

집광채광시스템을 적용한 실내체육관의 신재생에너지 공급의무 분담률에 관한 연구

A Study on the Supply obligations allotment rate of New Renewable Energy in Indoor Gymnasiums with the Application of a Daylighting System

박윤하* · 이용호** · 조영흠*** · 황정하****†

Park, Yun-Ha*, Lee, Yong-Ho**, Cho, Young-Hum*** and Hwang, Jung-Ha****†

(Received 2 April 2015; accepted 15 June 2015)

Abstract : Under the goal of analyzing the compulsory supply share of new renewable energy according to the application of a daylighting system to indoor gymnasiums, this study conducted analysis of energy consumption and operation schedule at three indoor gymnasiums in the nation through a survey. The investigator did an Energy Plus simulation on Building A based on the analysis results and analyzed the supply share of new renewable energy in the saving effects of lighting energy according to the application of a daylighting system. As a result, When 92 prism daylighting system were installed in the upper ceiling of a stadium, they were able to meet the criteria for the minimum illumination for official games(Min : 600lx) and optimum illumination for general games and recreations, thus saving lighting energy during the daytime(09:00~17:00). The resulting saving effects of lighting energy amounted to 44.4% for official games, 57.6% for general games, and 66.7% for recreations. In addition, the daylighting systems had a compulsory supply share of new renewable energy at 2.04% for official games, 2.75% for general games, and 2.62% for recreations, recording an average compulsory supply share of 2.5%.

Key Words : 신재생에너지(New and renewable Energy), 집광채광시스템(Daylighting system), 프리즘방식(Prism light duct), 공급의무 분담률(Supply obligations allotment rate), 조명에너지(Illumination energy)

****† 황정하(교신저자) : 경북대학교 건축토목공학부
E-mail : Peter@knu.ac.kr, Tel : 053-950-8544
*박윤하 : 경북대학교 건설환경에너지공학부
**이용호 : 경북대학교 건설환경에너지공학부
***조영흠 : 영남대학교 건축학부

****† Hwang, Jung-Ha(corresponding author) : School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University.
E-mail : Peter@knu.ac.kr, Tel : 053-950-8544
*Hong, jun-Ho : School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University.
**Lee, Yong-Ho : School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University.
***Cho, Young-Hum : Department of Architecture, Yeungnam University.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

현재, 우리 정부는 국가 에너지 사용량 가운데 높은 비중을 차지하는 건물부분의 에너지를 절약하기 위하여 2004년부터 신·증·개축하는 공공건축물에 신재생에너지시스템을 적용하도록 하는 신재생에너지 보급 사업(공공기관 신재생에너지 설치의무화 제도 이하 '설치의무화제도'라 칭함)을 추진해 오고 있다.

이러한 설치의무화제도는 시대적 흐름과 다양한 요구를 반영하여 수차례의 법령개정이 이루어졌으며, 최근 2014년 5월 개정된 법령에서는 기존의 신재생에너지(태양광, 태양열, 지열)시스템 이외에 새롭게 연료전지와 집광채광시스템을 추가하여 보다 다양한 신재생에너지시스템의 복합활용이 가능하도록 법령을 개정 하였다.

그러나 기존 신재생에너지시스템 적용사례 및 시스템 선호도는 태양광, 태양열, 지열과 같은 3개 시스템이 공공기관 건물(3개용도 13개시설)에 적용되고 있는 반면, 연료전지와 집광채광의 건물적용은 아직 초기단계로 상대적으로 극히 일부 건물에만 적용되고 있는 실정이다.

특히, 집광채광의 경우, 일부 공공기관 건물의 지하공간 및 다목적강당과 같은 한정적인 공간에 주로 적용되고 있어 집광채광의 적용범위를 넓히는 다양한 연구 노력이 필요한 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구는 설치의무화 제도에서 제시하는 집광채광시스템을 실내체육관에 적용시 조명에너지 절감효과와 집광채광시스템의 신재생에너지 공급의무 분담률을 분석하여 집광채광시스템의 다양한 적용방안을 모색하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구는 집광채광시스템을 실내체육관 적용에 따른 신재생에너지 공급의무 분담률 분석 연구로써 연구방법과 범위는 다음과 같다.

첫째, 국내·외 집광채광 기술동향과 설치의무화제도에 따른 집광채광시스템의 종류 및 설치조건과 관련 논문들을 고찰하였다.

둘째, 국내의 다양한 운동시설 가운데 중규모의 실내체육관을 3곳을 대상으로 설문조사를 통하여 연간 에너지사용량과 운용스케줄(공식경기·일반경기·레크리에이션)을 분석하였다.

셋째, 설문조사를 통하여 도출된 실내체육관의 운용스케줄을 바탕으로 Energy Plus시뮬레이션을 실시하여 집광채광시스템 적용에 따른 조명에너지 절감효과와 신재생에너지 분담율을 분석하였다.

2. 집광채광 기술동향과 설치의무화제도

2.1 국·내외 집광채광 기술동향

(Table 1)은 국외 주요 국가별 집광채광시스템의 개발현황을 나타낸 것으로 오스트리아, 일본, 독일 등을 중심으로 태양광을 활용한 자연조명 시스템의 연구·개발이 급속한 진전을 이루어 상당한 수준의 기술을 보유하고 있고, 최근 현장에 적용되는 시스템들은 유럽과 일본에서 제품을 수입하여 설치하는 경우가 대부분이다.

한편, 국내의 집광채광시스템 기술은 광덕트 방식의 경우, 집광부에 프리즘 또는 엠보싱을 도입하여 집광량 증대를 유도하는 방식이 이미 개발되어 상용화되었으며, 태양광 조명시스템과 LED 등을 결합한 하이브리드 방식도 연구가 진행되고 있는 실정이다.

