

Pattern Search를 이용한 축구전용 경기장의 조명기구 배치에 관한 연구

최홍규 · 서범관* · 오정석 · 박형민
홍익대학교

A Study on The Luminaire Position of Soccer Stadium using Pattern Search Method

Hong-Kyoo Choi · Beom-Gwan Seo* · Jeong-Seok Oh · Hyung-min Park
Hong-ik University

Abstract - 축구 전용 경기장에서 캐노피에 설치되는 등기구의 위치를 Pattern Search법을 이용 컴퓨터 시뮬레이션하여 조명 등기구 배치간격을 변화시킴으로 국·내외 (FIFA, 유럽방송연맹, KS) 기준에 명시된 수평면 조도, 수직면 조도, 균제도, 눈부심 정도에 적합한 최적의 값을 찾아내어 향후 국내 축구 전용 경기장 조명기구의 설계 및 시공, 유지관리 보수시 많은 참고가 되었으면 한다.

- 경기장에 도착하여 경기를 관람하고 돌아가는 관객
- 방송을 하는 TV(HDTV) 또는 방송사 직원, 경기를 기록하는 사진 기사들

위의 사항들을 고려하여 FIFA에서는 일반적인 조명의 요구사항을 규정하고 있으며 또한 아마추어와 프로의 경기 수준에 따른 조명기준도 제시하고 있다.

TV방송을 하기 위한 경기장 조명은 국제 조명 위원회 (Commission International De L'eclairage)의 규정 83번에서 규정 하는 것과 같이 뛰어난 칼라의 품질을 보장해 줄 수 있는 조건을 제공 하여야 하며, 경기 전체의 화면 뿐만 아니라 선수들과 관객들의 클로우즈 업에 대한 최소한의 조건은 FIFA, 유럽방송연맹등의 규정에 따라 표 1과 같다.[1][2]

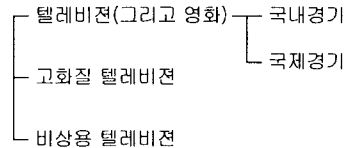
1. 서 론

스포츠 활동에 있어서 경기를 위한 시설물들의 질은 시합의 결과와 함께 관람객으로 하여금 즐거움을 주는 중요한 역할을 한다. 따라서 좋은 경기장은 지면, 조명, 비상설비, 관람석등의 부대시설이 매우 중요시 되고 있다. 또한, 여가시간 증가에 따른 스포츠에 대한 관심증대와 더불어 미디어의 발전과 함께 경기장을 찾은 관객을 위한 경기장 조명뿐만 아니라 TV 시청자에 적합한 경기장 조명이 필요시 되고 있다.[1]

2.2 축구 전용 경기장의 조명설치 기준

축구 전용 경기장에 적합한 조명을 제공하기 위해서는 빛의 분산제한, 경기를 위한 최소 조건, 조명대상 지역의 표준치수, 균제도 및 수평, 수직 조도들을 고려하여 계획 하여야 하며, TV(HDTV) 방송을 위해서는 경기장 안에서 일어나고 있는 모든 상황을 정확히 촬영 할 수 있어야 하며, 이에 적합한 조명의 요구 조건들은 각국마다 상이한 표준 규정을 가지고 있는 실정이다. 뛰어난 조명의 필수적인 요소들을 확보하기 위해서 축구경기는 아마추어 수준과 프로 수준으로 분류되고 TV (HDTV) 방영을 위한 수준은 다음과 같이 분류 되었다.

특히, 경기장 조명은 축구 경기를 예로들면, 경기장내의 선수, 심판, 경기 관계자가 경기장에서 일어나는 모든 상황을 분명하게 볼 수 있음으로 최고의 기술을 발휘하게 할 수 있게 하며, 경기장을 찾은 관객들에게 선수들의 동작과 경기진행 상황을 쾌적한 환경 속에서 안전하게 관찰할 수 있도록 하는데 매우 중요한 역할을 하고 있다. 따라서, 경기장 조명에 대한 질적이나 양적인 면으로 많은 성장을 가져왔으며, 새로운 등기구의 등장에 따른 관련 기준도 급속도로 변하고 있는 실정이다.



본 논문에서는 최근 국·내외의 축구 전용 경기장에서 일반적으로 사용되는 등기구를 적용하여 고화질 텔레비전(HDTV)에 적합한 표준조도를 설정한 후 조명 등기구간의 위치변화를 통한 수평면 조도, 수직면 조도, 수평면 균제도(H_1, H_2), 수직면 균제도(V_1, V_2), 눈부심 비율(Glare Rating)의 변화를 고찰하고자 Pattern Search법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션으로 등기구간의 위치변화를 비교하여 국제축구연맹 (FIFA)의 권고사항에 적합한 등기구 배치값을 찾고자 한다.

