

Pattern Search법을 이용한 축구 전용 경기장의 조명기구 배치에 따른 조도분포 해석

(The Analysis of Illuminance Distribution by Luminaire Position of Soccer Stadium using Pattern Search Method)

최홍규·최병숙·서범관*

(Hong-Kyoo Choi · Byung-Sook Choi · Beom-Gwan Seo*)

홍익대학교 전기설비 연구소

Abstract

축구 전용 경기장에서 캐노피에 설치되는 등기구의 위치를 Pattern Search법을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션하였다. 조명 등기구 배치간격을 변화시키는 시뮬레이션을 통해 국·내외 (FIFA, 유럽방송연맹, KS) 기준에 명시된 수평면 조도, 수직면 조도, 균제도, 눈부심 정도에 적합한 최적의 값을 찾아냈다. 향후 국내 축구 전용 경기장 조명기구의 설계 및 시공, 유지관리 보수시 많은 참고가 되었으면 한다.

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 찾는 관객을 위한 경기장 조명뿐만 아니라 TV 시청자에 적합한 경기장 조명이 필요시 되고 있다.[1]

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 찾는 관객들에게 선수들의 동작과 경기진행 상황을 쾌적한 환경 속에서 안전하게 관전할 수 있도록 하는데 매우 중요한 역할을 하고 있다. 따라서, 경기장 조명은 질적이나 양적인 면으로 많은 성장을 가져왔으며, 새로운 등기구의 등장에 따른 관련 기준도 급속도로 변하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 최근 국·내외 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), 눈부심비율(Glare Rating)의 변화를 고찰하고자 Pattern Search법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션으로 등기구간의 위치변화를 비교하여 국제축구연맹 (FIFA)의 권고사항

에 적합한 등기구 배치값을 찾고자 한다.

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
- 경기장에 도착하여 경기를 관람하고 돌아가는 관객들
- 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.

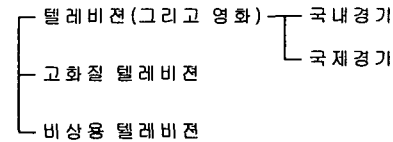
TV방송을 하기 위한 경기장 조명은 국제 조명 위원회 (Commission International De L'eclairage)의 규정 83번에서 규정 하는 것과 같이 뛰어난 칼라의 품질을 보장해 줄 수 있는 조건을 제공 하여야 하며, 경기 전체의 화면뿐만 아니라 선수들과 관객들의 클로즈 업에 대한 최소한의 조건은 FIFA, 유럽방송연맹등의 규정에 따라 표 1과 같다.[2][3]

표 2 TV(HDTV) 방송을 위한 FIFA의 축구 경기장 조명 권장사항

구 분	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 (되도록 90)	≥ 65 (되도록 90)	≥ 90	≥ 65 (되도록 90)
색온도 TK	4,000	4,000	5,000	4,000

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 계획하여야 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.



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

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 3 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

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 측정된 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.

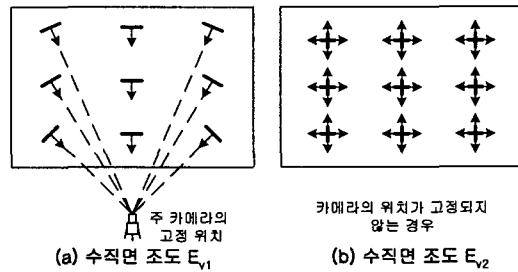


그림 2 각 지점에 대한 수직면조도의 계획

2.2.3 균제도(H_1, H_2, V_1, V_2)

수직면 조도와 수평면 조도에 의한 조도의 균일성에 따라 경기장내의 선수나 공이 어떠한 위치에서 명확하게 보여지지 않을 위험지역(특히 텔레비전 카메라)이 존재하므로, 카메라를 위한 최적의 시각 조건을 얻으려면 수평면 평균조도와 수직면 평균조도의 비율이 일반적으로 0.5에서 2.0 사이로 유지되어야 한다. 조도의 균일성을 나타내는 균제도는 수직면과 수평면 두 경우 모두 최저 조도와 최고 조도의 비율(H_1, V_1) 및 최저 조도와 평균 조도의 비율(H_2, V_2)로 나타낸다.