(Table. 1) Development of daylighting systems in major countries

Type	Product	Nation	Features
Reflective mirror type	Solar mirror system	Austria	Applicable to new and old buildings
	Heliostat system	Germany	Application of microprocessor control
	Heliobus system	Switzerland	Transmission of light via the light guide
	Natulite system	Japan	Automatic tracing of the sun
	Mechatronics system	Japan	Structure control of the multi-reflective mirror
Optical duct type	Solar tube system	Austria	Introduction of visible light without infrared light
	Sunpipe system	UK	Introduction of diffused light
	Sunstar system	Germany	Prevention of ultraviolet light introduction
Optical cable type	Himawari	Japan	Optical transmission via optical fiber

광케이블 방식의 경우, 태양 추적기법과 광전송기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직은 초기단계이며, 시공성이 우수한 플라스틱 광섬유(POF: Plastic Optical Fiber)는 국내에서 생산되지 않고 전량 수입에 의존하고 있으며, 광 전송율이 우수한 반면 시공성이 다소 떨어지는 유리광섬유(GOF: Glass Optical Fiber)는 현재 국내에서 생산되고 있는 실정이다.¹⁾

관련 분야 연구의 경우, 송혜영 외 2인은 ‘건축적 적용을 위한 자연채광시스템의 유형별 특성에 관한 연구(2008)’에서 자연채광시스템의 유형별 분류와 특성을 분류하였고, 사용목적과 위치에 따라서 자연채광시스템을 고려하여야

1) 김재문, 광덕트 자연채광 조명시스템을 이용한 에너지 절감, 경북대학교 석사학위논문, 2013.6

한다고 하였다. 또한, 송규열 외 2인은 ‘광덕트 방식 자연채광 시스템의 산광부에 대한 연구(2011)’에서 산광부의 효율성을 검증하는 연구를 수행하였다. 이 외에도 집광채광 설비 입사부의 성능 평가방법에 관한 연구, 다면프리즘 집광채광시스템의 에너지 생산량 분석, 시뮬레이션을 이용한 태양광 집광채광기의 효율성 고찰, 프리즘 추적식 태양광 집광시스템 개발. 등과 같은 다양한 연구들이 이루어지고 있다.

2.2 설치의무화 제도에 따른 집광채광시스템

신재생에너지 설치의무화사업의 일환인 ‘공공기관 신재생에너지 설치의무화제도’²⁾³⁾는 최초 시행일(2004.3.29)이후 수차례의 개정을 거쳐 2014년 5월 기존의 태양광·태양열·지열 신재생에너지원 이외에 연료전지와 집광채광을 신재생에너지원으로 새롭게 추가 하였다.⁴⁾ 이에 따른 집광채광시스템 모델과 특성 및 설치 조건은 (Table 2)와 같다.

(Table. 2) Daylighting systems according to the installation obligation system

Daylighting system	Optical duct (PRL-1620)	Prism (P1)
Lighting method (model)		
Condensing area	1.92m ²	0.72m ²
Energy production	139.7 kWh/set·yr	94.7 kWh/set·yr
Correction factor	11.70	11.70

2) 신에너지 및 재생에너지개발 이용·보급촉진법 제12조 제2항 및 동법시행령 제15조

3) 신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정 제44조(산업통상자원부 제2014-56호)

4) 신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침 제2014-20호 제48조 관련, 단위에너지 및 원별 보정계수에서 제시하는 모델

각각의 집광채광시스템 모델의 ‘set’ 구성은 태양광을 채집하는 입광부, 집광된 빛을 실내로 이송하는 전송부, 그리고 실내공간에 이송된 태양광을 산란하는 산광부 등 3가지 유니트(unit)로 구성되어 있다.

이 가운데 광덕트 채광방식 모델(PRL-1620)은 상부의 독립채광면을 통하여 태양의 전일사광을 이용하며, 유지비용이 저렴하고, 채광·살균·정화 등의 다양한 장점을 가진 자연형 집광채광시스템이다.

프리즘 채광방식 모델(P1)은 빛이 통과하는 채광면이 4~5mm크기의 프리즘으로 연속적으로 구성되어 입광부를 통과하는 빛이 모두 분광되어 태양궤도의 변화나 강약에 따른 눈부심이 없고, 실내온도를 상승시키지 않는 장점을 가지고 있다.

위와 같이 현재는 2종류의 집광채광 모델만이 에너지관리공단에서 인증을 받은 상태이며, 추후 보다 다양한 집광채광시스템 모델들이 인증을 받을 것으로 사료된다.

3. 대상건물 선정과 시뮬레이션 입력조건 설정

3.1 대상건물 선정

본 절에서는 대상건물 선정에 앞서 (Table 3)과 같이 문교·사회용 운동시설 가운데 인공조명이 아닌 자연채광 빛을 통하여 건물 에너지를 절약할 수 있는 집광채광시스템 적용사례를 조사하는 한편, 국내 지방자치단체별 체육시설 건립현황⁵⁾⁶⁾을 (Fig. 1)과 같이 조사하였다.

