

경기장 지붕의 막구조가 잔디생육에 미치는 광환경에 대한 영향분석

주영규*·이동익¹·송규동²·심규열³

¹연세대학교 응용과학부 생물자원공학과, ²한양대학교 건축공학과, ³한국잔디연구소

Analysis of Light Environment to Turfgrass Growth under the Roof Membrane on Stadium

Young Kyoo Joo*, Dong Ik Lee¹, Kyoo D. Song², Gyu-Yul Shim³

¹*Dept. of Biological Resources and Technology, Yonsei Univ.,*

²*Dept. of Architectural Eng., Hanyang Univ.,* ³*Korea Turfgrass Research Institute.*

ABSTRACT

This study was conducted to analyze the effect of roof membrane on light environment that influence on turfgrass growth under domed stadium. Roof structure on experimental plot was constructed with PTFE and PE same as Busan Asiad Main Stadium. Tested turfgrass species were combinations of cool-season grasses(Kentucky Bluegrass, perennial ryegrass, KBG80+PR20%, KBG33+PR33+Fine fescue33%) and warm-season grasses(zoysiagrass, 'An-yang middle-leaf', 'Zenith', Bermudagrass) established with seeding or sodding. The experimental set-up and research work were initiated November 1999 and finished on August 2000 at near Busan Asiad Main Stadium.

By the result of computer simulation of daylight radiant energies on the turf surface were lower than needs of normal sport turf growth. The shortage of radiant resulted pest infection on cool-season grass mixture compared with warm-season. But turf color and density showed the best results on Kentucky bluegrass or its mixture plot. Over all the results showed that the best quality of turfgrass growth was occurred on full sun area, and the next was under PTFE membrane.

The application of artificial lighting system may increase the turfgrass growth under domed stadium(partially) covered with roof membrane.

Key words: Domed stadium, Roof membrane, Turfgrass growth, Radiation

* Corresponding author. Tel : 033-760-2250
E-mail : ykjoo@dragon.yonsei.ac.kr

서 론

2002년 월드컵 축구대회의 성공적인 수행 목표 중 가장 중점적인 것은 우수한 잔디구장을 조성하는 것이다. 이는 잔디의 회복력, 균일성, 내마모성에 따른 불의 튼, 구름, 경기자의 미끄러짐과 충격 완화도의 운동역학적 부분이 축구 경기에 영향을 미치기 때문이다. 그러므로 훌륭한 잔디구장의 조성을 위해서는 잔디의 초종(turfgrass), 지반구조(soil system), 잔디관리(turf management)의 품질 수준을 고려하여야 한다(심규열 등, 1998).

우리나라는 겨울의 저온기와 여름의 고온다습기가 공존하는 지역으로 잔디재방의 어려운 여건을 가지고 있다. 서늘한 기후에서 사용되는 한지형 잔디는 여름의 고온 다습한 환경에 생육 스트레스를 일으키고, 더운 기후에서 사용되는 난지형 잔디는 겨울 중 장기간 휴면과 동해로 인한 피해 등의 단점을 가지고 있다(구자형, 2003). 따라서 환경에 적합한 잔디구장을 조성하는 것은 중요한 과정이다.

근래에 건설된 대부분의 스타디움은 미적인 디자인과 과다한 직사광선이나 우천 등에 대비해 돔 형식으로 설계되어 있다. 이는 스타디움 지붕에 의한 음영지역이 잔디 생장에 필요한 충분한 자연광량과 조도를 제공받지 못하므로 부분적인 광량의 부족과 잔디면의 균일한 생장을 저해 시키게 된다(Navvab, 1999). 특히 식물에 필요한 가시광선은 광합성, 일장반응 등에 필요한데 주로 광합성에 이용되는 스펙트럼은 430~470nm 파장의 청색의 빛과 620~670nm 파장의 적색 광이다(Hopkins, Hüner, 2003). 또한, 음지에서는 식물 광합성에 적합하지 못한 긴 반사광이 많으며 지붕에 의한 차광정도에 따라 잔디류의 생육이 크게 둔화된다(임재홍, 김기선, 1995). 그러므로 스타디움 지붕의 막구조로 인한 음영지역의 잔디는 조성 시 성장 장

애와 경기 후 회복력의 저하 및 광 스트레스로 인한 질병 등을 일으킬 수 있다(주영규 등, 2000).

