

축구 경기장의 조명타워 위치에 따른 조도분포 해석

(Illuminance Distribution Analysis by Lighting Tower Position of a Soccer Stadium)

최홍규 · 최병숙 · 김길영*

(Hong - Kyoo Choi · Byung - Sook Choi · Kil - Young Kim)

요 약

오늘날 축구는 세계적인 주목을 받는 스포츠가 되었다. 특히, 2002 KOREA-JAPAN 월드컵은 한국에 대한 깊은 인상을 심어 주었다. 축구경기장의 조명시스템 설계에 있어서 가장 주요한 기술적 목적은 경기장의 어디에서나 최적의 분포를 나타내도록 하는 것이다. 이렇듯, FIFA는 경기장의 어디에서나 선수, 청중, 방송관계자들에게 일정한 수준의 조도를 제공할 수 있도록 규정하고 있다.

본 논문에서는 경기장의 조명타워의 위치선정에 따른 최적의 수평면 조도와 수직면 조도를 찾기 위한 알고리즘을 제시하였다. 본 논문에서는 Philip's Calculux 프로그램을 이용하여 조명타워의 위치에 따라 수평면 조도, 수직면 조도, 균제도, 글레이 등을 계산하였다.

Abstract

Nowadays the soccer becomes one of the best spot lighting sports in the world. Especially the 2002 Korea-Japan World Cup was deeply impressed on all the korean. One goal of illuminating engineering should be the design of lighting system that can provide consistently high task visibility regardless of where a task might be located within a working space. The television broadcasting on the soccer has been an important role in the media. The standard of FIFA(The Federation Internationale de Football Association) requires recommended illuminance levels for artificial lighting for a player, an audience, TV broadcasting, as well as everybody in the stadium. This paper has proposed an algorithm to select the suboptimal lighting tower position for watching and TV broadcasting a soccer game within a pleasant environment and an optimum illuminance distribution. The position using the software Philip's Calculux was chosen based an the calculations of a horizontal illuminance, vertical illuminance, uniformity, glare, and so on by changing lighting tower positions.

Key Words : illuminance levels for artificial lighting for a player, changing lighting tower positions, optimum illuminance distribution, uboptimal lighting, horizontal illuminance, vertical illuminance, uniformity glare, stadium

1. 서 론

* 주저자 : LG산전(주) 전력시스템사업부
Tel : 043-261-6793, Fax : 043-261-6638
E-mail : kykim3@lgis.com
접수일자 : 2003년 4월 1일
1차심사 : 2003년 4월 8일
심사완료 : 2004년 1월 12일

한국이 2002년 월드컵을 개최함으로써 가지는 의의로는 첫째, 국가 이미지 쇄신을 통한 국가 위상제고, 화해와 공존을 통하여 한·일 관계의 재정립, 남

표 1. FIFA의 축구 경기장 조명에 대한 권장 사항
Table 1. Recommend of FIFA on Soccer Stadium Lighting

구 분	FIFA 최소조명 기준			
	일반TV(CTV)		HDTV	비상용 TV
	국내경기	국제경기		
E_h (수평면조도:그라운드레벨)	-	-	-	-
E_{v1} (수직면조도:그라운드에서1.5m/주카메라)	1,000	1,400	2,000	800
E_{v2} (수직면조도:골문 뒤 보조카메라)	700	1,000	1,500	500
E_{v3} (수직면조도:주카메라 반대편 보조카메라)	-	-	-	-
수평면 균제도 U_1 (Min/Max)	0.5	0.6	0.7	0.5
수평면 균제도 U_2 (Min/Average)	0.7	0.7	0.8	0.7
수직면 균제도 U_1 (Min/Max)	0.3	0.4	0.6	0.3
수직면 균제도 U_2 (Min/Average)	0.5	0.6	0.7	0.5
GR(Max)	50	50	50	50
Ra(연색성)	≥ 65 (되도록 90)	≥ 65 (되도록 90)	≥ 90	≥ 65 (되도록 90)
TK(색온도)	4,000	4,000	5,000	4,000
Mounting Height(min)	20	20	20	20

