim, 2012). Kim and Park(2003)은 모래 식재층에 한지형 잔디 파종 후 뗏장의 조성속도를 비교한 실험에서 잔디뗏장의 성장속도는 3월 하순에 비해 온도가 상승하는 5월 초순 훨씬 빠른 것을 보고하였다. 따라서, 본 실험에서 한지형 잔디의 뿌리길이는 뿌리생육이 다소 저조한 시기인 이른 봄에 초중간 차이가 크게 나타나는 것으로 판단되었다.

이와 같은 결과는 다른 연구에 의해서도 확인되고 있다. Park(2011)이 USGA 지반에서 수행한 켄터키 블루그래스의 계절별 뿌리생장에 관한 연구결과 뿌리생장 차이는 특히 생육적온이 아닌 시기인 4월, 8월 및 11-12월에 크게 나타난다고 보고하였다. 즉 기상온도가 뿌리생장 적정범위인 10-18°C 사이인 봄과 가을에는 처리에 관계없이 일정 수준의 뿌리생장이 일어난다. 또한 캘리포니아 모래지반(California soil system)에서 조사한 주요 한지형 잔디의 생육특성에 관한 실험에서도 전체 뿌리생장은 톨 페스큐 > 퍼레니얼 라이그래스 > 켄터키 블루그래스의 순서로 나타났다(Kim, 2011). 하지만 다른 초종에 비해 켄터키 블루그래스는 계절 변화에 관계없이 뿌리생장이 일정하게 나타났다. 즉 켄터키 블루그래스의 뿌리생장은 조성 초기 다소 느리지만 조성 후기로 갈수록 빠르게 증가하는 것으로 판단되었다.

뿌리활착도

뿌리활착도는 조성 후 시간이 경과함에 따라서 초종별 차이가 크게 나타났다. 잔디밭 조성 초기 1차 조사 시 초중간 뿌리활착도는 퍼레니얼 라이그래스의 평가점수가 6.8로 가장 양호하였고, 톨 페스큐는 평가점수가 5.6으로 가장 저조하였다(Fig. 3A). 켄터키 블루그래스의 평가점수는 6.0으로 퍼레니얼 라이그래스와 톨 페스큐의 중간 정도로 나타났다.

이 밖에 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스 및 톨 페스큐 잔디를 혼합하여 파종한 혼합구 I, II, III의 시각적 평가점수는 퍼레니얼 라이그래스와 톨 페스큐 사이로 나타났다. 켄터키 블루그래스 40%와 퍼레니얼 라이그래스 60% 혼합된 혼합구 I과 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스 및 톨 페스큐 세 종류 초종이 혼합된 혼합구 II의 시각적 평가점수는 6.5로 같았다. 그리고 켄터키 블루그래스 30%와 퍼레니얼 라이그래스 70% 혼합된 혼합구 III의 평가점수는 6.3이었지만, 혼합구 I, II, III간 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

