

학교체육관의 구조계획을 위한 구조시스템 구성요소의 변화와 건축특성의 영향분석

An Analysis on the Relationship of Architectural Features and Composition Elements for Structure Planning in School Gymnasium

이 주 나*
Lee, Juna

Abstract

School gymnasium is a multi-purpose large space building for various events and physical education activities, and is a facility that requires an approach to the desirable structural design, besides mechanical problems of structure against loads. For the integrated structure design concerning the architectural features, the major considerations of gymnasium planning that are the internal and external shape of the gymnasium, the space scale with structure members, the structural efficiency by members weight reduction and openness of the gymnasium space will have to take into account in the structural planning. From this point of view, the several cases of the school gymnasium were investigated and the parametric analyses were performed to the models using the various structural system. The parameters were the composition elements of structure system that are profile of structure, rigidity of member, connection and anchorage and stability. At the result, It was presented that the profile of structure member was the most influential factor to structural efficiency and the effect of the form and space of gymnasium. Also the design informations of structure design having the various feature of form and space were presented for the initial gymnasium planning.

키워드 : 학교체육관, 구조시스템, 구조계획, 대공간, 철골구조

Keywords : School gymnasium, Structure system, Structure planning, Large scale space, Steel structure

1. 서론

1.1 연구의 목적

사회적 요구와 교육적 필요성에 따라 국내 교육시설에는 이미 오래전부터 실내체육관이 다수 요구되고 있다. 교과교육의 체육활동에서부터 지역사회의 모임공간(강당)이나 피난시설의 역할도 할 수 있는 생활밀접형 대형공간으로서 학교체육관이 요구되고 있다.

학교체육관에서 흔히 나타나는 스패는 약 19~22m로

구조적인 측면에서 보면 지역의 각종 체육시설과 비교했을 때 도전적인 대공간이라 할 수는 없다. 그러나 교실이나 사무실과 같은 일상적인 공간보다는 구조적 고려사항이 다소 필요한 규모임은 틀림없고, 다양한 행사나 창의적 활동이 이루어지는 다목적 대공간 건축물로서, 공장이나 창고와 같이 단지 안전하게 지붕을 만들어 내는 것 외에도 교육시설로서 요구되는 바람직한 구조계획의 접근방법이 필요한 시설물이라고 생각된다. 그러나 현업에서 이루어지는 체육관 설계는 H형강의 직선보와 직선트러스가 대부분으로 내외부 형태와 공간의 구성양상은 획일화되어 있고, 다양한 조형적 효과와 공간구성에 관한 건축적 고려가 좀 더 필요하지 않은가 하는 의문을 가지게 된다.

이에, 최근 필수적으로 등장하고 있는 학교체육관을 대상으로 다양한 건축공간과 형태효과를 구현할 수 있는 구

* Resident Professor, Ph.D., Dept. of Architectural Engineering, University of Seoul, Korea

Corresponding Author,

Tel: 82-2-6490-2765, E-mail: juna@uos.ac.kr

이 연구는 2017년 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임.((NRF-2017R1D1A1B04031948))

조계획 방법을 고찰해보고자 한다. 학교체육관을 구조계획 구성요소 측면에서 분석해보고, 구조체의 효율과 더불어 학교체육관에서 나타나는 형태 및 공간에 관한 건축적 효과와 구조시스템의 연관성을 파악하고자 한다. 보다 다양한 구조시스템으로 학교체육관을 계획할 수 있도록 하며, 이를 위해 초기에 활용 가능한 구조계획정보를 구체적으로 제시하고자 하는 목표를 가진다. 이로써 구조에서는 효율적이고 건축에서는 다양한 형태 및 공간이 구축가능하게 하여, 자유롭고 창의적인 교과활동과 보다 긍정적인 모임공간 역할을 하는 학교체육관 건축에 접근할 수 있기를 기대한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 학교시설 중 부속된 체육관을 대상으로 내부 교육공간과 내외부 건축형태에 영향을 미치는 구조계획 정보를 제공하고자 하는 연구이다.

이를 위하여 먼저 최근 학교체육관 사례에서 구조계획의 양상을 살펴보고자 한다. 조성 규모나 스패를 살펴보는 것 외에도 구조체가 체육관의 형태와 공간적인 측면에 영향을 미치고 있는 건축구성 특성을 관찰하고자 한다.