2.2.4 눈부심 비율 (GR)

선수 및 관객들의 쾌적한 조명환경을 확보하기 위해 등기구의 위치, 각도, 투광기의 선정등을 고려하여 눈부심 저해요소를 최소화 시킬수 있다. 눈부심의 비율은 국제 조명 위원회(CIE)의 규정 83항에 따라 규정된 50 이하로 유지하도록 규정 하였다.

2.2.5 색온도(TK) 및 연색성(R_a)

조명등의 색상표시는 그것의 색온도(TK)로 나타내며 주로 2,000K~6,000K사이가 많다. 색온도가 낮으면 낮을수록 빛의 색 느낌은 “따뜻하고”, 높으면 높을수록 “차갑거나” 푸른색의 느낌을 준다. 경기장 조명의 규정치는 4,000K이다. 조명등의 연색성 특성은 어떠한 대상의 색상을 충실히 나타내어주는 빛의 수치로 연색지수(R_a)로 표시되며 최대 연색지수는 태양광원을 100으로 나타내며 경기장 조명 기구의 규정치는 90이상을 요구한다.

2.2.6 조명 등기구

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

표 4 경기장 조명 등기구의 분류

구분	배광 곡선	광속 [lm]	용량 [W]	설치 높이	수직 광각	수평 광각
CAT 1	초협각형	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°

2.3 경기장의 시뮬레이션

축구 전용경기장의 조명에서 등기구의 위치 산정에 따른 Field의 조도분포는 등기구의 가로축(x), 세로축(y) 위치에 따라 변화를 나타내고 있다.

2.3.1 경기장의 조도분포 알고리즘

본 논문에서 적용된 Pattern Search 법은 최적화 기법의 하나로 목적 함수를 최적값으로 하는 미지의 변수 값을 구하는데 널리 사용된다. 조명기구배치 간격 선정에 있어서 목적함수 F_i 로는 수평면 조도, 수직면 조도(E_{v1}, E_{v2}), 균제도(H_1, H_2, V_1, V_2), 눈부심(GR), 연색성, 색온도 등 여러 가지가 될 수 있으나 본 논문에서는 조명기구 배치간격 선정시 FIFA 규정, 유럽 방송 연합 등에서 가장 중요한 선정기준이 되는 수직면 조도(E_{v1}, E_{v2}), 균제도(H_1, H_2, V_1, V_2), 눈부심(GR)을 목적함수로 정하였으며 눈부심은 총 11곳을 측정하였다. 조명기구 배치간격 선정시 고려해야할 변수 X_i 는 조명 등기구 Block 간격(x_1, x_2, x_3, x_4), 경기장 중심선에서 조명 등기구 Block까지 간격(y_1, y_2, y_3, y_4)으로 정하고 골키퍼와 조명 등기구 Block 5 사이의 각도 θ 는 골키퍼의 눈부심을 방지하고 골대앞의 수직면 조도를 보상하기 위해 글래어존 외부에 고정하고 조명 등기구 배치 간격에 따른 최적 배치값을 찾아 내고자 한다. 종합 목적함수 J_k 는 m 개의 목적함수의 합으로 이루어지며 식 (1)과 같이 나타낼수 있다.[6][7]

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

여기서 $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 이며, ω_i 는 가중치를 나타내는 계수이다.