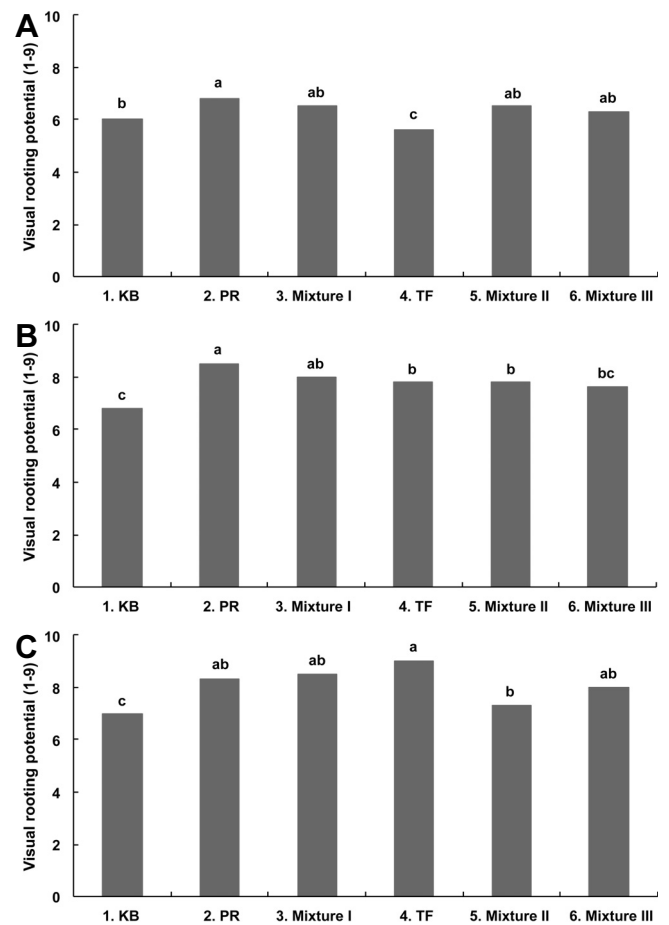
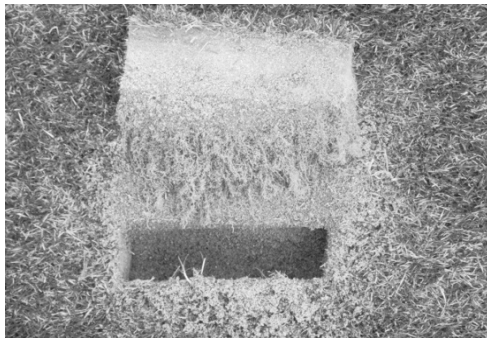


Fig. 3. Rooting potential of 6 cool-season turfgrasses under USGA system visually evaluated in early (A), middle (B), and late (C) stages of establishment, respectively. Treatments as described in Table 2 are 1 = Kentucky bluegrass (KB), 2 = perennial ryegrass (PR), 3 = Mixture I (40 KB + 60 PR), 4 = tall fescue (TF), 5 = Mixture II (25 KB + 25 PR + 50 TF), and 6 = Mixture III (30 KB + 70 PR). Visual evaluation was made with a 1 to 9 visual rating scale of 1 = poorest and 9 = best rooting potential. Bars with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

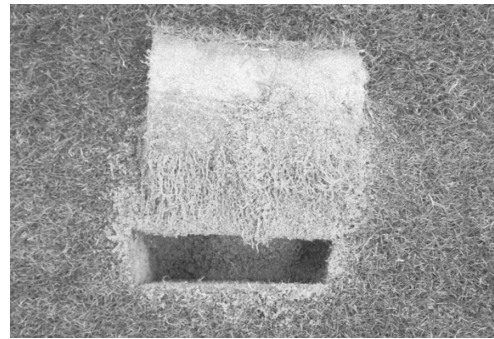
조성 다음해 이른 봄 조성 중기 2차 평가 시 초종간 시각적 평가 점수는 퍼레니얼 라이그래스가 8.5로 가장 좋았다 (Figs. 3B and 4). 근계발달이 가장 낮은 초종은 평가점수가 6.8로 나타난 켄터키 블루그래스이었다. 혼합구의 경우 켄터키 블루그래스가 40% 혼합된 혼합구 I의 평가점수가 8.0으로 가장 높았으며, 켄터키 블루그래스가 30% 혼합된 혼합구 III의 평가점수가 7.6으로 가장 낮았다. 그리고 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스 및 톨 페스큐 세 종류 잔디가 혼합된 혼합구 II의 시각적 평가점수는 7.8로 혼합구 I과

혼합구 III 사이로 나타났다.

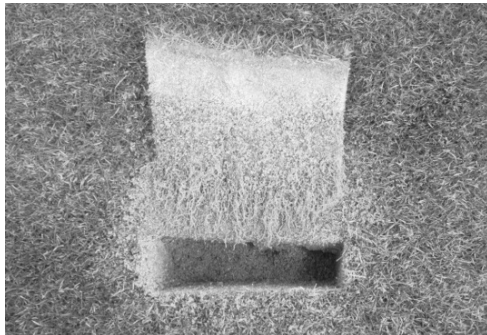
조성 후 2년차 생육 적기인 6월에 시각적 방법으로 평가한 3차 조사 시 초종 간 뿌리활착도는 이른 봄에 비해 대체적으로 향상되었지만, 초종 간 우열관계는 다르게 나타났다. 단일 초종구 중 뿌리활착도가 가장 양호한 초종은 시각적 평가점수가 9.0으로 나타난 톨 페스큐이었으며, 가장 저조한 초종은 켄터키 블루그래스로 뿌리활착도 평가점수가 7.0이었다(Fig. 3C). 퍼레니얼 라이그래스의 경우 평가점수가 8.3으로 톨 페스큐와 켄터키 블루그래스 사이로 나타났다.