그리고 4장에서는 학교체육시설의 적정 요구 스패규모를 파악하여 기본 구조시스템별로 해석용 모델을 결정하고, 이 결정된 모델에 구조계획 구성요소들을 변화시켜 세분화된 설계모델을 설정할 것이다. 이 모델들을 구조해석하고 부재설계를 수행하여 학교체육관에서 나타날 수 있는 구조시스템별 구조계획 가능성을 탐색하고, 그 결과에서 나타나는 구조효율성 및 건축효과와의 연관성을 분석하여 그 내용을 계획정보로 나타내하고자 한다. 학교체육관의 설계 시, 획일화된 구조계획에서 벗어나 풍부한 아이디어를 발휘하는데 기여할 수 있을 것이다.

2. 학교체육관의 요구 건축기능

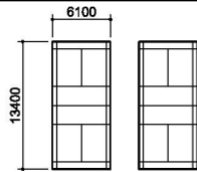
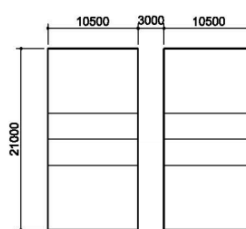
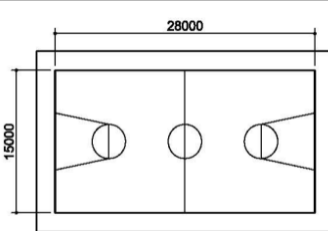
2.1 정량적 요구기능

학교체육관의 기능상 요구 공간체적을 판단하기 위해서 국내 학교에서 빈번히 일어나는 체육종목의 요구 규격과 높이를 조사하여 다음 Table 1에 나타내었다.

학교시설 이용자를 통한 선호도 조사에서도 나타나는 것처럼¹⁾, 학교체육관은 배구코트 2면, 또는 농구코트를 포

1) 최영기의 2인, 충북 지역 학교 체육관 겸 강당 시설에 대한 실태조사와 활용방안, 한국농촌건축학회는문집, 2(2), pp.35~46, 2006.

Table 1. Standard Size of Sports Court

	width (m)	length (m)	height (m)
	6.1	13.4	9~12
Badminton court Standard of double court			
	width (m)	length (m)	height (m)
	9(W) 10.5(M)	18(W) 21(M)	7.0
Volleyball court Standard of Man's double court			
	width (m)	length (m)	height (m)
	15	28	7.0
Basketball court Standard of single court			

함하는 체육시설의 활용도가 높다. 이를 고려한다면, 다음 Figure 1과 같이 작게는 농구코트 하나(배드민턴 2면 포함가능)를 포함하는 규모에서부터 농구코트를 기본으로 하면서도 배구코트 2면을 포함하는 구성의 체육관 규모가 요구되고 있다는 것을 알 수 있다.

농구코트 하나를 포함했을 때는 경기장 규격의 폭인 15m 보다 양측에 적어도 2m 이상의 프리존을 포함하여야 하므로 최소 스패 19m 이상의 스패가 요구되며, 더 나아가 배구경기장 2면을 포함하는 경우라면 배구장 뒷부분 최소 프리존 2m를 고려했을 때 최소 25m 이상의 스패가 요구된다는 것을 알 수 있다.

이와 더불어 경기장 부분의 한 측면에 강당역할을 할 수 있도록 고정식 또는 가동식의 무대나 관람석이 설치되는 공간을 포함하는 것이 요구되며 경우에 따라서 이 부

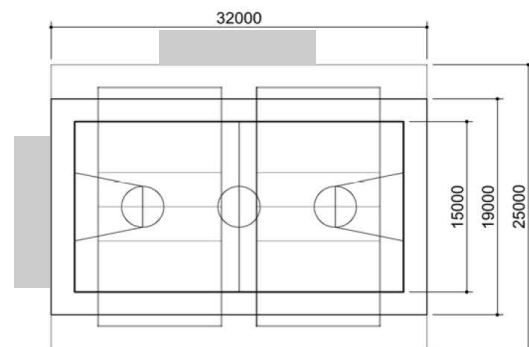


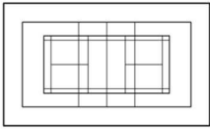
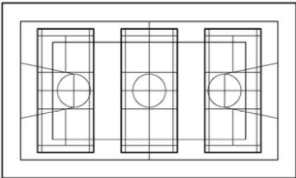
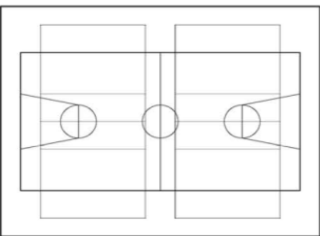
Figure 1. Required Gymnasium Plan Scale(Free zone 2m, each)

본이 구조부의 스패 확보에 영향을 미칠 수 있다.