위의 분류를 토대로 국제축구연맹(FIFA)은 각국의 상이한 규정들간의 혼란을 최소화하기 위해 HDTV를 사용하는 조명수준 뿐만 아니라 아마추어와 프로수준의 경기를 위한 축구경기장 조명의 최소 조명수준을 표 1과 같이 권장하고 있으며 세부내용은 다음과 같다.[3][4][5]

2. 본 론

2.1 축구 전용 경기장의 조명설치시 고려사항

축구 경기장 시설물의 이용자는 그들의 활동여부에 따라 다음과 같이 구분된다.

- 선수들
- 기술진, 심판, 선심 그리고 팀 관계자

2.2.1 수평면 조도 (E_h)

경기장 지면위에 수평으로 비추어 주로 경기장 내의 시각적인 적응상태를 형성하는 역할을 하는 조도를 수평면 조도한다. 수평면 조도의 경우 TV(HDTV)방송을 위한 요구조건은 규정되어 있지 않으며 다양한 사용자의 요구에 따른 FIFA의 최소 유지 수평면 조도는 표 2와 같다.

표 1. TV(HDTV) 방송을 위한 FIFA의 축구 경기장 조명 권장사항

구분	FIFA 최소조명기준			
	일반 TV		고화질 TV (HDTV)	비상용 TV
	국내경기	국제경기		
수평면 조도 E_h	-	-	-	-
수직면 조도 E_{v1}	1,000	1,400	2,000	800
수직면 조도 E_{v2}	700	1,000	1,500	500
수평면 균제도 H_1	0.5	0.6	0.7	0.5
수평면 균제도 H_2	0.7	0.7	0.8	0.7
수직면 균제도 V_1	0.3	0.4	0.6	0.3
수직면 균제도 V_2	0.5	0.6	0.7	0.5
최대 눈부심 정도 GR	50	50	50	50
연색성 R_a	≥65 (외도록 90)	≥65 (외도록 90)	≥ 90	≥65 (외도록 90)
색온도 TK	4,000	4,000	5,000	4,000

표 2. 최소 유지 수평면 조도

아마추어수준	수평면조도 E_h [lx]	프로수준	수평면조도 E_h [lx]
체력단련 및 축구 연습	50	체력단련 및 축구 연습	100
비공식 경기	100		
국내경기	200	국내경기	500

표 3. 경기장 조명 등기구의 분류

구분	배광 곡선	광속 [lm]	용량 [W]	설치 높이	수직 광각	수평 광각
CAT 1	초합각형	180,000	2,080	50[m] 이상	±2°	±2.5°
CAT 2	협각형	180,000	2,080	40[m] 이상	±3.5°	±7°
CAT 3	중각형	180,000	2,080	30[m] 이상	±4°	±7°
CAT 4	광각형	180,000	2,080	25[m] 이상	±5°	±10°
CAT 5	초광각형	180,000	2,080	20[m] 이상	±7°	±14°

상기 값을 평균적으로 유지하기 위해 초기치는 평균값에 1.5배의 Factor를 적용하여 선정 한다.

2.2.2 수직면 조도 (E_{v1}, E_{v2})

수직면 조도는 어떠한 대상물의 수직면을 표현하는데 필수적인 조도로 특히 텔레비전 화면의 질에 아주 중요한 영향을 미친다. 모든 방향에 최적의 조도를 확보하기 위한 수직면 조도는 지면으로부터 1.5[m] 높이에서 측정 한 값을 기준으로 한다. 수직면 조도(E_{v1})는 그림 2(a)와 같이 방송을 위해 고정된 주 카메라의 위치를 향한 오른쪽 방향의 수직면상 조도이고 수직면 조도(E_{v2})는 그림 2(b)와 같이 고정되어 있지 않은 보조 카메라에 대한 수직면상의 조도를 나타내고 있다.

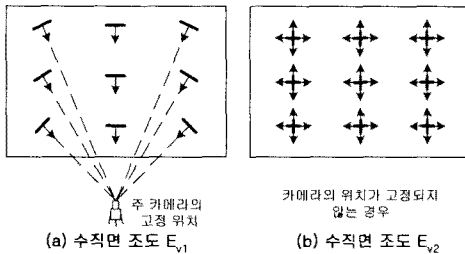


그림 2. 각 지점에 대한 수직면조도의 계획

2.2.3 조명 등기구

축구 전용 경기장의 조명 등기구는 국내·외 경기장을 조사 한 결과 조명 등기구의 설치 높이 및 빔의 각도 조절 등을 고려 하여 표 3과 같은 등기구가 사용되고 있다.