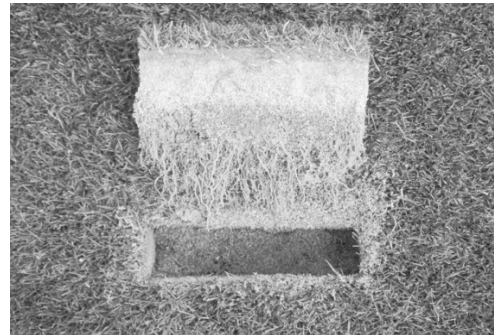
1. Kentucky bluegrass (KB) (6.8)



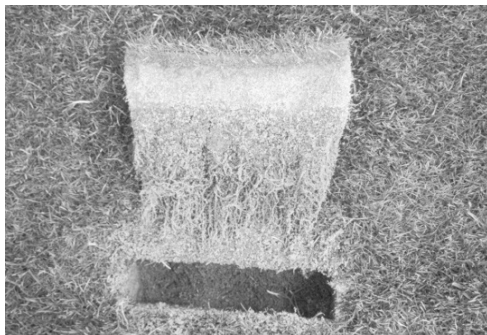
2. Perennial ryegrass (PR) (8.5)



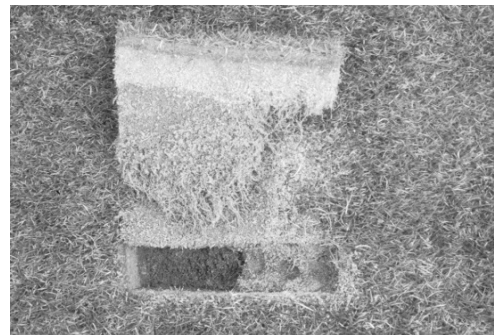
3. Mixture I: 40 KB + 60 PR (8.0)



4. Tall fescue (TF) (7.8)



5. Mixture II: 25 KB + 25 PR + 50 TF (7.8)



6. Mixture III: 30 KB + 70 PR (7.6)

Fig. 4. Differences in rooting potential among 6 cool-season turfgrasses under USGA soil system. Numbers in parenthesis indicate average value of rooting potential in a middle stage of establishment which was evaluated with a 1 to 9 visual rating scale of 1 = poor and 9 = best rooting potential.

이 밖에 혼합구의 경우 켄터키 블루그래스로가 40% 혼합된 혼합구 I의 시각적 평가점수가 8.5로 가장 우수하였고, 반대로 켄터키 블루그래스가 25%로 가장 적게 혼합된 혼합구 II의 평가점수가 7.3으로 가장 저조하였다. 그리고 켄터키 블루그래스가 30% 혼합된 혼합구 III의 시각적 평가점수는 8.0으로 혼합구 I과 혼합구 II 사이로 나타났다.

본 실험을 통해 뿌리활착도는 경시적인 차이가 나타났는데, 초종 간 우열관계는 조성단계에 따라 다르게 나타났다. 즉 뿌리활착도는 조성 초기 퍼레니얼 라이그래스 > 켄터키 블루그래스 > 톨 페스큐 순서로 나타났고, 조성 중기에는 퍼레니얼 라이그래스 > 톨 페스큐 > 켄터키 블루그래스 순서로 나타났다. 그리고 조성 2년차 생육적기 활착이 완료된 시기에는 톨 페스큐 > 퍼레니얼 라이그래스 > 켄터키 블루그래스 순서로 나타났다.