5) 이병일, 지방자치단체 공영문화시설 운영성과의 영향 요인에 관한 연구, 경희대학교 박사학위논문 2011.8
6) 문화체육관광부 국가통계청 포털, 건설·주택·토지, 용도시설별 건립현황 통계자료

(Table. 3) Sports facilities daylighting system Applications

Install Target	Daylighting model	Installation date	Installation Status
Gupo Middle School Multipurpose auditorium	Daylighting (Optical duct)	2007. 11.	
Deokdu Elementary School Multipurpose auditorium	Daylighting (Optical duct)	2006. 08.	
Sangam House of Youth Culture Fitness center	Daylighting (Prism)	2009. 09.	
Olympic indoor tennis courts	Daylighting (Prism)	2012. 05.	
Yanggun Indoor Tennis Court	Daylighting (Prism)	2012. 12.	

(Table 3) 집광채광시스템 적용사례의 경우, 일반적으로 초·중·고등학교의 다목적강당과 같은 소규모 운동시설은 광덕트 채광방식이 주를 이루고, 실내테니스장과 같은 중규모 이상의 운동시설은 프리즘 방식 채광시스템의 적용이 주를 이루는 것을 확인할 수 있다. 이는 다목적강당 시설 규모가 소규모이므로 광덕트 방식과 같이 채광 방위가 고정식도 문제가 없는 반면, 중규모 이상의 시설은 채광 방위에 많은 영향을 받으므로 프리즘 방식이 주로 설치된 것으로 판단된다.



(Fig. 1) The current construction state of gymnasiums in the nation(2012)

지방자치단체별 체육시설은 (Fig. 1)과 같이 2000년 이후 총 581개의 시설이 건립되었으며, 이 가운데 평면형태가 장방형타입은 477개로 82%를 차지하고, 원형타입은 104개로 18%를 차지하고 있다.

장방형타입의 경우, 대체로 초·중·고등학교의 다목적강당의 소규모 운동시설인 반면, 원형타입은 중규모 이상으로 시·도별 다양한 문화행사용으로 사용되고 있다.

이에 다목적 용도로 사용되고 있는 104곳의 중규모 이상의 실내체육관 가운데 보편적인 원형타입 평면형태를 취하는 3곳(S-상주, K-김천, A-안동)의 지방자치단체 실내체육관을 대상으로 시뮬레이션 입력조건 도출을 위하여 공식경기·일반경기·레크리에이션에 따른 운영스케줄과 연간에너지사용량을 현장방문을 통한 설문조사를 실시하였다.

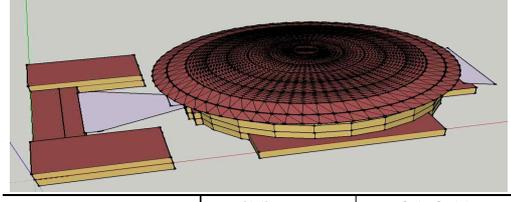
3.2 시뮬레이션 입력조건

본 절에서는 Energy Plus ver 8.1 툴을 이용하여 3곳의 지방자치단체 실내체육관 가운데 (A)실내체육관을 대상으로 (Table 4)와 같은 건물구조, 내부발열량, 냉·난방 설정조건 등을 적용하였다. 또한, (Table 5)의 운영방식별 조명기구 점등패턴에 따른 공식경기·일반경기·레크리에이션의 운영스케줄을 (Table 6) 및 (Table 7)과 같이 분석하여 에너지와 조도 시뮬레이션을 실시하였다.

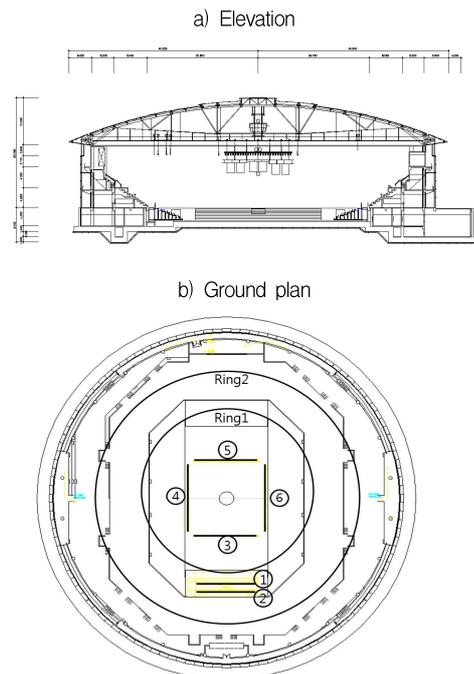
대상건물의 조명기구 배치는 실제 방문과 도면에 의해 확인되었고 실내조도나 외부의 환경과 관계없이 일정한 조건으로 설정하였다. (Fig. 2)과 같이 중앙 천장 ①~⑥열에 (MF400 LS/U)의 조명기구 60개와 캐워크 상부 1단링 (MT1500 B/BH)에 38개, 2단링(MT1000 B/BH)에 104개의 총 3종 202개의 조명기구가 설치되어 (Table 5)와 같이 운영방식별 점등패턴

에 따라 사용되고 있다.

(Table. 4) The input conditions of Energy Plus simulation



Area (m ²)	Building area	8,178.55
	Total floor area	17,476.30
	Total number	One basement, eight on the ground
Structure heat generation amount (W/m ² · K)	Walls	0.47
	Glass	2.7
Internal heat generation amount (W/m ²)	Human bodies	0.5
	Lighting	20
	Equipment	22
Preset temperature (°C)	Cooling	26
	Heating	18



(Fig. 2) Lighting in the target building layout

(Table. 5) Lighting patterns of lighting fixtures by the operation styles

Type of lighting fixture			MT1500 B/BH	MT100 B/BH	MF400 LS/U	Total
Operation style	Official games [Case-1]	Mid	①-②	-	-	20
			③-⑥	-	-	40
		Ring 1	20	18	-	202
		Ring 2	52	52	-	
	General games [Case-2]	Mid	①-②	-	-	40
			③-⑥	-	-	20
		Ring 1	-	18	-	130
		Ring 2	-	52	-	
	Recreation [Case-3]	Mid	①-②	-	-	40
			③-⑥	-	-	-
		Ring 1	-	18	-	110
		Ring 2	-	52	-	