따라서 본 연구는 지붕의 막구조에 의한 음영이 잔디생육에 미치는 영향을 평가하기 위하여 부산 경기장 시험포지에 주경기장의 막구조와 동일한 지붕시설물(PTFE 막구조-유리·테프론 섬유막, 일반 막구조-poly ester)을 설치하였다. 공시 초종은 한지형 잔디조합(Kentucky Bluegrass, Perennial ryegrass, KBG80+PR20%, KBG33+PR33+Fine fescue33%)과 난지형잔디(한국 들잔디, 중엽형 한국들잔디 '안양중지', 'Zenith', Bermudagrass common type)를 식재, 또는 파종하여 1999년 11월부터 2000년 8월 까지 지붕 구조물에 의한 광환경의 변화와, 잔디생육에 미치는 영향에 관한 실험을 수행하였다. 광합성 효율 측정 시 일반적으로 적용되는 광자량으로써 최소 광량 $694\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (38,000lx)을 기준으로 하여 자연광 확보량을 측정하였으며 자연광이 부족한 경우 인공 보조 조명기구의 설치 필요성을 예측하였다(Navvab, 1995).

재료 및 방법

스타디움 지붕의 막구조에 의한 음영이 잔디 생장에 미치는 영향을 평가하기 위하여 부산경기장 시험포지에 주경기장의 막구조와 동일한 지붕시설물(PTFE 막구조)을 설치하고 시험포지의 자연광 시물레이션 실시와 잔디생장에 관한 실험을 수행하였다. 1999년 4월에 잔디를 파종 또는 식재하여 광환경의 변화와 잔디생육에 미치는 광 영향을 1999년 11월부터 2000년 8월까지 10개월간 조사, 분석하였다.

실험포장 설치

잔디 모형 실험을 위하여(Fig. 1)과 같이 부산 월드컵경기장 시험포지에 주경기장의 막구조와

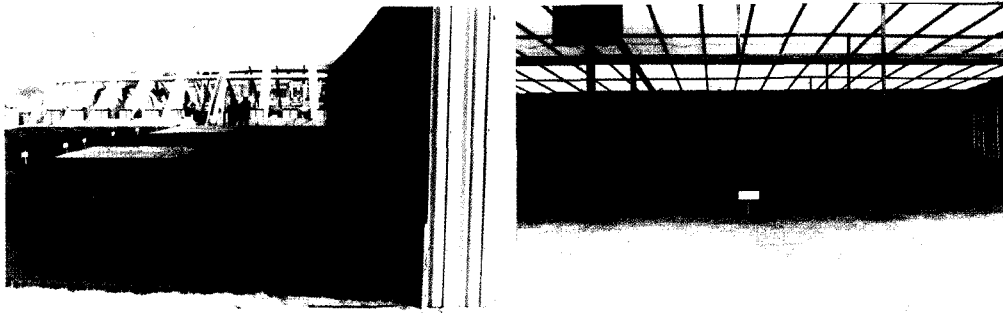


Fig 1. 부산 아시안 게임 / 월드컵경기 시험포지(좌 : 99년 6월 조성당시, 우 : 99년 12월)

'안양중지'			한국 들잔디		'Zenith' Zoysia			
Kentucky bluegrass 80% + Perennial ryegrass 20%					Kentucky bluegrass 34% + Perennial ryegrass 33% + Fine fescue 33%			
KBG 100%	PR 100%	FF 100%	'안양중지'	한국 들잔디	KBG 80% + PR 20%	KBG 34% + PR 33% + FF 33%	'Zenith' 100%	Bermuda 100%
양 지								
막구조 (유리섬유 +테프론코팅) PTFE								
막구조 (일반 Poly Ester)								