조명기구 배치간격 선정에서 수직면 조도(E_{v1}, E_{v2}), 균제도(H_1, H_2, V_1, V_2), 눈부심(GR)에 대해서 목적함수를 단위화 시키기 위해 가중치를 선정하고 Pattern Search법으로 시뮬레이션 하여 본 논문에서 정한 목적함수의 최적값을 구하였다. 각각의 목적함수 F_i 는 n 개의 변수 x_i 를 가지고 있다. 구하고자 하는 목적함수는 먼저 변수의 초기값으로 설정하고 각각의 변수를 가감시켜 최적값을 구한다. 초기값에서 각 변수값을 증가시키거나 감소시켜 목적함수의 최적값이 될 때까지 반복하여 구한다. 각각의 변수값이 정해지면 모든 변수를 Pattern에 따라 동시에 가감시켜 결국에는 최적 목적함수가 되는 변수값을 구할수 있게 된다. 도출된 변수값

은 조명기구 배치간격 프로그램에 의해 분석함으로써 검증 하였다. 그림 3은 Pattern Search법에 의한 최적의 조명 등기구 배치 알고리즘 선정과정을 설명하고 있다

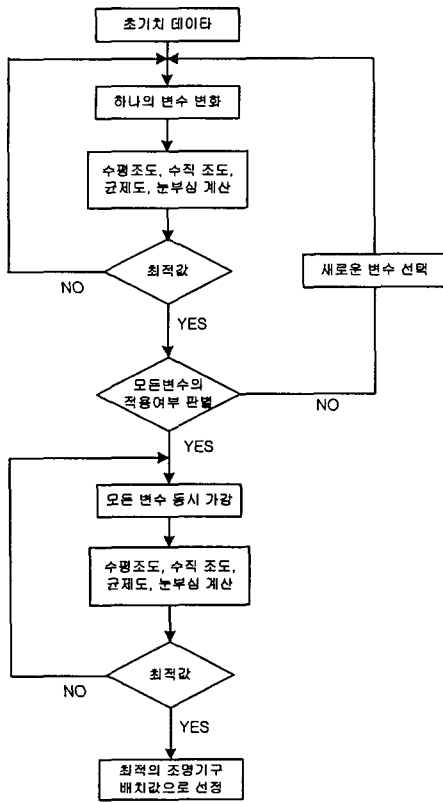


그림 3 시뮬레이션 수행 절차

2.3.2 경기장의 시뮬레이션 조건

본 시뮬레이션을 위한 경기장 조건은 국내·외의 축구전용 경기장의 자료를 참조하여 작성하였다. 조명 등기구의 설치 위치는 같은 종류의 조명 등기구를 사용하는 5개의 Block이 XY 대칭구조로 설치되어 있으며 Field 내의 조명 등기구 Block은 Field의 수평면 조도, 수직면 조도에 영향을 미친다. Field 외부(골키퍼 후면)의 조명 등기구는 골대 근처의 수직면 조도 보상과 골키퍼의 눈부심을 방지하기 위해 설치되어 있다. 따라서 경기장의 수직면 조도, 수평면 조도, 균제도, 눈부심은 Field내 4개 Block의 조명 등기구 위치에 따라 변화한다. 조사된 자료에 의한 경기장 Field 규모는 FIFA에서 규정하고 있는 가로축(x)범위 65~75[m], 세로축(y)범위 105~110[m]에서 일반적으로 많이 적용하고 있는 70×105[m]를 선정하였다. 등기구의 높이(h)는 모든 조명 등기구의 적용이 가능한 50[m]로 선정하였다. 경기장의 시뮬레이션 조건은 표 4와 같다.

표 5 시뮬레이션 조건

구 분	시뮬레이션 조건
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

시뮬레이션을 위한 XY 대칭구조인 각 조명 등기구 Block의 초기 설정값은 그림 4에 나타내었고 설정된 초기 가로축(x)의 값은 시뮬레이션 실행시 극단적인 조도 분포등을 피하기 위해 국내·외의 경기장에 설치된 Block간의 평균값으로 나타내었다.