설문조사를 통하여 도출된 대상건물 실내 체육관별 공식경기과 일반경기 운영스케줄은 (Table 6)과 같이 연간 25~42일로 평균 34일 정도가 운영되고 있으며, 공식경기(11일)와 일반경기(23일)의 사용비율은 1:2인 것으로 나타났다. 한편, 레크리에이션 운영스케줄은 (Table 7)과 같이 탁구·배드민턴·배구·핸드볼·댄스 등의 다양한 체육활동 목적으로 주간 평균 3.4일이 사용되고 있는 것으로 조사되었다.

(Table. 6) Indoor Gymnasium by official game schedule and general economic use (by 2014)

Division	Indoor Stadium official and general game using Schedule						Average		
	S		K		A		using day (day)	using time (hour)	
using days Monthly: (Weekdays / Weekend / Holidays)	using day (day)	using time (hour)	using day (day)	using time (hour)	using day (day)	using time (hour)			
January	31	4	Dh 16	0	Dh 0	1	Dh 8	2	Dh 8
	(20/8/3)	(1/1/2)	Nh 10	(0/0/0)	Nh 0	(1/0/0)	Nh 0	(1/0/1)	Nh 3
February	28	5	Dh 40	2	Dh 16	4	Dh 24	4	Dh 27
	(20/8/0)	(4/1/0)	Nh 0	(1/1/0)	Nh 0	(2/2/0)	Nh 5	(2/2/0)	Nh 2
March	31	1	Dh 8	3	Dh 16	3	Dh 24	2	Dh 16
	(21/10/0)	(0/0/1)	Nh 0	(1/1/3)	Nh 5	(2/1/0)	Nh 0	(1/0/1)	Nh 2
April	30	5	Dh 32	0	Dh 0	3	Dh 8	3	Dh 13
	(22/8/0)	(1/4/0)	Nh 5	(0/0/0)	Nh 0	(0/3/0)	Nh 10	(1/2/0)	Nh 5
May	31	4	Dh 32	4	Dh 16	6	Dh 30	5	Dh 26
	(20/9/2)	(1/3/1)	Nh 0	(0/2/2)	Nh 10	(2/1/3)	Nh 5	(1/2/2)	Nh 5
June	30	8	Dh 48	3	Dh 24	5	Dh 40	5	Dh 37
	(20/9/1)	(6/2/0)	Nh 10	(3/0/0)	Nh 0	(4/1/0)	Nh 0	(4/1/0)	Nh 3
July	31	0	Dh 0	1	Dh 8	0	Dh 0	0	Dh 3
	(23/8/0)	(0/0/0)	Nh 0	(1/0/0)	Nh 0	(0/0/0)	Nh 0	(0/0/0)	Nh 0
August	31	1	Dh 8	2	Dh 16	5	Dh 24	3	Dh 3
	(20/10/1)	(1/0/0)	Nh 0	(2/0/0)	Nh 0	(2/3/0)	Nh 10	(2/1/0)	Nh 3
September	30	3	Dh 24	6	Dh 32	9	Dh 48	6	Dh 35
	(20/8/2)	(2/1/0)	Nh 0	(4/2/0)	Nh 10	(6/2/1)	Nh 15	(4/2/0)	Nh 8
October	31	2	Dh 8	2	Dh 16	6	Dh 40	3	Dh 21
	(21/8/2)	(1/1/0)	Nh 5	(0/2/0)	Nh 0	(2/3/1)	Nh 5	(1/2/0)	Nh 3
November	30	1	Dh 8	0	Dh 0	0	Dh 0	0	Dh 3
	(20/10/0)	(1/0/0)	Nh 0	(0/0/0)	Nh 0	(0/0/0)	Nh 0	(0/0/0)	Nh 0
December	31	0	Dh 0	2	Dh 8	1	Dh 8	1	Dh 5
	(22/8/1)	(0/0/0)	Nh 0	(1/1/0)	Nh 5	(0/1/0)	Nh 0	(0/1/0)	Nh 2
Total		34	Dh 224	25	Dh 152	42	Dh 254	34	Dh 197
		(18/13/4)	Nh 30	(13/9/5)	Nh 25	(21/17/5)	Nh 50	(17/12/4)	Nh 36

* Daytime Using(Dh): 09:00 ~ 17:00 (8h), Nighttime Using(Nh): 17:00 ~ 22:00 (5h), The amount of the official game and general game 1:2

(Table. 7) Recreational use indoor gymnasium schedule (by 2014)

Division	Recreational use indoor gym schedule									Total			
	S			K			A						
	Type	using time		Type	using time		Type	using time		Type	using time(hour)		
Exercise Type	A	Badminton	Weekdays	mon-fri	Badminton	Weekdays	mon-fri	Badminton	Weekdays	mon-fri	Badminton	Weekdays	mon-fri
			Night	2		Night	3		Night	2		Night	3
			19:00~21:00			19:00~22:00			19:00~22:00			14:00~22:00	
	B	Table tennis	Weekdays	mon-fri	Table tennis	Weekdays	mon-fri	-	-	-	Table tennis	Weekdays	mon-fri
			Daytime	2		Daytime	3		-	-		Daytime	3
			14:00~16:00			14:00~17:00			-			14:00~17:00	
	C	Volleyball	Weekend	sat	Volleyball	Weekend	sat.sun	Volleyball	Weekdays	sat	Volleyball	Weekend	sat
			Daytime	4		Daytime	3		Daytime	3		Daytime	3
			13:00~17:00			14:00~17:00			14:00~17:00			14:00~17:00	
	D	Footwear	Weekend	sat	-	-	-	Handball	Weekend	sun	Handball Footwear	Weekend	sun
			Daytime	4		-	-		Daytime	3		Daytime	3
			13:00~17:00			-			14:00~17:00			14:00~17:00	
	E	-	-	-	-	-	-	Dance	Weekdays	mon-fri	Dance	Weekdays	mon-fri
			-	-		-	-		Daytime	2		Daytime	2
			-			-			10:00~12:00			10:00~12:00	