또한 경기의 요구조건 상 배구나 농구의 경우는 7.0m, 배드민턴의 경우 최소 9.0m의 실내 천장고가 요구된다. 따라서 구조부의 높이는 최소 7.0m 이상, 적어도 배드민턴장 2면 부분의(14m×15m)범위 내에서는 9.0m의 실내 유효천장고를 확보하는 것이 바람직할 것이다.

따라서 일반적인 실내체육활동을 소화할 수 있는 학교 체육관의 경우, 경기장 외측으로 프리존을 2m씩 둔다고 가정했을 때 최소 폭 15m, 길이 25m, 높이 7m의 규모에서부터, 폭 19m, 길이 32m, 높이 7m, 또는 폭 25m, 길이 32m, 높이 7m의 요구규모가 있다고 볼 수 있다. Table 2에서 이들 대, 중, 소, 3가지 유형의 체육관 규모와 가능용도를 정리하였다.

Table 2. Minimum Gymnasium Plan Scale and Available Courts

	width (m)	length (m)	height (m)
	15~17	25~27	7~12
	Small 1 Badminton court 1 Volleyball court		
	19~21	32~34	7~12
	Middle 3 Badminton court 1 Volleyball court 1 Basketball court		
	25~27	32~34	7~12
	Large 3 Badminton court 2 Volleyball court 1 Basketball court		

2.2 정성적 요구기능

창의적인 체육교육 활동과 다목적 모임공간 조성을 위해서는 물리적으로 요구되는 체육공간 규모 외에도 여러 정성적인 요구사항을 고려해야 할 것이다. 매우 다양한 건축계획적인 요소가 고려되어야 할 것으로 생각되나, 본 연구에서는 구조계획 측면에서 영향을 미칠 수 있는 요구기능을 고찰하고자 한다.

1) 내외부 형태효과

체육관이나 강당 등의 건축물은 천장을 개방하여 사용

하는 경우가 많다. 이때 공간에 노출되는 지붕구조재와 기둥 등의 수직구조재들은 외부형태는 물론 내부 공간감, 건축의 조형성에 영향을 미친다. 아직 기능위주의 공간을 제공하기에도 급급한 실정인 한, 교육시설의 가치증진을 고려할 때 학교체육관의 내외부 형태효과도 고려되어야 할 것으로 생각되는데, 이때 노출되는 구조디자인의 효과는 그 영향이 상당히 크다고 할 수 있다. 구조체의 계획에 있어서도 구조시스템과 재료적인 특성 등 형태효과 측면에서 탐구되고 계획되어야 할 것이다.

2) 구조부 공간구성 효과

흔히 20m 이상의 비교적 장스팬 공간을 형성해야 하는 체육관의 요구기능상, 힘의 우회 전달 역할을 하는 지붕의 수평구조부는 부담이 많고 경우에 따라 하부구조에 강한 수직구조부를 형성하게 하게 한다. 요구되는 스패 및 천장고와 그 공간을 구성하는 구조체의 체적은 상관관계에 있을 수밖에 없고, 또한 기둥 등 수직구조부재의 배치나 부재체적은 공간의 연결과 동선구성에도 영향을 미친다.

통상 노출되는 체육관의 구조부는 구조시스템에 따라 주부재의 구조체적의 크기가 변화하며, 주 부재만으로 지붕구조를 만들어낼 수도 있지만, Figure 2에 나타난 것처럼 분리된 부재들이 조합돼서 공간을 차지하는 구조부분 공간을 만들어내기도 한다. 따라서 효과적인 체육관 계획에 있어서는 구조시스템의 선택과 부재의 배열 및 구성, 재료의 선정 등 구조계획 요소를 변화시켜 구조부분의 공간구성을 전체공간의 목적에 맞게 고려하는 것이 요구된다.

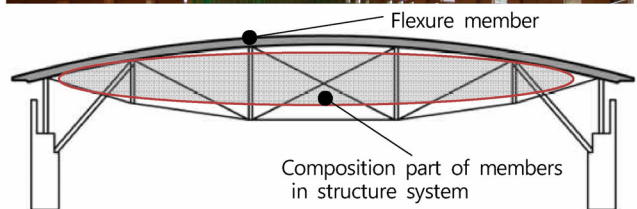
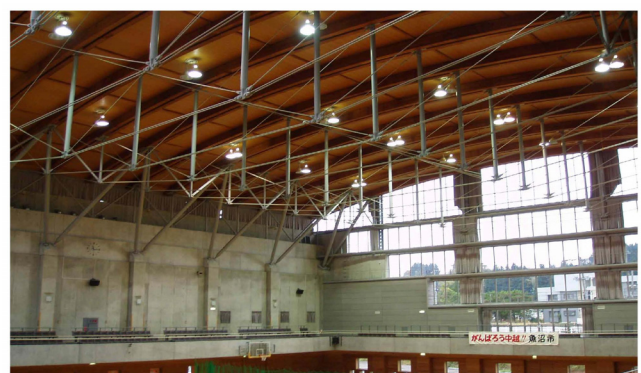