북한의 실질적 이해·협력의 증진 및 민족 화합 조성의 기회 제공 등의 정치·외교적 의의를 가진다. 둘째, 대회준비·운영과정에서 거시경제 전반에 대한 유·무형의 파급효과 창출, 정보·통신 등 첨단 산업과 스포츠 관련산업의 성장계기 제공, 개최도시의 이미지 제고로 관광 등 지역산업의 경쟁력 강화와 지역경제의 활성화 촉진 등의 경제적 의의를 가진다. 셋째, 사회공동체 의식을 제고하여 지역 간·계층 간 국민통합 증진, 문화월드컵을 통한 한국문화의 세계화, 지방의 균형발전 및 국제화 촉진 등의 사회·문화적 의의 등 한국이 2002년 월드컵을 개최함으로써 기대되는 국가 발전적 의의는 매우 크다. 또한 2002년 월드컵 축구 대회를 통해서 우리나라가 선진국으로 부상할 수 있는 계기와 전환점을 마련하였기 때문에 의미가 깊고 세계 곳곳으로부터 오고 간 수많은 관람객들은 관광, 문화, 산업, 국민의식 함양 등에 일조 하게되어 결국 우리나라의 국제적 지위향상에 기여하였고, 한국사회의 전반적인 분위기 쇄신과 국제사회 속의 신뢰를 화려하게 해주는 계기를 마련하게 되었다.

2. 경기장의 개요

2.1. 경기장 조명의 조건

경기장 조명은 경기자와 진행자가 정확히 물체를 볼 수 있어야 하고 관객도 경기 내용을 자세히 관찰할 수 있는 조명이 되어야 한다.

선수들과 심판 그리고 경기 관계자들은 가능한 최선의 경기를 할 수 있도록 경기장 안에서 일어나고 있는 모든 사실들을 정확히 볼 수 있어야 한다.

관중들은 선수들의 경기와 경기전체의 내용을 쾌적한 환경 속에서 관람 할 수 있어야 한다. 이는 관중들이 경기장뿐만 아니라 경기장 주위의 모든 상황을 신속히 관람 할 수 있어야 한다는 것을 의미하며, 관중들이 안전하게 경기장에 출입을 할 수 있도록 하여야 한다. 관중이 많으면 많을수록 이 부분에 대한 안전적인 측면은 매우 중요하다.

텔레비전 방송을 하기 위해서 방송담당자들은 경기장안에서 일어나고 있는 모든 상황을 정확히 촬영할 수 있어야 한다. 따라서 경기장 조명은 CIE 83번에서 규정된 바와 같이 뛰어난 컬러의 품질을 보장

해 줄 수 있는 조건을 제공하여야 한다. 경기 전체의 화면뿐만 아니라 선수들과 관객들의 클로즈업(Close-Up) 등 여러 조건을 제공하여 최적의 방송을 할 수 있도록 하여야 한다.

경기장 조명은 그림 1과 같이 분류되어지고 이에 따르는 요구사항은 표 1과 같은 값을 만족하여야 한다. 표 1에서 경기장 조명의 경우 수평면 조도, 수직면 조도외에 균제도, 연색성, 색온도, 글레어에 관한 기준을 두고 이를 만족하도록 규정하고 있다. 균제도의 경우 U_1, U_2 로 나타내는데 이 경우 U_1 은 최소조도/최대조도를 나타내는 것이고, U_2 는 최소조도/평균조도를 나타내는 것이다.

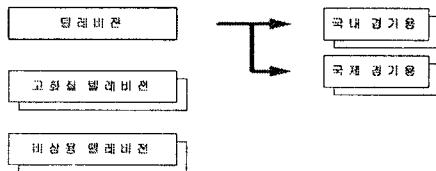


그림 1. 경기장 조명의 분류
Fig. 1. Category of Stadium Lighting

HDTV를 기준으로 수평면 조도의 경우 U_1 은 0.7이상, U_2 는 0.8을 만족해야 하고, 수직면 조도의 경우 U_1 은 0.6이상, U_2 는 0.7을 만족해야 한다.