Fig 2. 실험 포지 배치도

동일한 지붕시설물(PTFE 막구조, PE 막구조)을 설치하여 다양한 광환경 조합을 조성하였다. 국내 경기장에 사용 중인 잔디를 공시재료로 하여 광환경에 따른 잔디의 생육 영향을 비교하였다. 잔디 종류는 한지형 잔디조합(KBG, PR, KBG80+PR20%, KBG33+PR33+FF33%)과 난지형잔디('안양중지', 한국들잔디, 'Zenith', Bermudagrass common type)를 파종(한지형 잔디) 또는 식재(난지형잔디)하여 양지, 음/양 교차, PTFE 막구조아래, PE 막구조 아래 음영 지역(Fig. 2)으로 구분하였다.

실험포지의 자연광 조도 계산

실험포지의 자연광 조도 계산을 위해(Fig. 3) 과 같이 잔디면을 가로 4구역 세로 12구역씩 총 48구역으로 나누었다.

잔디면의 광자량(mol/m²s) 및 빛의 양인 조도(Ix)를 예측하기 위해서 천기의 상태 및 태양의 위치를 정확하게 계산해야 한다(Modest, 1982). 그러므로(Table. 1)과 (Table. 2)에 제시되어진 자료와 같이 부산월드컵경기장의 위도와 경도를 입력 데이터로 하여 1월부터 12월 까지 각월 21일의 태양 고도각과 방위각을 일

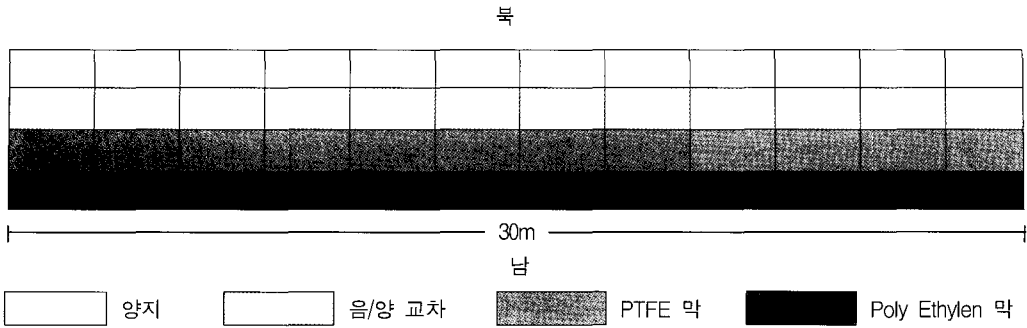


Fig 3. 부산 월드컵경기장 시험포지 조도 구역

출부터 일몰까지 1시간 간격으로 계산하였다. 청천공(가장 맑은 날)과 담천공(가장 흐린 날)

Table 1. 태양의 고도각과 방위각

일 자	시 각	고도각(°)	방위각(°)
3월 21일	9시	35.08	59.78
	12시	54.54	0.0
	15시	35.08	-59.78
6월 21일	9시	49.43	85.86
	12시	78.39	0.0
	15시	49.43	-85.86
9월 21일	9시	35.22	59.95
	12시	54.74	0.0
	15시	35.22	-59.95

Table 2. 청천공일때의 기상자료

일 자	조사항목	9시	12시	15시
3월 21일	일사량[MJ/m2]	0.8	1.9	2.3
	노점온도[°]	-1.9	-6.4	-10.7
6월 21일	일사량[MJ/m2]	2.2	3.5	2.6
	노점온도[°]	15.5	14.9	12.6
9월 21일	일사량[MJ/m2]	1.3	2.8	2.2
	노점온도[°]	7.0	10.6	2.5

Table 3. 천연잔디의 광합성에 필요한 일조시간 및 광량

구 분	필요 량
일조시간	최소치 6시간 / 권장치 8-12시간
6시간 일조에 대한 광량	최소치 694 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (38,000lx) / 권장치 1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (55,000lx)
사용 빈도가 높은 잔디면 광량	12시간 동안 최소한 350 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (19,000lx)
사용 빈도가 낮은 잔디면 광량	12시간 동안 최소한 230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (13,000lx)

1) 몬테카를 방법 : 광원에서 방출된 광속(光束)을 구성하는 각각의 입자가 막에서의 반사를 거치다가 궁극적으로 흡수될 때까지의 경로를 추적하는데 사용되어짐.