Figure 2. Composition in Horizontal Structure System of Gymnasium

3) 부재의 경량화

활용되는 구조시스템에서 구조부재를 가급적 경량화 하는 것은, 구조계획에 있어 가장 일반적인 요구사항이기도 하다. 특별히 체육관과 같이 대형스팬을 만들어야 할 경우, 지붕부분을 가볍게 하거나 부재의 중량을 줄이는 것이 필수적으로 고려된다. 구조부재의 자중을 줄여 수평구조부와 하부구조체의 구조설계를 합리적으로 할 수 있고, 중량감소로 하부구조에서 부가적 경제효과도 기대할 수 있다. 더욱이 체적이 줄어든 부재는 형태효과나 개방성에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있다.

4) 개방감 및 채광효과

구조부재의 계획은 노출되는 구조공간에서 공간의 개방감 또는 채광효과에도 영향을 미친다. 체육관과 같이 다중이 이용하는 활동성 높은 공간은 건축계획의 배치단계에서부터 적절한 채광이 유입되고, 환기와 더불어 개방적인

공간감을 갖도록 요구된다. 이때 창의 위치, 단면상의 공간구성, 빛의 투과성이나 개방감 형성 등이 필수적으로 고려될 것이나 더불어 구조시스템의 구성이나 부재체적 등 구조체의 개방 및 채광효과도 함께 고려되어야 할 것이다.

3. 학교체육관의 구조시스템 구성요소 분석_ 사례활용

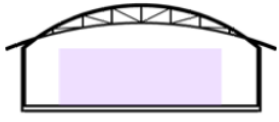

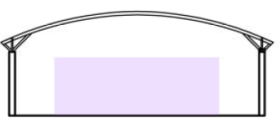
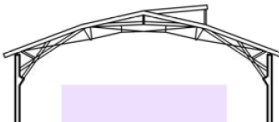
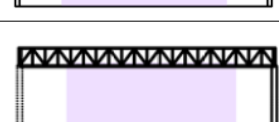
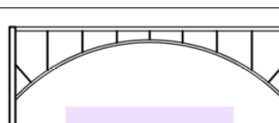
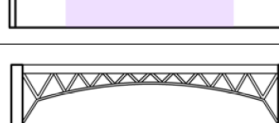
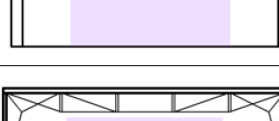
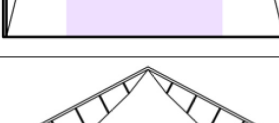
본 장에서는 학교체육관 사례들을 대상으로 구조계획이 다뤄진 양상을 살펴보고자 한다. 사례들에서 나타나는 정량적 규모의 양상은 물론이고, 구조계획 구성요소들의 조합방식을 분석하여 그로 인한 정성적 요구사항, 즉 형태 및 공간구성 효과의 변화를 주로 살펴보고자 한다.

먼저 분석에 활용하는 구조계획 구성요소는 기존 연구에서 고찰한 바와 같이 구조시스템의 입면형태(profile), 구조부재의 강성(rigidity), 부재의 집합과 정착(anchorage), 안

Table 3. Examples of School Gymnasium

No.	Name	Structure Diagram (Boldtype : Korean Example)	Structure System	Span (m)	Ratio of Rise (f/l)	Height (member depth/total depth) (mm)	Profile Shape	Material/Rigidity	Anchorage/Connection	Stability	Plan Arrangement (ratio of side)
1	Hangdong Elementary School		Flexure (H-shaaped Beam)	17	0	8,500 (700/0)	Horizontal line	Steel/Rigid	Self Anchorage/Fix	Fix Connection	2way (1x/ly=3.4/17=0.2)
2	Hayakawa Elementary School		Flexure + Compression	18	0.14	6,000 (350/5,000)	Mountain shaped	Steel (Strut)/Timber (beam) Rigid	Column Anchorage/Hinge	Strut	1way (1x/ly=3/18=0.17)
3	Machinikiku Elementary School		Truss	22	0	11,500 (1,400~6,500/0)	Horizontal line	Timber/Rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	2way
4	Kyungdong High School		Keel Truss	20	0.06	8,000 (450/1,500)	Mountain shaped	Steel/Rigid	Self Anchorage/Fix	Fix Connection	1way (1x/ly=4/20=0.2)
5	Osioe Middle School		Truss	22.7	0.2	7,000 (250/1,300)	arc	Timber/Rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	1way (1x/ly=5.45/22.7=0.24)
6	Jayang High School		Suspension Truss	25	0.06	8,000 (200/0~2600)	arc	Steel/Rigid	Self Anchorage/Fix	Diagonal Member	1way (1x/ly=4/25=0.16)
7	Tajimisi Middle School		Truss	28	0.19	9,000 (300/1,700~900)	Mountain shaped	Steel/Rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	1way (1x/ly=3/28=0.11)