4. 집광채광시스템 적용에 따른 조명에너지 절감과 공급의무 분담률

4.1 실내체육관의 에너지사용량 분석

실내체육관의 에너지사용량 분석에 앞서 시뮬레이션의 신뢰도를 평가하기 위해 통계적 방법의 하나인 MBE(Mean Bias Error)법과 변동계수인(Cv(RMSE) Coefficient of Variation of Root Mean Square Error)를 사용하여 식 (1)~(3)을 통하여 설문조사 에너지사용량 결과값과 시뮬레이션 에너지사용량 결과값의 비교를 통하여 시뮬레이션의 신뢰도를 판단하였다.7)8)

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{Period} (S - M)_{Interval}}{\sum_{Period} M_{Interval}} \times 100$$

$$RMSE_{Period} = \sqrt{\frac{\sum (S - M)_{Interval}^2}{N_{Interval}}}$$

$$C_v(SE_{Period}) = \frac{SE_{Period}}{M_{avg}} \times 100$$

- $S_{Interval}$: 시뮬레이션 에너지사용량 결과값(kwh)
- $M_{Interval}$: 설문조사 에너지사용량 결과값(kwh)
- $N_{Interval}$: 실제 데이터의 총 개수
- M_{avg} : 실제 모니터링 데이터의 평균

(Table. 8) Acceptable Calibration Tolerances

Calibration Type	Index	Acceptable Value
Monthly	MBEmonth	±5%
	Cv(RMSEmonth)	15%

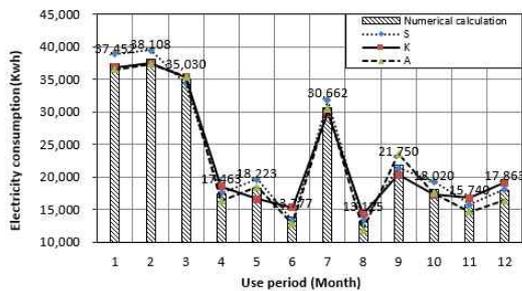
설문 대상건물들의 2014년 기준 연간 전력 총에너지사용량은 (Fig. 3)과 같이 실내체육관 (S)의 경우, 382,713kwh, (K)는 402,713kwh이며, (A)는 431,213kwh으로 조사되었다. (Fig. 3)의 막대그래프는 실내체육관의 평균 스케줄을 적용한 전력사용량의 시뮬레이션 값이고, 꺾은 선 그래프는 설문조사를 통해 얻은 각 실

- 7) ASHRAE's GUIDELINE 14, for Measurement of energy and demand saving : How to determine what was really saved by the retrofit, energy Systems Laboratory, Texas A&M University, 2005
- 8) Jung, Y.J, Jo, J.H, Kim Y.S, Cho Y.H, A Study on the Geothermal Heat Pump System Performance Analysis according to Water Flow Rate Control of the Geothermal Water Circulation Pump, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.34, No6, pp103-109, 2014.

내체육관 3개의 스케줄을 적용한 실제 전력사용량이다. 각 그래프들은 서로 비슷한 패턴과 값을 가지고 있다는 것을 확인할 수 있다.

이 가운데 시뮬레이션 비교대상인 (A)실내체육관의 시뮬레이션에 따른 총에너지사용량은 411,426kwh로 위의 식 (1)~(3)에 따라 조사된 에너지사용량 값과 시뮬레이션 에너지사용량 값을 비교한 결과 시뮬레이션 결과 값은 설문 조사 결과 값의 95.5%이며, $MBE = -3.8\%$, $Cv(RMSE) = 12.1\%$ 로 (Table 8)의 $MBE(\text{Acceptable Value} : \pm 5\%)$ 와 $Cv(\text{Acceptable Value} : 15\%)$ 오차 범위를 벗어나지 않아 시뮬레이션의 신뢰도를 확보한 것으로 판단된다.

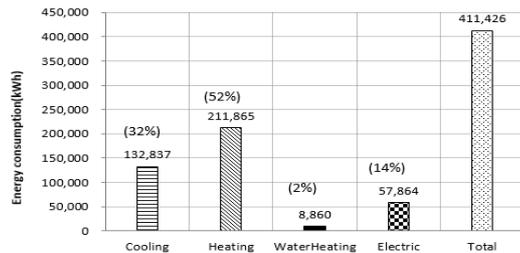
본 논문에서 설문대상 건물은 총 3개이며, (A)실내체육관을 제외한 건물은 실내체육관들의 에너지사용패턴과 사용량을 보기 위함이었다. 실제 주가 되는 건물은 (A)실내체육관이며, 정확도 분석은 해당 건물에만 하는 것이 이해를 돕기에 적합하다고 판단하였다. 식 (1)~(3)을 사용하는 타 논문들에도 비교대상의 부속건물들은 제외하고 본 대상건물에만 정확도 검사를 한 것으로 확인하였다.