근계발달

본 연구 종료 시점인 조성 2년차 생육 적기에 뿌리생장의 80% 분포상태를 측정된 근계발달 결과는 다음과 같았다. 단일 초종구에서는 톨 페스큐의 근계가 16.8cm로 가장 양호하였으며, 가장 저조한 초종은 켄터키 블루그래스로 근계발달 범위가 14.6cm로 나타나서 톨 페스큐에 비해 13.1% 정도 낮게 나타났다(Fig. 5). 그리고 퍼레니얼 라이그래스의 근계 발달 범위는 16.0cm로 톨 페스큐와 켄터키 블루그래스의 중간 정도로 나타났다.

혼합구에서는 켄터키 블루그래스가 40%로 가장 많이 혼합된 혼합구 I의 근계발달이 16.8cm로 가장 양호하였다. 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스 및 톨 페스큐 세 초종이 25:25:50 비율로 혼합된 혼합구 II의 경우 15.1cm로 혼합구 I에 비해 10.1% 정도 낮게 나타났다. 그리고 켄터키 블루그래스 30%와 퍼레니얼 라이그래스 70% 혼합된 혼합구 III은 혼합구 I과 혼합구 II의 중간 정도인 15.8cm로 나타났으며, 이는 혼합구 I에 비해 6.0% 정도 낮은 수준이었다.

잔디밭에서 지하부 뿌리생육 특성은 근계발달 범위가 뿌리길이보다 훨씬 더 중요하다. 일반적으로 근계발달 범위가 넓고 깊게 나타날수록 수분과 양분 흡수력이 뛰어나 잔디생장에 유리하기 때문이다(Kim, 2012; Turgeon, 2005). 본 연구에서 한지형 잔디밭 조성이 완료된 시점 초종간 나타난 근계발달의 우열관계는 톨 페스큐 > 퍼레니얼 라이그래스 > 켄터키 블루그래스 순서로 나타났고, 혼합구의 근계발달은 초종 혼합 정도에 따라 다양하게 나타났다. 이러한 결과는 다른 연구에서도 확인되고 있다. Beard and Beard(2005)

는 전세계 잔디 33종류의 뿌리생장 비교에서 주요 한지형 초종의 뿌리형성 능력의 우열관계는 톨 페스큐 > 크리핑 벤트그래스 > 퍼레니얼 라이그래스 > 세엽 페스큐 > 켄터키 블루그래스 순서로 나타난다고 보고하였다.

초종간 이러한 차이는 생장습성 때문에 나타나는 것으로 판단되었다. 켄터키 블루그래스는 지하경 번식형(rhizomoutous-type, R-type)으로 생장이 분얼경과 지하경으로 이루어지며, 퍼레니얼 라이그래스 및 톨 페스큐는 주형(bunch-type, B-type)으로 생장이 분얼경으로만 이루어지기 때문에 켄터키 블루그래스에 비해 뿌리생장이 더 직근성으로 자라는 경향이 강하다(Hanson et al., 1969; Watschke and Schmidt, 1992). 또한 Kim et al.(2003b)과 Kim and Park(2003)의 뗏장형성 관련 연구결과 동일한 조건에서 자란 한지형 잔디의 뿌리형성은 생육형이 B-type인 톨 페스큐와 퍼레니얼 라이그래스 초종이 R-type 생육형인 켄터키 블루그래스에 비해 더 높게 나타났다.

본 연구에서 잔디밭 조성이 완료된 조성 후기 3차 조사 시 뿌리생장 길이는 22cm 전후로 대부분 비슷하였다(Fig. 2C). 이것은 공시초종 대부분이 조성 후 일년 정도 지나면서 조성 2년차 잔디밭이 성숙단계에 도달하기 때문에 나타난 것으로 추정되었다. Madison(1966)은 켄터키 블루그래스에서 충분한 기간 성장해서 완숙단계에 들어선 잔디밭 밀도는 처리에 관계없이 일정한 수준(carrying capacity)으로 동일하게 나타난다고 보고하였다. 즉 주어진 생육환경 조건에서 성숙단계에 나타날 수 있는 잔디밭 밀도수준은 일정하다. 따라서 잔디밭의 지상부 생장이 성숙기에 안정화됨으로 초종간 그 차이가 감소하면서 지하부 뿌리생장도 차이가 거의