시 일사량과 노점온도는 최근 20년간 기상자료에서 선정하였다. 이 입력자료를 몬테카를 방법¹⁾(김훈 등, 1996)을 적용한 조도 계산 프로그램에 의해 조도를 계산하였으며, 계산되어진 조도값을(Table. 3)에 제시된 잔디성장에 필요한 최소요구 조도값인 694 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (38,000lx)을 기준(Navvab, 1998)으로하여 막구조의 의한 실험포지의 조도분포를 분석하였다.

막구조 지붕의 투과 특성에 따른 조도분포와 이에 따른 잔디의 영향을 비교분석하기 일반경기장에서 사용하는 PE막구조를 설치하여 PTFE 막구조와 비교하였다.

잔디의 영향 평가 대상

색차, 밀도, 초장, 병해 정도의 4가지 자료를 분석하여 광환경(음영 스트레스)에 의한 잔디 생육 영향을 평가하였다. 잔디의 색차는 Color difference meter(CR-300 series Minolta)를 이용하여 측정하였으며, 밀도는 1~9의 9단계로

나누어서 육안으로 측정하였다(National Turfgrass Evaluation Program, 1997). 잔디깎기를 실시한 3일후에 초장을 측정하였는데 정상적인 광조건과 음영상태 하에서 그 길이를 비교하였다. 또한 2000년 5월 초와 6월 중순에 초종별로 광환경의 차이에 따른 병해를 발생 빈도와 병 종류별로 비교, 조사하였다(심규열 등, 1998).

다(Fig. 4). 최소광량 $694 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (38,000lx)을 기준(Navvab, 1998)으로하여 비교분석하였을 시,(Table. 4)와 같이 내부의 막 광량은 전면적으로 잔디의 생장에 필요한 최소광량(38,000lx)의 30%이하 수준에 미치는 것으로 분석되어졌으며, 이는 잔디의 정상적인 생장을 위해서 인공조명에 의한 추가적인 광량이 필요한 것으로 판단되었다(Duke, W.B. et al., 1975).

결과 및 고찰

실험포장 조도 시뮬레이션 결과

지붕의 차광처리로 인한 PTFE막 외부의 음/양지의 면적과 위치가 태양의 고도에 따라 달라졌

색차분석

색차분석 결과로 초종간 녹색의 색차는 한지형 잔디조합(KBG, PR, KBG80+PR20%, KBG33+PR33+FF33%)이 난지형잔디(한국들잔디, 중엽형 ‘안양중지’, ‘Zenith’, Bermuda grass)에