눈부심을 나타내는 GR의 경우 최대치를 50으로 규정하고 있고, 이를 만족하도록 요구하고 있다. 연색성은 HDTV를 기준으로 90이상 되도록 해야하고, 색온도의 경우 5,000[K] 이상을 요구하고 있다.

2.2 경기장 조명의 조도

일반적으로 경기장 내의 조도는 관람객이 관전하거나 심판, 선수들이 경기를 하는데 지장이 없도록 하는 수평면 조도(E_h)와 방송 중계를 위한 수직면 조도(E_v)로 해석된다. 수평면 조도는 경기의 진행이나 관전에 참여하는 대상들이 직접 현장에서 보는 것을 만족시켜주는 것을 의미한다. 수직면 조도는 어떠한 대상물의 수직면을 표현하는데 필수적이다. 관찰자가 선수들의 어떤 측면을 볼 수 있는지는 관찰자의 시선에 직각인 수직 평면을 잡아 어렵해 볼 수 있다. 이러한 장면(scene) 조도, 그리고 특히 수직

면 조도는 텔레비전 또는 영화 화면의 질에 아주 중요한 영향을 미친다. 모든 방향에서 최적의 장면을 제공하고 어떤 각도에서도 선수들을 알아볼 수 있게 하려면, 경기장 바닥을 기준으로 높이 1.5미터 지점에 잡은 수직면 상에서 지정된 조도를 보장해야 한다.

경기장 조명의 설계시 수직면 조도의 측정 기준은 그림 2에서와 같이 주 카메라의 위치와 보조 카메라의 위치에 따른 규정을 만족하도록 경기장 조도를 규정하고 있다.

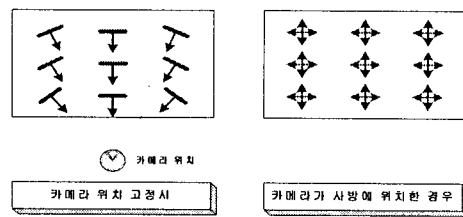


그림 2. 카메라 위치에 따른 수직면 조도 측정 기준
Fig. 2. Standard of measure on vertical illuminance for camera position

2.3 경기장조명의 타워위치선정 방법

2.3.1 KS에 따른 코너배치 조건

경기장 조명에서 조명 기구의 부착 높이 및 그 위치선정은 경기장 조명에서 매우 중요하다. 따라서 KS규격에서는 식 (1)과 그림 3 ~ 그림 4와 같은 조건을 제시하고 있다.

$$0.35L_1 \leq H \leq 0.6L_1 \quad (1)$$

$$L_2 \leq H \leq 3L_2$$

KS규격의 조건에 따라 경기장의 코너 배치에 따른 조명 타워의 위치를 나타내면 그림 3 ~ 그림 4와 같이 표현할 수 있다.

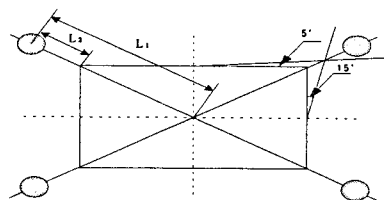


그림 3. 전용경기장의 코너배치
Fig. 3. Corner position of only soccer stadium

축구 경기장의 조명타워 위치에 따른 조도분포 해석

그림 3에서 조명 타워의 위치는 가로(x축)를 기준으로 5°이상의 각도를 갖고, 세로(y축)를 기준으로 15°이상의 각도를 만족하는 위치에 시설하여야 하며 경기장의 하프라인 상의 중심에서 조명타워의 수평면상의 거리를 L_1 으로, 경기장의 코너지점에서 조명타워의 수평면상의 거리를 L_2 로 나타낼 경우 수식(1)을 만족하는 위치에 조명타워를 설치하여야 한다.