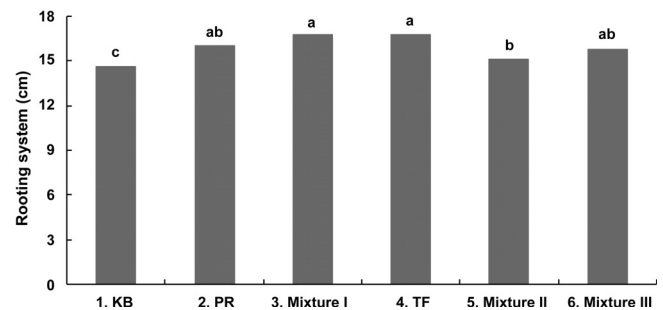


Fig. 5. Rooting system of 6 cool-season turfgrasses under USGA system at the end of study. Treatments as described in Table 2 are 1 = Kentucky bluegrass (KB), 2 = perennial ryegrass (PR), 3 = Mixture I (40 KB + 60 PR), 4 = tall fescue (TF), 5 = Mixture II (25 KB + 25 PR + 50 TF), and 6 = Mixture III (30 KB + 70 PR). Bars with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

나타나지 않는 것으로 판단되었다.

이러한 경향은 온실 및 포장에서 실시한 다른 연구에서도 확인되고 있다. Kim(2009)과 Kim et al.(2013)이 온실에서 수행한 토양개량제와 수분 중합체 처리가 켄터키 블루그래스 잔디생육에 미치는 효과에 대한 연구에서 파종 후 2개월 정도 지난 시점 잔디밭 밀도는 성숙단계에 진입해서 처리구에 관계없이 밀도가 일정수준에 도달하였다. Park(2011)이 USGA 지반에서 파종량 차이가 켄터키 블루그래스 잔디생육에 미치는 효과를 규명하기 위해 실시한 포장실험에서도 잔디밀도는 파종 후 시간이 경과하면서 증가하였지만, 조성 2년차 잔디밭 조성이 성숙한 단계에 도달한 시점에서는 더 이상 증가하지 않았다. 이러한 결과는 난지형 잔디에서도 관찰되고 있는데, 또다른 연구자인 Park(2012)도 주요 잔디의 형태적 특성을 비교 연구한 포장시험에서 난지형 들잔디의 경우 생장이 왕성한 시기에는 분얼경당 평균 3-4매 사이의 엽수를 일정하게 유지한다고 보고하였다.

뿌리생장, 뿌리활착도 및 근계발달을 종합적으로 고려 시 지하부 뿌리생육은 톨 페스큐가 가장 우수한 초종으로 판단되었다. 초종별 뿌리생육 특성을 요약하면 톨 페스큐는 조성 후 시간이 경과할수록 뿌리생장, 특히 근계발달 형성능력이 우수해서 조성 2년차 생육 전성기에 공시초종 중 가장 우수하였다. Beard and Beard(2005)와 Meyer and Watkins(2003)은 한지형 잔디 중 톨 페스큐는 지하부 근계형성이 가장 왕성하게 발달하는 심근성의 특성(deep and extensive rooting system)이 있다고 보고하였다. 퍼레니얼 라이그래스는 조성 초기 뿌리길이 및 근계발달이 우수하였지만, 조성 후기로 갈수록 전체적인 뿌리생장이 저조한 경향을 나타냈다. 반대로 켄터키 블루그래스의 경우 초기 뿌리생장은 저조하였지만 조성 후기 활착이 진행될수록 뿌리생장이 양호하게 나타났다.

이러한 초종별 지하부 뿌리생육 특성 차이는 초종간 발아 속도, 생육습성 및 유전적 특성 등 다양한 요인 때문에 나타난 결과로 판단되었다. 잔디초종의 뿌리생육 특성은 유전적으로 다양하며(Beard, 1973), 한지형 잔디 중 퍼레니얼 라이그래스는 발아가 가장 빠르고, 켄터키 블루그래스는 발아가 가장 느린 초종이다(Thorogood, 2003; Turgeon, 2005). 국내에서 퍼레니얼 라이그래스의 우수 품종은 6일 이내에 발아율 75%에 도달하지만, 켄터키 블루그래스는 2-3주 정도 필요하다(Kim and Jung, 2009; Kim and Nam, 2003). 또한 앞에서 설명한대로 퍼레니얼 라이그래스는 생육형이 B-type으로 생장이 분얼경으로만 이루어지기 때문에, 생육형이 R-type인 켄터키 블루그래스에 비해 뿌리생장이 직근성으