(Fig. 3) Monthly energy consumption of buildings surveyed(2014)

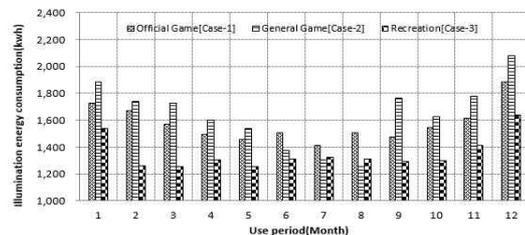
(Fig. 4)는 시뮬레이션에 따른 (A)대상건물의 부하별 에너지사용량을 나타낸 것으로 총예상에너지사용량 411,426kwh 가운데 전력부하에 사

용되는 에너지사용량은 57,864kwh로 총에너지사용량의 14%에 해당되며, 전력부하 에너지사용량 가운데 조명기구에 의한 에너지사용량은 19,674kwh로 34%를 차지하는 것으로 나타났다.



(Fig. 4) Energy consumption per load to the target building

(Fig. 5)는 공식경기·일반경기·레크리에이션 운영방식별 점등패턴에 따른 월별 조명에너지사용량을 나타낸 것으로 공식경기(Case-1)의 경우, 전체 조명 에너지사용량은 18,866kwh이며, 일반경기(Case-2)는 19,674kwh, 레크리에이션(Case-3)은 16,205kwh로 조명기구 점등 개수가 110개인 레크리에이션이 가장 적은량의 조명 에너지가 사용된 반면, 점등조명개수가 130개인 일반경기는 운영스케줄 빈도가 공식경기의 2배인 관계로 공식경기 점등조명개수 202개에 사용되는 조명 에너지사용량보다 더 많은 에너지가 사용되었다. 이에 따른 운영방식별 공식경기와 일반경기의 조명 에너지사용량은 6%(3,369kwh)의 차이가 발생하였다.

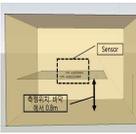


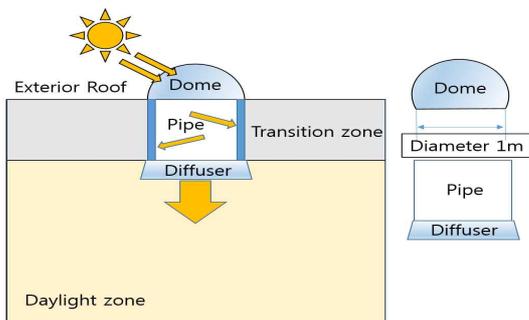
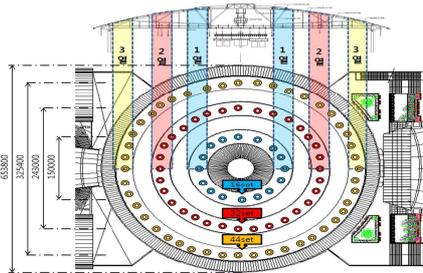
(Fig. 5) Monthly illumination energy consumption by lighting pattern according to the operations

4.2 실내체육관의 조도분포 분석

(Table 2)의 설치의무화제도에 따른 집광채광시스템 설치기준과 (Table 3)의 집광채광체육시설 적용사례 조사 결과를 바탕으로 대상건물에 프리즘(P1) 방식의 집광채광시스템을 (Table 9)와 같이 지붕 상부 구조물의 형태를 고려하여 경기장 상부-(16^{Set})과 1층 관람석 상부-(32^{Set}) 및 2층 관람석 상부-(44^{Set})에 총 92^{Set}의 집광채광시스템을 1~3열로 적용하였다.

(Table. 9) Daylighting system installation and places

Division	Prism method	System Diagram	Illuminance measurement location
Daylighting Installation Places	Stadium	16 ^{Set}	
	1F auditorium	32 ^{Set}	
	2F auditorium	44 ^{Set}	



(Fig. 6) The concept of a cylindrical daylighting system applied to the energy plus

집광채광시스템은 (Fig. 6)과 같이 적용될 모델과 유사하게 모델링 되었고, 직경 1미터의 돔, 파이프, 디퓨저로 구성하여 (Table.10)과 같이 각각의 역할에 맞게 재료를 적용하였다.

(Table. 10) Condition of the energy plus applied to the daylighting system

	Construction		
	TDD Pipe	TDD Dome	TDD Diffuser
Diameter(m)	1.1	1	1
Total Length(m)	2	-	-
Outside Layer	Very High Reflectivity Surface	Clear Acrylic Plastic	Diffusing Acrylic Plastic

(Table. 12)는 돔과 디퓨저의 재료 조건을 나타내고, (Table.13)은 파이프 부분의 재료 조건을 나타내고 있다. 특히, 파이프 부분은 태양광의 이동통로로써 중요한 역할을 하고 있는데, 재료에 반사도를 높게 주어 기존 집광채광기와 같은 효과를 낼 수 있게 하였다.