Table 3. Examples of School Gymnasium (continued)

No.	Name	Structure Diagram (Boldtype : Korean Example)	Structure System	Span (m)	Ratio of Rise (f/l)	Height (member depth/total depth) (mm)	Profile Shape	Material/Rigidity	Anchorage/Connection	Stability	Plan Arrangement (ratio of side)
8	Sukagawasi Middle School		Truss	29	0.18	7,000 (250/2,200~0)	arc	Timber/Rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	1way (lx/ly=5.15/29=0.18)
9	Uizura Elementary School		Flexure	30	0.15	8,000 (0~950)	Mountain shaped	Timber/Rigid	Self Anchorage/3 Hinge	Diagonal Member	Radial (lx/ly=4.8/30=0.16)
10	Osihara Elementary School		Flexure + Compression	30	0.1	7,600 (400/2,500)	arc	Timber/Rigid	Balance Anchorage/Hinge	Diagonal Member	1way (lx/ly=3/30=0.1)
11	Ogata Middle School		Truss	30	0.16	7,800 (450/2,000)	Mountain shaped	Timber/Rigid Steel/Non rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	1way (lx/ly=4.5/30=0.15)
12	Seoul Physical High School		Truss	30	0	6,500 (2,000)	Horizontal line	Steel/Rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	2way (lx/ly=8/30=0.2)
13	Seiryu Gakuin High School		Truss	32	0	7,700 (300/8,200~1,200)	Horizontal line (arc)	Steel/Rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	1way (lx/ly=4.5/32=0.14)
14	Hiroshima Motomachi High School		Truss	32	0	7,500 (1,000/6,500~1,500)	Horizontal line (arc)	Steel/Rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	1way (lx/ly=3.6/32=0.11)
15	Iwadeyama Middle School		Beam String Structure	36	0	8,000 (600/2,500)	Horizontal line	Steel/Rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	1way (lx/ly=3.6/36=0.1)
16	Toryo High School		Beam String Structure	35	0.27	9,000 (300/3,000)	Mountain shaped	Timber/Rigid+Non Rigid	Self Anchorage/Hinge	Diagonal Member	1way (lx/ly=3.0/35=0.085)

정성 확보방식(stability)로 보고 분석하였다.

사례는 국내 및 일본에서 공개된 도면자료가 있는 학교 체육관 시설 중 가급적 다양한 유형을 보여줄 수 있는 사례를 선별하여 정리하였다. 그리고 사례의 구조시스템을 다이어그램으로 간략화 하였는데, 각기 스패 20m에 높이 7m인 최소 규모의 체육관 공간크기를 음영으로 표기하여

스케일의 차이를 판단할 수 있게 하였다.

국내의 학교체육관 자료는 많이 노출되어 있지 않지만, 많은 경우가 17~20m 정도의 스패를 보이며 Table 3의 1번의 예처럼 대부분 직선형의 H형강으로 건립되고 있었다. 그 보다 큰 스패의 다양한 구조디자인 사례들은 일본의 학교체육관 사례에서 다수 찾을 수 있었는데, Table 2

에서 분석한 대중소 규모의 스펠로 주로 구성되어 있음을 알 수 있다.

3.1 구조부재 입면형태

양 지지점으로 하중을 전달하는 구조체의 입면형태는 내외부 조형효과에 영향을 미치는데, 비교적 대공간을 형성해야 하고 상부에 사용가능한 바닥을 가지지 않는 경우가 많은 체육관 구조의 특성상 직선형(Table 3의 1, 3, 12, 13, 14, 15번 사례)외에도 연력도형(아치나 현수형) 또는 산형 등의 형상도 흔히 나타나고 있다.