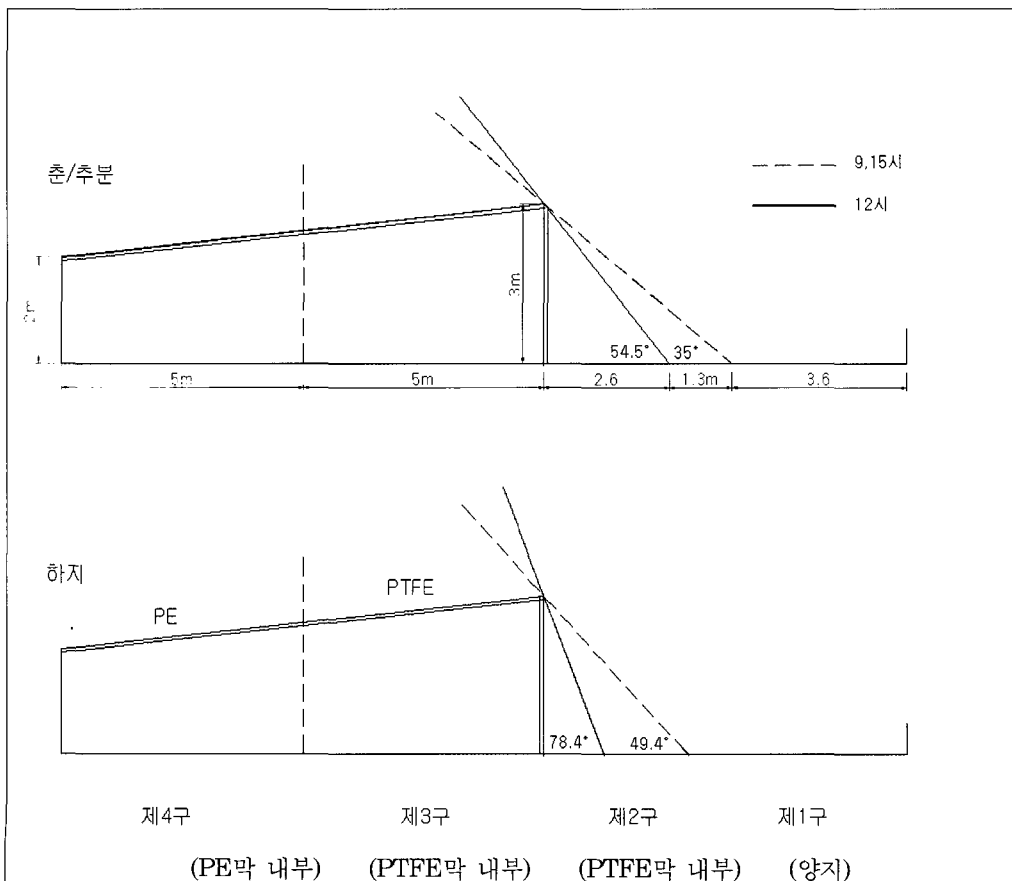


Fig 4. 시험포지의 춘추분과 하지때의 시간에 따른 음영범위

Table 4. 청천공의 경우 조도계산 결과

3월 21 12시													(단위 : lx)
양지	55875	55470	37035	34909	32884	35173	32993	33579	33956	30885	45320	44520	
PTFE막 외부	30539	29795	10039	12034	11392	8846	13804	9767	9429	12528	14942	14168	
PTFE막 내부	12229	11891	6644	5340	8173	4895	5083	5270	5790	4835	9296	8264	
PE막 내부	7702	6689	5043	4832	3850	4659	4959	6162	4232	3018	5204	2634	
6월 21 12시													
양지	23308	26099	36873	38362	35482	40292	35450	34488	36045	34231	44383	51939	
PTFE막 외부	10979	11347	10604	12235	12768	11633	12204	12203	12835	11242	20987	18633	
PTFE막 내부	5060	4539	9451	7876	9244	8826	6442	6123	7380	7729	13748	14226	
PE막 내부	3036	3373	5707	4849	8060	8373	7319	6473	5504	7122	5339	5553	
9월 21 12시													
양지	12303	12862	71009	70665	70925	68528	71313	72469	70869	67852	78300	77074	
PTFE막 외부	8372	7372	10809	12326	12095	11328	11480	11221	9240	10961	16109	15889	
PTFE막 내부	4593	4372	6522	6354	7717	6983	6349	6789	6885	6853	10781	10747	
PE막 내부	3254	3220	5688	5063	5646	5376	5485	5246	5483	4927	4598	3891	

비하여 질게 나타났으며, 광조건에 따른 색차는 1999년 11월의 경우 차광 조건에서 질게 나타났다(Table. 5, Table. 6). 이러한 현상은 구조물에 의한 보존효과 때문에 노지에서보다 잔디의 엽색이 보존되었기 때문이며, 2000년 4월에는 전년도 11월과 반대되는 현상을 보였는데 이는 기온의 상승에 따라 노지조건에서 잔디생

육이 촉진되었기 때문으로 판단되었다.