2.3 경기장의 조도분포 알고리즘 선정

Pattern Search는 최적화 기법의 하나로 목적함수를 최적값으로 하는 미지의 변수값을 구하는데 널리 사용되고 있다. 조명 등기구의 위치 선정에 있어서 목적함수 F_j 로는 수평면 조도, 수직면 조도, 균제도, 눈부심, 연색성, 색온도등 여러 가지가 될 수 있으나 본 논문에서는 조명 등기구 위치 선정시 FIFA 및 유럽방송연맹에서 가장 중요한 선정기준이 되는 수직면 조도(E_{v1}, E_{v2}), 균제도(H_1, H_2, V_1, V_2), 눈부심(GR)을 목적함수로 정하였다. 등기구 위치 선정시 각각의 목적함수 값에 변화를 주는 변수(X_j)는 조명 등기구간의 간격($x_1 \sim x_n$)과 경기장 중심선에서 조명 등기구까지의 간격($y_1 \sim y_m$)이 된다. 각 변수값에 따른 종합 목적함수(J_k)는 m 개의 목적함수(F_j)의 합으로 나타내어지며 식 (1)과 같다.[6][7]

$$J_k = \sum_{i=1}^m W_i \times F_i(x_i) \quad (1)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

여기서 W_i 는 조명 등기구 선정에 있어 수직면 조도, 균제도, 눈부심을 단위화 시키기위한 가중치를 나타내는 계수이다. 본 논문에서 설정한 가중치는 표 4와 같으며, 각각의 목적함수(F_j)는 n 개의 변수 x_j 를 가지고 있다.

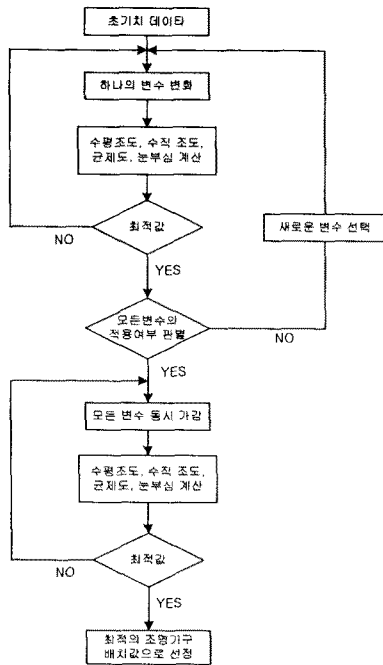


그림 3. 시뮬레이션 수행 절차

표 4. 가중치 선정

구 분	E_{v1}	E_{v2}	GR	H_1	H_2	V_1	V_2
가중치 W_i	10^{-4}	10^{-4}	10^{-1}	10^2	10^2	10^2	10^2

그림 3은 Pattern Search법에 의한 최적의 조명 등기구 위치 선정 과정을 설명하고 있다. 구하고자 하는 목적함수는 먼저 변수의 초기값을 정하고, 각각의 변수를 가감시켜 최적값을 구한다. 초기값에서 각 변수는 값을 증가시키거나 감소시켜 목적함수의 최적값이 될 때까지 반복하여 구한다. 각각의 변수값이 정해지면, 모든 변수를 Pattern에 따라 동시에 가감시켜 결국에는 최적 목적함수가 되는 변수값을 구할 수 있게 된다. 각각의 조명 등기구 위치에 따른 조도 분포값은 Calculx 5.0 프로그램을 이용하여 계산하였다.

2.4 경기장의 시뮬레이션

2.4.1 사례연구 경기장 선정

본 논문에서 제시한 Pattern Search를 이용한 최적의 등기구 배치값 선정 알고리즘을 적용하기 위해 ○○경기장의 조명 등기구 설치위치를 변경하여 사례연구를 하였다 설정된 ○○경기장의 개요는 표 5와 같다.

표 5. ○○ 경기장의 개요

구 분	조 건
경기장 규모	70 × 105 [m]
등기구 높이	50 [m]
램프당 총광속	18,000[lm]
등기구 용량	2,080[W]
등기구 유지율	0.9
램프 유지율	0.9
색온도	4,000K 이상
연색성	90 이상

2.4.2 ○○경기장의 등기구 배치

사례연구를 위한 ○○ 경기장의 등기구의 초기 배치값은 표 6과 같고 그림 4는 XY축으로 대칭인 경기장의 등기구의 배치를 나타내었다.