아치형이나 산형 등의 입면형을 활용하면 동일 조건에서 처짐이나 응력을 줄일 수 있어 구조부재의 경량화가 가능하고 구조체적도 줄일 수도 있다. 그러나 상하부의 연력도 형태에 따라 유효높이를 확보하기 위해서는 많은 공간을 필요로 한다(Table 3의 3, 6, 16번 사례 등).

입면형태의 높이와 그로 인한 구조부 깊이의 구체적인 범위를 알기 위해서 Table 3에서는 각 사례에서 체육공간으로 확보한 유효높이와 구조부재의 춤(member depth), 그리고 부재의 조합으로 공간을 차지하는 구조부분의 깊이(total depth)도 기입하였다. 입면형태의 스펠 대 라이즈비(f/l비)도 기입하였다. 입면형태의 변화에 따라 유효높이를 초과하는 빈 공간부분이 발생하는데 스펠 순으로 정리된 자료에서 볼 수 있듯이 스펠이 커지면 윗부분의 구조공간이 증가하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

따라서, 구조부재의 입면형태를 연력도형이나 산형으로 조정함으로써, 내외부 형태를 변화시키는 것은 물론 구조부 체적을 크게 만들어내 공간의 개방감과 채광효과로 연결하는 요소로 활용하고 있음을 알 수 있다.

아래로 오목한 입면형을 사용한 Table 3의 6번 사례도 조사되었는데, 이는 구조적으로 응력이 가장 적게 활용되는 효과적인 방식이긴 하나 내부공간을 낮아지게 하는 입면형을 취해야하기 때문에 건물 전체 높이가 높아질 수밖에 없는 것도 관찰된다.

3.2 재료의 강성

구조재료의 강성은 구조부 체적변화와 채광효과, 부재경량화, 재질, 내외부 형태효과 등 전 방위에서 구조디자인에 영향을 미친다. 현수구조와 같은 인장구조시스템은 연성부재를, 또한 휨이나 압축구조시스템은 강성부재를 사용해야하는 시스템상의 제약조건이 있다. 그러나 인장부재의 경우는 형강과 같은 강성부재와 로드 또는 케이블과 같은 연성부재를 선택적으로 사용할 수 있어 부재의 경량화나

형태효과와 같이 건축적 특성으로 인해 선택되기도 하는 것이다. 조사된 사례 중에서도 Table 3의 8, 11, 15, 16번 사례에서 연성 인장재가 사용되었다.

체육관 건축은 경량화가 요구되는 대공간 구조이다 보니, 철골이나 목재와 같은 건식 경량구조가 주로 사용되는데, 일본의 학교건축 사례에서는 목재의 활용이 늘고 있는 것도 주목된다(목구조체육관(7건)/조사된 일본사례(12건)).²⁾

3.3 정착 및 접합

휨 구조시스템이나 트러스는 자체정착 식으로 추가부재나 특별한 고안이 필요치 않지만, 아치나 현수구조의 경우는 추력에 대한 정착방식이 결정되어야 하며, 다른 구조방식들도 부재조합에 따라 정착부재를 필요로 하거나 부재의 체적에 영향을 미친다.

조사된 사례 중에 Table 3 2번 사례의 버팀대는 압축지력을 하부기둥에 정착한 방식으로 강성이 큰 기둥을 가지고 있지만, 동일한 구조시스템의 10번 사례는 양단을 내밀어 균형을 이룸으로써 외부형태를 변화시킴과 동시에 기둥에 정착되는 부담을 줄이고 있다.

부재간의 접합방식 또한 구조계획에 영향을 크게 미치는데, 국내 체육관설계에서 흔히 나타나는 1번 사례와 같은 직선형의 휨 구조의 부재는 주로 기둥과 강접합된다. 단순보로 접합되면 기둥에 영향은 줄어들어 수직구조부의 부재를 경량화 할 수도 있으나, 중앙부 모멘트와 처짐이 커져 부재체적이 커지기 때문일 것이다. 그러나 강접을 필요로 하지 않는 그 외 다양한 구조시스템을 사용한 사례들은 힌지접합으로 접합자체를 간단히 함은 물론, 하부구조의 부담을 줄여 체육관 벽의 구성을 가볍고 개방적으로 구성하는 것을 고려하기도 한다. 또한 힌지접합만 가능한 목조를 활용할 수 있어 재료의 다양성을 확보하는 것도 가능해진다.

또한, 휨 구조시스템에서도 설계의도에 따라서는 Table 3의 9번이나 16번 사례와 같이 중앙부를 힌지접합으로 구성하면서 모멘트 다이어그램에 따라 부재형태를 변화시켜, 접합방식을 내부형태와 공간감을 변화시키는 설계요소로 사용하는 것도 볼 수 있다.