밀도조사

초종간, 광조건 처리간 밀도를 나타내는 것으로 다양한 차이를 보이고 있다(Table. 7). 초종간의 밀도를 비교해 보면 KBG80+PR20%이 가장 좋았으며, 그 다음으로 KBG, KBG+PR+

Table 5. 1999년 11월 19일의 색차분석결과

		L*a*b*color space 수치									
위치	초종	KBG 100%	PR 100%	FF 100%	'안양 중지'	한국 들잔디	KBG 80% +PR 20%	KBG 34% +PR 33% +FF 33%	'Zenit h' 100%	Ber 100%	
	양지	a	-11.80	-10.84	-11.21	4.43	-0.08	-9.80	-10.24	1.19	-5.25
	b	18.30	18.06	20.27	14.38	18.19	16.98	18.45	23.70	18.78	
PTFE막 외부	a	-12.26	-11.84	-11.76	5.71	0.88	-11.11	-10.36	-5.01	-7.68	
	b	18.45	18.42	20.91	20.15	18.10	16.36	17.58	24.10	18.99	

초종 위치	KBG 100%	PR 100%	FF 100%	‘안양 중지’	한국 들잔디	KBG 80% +PR 20%	KBG 34% +PR 33% +FF 33%	‘Zenith h’ 100%	Ber 100%
PTFE 막 내부	a -13.45	-13.55	-12.14	1.29	-5.14	-12.59	-11.57	-1.54	-8.93
	b 19.87	18.84	21.72	19.24	21.56	17.36	17.24	22.64	22.67
PE막	a -10.37	-12.68	-14.26	0.98	-3.58	-9.97	-11.39	-0.42	-7.89
	b 16.49	17.93	23.35	20.79	18.07	16.13	17.48	18.88	22.52

Table 6. 2000년 4월 1일의 색차분석결과

L*a*b*color space 수치

초종 위치	KBG 100%	PR 100%	FF 100%	‘안양 중지’	한국 들잔디	KBG 80% +PR 20%	KBG 34% +PR 33% +FF 33%	‘Zenith h’ 100%	Ber 100%
양지	a -10.27	-9.66	-8.70	-6.78	-4.89	-8.70	10.04	-8.13	-0.43
	b 14.97	17.11	22.49	19.96	19.79	15.98	16.34	21.48	22.87
PTFE 막 외부	a -1.3	-5.18	-7.16	4.53	3.42	-2.79	-8.08	1.80	4.13
	b 16.86	16.98	16.78	21.97	19.58	15.58	15.44	20.80	21.91
PTFE 막 내부	a -4.96	-6.69	-8.92	6.19	4.83	-5.62	-8.11	6.02	4.77
	b 15.67	15.56	16.46	22.29	21.37	15.99	18.37	24.17	23.86
PE막	a -6.25	-12.19	-10.37	6.10	3.78	-8.81	-11.66	5.86	5.46
	b 15.69	17.43	19.39	23.73	19.89	17.26	16.89	23.87	24.97

FF, PR, FF, ‘안양중지’, ‘Zenith’, Bermudagrass 순으로 나타났다. 정상적인 광조건 하에서 광조건에 따른 밀도는 모든 초종에 좋았으나, 차광 처리구에서는 초종에 따라서 차이를 보였는데, KBG, KBG+PR+FF, PR, FF순이었다. 난지형 잔디(‘안양중지’, ‘Zenith’, Bermudagrass)는 차광조건에서 모두 밀도가 낮아 경기장 잔디용으로는 제한이 있을 것으로 판단되었다.