로 자라는 경향이 더 강하다(Watschke and Schmidt, 1992). 즉 발아속도가 빠르고 직근성의 특성을 갖는 B-type 퍼레니얼 라이그래스의 뿌리생장은 조성 초기 더 양호하였다. 반대로 켄터키 블루그래스는 발아속도가 늦어 초기 조성은 느리지만, 생장능력이 우수한 R-type 특성으로 인해 조성 후기 더 양호하게 나타나는 것으로 판단되었다.

잔디밭 품질, 내구성 및 환경적응력은 지상부 엽조직의 생육특성과 함께 지하부 뿌리특성을 종합적으로 고려해서 판단하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서 밝혀진 한지형 잔디의 초종별 뿌리생장, 뿌리활착도 및 근계발달 특성 등을 스포츠 잔디밭 설계, 시공 및 관리에 지상부 생육특성과 함께 종합적으로 참조해서 컨셉에 적합한 잔디밭 조성을 하는 것이 실무에 바람직하다.

초 록

본 연구는 USGA 지반으로 조성된 연구포장에서 조성단계별 주요 한지형 잔디의 뿌리생육 특성 차이 파악 및 스포츠 잔디설계, 시공 및 관리에 필요한 기본 정보를 수집하고자 수행하였다. 공시초종은 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스, 톨 페스큐와 이들 한지형 혼합구 세 종류로 전체 6종류이었다. 본 실험결과 한지형 초종별 뿌리생장, 뿌리활착도 및 근계발달에 대해 유의한 차이가 나타났다. 전반적으로 뿌리생장, 뿌리활착도 및 근계발달은 조성 후 시간이 지남에 따라 증가하는 경향이었으며 조성단계에 따라 차이가 크게 나타났다. 조성 초기 단일 초종 간 뿌리생장은 퍼레니얼 라이그래스 > 톨 페스큐 > 켄터키 블루그래스 순서로 나타났다. 조성 중기 뿌리생장은 조성 초기와 비슷한 경향이었지만, 전체적인 뿌리생장은 초기에 비해 13-31% 정도 낮게 나타났다. 그리고 조성 후기 뿌리생장은 조성 중기에 비해 34-85% 정도 크게 증가하였으며 혼합구 I을 제외한 대부분 초종의 뿌리길이가 22cm 전후로 비슷하였다. 뿌리활착도는 경시적인 차이가 있었지만, 초종 간 우열관계는 조성단계에 따라 다르게 나타났다. 즉 조성 초기 단일 초종구의 뿌리활착도는 퍼레니얼 라이그래스 > 켄터키 블루그래스 > 톨 페스큐, 조성 중기에는 퍼레니얼 라이그래스 > 톨 페스큐 > 켄터키 블루그래스, 그리고 조성 후기에는 톨 페스큐 > 퍼레니얼 라이그래스 > 켄터키 블루그래스 순서로 나타났다. 잔디밭 조성이 완료된 시점 초종간 근계발달 범위는 톨 페스큐 > 퍼레니얼 라이그래스 > 켄터키 블루그래스 순서로 나타났다. 종합적으로 뿌리생장, 뿌리활착도 및 근계

발달 특성을 고려 시 한지형 잔디의 지하부 뿌리생육 특성은 톨 페스큐가 가장 우수한 초종으로 판단되었으며, 혼합구의 뿌리생육 특성은 초종 및 혼합정도에 따라 다양하게 나타났다. 초종별 뿌리생육 특성 차이는 발아속도, 생육습성 및 유전적 특성 때문에 나타나는 것으로 판단되었다. 즉, 톨 페스큐는 조성 후 시간이 경과할수록 뿌리생장, 특히 근계 발달 형성능력이 우수하게 나타났으며, B-type 퍼레니얼 라이그래스는 조성 초기 뿌리생장이 우수하였지만, 조성 후기로 갈수록 근계발달 능력이 저조한 경향으로 나타났다. R-type 켄터키 블루그래스는 초기 뿌리생장은 저조하였지만, 조성 후기 활착이 진행될수록 뿌리생장 및 근계발달 능력이 양호하게 나타났다. 스포츠 잔디밭 설계 및 시공 시 지상부 생육특성과 함께 지하부 뿌리특성도 함께 고려해서 컨셉에 적합한 잔디밭 조성이 중요한데 본 연구에서 밝혀진 한지형 잔디의 조성단계별 뿌리생장, 뿌리활착도 및 근계발달 특성은 실무에 유용하게 활용될 것이다.