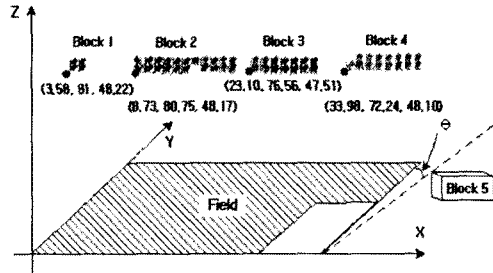


그림 4. ○○ 경기장 등기구 배치

표 6. ○○ 경기장 등기구 배치좌표

구 분	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4
초기값	(3.58, 81, 48.22)	(8.73, 80.75, 48.17)	(23.10, 76.56, 47.51)	(33.98, 72.24, 48.10)
등기구수	4등	21등	7등	15등

2.4.3 종합 목적함수 설정

시뮬레이션을 위한 목적함수로는 수직면 조도(E_{v1} , E_{v2}), 균제도(H_1 , H_2 , V_1 , V_2), 눈부심 정도(GR)로 선정하였고 이들의 종합 목적함수(J_k)는 식 2와 같다.

$$\begin{aligned}
 J_k = & W_1 \cdot [E_{v1spec} - E_{v1}]^2 + W_2 \cdot [E_{v2spec} - E_{v2}]^2 \\
 & + W_3 \cdot [GR_{spec} - GR]^2 + W_4 \cdot [H_{1spec} - H_1] \\
 & + W_5 \cdot [H_{2spec} - H_2] + W_6 \cdot [V_{1spec} - V_1] \\
 & + W_7 \cdot [V_{2spec} - V_2]
 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, 가중치 W_n 은 표 4와 같으며 Spec값은 수직면 조도(E_{v1})의 경우 FIFA 및 유럽 방송연맹의 최소 요구값 2,000[lx]에 유지율 1.25를 곱한 2500[lx]를 적용하였고 수직면조도(E_{v2})의 값은 최소 요구값 1,500[lx]에 유지율 1.25를 곱한 1,875[lx]를 적용하였다.

균제도의 Spec값은 균제도의 최대값인 1로 주어졌으며 모든 등기구 Block은 등기구 Block 1을 기준으로 경기장 안쪽으로 이동하였을 경우의 목적 함수값만을 선정하였다.

각각의 목적함수의 값을 변화시키는 변수로는 가로(x)축과 세로(y)축으로 정하였으며 각 좌표는 0.5[m]씩 변화 하였으며 최초의 등기구 Block 배치값은 표 6과 같다.

2.4.4 ○○경기장의 최적의 조명 등기구 위치 선정

설정된 목적함수(J_k)에 따라 Pattern Search를 이용하여 가로(x)축과 세로(y)의 변화에 따른 종합 목적함수의 결과는 표 7과 같다.

표 7. 00 경기장 등기구 위치에 따른 목적함수

구분	E_{v1}	E_{v2}	GR	H_1	H_2	V_1	V_2	J_3
case1	2268	1511	42.4	0.83	0.68	0.75	0.63	130.208
case2	2268	1512	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	129.135
case3	2268	1512	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	129.135
case4	2269	1513	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	129.016
case5	2270	1526	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	128.046
case6	2270	1527	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	127.976
case7	2269	1532	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	127.677
case8	2268	1536	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	127.451
case9	2270	1538	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	127.223
case10	2268	1539	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	127.248
case11	2272	1539	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	127.064
case12	2272	1539	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	127.064
case13	2272	1538	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	127.131
case14	2270	1546	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	126.690
case15	2271	1542	42.4	0.83	0.69	0.75	0.63	126.909
case16	2271	1539	42.4	0.84	0.69	0.75	0.63	126.110
case17	2272	1536	42.4	0.84	0.7	0.75	0.63	125.267
case18	2272	1534	42.5	0.84	0.7	0.75	0.63	125.432
case19	2272	1533	42.5	0.84	0.7	0.76	0.63	124.520
case20	2272	1531	42.5	0.84	0.7	0.76	0.63	124.657
case21	2271	1534	42.5	0.84	0.7	0.75	0.63	125.497
case22	2272	1533	42.5	0.84	0.7	0.76	0.63	124.520
case23	2273	1532	42.5	0.84	0.7	0.76	0.63	124.543
case24	2274	1531	42.5	0.84	0.7	0.76	0.63	124.566
case25	2275	1530	42.5	0.84	0.7	0.76	0.63	124.590
case26	2276	1529	42.6	0.84	0.7	0.76	0.63	124.665
case27	2276	1527	42.6	0.84	0.7	0.76	0.63	124.804
case28	2268	1538	42.2	0.84	0.71	0.76	0.63	123.223
case29	2269	1537	42.3	0.84	0.71	0.76	0.63	123.290
case30	2272	1533	42.5	0.84	0.7	0.76	0.63	124.520
case31	2273	1532	42.5	0.83	0.7	0.75	0.63	126.543
case32	2274	1531	42.6	0.83	0.7	0.75	0.62	127.617
case33	2275	1530	42.6	0.83	0.69	0.75	0.62	128.641
case34	2276	1529	42.7	0.83	0.69	0.75	0.62	128.718
case35	2277	1529	42.7	0.83	0.69	0.75	0.62	128.674