초장조사

초종과 광조건에 따른 초장조사 결과는 정상적인 광조건과 차광되었을 때 초장을 잔디깎기 하여 3일후에 측정하였다. 차광이 되었을 때 잔디가 웃자라 초장이 높게 나타났으며, 차광되어진 음지에서는 파장이 긴 반사광이 많고, 파장이 긴 적외선은 식물의 도장을 촉진시키는 것으로 판단될 수 있다(Table. 8). 광환경 처리간 초장의 차이는 KBG 8.3 cm, PR 13.7cm,

FF 16.1cm, KBG80+PR20% 2.9cm, KBG+PR+FF이 13.9cm, ‘안양중지’ 11.0cm, ‘Zenith’ 10.5cm로 각각 나타났으며, PR에서 가장 큰 차이를 보였다.

병해발생조사

음영여부에 따른 병 발생율을 조사한 결과 음영은 병 발생율을 크게 증가시켰으며, 음영이 심할수록 발병율은 높았다. FF와 KBG에서 다른 초종에 비하여 병 발생율이 많은 것으로 나타났다. FF의 경우 달러스팟(Dollar spot, *Sclerotinia homoeocarpa*)이 많이 발생하였고, KBG의 경우 엽고병(*Drechslera*, *Curvalaria*, *Bipolaris*)의 발생이 높게 나타났다. 반면, 난지형 잔디(‘안양중지’, 한국들잔디, ‘Zenith’, Bermuda grass ‘common type’)는 병발생율이 없었다. 차광에 의한 광환경 형성이 저조한 부분은 광의 부분적 처리가 필요할 것으로 판단되었다.

Table 7. 초종 및 광조건 처리간의 밀도조사 결과

조사 시기	광조건	초				중			
		KBG 100%	PR 100%	FF 100%	KBG80% +PR20%	KBG34% +PR33% +FF33%	'안양 증지'	'Zenith'	버뮤다
3월21일	양지	7	8	6	8	8	5	5	5
	PTFE막 외부	7	8	4	8	8	5	4	5
	PTFE막 내부	7	7	5	7	6	4	4	4
	PE막	6	7	3	5	5	4	4	4
5월14일	양지	8	7	7	9	9	7	7	7
	PTFE막 외부	8	7	7	9	9	7	7	7
	PTFE막 내부	5	5	5	5	5	2	2	2
	PE막	3	2	3	4	3	1	1	1
6월18일	양지	7	7	5	8	8	6	6	6
	PTFE막 외부	7	7	5	8	8	6	6	6
	PTFE막 내부	4	5	3	6	5	1	1	1
	PE막	4	4	3	5	5	1	1	1

Table 8. 초장조사결과

(단위:mm)

광조건	초				중			
	KBG 100%	PR 100%	FF 100%	KBG80% +PR20%	KBG34% +PR33% +FF33%	'안양 증지'	'Zenith'	
양지	30	30.1	31.3	31.7	30.8	40.5	35.1	
PTFE 막 내부	38.3	43.8	47.4	34.6	44.7	51.5	45.6	

결과 및 고찰

본 연구는 부산 경기장 시험포지에 주경기장의 막구조와 동일한 지붕시설물(PTFE 막구조)을 설치하여 몬테카를 방법과 광선 추적기법을 적용한 조도계산 프로그램을 시뮬레이션하여 얻어진 실험포장의 조도값을 가지고 PTFE 막 구조에 의해 발생되어진 음영이 잔디 생육(잔디

색차, 밀도, 초장, 병해발생)에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

한지형 잔디조합이 난지형 잔디조합보다 색차와 밀도의 분포가 높으나, 광부족 등의 영향으로 인해 병발생율은 높았다.

또한 음영이 증가할수록 병발율은 높으며, KBG80+PR20%가 내음성이 가장 강함을 알수 있었다. 부산주경기장에 식재될 잔디조합(KBG80+

Table 9. 병해 발생을 조사 결과

*발병율: 1, 극히 낮음: 3, 낮음: 5, 보통: 7, 높음: 9, 극히 높음.