3.4 안정방식

안정방식은 횡하중에 저항하는 중요한 구조계획 요소로

2) 이주나, 신은미, 구조계획 측면에서 본 일본 목구조 교육시설의 구성특성 분석, 한국교육시설학회논문집, 25(6), pp.11~24, 2018.

가장 일반적인 방식은 강접합으로 간단히 안정을 피하는 것이겠지만, 접합에서 힌지접합으로 구조디자인의 다변화를 꾀했다면 안정방식에 있어서도 건축효과에 영향을 미치는 구성 아이디어가 요구된다.

Table 3의 2, 5, 10, 11, 13, 14, 15번 등의 사례들에서는 기둥과 수직부재를 힌지접합하고 접합부에 경사부재를 첨가시켜 안정성을 확보하고, 동시에 수평부재의 휨 모멘트를 감소시키는 역할을 하는 방식으로 계획되었다. 대개 경기장 외곽의 프리존 범위(약 2~3m)에서 유효높이를 일부 감소시키는 방식으로 고려되고 있음을 알 수 있다.

사례의 자료에서 정리한 평면배열의 비에 대해서도 관심을 가질 필요가 있다. 구조체가 놓이는 열의 간격은 구조적으로나 건축적으로나 중요한 변수인데, 학교체육관 설계에서 주로 이루어지고 있는 범위를 파악할 수 있다.

4. 구성요소의 변화에 따른 학교체육관의 구조 계획 가능성

3장에서 살펴본 바와 같이 구조계획 구성요소들은 체육관의 건축특성에 영향을 미친다. 이를 구체적으로 파악하기 위해 본 장에서는 구성요소들을 변화시킨 체육관 모델을 설정하고 해석과 부재설계를 수행하여 그에 따른 구조 설계 결과를 분석하였다. 철골부분 기둥높이 5m에 스패น 20m를 학교체육관의 기본적인 규모로 설정하고 해석용 모델을 Table 5에서와 같이 설정하여 조사를 진행하였다.

4.1 구성요소 변수와 모델설정

구조계획을 변화시키는 구성요소는 앞서 3장에서 살펴본 바와 같이 구조입면형태와 재료강성, 정착 및 접합방법, 안정방식이 주요 요소가 된다. 이들 요소들이 체육관 건축에 적용될 수 있는 방식을 Table 4에 보였다. 이들 요소변화의 가장 기본적인 패턴을 적용하여 20m 스패んの 체육관 모델을 17개 설정하고 동일한 설계조건을 부여하

Table 4. Variation Type of Composition Elements and Structure System

Composition Element	Variation Type
Structure System	Flexure, Tension+Compression, Flexure+Compression, Flexure+Tension, Flexure+Compression+Tension Structure System
Profile	Arc, line(Horizontal, Mountain shaped)
Material Rigidity	Rigid, Non Rigid
Anchorage/ Connection	Self Anchorage, Additional member / Fix, Hinge
Stability	Self Stability, Additional member, Connection

여 연직하중에 대하여 설계한 결과를 Table 5에 보였다.

설정한 모델의 모든 재료는 SN490(SN355)의 철골구조로 설정하였으며, 상부 지붕을 활용하지 않는 경량지붕으로 가정하고, 고정하중(D.L.) 1kN/m², 활하중(L.L.)을 1kN/m²씩 부과하였다. 한 열의 구조체로 상정하고 구조능력을 평가하였으므로, 평면상 4.5m의 간격으로 배열된 것으로 가정하여 고정하중과 활하중 모두 4.5kN/m² 하중이 작용하는 것으로 하였다.

휨 구조시스템에서 직선형의 모델인 F3가 가장 일반적으로 활용되고 있는 기본모델이 된다. 여기서 구조입면형을 변수로 하여 사용빈도가 높은 연력도형에 가까운 원호아치와 산형보로 모델링을 변화시켰다. 휨 구조시스템에서는 원호형과 산형의 입면형에서 라이즈(rise)가 크게 변화했을 때 나타나는 경향을 알아보기 위하여 f값(rise)를 6m로 변화시킨 모델을 각각 추가하였다.

휨 구조시스템은 휨 모멘트의 특성상 강성재를 사용할 수밖에 없으며, 접합조건은 현실적으로 강접이 가장 선호되므로 강접 조건으로 안정성 확보효과를 겸하게 하였다.

트러스의 경우 또한 원호형과 수평직선형, 산형, 직선형으로 세분하여 구조입면형의 변화를 관찰하였으며, 전체 부재는 강성부재로 설정하고 접합은 기둥과 접합하는 상하현재의 양단을 힌지로 설정하였다.