조명기구의 높이는 그림 4와 같이 수평면상의 바닥으로부터 등기구 설치의 최하단 조명기구까지의 높이를 나타내는 것이다.

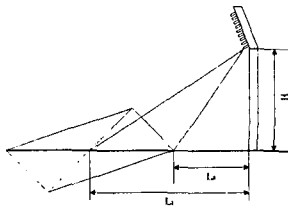


그림 4. 조명기구의 높이
Fig. 4. Height of lighting equipment

3. 경기장의 시뮬레이션

축구 경기장의 조명에서 등기구의 위치선택에 따른 경기장면의 조도분포는 등기구의 위치와 등기구 각각의 각도변화에 따라 상당한 조도분포 변화를 나타내고 있다.

3.1 경기장의 시뮬레이션 조건

본 연구에서는 경기장의 조명형태 중 KS 규격과 FIFA의 기술 기준을 바탕으로 축구 전용구장에 대한 조도 분포 해석을 시행하였다.

경기장 조명의 형태는 축구 전용 구장으로서 00종합 경기장의 조명타워 상의 구조와 등기구 배광곡선을 바탕으로 시뮬레이션 하였다. 본 시뮬레이션은 PHILIPS사의 경기장 조도계산 프로그램인 Calculux Ver.4.5를 사용해서 값을 구하였다.

표 2에서와 같은 조건으로 앞서 설명한 KS규격에서 조명타워 설치 위치를 선정하는 기준인 L_1 , L_2 와 가로(X축) 5°이상, 세로(Y축) 15°이상에 조명 타

워 설치시 FIFA의 권장 조도 특성을 만족하는 최적의 위치를 찾고자 한다.

표 2. 00 경기장의 시뮬레이션 조건
Table 2. The Simulation of condition on 00 stadium

구분	시뮬레이션 조건				
경기장 규모	105×70[m] 축구 경기장				
조명 타워의 높이	50[m]				
투광기 형태	CAT1	CAT2	CAT3	CAT4	CAT5
	100개	156개	52개	16개	4개
안정기 형태	표준형(Standard)				
램프 1등당 총광속	180000[lm]				
등기구 용량	2140[W]				
등기구 유지율	0.9				
램프의 유지율	1.0				
정격전압	400[V]				

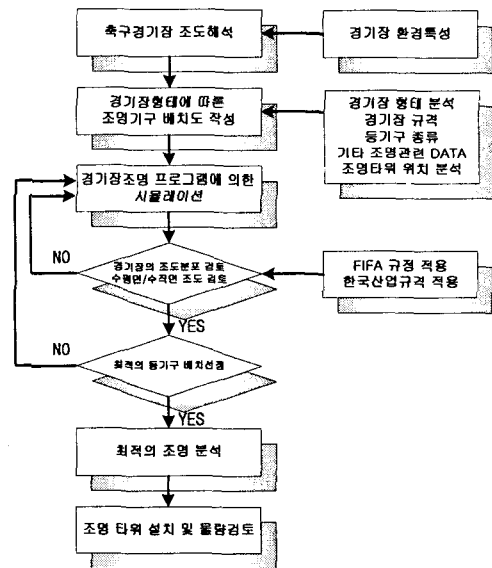


그림 5. 조도 분포 해석에 관한 순서도
Fig. 5. Diagram for distribution on illuminance

표 2의 시뮬레이션 조건에서 조명타워의 높이를 50[m]로 할 경우 KS규격에 의해서 L_1 , L_2 값의 범위를 구하면 L_1 의 경우 $83.33 \leq L_1 \leq 142.86$ [m]의 범위를 나타내고, L_2 의 경우 $16.67 \leq L_2 \leq 50$ [m]의 범위를 구할 수 있다. 본 시뮬레이션에서는 그림

3.2 조도 분포 해석

L_1 , L_2 의 조건을 바탕으로 각도에 따라 시뮬레이션 결과를 다음과 같이 하였다. L_1 의 최소 길이인 83.33[m]에서 수평각도 $29.73^\circ \leq \theta_1 \leq 37.52^\circ$ 에서 시뮬레이션의 결과는 표 3과 같다.