초종	광조건	5월4일			6월18일			
		발병도	엽고병	브라운 패취	발병도	엽고병	달라스팟	테이크올 패취
KBG100%	양지	1	0	1	0	0	0	0
	PTFE막	3	3	3	3	3	0	3
	PE막	5	3	5	4	4	0	3

Table 9. 병해 발생을 조사 결과

* 발병율 :1, 극히 낮음 :3, 낮음 :5, 보통 :7, 높음 :9, 극히 높음.

초종	광조건	5월4일			6월18일			
		발병도	엽고병	브라운 패취	발병도	엽고병	달라스팟	테이크올 패취
PR100%	양지	1	0	1	0	0	0	0
	PTFE막	4	3	4	3	0	2	2
	PE막	6	3	6	4	0	3	2
FF100%	양지	2	0	2	4	0	6	0
	PTFE막	4	3	4	4	0	6	0
	PE막	6	4	6	5	0	6	0
KBG80% +PR20%	양지	1	0	0	1	0	0	0
	PTFE막	3	1	3	1	1	0	0
	PE막	5	2	5	2	1	1	0
KBG34% +PR33% +FF33%	양지	1	1	1	1	0	0	0
	PTFE막	3	1	3	2	1	0	0
	PE막	5	2	5	3	1	0	0

PR20%)외에 음영에 적응하는 잔디초종의 순서는 KBG단독과종, KBG+PR+FF, PR 단독, FF 단독, 한국잔디 중지, Zenith, Bermudagrass 순으로 나타났다.

잔디면의 자연광 시뮬레이션의 결과로 나타난 시험포지의 조도는 전체적으로 잔디생장에 요구되는 최소광량(38,000lx) 30%이하였다. 그러므로, 부산 월드컵 경기장과 같은 돐 경기장의 막설치는 잔디생육에 문제를 야기시키는 것으로서 인공보조 조명기구 설치가 필요한 것으로 판단되어지며, 이러한 연구가 수행되어 지붕 음영에 의한 관리 생육장애를 극복할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김훈, 김창섭, 심상만. 1996. 몬테카를로 시뮬레이션을 기준으로 한 조도 계산법의 정확도 평가. 조명전기설비학회지 10(2):45-53.
2. 구자형 등. 2003. 녹색 천연잔디 운동장의 조성관리. 국민체육진흥공단.
3. 심규열 외 5인. 1998. 잔디구장의 조성관리. 한국 체육 과학 연구원.

4. 임재홍, 김기선. 1995. 차광경도가 한국들잔디(*Zoysia japonica* Steud.)의 영양생장에 미치는 영향. 한국원예학회지 36(5):755-761.
5. 주영규 외 5인. 2000. 2002년 월드컵축구대회 경기장 잔디그라운드조성에 관한 연구 종합보고서. 2002년 월드컵축구대회 조직위원회.
6. Duke, W.B., R.D. Hagle, J.F. Hunt, and D.L. Linscott. 1975. Metal Halide Lamps for Supplemental lighting in Greenhouse : Crop Response and Spectral Distribution. *Agronomy Journal* 67:49-53.
7. Modest, M. 1982. A General Model for the Calculation of Daylighting in Interior Spaces. *Energy and Buildings* 5:69-79.
8. National Turfgrass Evaluation Program (NTEP). 1997. National Zoysiagrass test-1996. U.S.D.A., Agricultural Research Service and Beltsville Agricultural Research Center, Beltsville, MD. 20705. Progress Report 1997 NTEP No. 98-4.
9. Navvab. M. 1999. Integration of Day Lighting and Sport Lighting Systems

- Design for Turf Growth in an Indoor Football Stadium. *Journal of the Illuminating Engineering Society* 28(2): 63-80.
10. Navvab, M. and C. Prayhoonang. 1995. Application of the New Standards for the Evaluation of Daylight and Solar Availability Measurements. *JIES*.
11. Hopkins, W.G. and N.P.A. Hüner. 2003. *Plant Physiology*. 3rd ed. John Wiley & Sons. Hoboken, NJ.