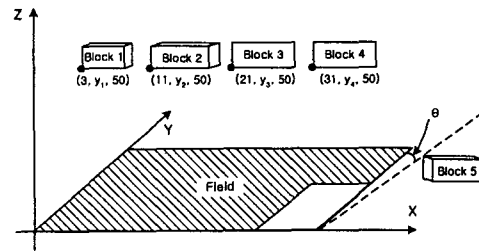


그림 4 조명 등기구 초기 위치

그림 4에서 세로축(y)의 값은 설정된 가로축(x)의 값을 기준으로 규정된 기준조도 이상값의 위치를 찾기 위해 0점을 기준으로 변화율 10[m]을 적용하여 Pattern Search법에 의해 시뮬레이션한 결과 세로축(y)의 값은 각각 70[m]보다 큰 경우 FIFA 규정등을 만족하는 값이 나타났으므로 세로축(y)의 최소값은 70[m]부터 적용하여 초기값을 설정하였으며 최대값은 경기장의 캐노피의 크기에 따라 다르나 조사된 경기장의 경우 100[m]를 초과하지 않았다. 경기장 조명 등기구 Block의 초기값은 표 5과 같다.

표 6 조명 등기구 위치 초기 설정값

구 분	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4
초기값	(3,70,50)	(11,70,50)	(21,70,50)	(31,70,50)

표 5에서 설정된 초기값을 기준으로 각각의 변수($x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4$)를 Pattern Search법을 이용하여 가로축(x)에 대한 최적값을 도출하고 도출된 가로축(x)의 값을 기준으로 세로축(y)의 최적값을 도출하는 시뮬레이션을 실행 하였다. 표 7은 각각의 변수를 가감하여 얻은 시뮬레이션 결과 값이다.

표 6 조명 등기구 최적 배치 간격에 따른 조도분포도

구 분	Block 1		Block 2		Block 3		Block 4		Eh1	Ev1	Ev2	Ev1		수평면균제도		수직면균제도		GR (Max)
	x1	y1	x2	y2	x3	y3	x4	y4				min	max	H1	H2	V1	V2	
No 1	1.5	81	10.5	81	22.5	75	32.5	72	2588	2304	1503	1764	2909	0.71	0.81	0.61	0.77	41.0
No 2	1.5	82	10.5	83	26.5	76	32.5	72	2571	2304	1510	1777	2906	0.71	0.82	0.61	0.77	41.1
No 3	1.5	83	11.5	81	25.5	77	32.5	72	2559	2307	1506	1782	2917	0.71	0.82	0.61	0.77	41.2
No 4	2.5	82	13.5	80	23.5	76	34.5	72	2565	2302	1518	1772	2910	0.7	0.81	0.61	0.77	41.1
No 5	2.5	83	13.5	83	22.5	77	34.5	72	2555	2305	1510	1773	2918	0.7	0.81	0.61	0.77	41.2
No 6	3.5	81	12.5	81	24.5	76	32.5	71	2581	2304	1521	1775	2907	0.71	0.82	0.61	0.77	40.9
No 7	3.5	82	10.5	81	25.5	75	34.5	72	2571	2297	1512	2771	2894	0.71	0.82	0.61	0.77	41.0
No 8	3.5	83	11.5	79	24.5	76	34.5	72	2559	2301	1508	1776	2905	0.71	0.82	0.61	0.77	41.1
No 9	4.5	79	11.5	82	23.5	77	34.5	72	2587	2299	1520	1756	2894	0.7	0.81	0.61	0.76	41.0
No 10	4.5	80	12.5	80	22.5	78	34.5	72	2575	2303	1517	1767	2903	0.71	0.81	0.61	0.77	41.1
No 11	4.5	81	12.5	83	22.5	74	34.5	72	2582	2298	1518	1760	2903	0.7	0.81	0.61	0.77	41.0