추가 주요어 : 켄터키 블루그래스, 퍼레니얼 라이그래스, 근계발달, 뿌리생장, 모래지반, 톨 페스큐

인용문헌

- Adams, W.A. and R.J. Gibbs. 1994. Natural turf for sports and amenity: Science and practice. CAB International, Cambridge, UK.
- Beard, J.B. 1973. Turfgrass: Science and culture. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Beard, J.B. and H.J. Beard. 2005. Beard's turfgrass encyclopedia for golf courses, grounds, lawns and sports fields. Michigan State Univ. Press, East Lansing, MI, USA.
- Cockerham, S.T. 1994. Rootzone mixes, turfgrass selection, and maintenance on the world cup soccer fields in the USA, p. 31-43. In: Proc. Intl. Symp. Soccer Field, The Committee of International Symposium on Soccer Field, Tokyo, Japan.
- Fry, J. and B. Huang. 2004. Applied turfgrass science and physiology. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- Hanson, A.A., F.V. Juska, and G.W. Burton. 1969. Species and varieties. Agron. Monogr. 14:370-409. In: A.A. Hanson and F.V. Juska (eds.), Turfgrass science. ASA, Madison, WI, USA.
- Harper, II, J.C. 1969. Athletic fields. Agron. Monogr. 14:542-561. In: A.A. Hanson and F.V. Juska (eds.), Turfgrass science. ASA, Madison, WI, USA.
- Jung, K.W. 2010. Study on the effect of overseeding cool-season grass onto Korean lawngrass (*Zoysia japonica* Steud.). MS Thesis, Sahmyook Univ., Seoul, Korea.
- 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.
- Kim, K.N. 2006. STM Series II: Turfgrass management. Sahmyook Univ. Press, Seoul, Korea.
- Kim, K.N. 2009. Effect of soil organic amendment mixtures with water-absorbing polymer on growth characteristics in *Poa pratensis* L. Kor. Turfgrass Sci. 23:317-330.
- Kim, B.J. 2011. Study on the effect of seeding time, turfgrass and soil system on the growth characteristics and soil physical properties. MS Thesis, Sahmyook Univ., Seoul, Korea.
- Kim, K.N. 2012. STM Series I: Introductory turfgrass science. 2nd ed. Sahmyook Univ. Press, Seoul, Korea.
- Kim, K.N. 2013. STM Series III: Turfgrass establishment. 2nd ed. Sahmyook Univ. Press, Seoul, Korea.
- Kim, K.N., J.S. Choi, and S.Y. Nam. 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.
- Kim, K.N., R. Goss, S.H. Park and S.R. Shim. 2013. A greenhouse study comparing local soil amendments with overseas peats as an organic source for rootzone mixes in Korea. Int. Turfgrass Soc. Res. J. 12:819-823.
- Kim, K.N. and K.W. Jung. 2009. Germination characteristics and daily seed germinating pattern of 8 new varieties of perennial ryegrass under alternative conditions required by ISTA. J. Korean Env. Res. Reveg. Tech. 12(3):72-82.
- Kim, K.N., O.D. Kwon, and S.Y. Nam. 1998a. A study on the adaptive performance of cool-season sports turf in Korea. J. Nat. Sci. Sahmyook Univ. 3(3):61-76.
- Kim, K.N. and S.Y. Nam. 2001. Comparison of cool-season turfgrass performance under the transition climate of Korea. Agron. Abstr. ASA-CSSA-SSSA, Charlotte, NC, USA.
- Kim, K.N. and S.Y. Nam. 2003. Comparison of early germinating vigor, germination speed and germination rate of varieties in *Poa pratensis* L., *Lolium perenne* L., and *Festuca arundinacea* Schreb. grown under different growing conditions. Kor. J. Turfgrass Sci. 17:1-12.
- Kim, K.N. and W.K. Park. 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 Univ. 8(1):19-33.
- Kim, K.N., W.K. Park and S.Y. Nam. 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.
- Kim, K.N. and S.R. Shim. 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.
- Kim, K.N., S.R. Shim, P.S. Yoon, S.K. Han, C.U. Cho, and K.W. Han. 1998b. 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.