(Table. 11) The material conditions of the collector(Dome) and diffuser

	WindowMaterial:Glazing	
	Clear Acrylic Plastic	Diffusing Acrylic Plastic
Thickness (m)	0.003	0.0022
Solar Transmittance at Normal Incidence	0.92	0.90
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence	0.05	0.08
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence	0.05	0.08
Visible Transmittance at Normal Incidence	0.92	0.90

(Table. 12) Pipe material conditions of the role that reflects at daylighting system

Very High Reflectivity Surface	
Roughness	Smooth
Conductivity (W/m-K)	0.1
Density (kg/m ³)	237
Specific Heat (J/kg-K)	2702
Thermal Absorptance	0.90
Solar Absorptance	0.05
Visible Absorptance	0.05

(Table. 13) Daylighting system installation alternatives

Division	1Row			2Row			3Row
	Alt-1	Alt-2	Alt-3	Alt-4	Alt-5	Alt-6	Alt-7
Stadium	16	-	-	16	16	-	16
1F auditorium	-	32	-	32	-	32	32
2F auditorium	-	-	44	-	44	44	44
Total	16	32	44	48	60	76	92

(Table. 14) Proper illumination indoor gym activities by type[lx]

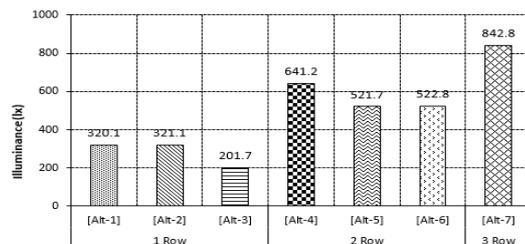
Exercise Type	Illuminance Classification		Min	Mid	Max
A (Badminton)	official game (bleachers)	H(D)	600(30)	1000(40)	1500(60)
	General game	G	300	400	600
	Recreation	F	150	200	300
C (Handball/Footwear)	official game	G	300	400	600
	General game	F	150	200	300
	Recreation	E	60	100	150
D (Volleyball/Basketball)	official game (bleachers)	H(D)	600(30)	1000(40)	1500(60)
	General game	F	150	200	300
	Recreation	E	60	100	150
E (Gymnastics/Dance)	official game (bleachers)	H(D)	600(30)	1000(40)	1500(60)
	General game	G	300	400	600
	Recreation	F	150	200	300

※ D-Simple for a while working, E-Infrequent working F-High luminance operations against large objects or targets, G-Half luminance contrast of small objects or work destination H-Low luminance contrast of very small objects or working destination

(Table 13)은 집광채광시스템 각 적용대안 Alt-1~7을 나타내며, 각 적용대안별 수평면 조도 산출은 경기장 바닥면 탁구대의 높이 (0.8m)를 기준으로 연중 조도를 산출하였고, (Table 14)에 실내체육관의 활동유형별 적정 조도⁹⁾를 기준으로 분석하였다.

각 대안별 전체적인 조도범위는 (Fig. 7)과 같이 201.7~842.8lx로 집광채광을 2층 관람석 상부에 44^{Set}을 1열로 적용한 Alt-3이 201.7lx로 가장 낮은 조도를 보인 반면, 경기장 상부와 1층 및 2층 관람석 상부 3열에 92^{Set}을 설치한 Alt-7이 842.8lx로 가장 높은 조도가 측정되었다.

경기장과 1층 및 2층 관람석 상부 1열에만 집광채광시스템을 배치하였을 경우는 Alt-1 = Alt-2 > Alt-3순으로 집광채광의 설치개소 (Set) 보다는 배치위치에 따라 조도 값이 큰 경향을 보이며, 2열에 집광채광시스템을 배치하였을 경우는 Alt-4 > Alt-5 = Alt-6순으로 관람석 상부 위치 보다 경기장 상부 위치에 집광채광을 배치할수록 높은 조도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

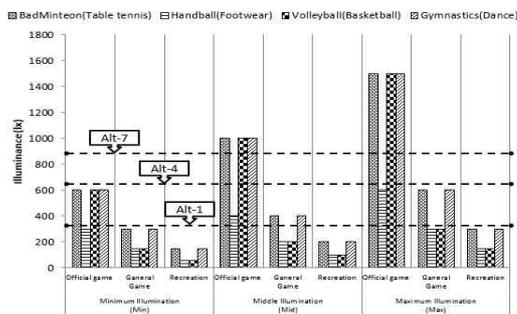


(Fig. 7) Daylighting system by installing alternative illumination [lx]

따라서, 본 대상건물의 경우, 집광채광시스템을 Alt-7과 같이 경기장 상부와 1층 관람석

9) 실내운동 종목별 조도범위 기준 : 국가기술표준원 http://www.kats.go.kr/KSC_3706 기준

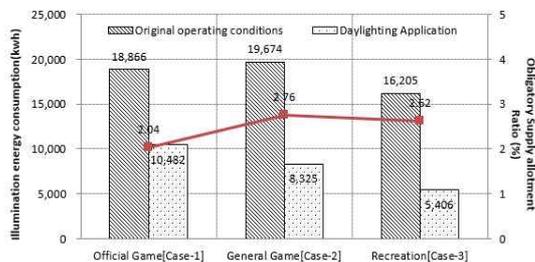
및 2층 관람석 상부 3열에 92^{Set}의 집광채광시스템을 적용할 경우, (Fig. 8)과 같이 앞서 제시한 (Table 14)의 운동종목(A~E)별 공식경기의 최소 조도(Min : 600lx)와 일반경기 및 레크리에이션에 필요한 적정조도 모두를 충족시킬 수 있어 주간시간(09:00~17:00)동안의 조명에너지를 절감할 수 있는 것으로 판단된다.



(Fig. 8) Comparison of the activity type-specific alternative illumination

4.3 조명에너지 절감과 공급의무 분담률

공식경기의 경우, 집광채광시스템과 일부 조명기구를 병행하여 사용하면, 주간시간동안 이루어지는 모든 활동에 필요한 조도를 확보할 수 있는 것으로 사료됨으로 본 절에서는 기존 대상건물의 운영방식별(Case-1~3) 조명 에너지사용량과 집광채광시스템의 공급의무 분담률에 대하여 (Fig. 9)와 같이 분석하였다.