최대의 길이인 L_2 의 50[m]에서 수평각도 $23.35^\circ \leq \theta_2 \leq 47.29^\circ$ 에서 시뮬레이션한 결과 표 4와 같다.

표 3과 표4에서 시뮬레이션한 결과 L_2 의 최대거리 50[m]의 47.29°에서 조도분포 및 균제도, 클레어가 FIFA 규정을 만족하며, 가장 우수한 특성이 나타났다.

표 3. L_1 의 최소거리 83.33(m)의 조도 분포
Table 3. Distribution of illumination for L_1 Min 83.33(m)

구 분	최소길이 L_1 83.33[m] 기준						
	29.73	31.29	32.85	34.40	35.96	37.52	
수평면 조도 (HDTV 기준)	3109	3103	3096	3090	3084	3078	
수직면 조도 (HDTV 기준)	1734	1779	1825	1870	1914	1958	
균제도 (수평)	최소/평균	0.75	0.76	0.76	0.76	0.77	0.77
	최소/최대	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61
균제도 (수직)	최소/평균	0.55	0.58	0.61	0.63	0.65	0.65
	최소/최대	0.27	0.29	0.31	0.32	0.34	0.36
클레어	Keeper	34.3	34.1	33.9	33.7	33.4	33.2
	Main Camera	10.00	10.0	10.00	10.00	10.00	10.00

표 5. 시뮬레이션의 결과
Table 5. The Result of Simulation

구 분	최소길이 L_1 83.33[m] 37.52°		최대길이 L_2 50[m]																
			41.31°			45.29°			47.29°			49.29°			51.29°				
	83.33	100	110	105	110	113	109	110	113	107	110	113	107	110	113	107	110	113	
수평면 조도 (HDTV 기준)	3078	2763	2592	2663	2579	2530	2583	2567	2518	2610	2561	2514	2603	2554	2504	2594	2547	2498	
수직면 조도 (HDTV 기준)	1958	1919	1891	2027	2015	2009	2144	2142	2136	2208	2204	2199	2267	2323	2260	2326	2323	2320	
균제도 (수평)	최소/평균	0.77	0.87	0.87	0.88	0.87	0.86	0.87	0.86	0.86	0.87	0.86	0.85	0.87	0.86	0.85	0.87	0.86	0.85
	최소/최대	0.61	0.73	0.75	0.76	0.76	0.75	0.76	0.76	0.75	0.77	0.76	0.75	0.77	0.76	0.75	0.78	0.77	0.75
균제도 (수직)	최소/평균	0.65	0.76	0.80	0.82	0.83	0.83	0.80	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.75
	최소/최대	0.36	0.45	0.51	0.54	0.57	0.58	0.58	0.58	0.60	0.59	0.60	0.61	0.60	0.61	0.62	0.61	0.61	0.61
클레어	Keeper	33.2	36.8	39.0	37.4	38.5	39.2	37.4	37.7	38.4	36.7	37.4	38.1	36.6	37.4	38.1	36.9	37.6	38.4
	Main Camera	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.6	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	11.1	10.0

표 4. L_2 의 최대거리 50(m)의 조도분포
Table 4. Distribution of illumination for L_2 Max 50(m)

구분	최대 길이 L_2 - 50[m] 기준							
	23.35	27.34	31.33	35.32	37.32	41.31	43.30	47.29
수평면 조도 (HDTV 기준)	2649	2634	2618	2601	2593	2579	2573	2561
수직면 조도 (HDTV 기준)	1446	1565	1690	1818	1884	2015	2080	2204
균제도 (수평)	최소/평균	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.86
	최소/최대	0.72	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76
균제도 (수직)	최소/평균	0.58	0.65	0.72	0.77	0.79	0.83	0.81
	최소/최대	0.31	0.36	0.42	0.48	0.51	0.57	0.60
클레어	Keeper	40.7	40.1	39.7	39.2	39.0	38.5	38.2
	Main Camera	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

따라서, 본 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 또다시 L_2 의 최대거리를 기준으로 약 5[m]의 범위와, 47.29°의 각도에서 약 5°의 범위내에서 시뮬레이션한 결과 표 5에서 보는 바와 같이 110[m]상의 가로 각도 33.99°, 세로각도 13.00° 높이각도 24.44°와 수평각도 49.29°상에서 수평면 조도, 수직면 조도, 클레어 및 균제도상에서 최적의 조건을 얻을 수 있었으며 그림 11 ~ 그림 16에 그 결과를 나타내었다.