표 7 각각의 변수 변화에 따른 등기구 위치

Block 1		Block 2		Block 3		Block 4	
x_1	y_1	x_2	y_2	x_3	y_3	x_4	y_4
3.5	81	11.5	81	24.5	76	33.5	72

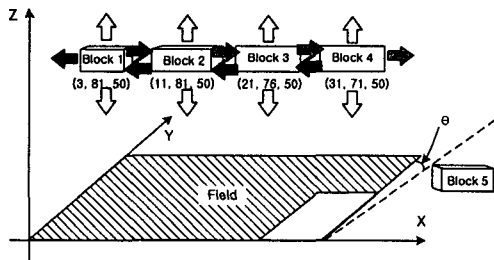


그림 5 최적 등기구 배치 간격 설정

최적의 조도분포를 나타낼수 있는 조명 등기구 배치 간격값을 찾기 위해서는 도출된 표7의 가로축(x), 세로축(y)의 값을 그림 5와 같이 동시에 가감하여 Pattern Search법에 의해 시뮬레이션을 실행 최적의 수평면 조도, 수직면 조도, 균제도, 눈부심 결과를 갖는 조명 등기구 배치값을 표 6과 같이 얻을수 있었다. 그림 6~8은 최적값에 대한 클레어, 등기구 배치, 수직면 조도분포를 나타내었다.

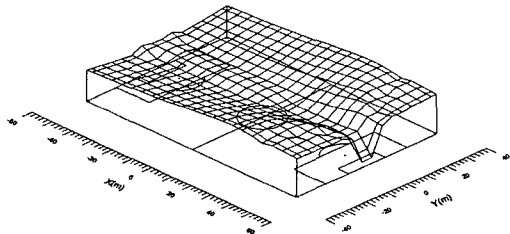


그림 6 최적 등기구 배치값의 클레어 분포도

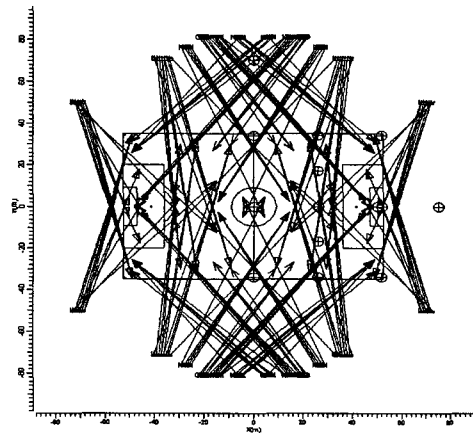


그림 7 최적 등기구 배치값의 등기구 배치도

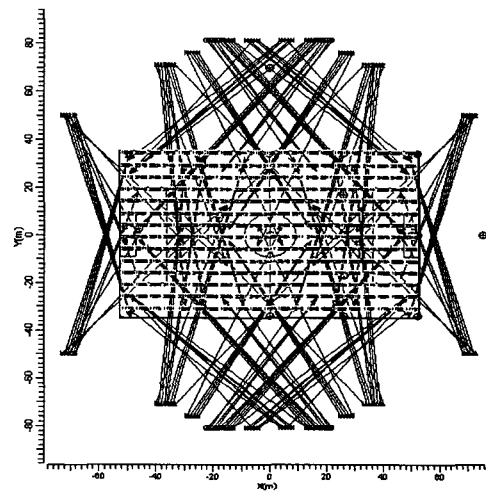


그림 8 최적 등기구 배치값의 수직면 조도 분포

도출된 최적의 조명 등기구 배치값을 기준으로 기준조도 이상의 조도값을 갖는 등기구의 배치범위를 Pattern Search법으로 분석한 결과 최초의 등기구 위치가 가로축(x_1)의 경우 $0.5 \leq x_1 \leq 15.5$, 세로축(y_1)은 $1.52h \leq y_1 \leq 1.66h$ 의 범위에서 x_1 과 y_1 을 기준으로 모든 조명 등기구는 그림 9에서와 같이 일정한 각도($\Psi=54^\circ$)범위내에 위치함을 확인하였다. 따라서 임의의 x_n 점에 설치 될 수 있는 등기구의 세로축(y) 범위는 식 2와 같이 나타낼수 있다.

$$y_1 - \tan \psi(x_n - x_1) \leq y_n \leq y_1 \quad (2)$$

여기서 세로축(y)의 최대값 y_1 은 일반적으로 최외곽에 등기구가 설치됨을 나타낸다. 그림 9는 기준조도 이상의 값을 가지는 등기구 배치 범위를 나타낸다.