(Fig. 9) Lighting energy savings and supply obligations allotment rate

조명에너지 사용량의 경우, 공식경기에서 기존 운영상태 대비 집광채광 적용시 8,384kWh의 조명에너지 절감효과가 발생하며, 일반경기는 11,349kWh의 절감효과가 발생한다. 그리고 레크리에이션은 10,799kWh의 절감효과가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

이에 따른 집광채광시스템의 신재생에너지 공급의무 분담률은 공식경기의 경우, 집광채광시스템이 2.04%를 분담하는 것으로 나타났고, 일반경기의 경우는 2.75% 레크리에이션의 경우는 2.62%로 2015년 설치의무화제도에 따른 신재생에너지 공급의무 비율 기준 15% 가운데 평균 2.5%를 집광채광시스템을 통하여 분담할 수 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 운동시설 가운데 실내체육관을 대상으로 신재생에너지원으로 사용 가능한 집광채광시스템을 적용하여 조명에너지 절감효과와 신재생에너지 공급의무 분담률을 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 운동시설 가운데 중규모 이상의 실내체육관은 보편적으로 원형타입의 평면형태를 취하며, 프리즘방식의 집광채광시스템이 주로 적용되어진다. 실내체육관의 운영방식은 공식경기, 일반경기, 레크리에이션으로 구분되며, 각 운영방식에 따라 조명기구 점등패턴을 변화시켜, 전력부하 에너지사용량 14% 가운데 34%가 조명에너지로 사용되며, 각 운영방식별 조명에너지사용량의 차이는 최대 6%가 발생하는 것으로 나타났다.
- (2) 집광채광시스템 적용시 각 대안의 전체적인 조도범위는 201.7~842.8lx로 1열 배치의 경우, 집광채광의 설치개소(Set) 보다

는 배치위치에 따라 조도값이 큰 경향을 보이며, 2열 배치의 경우는 경기장 상부 위치에 집광채광을 배치할수록 높은 조도를 확보할 수 있다.

- (3) 집광채광시스템을 경기장과 1층 관람석 및 2층 관람석 상부 3열 모두에 92^{Set}을 적용할 경우, 일반경기 및 레크리에이션에 필요한 적정조도를 모두 확보할 수 있고, 공식경기의 경우, 일부 조명기구를 병행하여 사용하면, 주간시간동안 이루어지는 모든 활동에 필요한 조도를 확보할 수 있는 것으로 사료된다.
- (4) 조명에너지 절감효과는 공식경기의 경우, 기존 운영상태 대비 집광채광 적용시 44.4%의 조명에너지 절감효과가 발생하며, 일반경기는 57.6%, 레크리에이션은 66.7%의 절감효과가 발생한다. 이에 따른 집광채광시스템의 신재생에너지 공급의무 분담률은 공식경기 2.04%, 일반경기 2.75% 레크리에이션 2.62%로 평균 2.5%의 공급의무비율을 분담할 수 있는 것으로 사료된다.

이상 본 연구를 통하여 집광채광시스템의 조명에너지 절감효과와 공급의무 분담률을 분석하였으나, 향후, 태양열, 태양광, 지열, 연료전지 시스템과의 연계를 통한 복합적용 비율에 대한 연구와 집광시스템 초기투자비, 유지관리비 등에 따른 경제성 평가를 실시하여 적정 설치용량을 제시할 수 있는 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

후 기

“이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2011-0012071)”

Reference

1. Song K. Y, Park G. W, Ryu H. K, A Study On Lighting Diffusion System Of Daylight Duct System, Journal of the Korea Institute of building construction, Vol.11, No.1, pp.99-104, 2011.
2. Park J. B, Byon K. M, Lee K, Ko J. B, Chun S. H, Park C. Y, Lim J. M, Hur S. K, The Analysis Of Daylight Collecting System's Efficiency Through Light Design Simulations, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.2013, No.5, pp76-77, 2013
3. Hong H. P, Jang W. J, Measure and Analysis for the Lighting Environment of Indoor Gymnasium, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.2007, No.5, pp174-179, 2007
4. Kim M. S, Lee C. S, Oh D. H, Sung T. K, Joung C. B, Kim B. C, The Development of Solar Tracking Prismatic Daylighting System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.2012, No.11, pp151-154, 2012
5. Shin S. W, Oh S. J, Lim S. Y, Kim W. S, Chun W. G, A Comparative Study on Daylighting Performance Prediction of Light Tube and Dish Concentrator, Journal of the Korea Society of Energy and Climate Change, Vol.2012, No.5, pp46-46, 2012
6. Alvin Wai, Kang E. C, Lee E. J, Development of New Solar Collection System for Light Pipe Technology, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.2004, No.5, pp117-121, 2004
7. Oh S. J, Han H. J, Chun W. G, A Comparative Study on Daylighting Performance Prediction of Light Tube and Dish Concentrator, Journal of The Korea Society for Energy Engineering,

- Vol.21, No.2, pp124-132, 2012
8. Kang E. C, Choi Y. J, Lee E. J, Concentrating POF Daylighting System Efficiency Evaluation Study, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.2010, No.11, pp309-314, 2010
 9. Song H. Y, Lee J. Y, Song K. D, A study on the application Methods Characteristics of Daylighting Systems to Building, Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol.2008, No.10, pp236-241, 2008
 10. Kim C. S, Kim K. S, Daylighting Performance in the Exhibition Space of Museum with Various Shapes of Toplight in the Conditions of Clear Sky with Sun, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.22, No.4, pp309-316, 2006