표 7의 Case 1은 초기 등기구값에 대한 종합 목적함수값을 나타내고 있으며 Pattern Search를 이용하여 시뮬레이션한 종합 목적함수값의 변화를 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과 가장 적은 목적함수값은 Case 28의 경우로 그림 5는 목적함수값의 변화를 나타내었다.

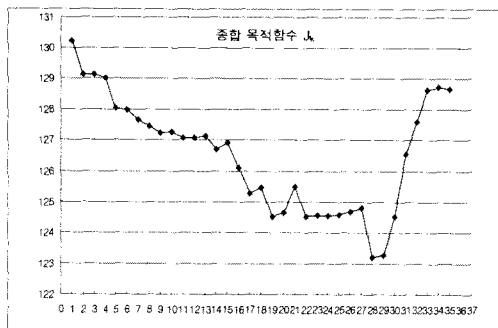


그림 5. 00 경기장의 등기구 위치에 따른 목적함수값 변화

따라서 최적의 목적함수값을 갖는 조명 등기구 배치는 표 8과 같다.

표 8. Pattern Search를 이용한 등기구 배치점

구분	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4
초기값	(358, 81, 4822)	(873, 8075, 4817)	(2310, 7656, 4751)	(3398, 7224, 4810)
변화값	(758, 82, 4822)	(1273, 8225, 4817)	(2560, 7656, 4751)	(3248, 6974, 4810)

3. 결 론

본 논문에서는 축구 전용 경기장의 조명 설계시 최적의 조도값을 Pattern Search를 이용한 알고리즘을 적용하여 최적의 조도값을 가지는 조명 등기구 배치점 산출 방법을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 수행하였다.

본 논문의 타당성을 입증하기 위한 사례연구에서는 국내의 월드컵 경기장중 하나인 00 축구전용 경기장의 등기구 배치점을 Pattern Search를 이용하여 변화시킨 결과 수직면 조도(E_{v1})의 경우 2,268[lx]에서 2,268[lx]로 수직면 조도(E_{v2})는 1,511[lx]에서 1,538[lx]로 향상되었으며, 눈부심 정도(GR)은 42.4 → 42.2로 많이 줄어들었다. 또한 균제도의 경우 모두 FIFA의 기준값보다 높게 나타났으며 특히 기준치 이하였던 H_2 의 값은 기준치보다 높은값을 나타내었고 세부내용은 표 9와 같다.

표 9. 00 경기장의 등기구 위치에 따른 조도값 변화

구분	E_{v1}	E_{v2}	GR	H_1	H_2	V_1	V_2	J_3
초기값	2268	1511	42.4	0.83	0.68	0.75	0.63	130.208
변화값	2268	1538	42.2	0.84	0.71	0.76	0.63	123.223

따라서, 향후 축구 전용 경기장의 조명 등기구 설계시 조명 등기구 배치점을 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용 각 경기장의 특성에 맞는 가중치의 변화를 통한 최적의 조명 등기구 배치값 편별을 수행할수 있을것이며, 유지관리 및 보수시에 많은 활용 또한 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] "Guide to the artificial lighting of multipurpose indoor sports venues", General Association of International Sports Federations & European Broadcasting Union & Philips Lighting B.V.
- [2] 축구 경기장 조명 가이드, 국제축구연맹(FIFA) 기술부
- [3] 최홍규외, "조명설비 및 설계", 성안당, 2003. 1
- [4] 최홍규, 최병숙, 김길영, "축구 경기장의 조명타워 위치에 따른 조도분포 해석", 2002. 11
- [5] "Lighting Handbook" IESNA, 1998
- [6] 최병숙, "The optimal grounding design for electric power facilities using pattern search method", 2001
- [7] 김경철, "Microcomputer based turbine-governor simulation for a generating unit", 1998