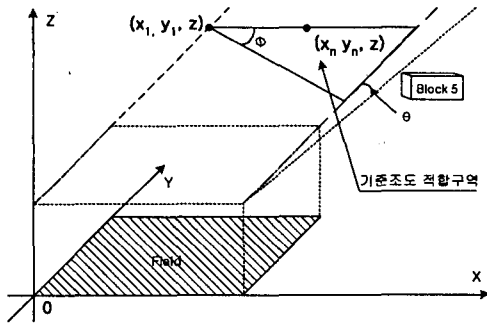


그림 9 등기구 배치범위

3. 결 론

본 연구에서는 축구 전용 경기장의 캐노피에 설치되는 조명 등기구 시설중 사이드 배치에 대한 부분을 기존 경기장의 사례조사와 Pattern Search법을 이용하여 기준 좌표값을 (3, 70), (11, 70), (21, 70), (31, 70)으로 선정후 각각의 변수에 대한 최적값을 구하기 위한 2차 시뮬레이션을 실행하여 (3.5, 81), (11.5, 81), (24.5, 76), (33.5, 72)값을 구하였다. 2차 시뮬레이션에 의한 값을 기준으로 모든 변수를 고려한 최적값 선정을 위해 3차 시뮬레이션을 실행하여 최적의 조명 등기구 Block 배치간격인 가로축(x) 3.5[m], 12.5[m], 24.5[m], 32.5[m]값과 세로축(y) 81[m], 81[m], 76[m], 71[m]의 값을 도출하였고 각 등기구 Block의 최적 좌표점 (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)값 (3.5, 81), (12.5,

81), (24.5, 76), (32.5, 71)을 찾아 내었다.

표 8은 도출된 조명 등기구 배치값에 의한 최적의 조도 및 균제도, 눈부심을 FIFA의 규정과 비교한 값이다.

표 9 FIFA 규정값과의 비교

구 분	FIFA 규정	시뮬레이션값
수평면 조도 E_h	-	2,581
수직면 조도 E_{v1}	2,000	2,304
수직면 조도 E_{v2}	1,500	1,521
수평면 균제도 H_1	0.7	0.71
수평면 균제도 H_2	0.8	0.82
수직면 균제도 V_1	0.6	0.61
수직면 균제도 V_2	0.7	0.77
최대 눈부심 정도 GR	50	40.9

현재 국·내외적으로 조명등기구 배치 간격을 산출하는 계산식은 없으며 조명 등기구 설치시 건축물의 형태에 따라 위치가 선정되고 있다. 따라서 도출된 최적의 조명등기구 배치값을 기준으로 FIFA 기준에 적합한 등기구 배치 간격 분포를 분석하여 조명 등기구의 x 축값 선정시 y 축의 설치범위를 산정하는 식 $y_1 - \tan \psi(x_n - x_1) \leq y_n \leq y_1$ 를 도출하여 조명 등기구의 설치가능 구역을 찾아 내었다.

본 연구의 결과를 바탕으로 향후 축구 전용 경기장의 캐노피에 조명 등기구를 사이드 배치시 설계 단계에서부터 조명 등기구의 배치점을 미리 예측함으로써 최적의 조명 등기구 설치를 위한 많은 활용이 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", 20001
- [7] 김경철, "Microcomputer based turbine-governor simulation for a generating unit". 1998