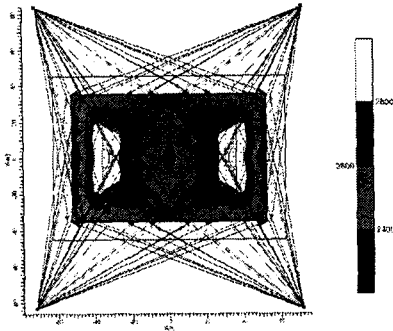


그림 11. 최적의 수평면 조도 분포도
Fig. 11. Optimal horizontal illuminance distribution

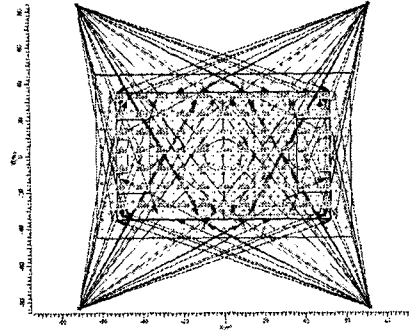


그림 14. 최적의 수직면 조도분포도
Fig. 14. Optimal vertical illuminance distribution

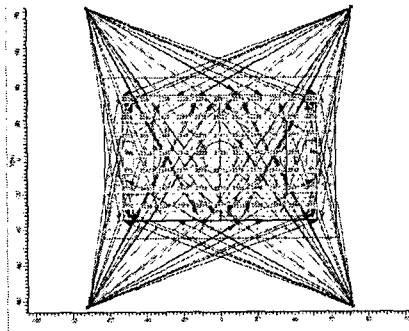


그림 12. 최적의 수평면 조도분포도
Fig. 12. Optimal horizontal illuminance distribution

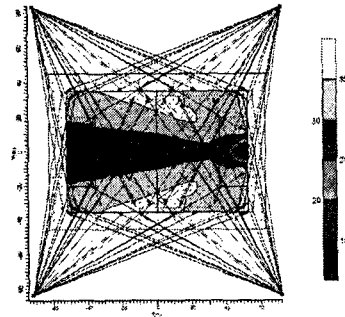


그림 15. 최적 조건의 글레어 분포도
Fig. 15. Optimal Glare distribution

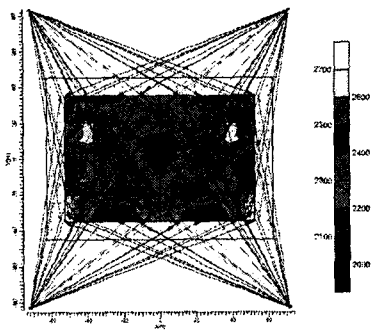


그림 13. 최적의 수직면 조도분포도
Fig. 13. Optimal vertical illuminance distribution

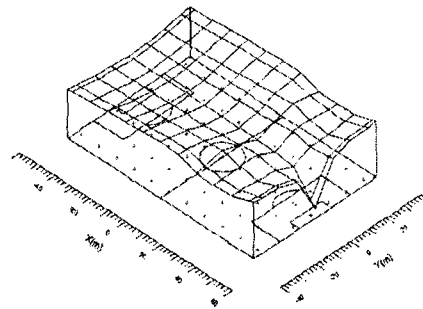


그림 16. 최적조건의 글레어 분포도
Fig. 16. Optimal glare distribution

4. 결 론

본 연구에서는 경기장의 조명 시설 중 코너 배치에 대한 부분을 시뮬레이션하여 조명타워 위치와 범위를 찾을 수 있었다.