- Korea Sport Science Institute (KISS). 1998. Establishment and maintenance of turfgrass ground. Dongweonsa, Seoul, Korea.
- Korean World Cup Organizing Committee (KOWOC). 1999. Survey for athletic fields in Japan and Europe for the construction of 2002 world cup soccer stadium. Kor. Organizing Committee for the 2002 FIFA World Cup-Korea/Japan, Seoul, Korea.
- Korean World Cup Organizing Committee (KOWOC). 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, Korea.
- Korean World Cup Organizing Committee (KOWOC). 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, Korea.
- Lee, J.W. 1997. Characteristics and domestic planting cases of German turfgrass. Environ. Landscape Architecture Kor. 108:144-148.
- Lee, J.P., S.J. Kim, H.Y. Seo, I.S. Han, S.J. Lee, T.J. Kim, and D.H. Kim. 2001a. The effect of shade net on summer stress of cool-season turfgrass. Kor. J. Turfgrass Sci. 15:51-64.
- Lee, H.J., J.W. Song, and J.H. Ku. 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.
- Madison, J.H. 1966. Optimum rates of seeding turfgrass. Agron. J. 58:442-443.
- Meyer, W.A. and E. Watkins. 2003. Tall fescue (*Festuca aruminacea*), p. 107-127. In: M.D. Casler and R.R. Duncan (eds.). Turfgrass biology, genetics, and breeding. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- 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.
- Park, S.H. 2012. Comparison of germination, early establishment, and growth characteristics in warm-season grasses and cool-season grasses. MS Thesis, Sahmyook Univ., Seoul, Korea.
- Puhalla, J., J. Krans, and M. Goatley. 2002. Sports fields: A manual for design, construction and maintenance. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- SAS Institute Inc. 2001. SAS/STAT user's guide: Statistics version 8.00, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA.
- Shim, S.R. 1992. Korean sports turf. Grounds Maintenance June p. 66-68.
- Shim, S.R. 1996. Characteristics, uses, and establishment method of cool-season grasses of four-season green color. Environ. Landscape Architecture Kor. 97:148-153.
- Shim, S.R. and D.Y. Jeong. 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.
- Shim, S.R. and D.Y. Jeong. 2002b. Turfgrass selection for soccer fields-A simulation of the Incheon 2002 world cup stadium. J. Kor. Inst. Landscape Architecture 30(2):88-94.
- Shim, S.R., D.Y. Jeong, and K.N. Kim. 2000. Planting foundations and turfgrass species adapted to grounds. J. Kor. Inst. Landscape Architecture 28(2):61-70.
- Shim, S.R. and D.Y. Yeom. 1983. Rootzone construction for athletic turf area. J. Kor. Inst. Landscape Architecture 11(1):35-43.
- Skogley, C.R. and C.D. Sawyer. 1992. Field research. Agron. Monogr. 32:589-614.
- Snow, J.T. 1993. The whys and hows of revising the USGA green construction recommendations. USGA Green Section Record 31(2):4-6.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. 2nd ed. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Thorogood, D. 2003. Perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), p. 75-105. In: M.D. Casler and R.R. Duncan (eds.), Turfgrass biology, genetics, and breeding. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- Turgeon, A.J. 2005. Turfgrass management. 7th ed. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.
- USGA Green Section Staff. 1973. USGA sections specifications for putting green construction. USGA Green Section Record 11(3):1-8.
- USGA Green Section Staff. 1993. USGA recommendations for a method of putting green construction. USGA Green Section Record 31(3):1-3.
- Watschke, T.L. and R.E. Schmidt. 1992. Ecological aspects of the turf communities. Agron. Monogr. 32:129-174.