기존의 00 경기장의 조명타워의 위치를 바탕으로 시뮬레이션 한 결과 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

이 결과를 KS 규격과 비교해 본 결과 수평면상의 타원각도 47.29°인 경우 110[m]이상에서 가로각도 32.57°, 세로각도 15.3°를 만족하고 이때, 높이 각도 24.44°를 나타내고 있으며, 평면상의 타워 각도 49.29°인 경우 가로각도 33.99°, 세로각도 13.00°, 높이 각도 24.44°로 나타났고, 평면상의 타워각도 51.29°인 경우 가로각도 36.46°, 세로각도 10.75°, 높이 각도 24.44°이므로 세로각도는 KS규격을 만족하지 못하고 있다.

그러나, 최적의 조명타워 위치는 표 5에서 보는 바와 같이 경기장의 중심을 원점으로 가로(X축)와 세로(Y축)를 기준으로 49.29°상의 거리는 110[m] 지점에서 수직면 조도와 수평면 조도, 글레어의 특성이 FIFA의 권장사항을 만족하고, 균제도 특성에서 가장 우수한 최적의 값으로 나타났다.

본 연구의 결과를 통해서 확인한 바와 같이 가로의 각도는 모두 5°이상을 만족하지만 세로의 각도의 경우 평면상의 타워 각도 47.29°인 경우 110[m]이상에서 만족을 하고, 49.29°와 51.29°의 경우는 이를 만족하는 거리가 KS규정에 정한 공통 최적의 거리를 만족하지 못했다.

본 연구의 결과를 바탕으로 KS규격과 FIFA의 경기장 조도에 대한 권장 사항을 만족하는 부분은 아주 미흡한 부분에 지나지 않았다. 따라서, 이를 동시에 만족하는 부분에서 최적의 조도분포를 갖도록 조도분포에 대한 설계가 요구된다.

추후 경기장 조명의 조도분포 해석에서 코너 배치가 아닌 일반적인 형태인 경기장의 처마에 설치하는 일종의 사이드 배치에 대한 연구를 하고자 한다.

References

- (1) "Lighting Handbook" IESNA 1998.
- (2) "Guide to the artificial lighting of multipurpose indoor sports venues" General Association of International Sports Federations & European Broadcasting Union & Philips Lighting B.V.
- (3) 최홍규의 "조명설비 및 설계" 성안당, 2001.9.
- (4) 최홍규의 "전력사용시설물 설비 및 설계" 성안당, 2001.3.
- (5) 설창균 "2002년 서울 삼암 월드컵 경기장 "조명·전기설비학회지 2000,02 v.14, n.2, pp.20-32 1225-1135.
- (6) 안재오 "2002 월드컵 경기장의 조명시설에 관한 연구" 고려대, 2000.6.
- (7) 김홍범 "조명디자인의 이해" 조명전기설비학회지 vol.13 No 4, 1999.12.
- (8) 장우진, 홍성욱 "Lightscape를 사용한 조명 시뮬레이션" 조명전기설비학회지 vol.13 No2 1999.6.
- (9) 조경남의 "광속법에 의한 조도계산에 있어서 실지수 0.6 이하에서의 조명을 적용에 관한 연구" 조명전기설비학회 2001 학술대회논문집 2001.11.

◇ 저자소개 ◇

최홍규 (崔洪圭)

1950년 1월 7일생. 1975년 홍익대학교(공학사). 1977년 연세대학교(공학석사). 1992년 홍익대학교(공학박사). 현재 홍익대학교 전자전기컴퓨터 공학부 교수.

최병숙 (崔秉淑)

1960년 11월 25일생. 1982년 경일대학교 전기공학과 졸업. 1986년 경일대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 홍익대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 건축전기설비기술사, 서한컨설팅 대표이사.

김길영 (金倍永)

1974년 12월 10일생. 2001년 홍익대학교 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LG산전(주) 근무