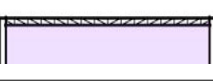

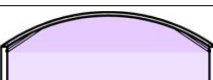


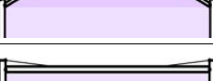

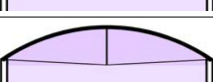
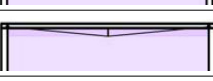
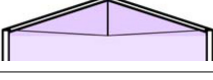
휨부재와 압축부재 또는 인장부재가 조합되는 복합응력 구조시스템의 경우도 검토하였는데, 역시 동일한 구조입면형태의 조건(직선형, 원호형, 산형)을 변화시켜 모델을 설정하였다. 버팀대나 당김재를 조합하는 구조시스템은 구조의 조합으로 단순 휨모멘트 저항에서 벗어나고자 하는 것이기 때문에 모든 접합은 힌지로 가정하였다. 모든 부재는 강성부재를 기본으로 설계하였는데, 들림형보(BS1~BS3)의 경우만 하현인장재를 연성재인 로드(rod)로 하여 구조시스템 성립에 요구되는 프리스트레스를 도입하여 해석하였다.

더불어, 조합되는 버팀대나 당김재들의 부착 높낮이는 휨재의 구조부 부분과 동일한 조건이 될 수 있도록 구조부의 깊이를 500mm로 제한하여 모델링하고 구조적 성질을 휨 구조와 비교하였다. 또한 하부기둥 구조가 미치는 영향을 동일하게 판단하기 위하여 동일한 길이의 동일한 기둥부재를 포함하여 해석하였고, 그 기둥에 발생하는 모멘트 또한 해석결과로 기재하였다.

4.2 모델 해석결과 및 구조계획적 특성 분석

각 모델의 해석결과는 Table 5에 나타내었는데, 먼저

Table 5. Structure Planning Informations for Gymnasium (Results of Analysis and Member Design)

Structure System	Profile		Connection	Rigidity		No.	Structure Model Image (Span: 20m)	f (m)	Result of Analysis						Effect of Space	
	Arc	Line Type		Rigid	Non Rigid				M max. (kN·m)	Axial F.max. (kN)	Member Size	Weight (kN)	Column Moment (kN·m)	Displacement (mm)	Member Depth (mm)	Structure Space (m ²)
Flexure	Arc	-	FIX	○	-	F1		6 (0.3)	-269.8 (145.2)	-168.6	H-340×250×9/14	19.1	269.8	57	340	78.2
						F2		3 (0.15)	-332.6 (163.7)	-135.1	H-300×305×15/15	21.9	332.6	66	300	35.1
	Mount ain Shaped	F3			0	-432	-86.4	H-440×300×11/18	24.2	432	50	440	0			
		F4			3	-373.8 (145.8)	-113.8	H-440×300×11/18	25.3	373.8	30	440	25.6			
		F5			6	-345.8 (129.0)	-167.7	H-588×300×12/20	34.6	345.8	14	588	54.12			
Truss	Arc	-	Hinge	○	○	T1		3	Upper	306.3	H-175×90×5/8	12.69	215.9	48.0	175	41.7
									Dia.	176.8	H-100×50×5/7					
									Bottom	-555.2	H-194×150×6/9					
	Mount ain Shaped	○		○	T2		0	Upper	-516	H-194×150×6/9	15.8	266.4	64.0	194	6.12	
								Dia.	366.9	H-125×60×6/8						
								Bottom	-819.1	H-194×150×6/9						
Mount ain Shaped	○	○	T3		3	Upper	277.7	H-175×90×5/8	13.0	244.5	46.0	175	28.25			
						Dia.	224.9	H-100×50×5/7								
						Bottom	-565.1	H-194×150×6/9								
Flexure+ Comp. (Strut)	Arc	-	Hinge	○	-	S1		3	94.3	737.6	H-346×174×6/9	13.3	331.0	73	346	44.6
									-	-866.2	H-200×200×8/12					
									260.7	-768	H-500×200×10/16					
Mount ain Shaped	○	-		S2		0	-	-860	H-200×200×8/12	21.5	384.1	63.0	500	10		
							71.2	772.2	H-294×200×8/12							
							-	-879.8	H-200×200×8/12							
Flexure+ Tension (Cable stayed)	Arc	-	Hinge	○	○	C1		3	180.9	-794.0	H-400×200×8/13	15.5	318.1	80	400	35.05
									-	678.5	H-148×100×6/9					
									311.7	-822.6	H-500×200×10/16					
	Mount ain Shaped	○		○	C2		0	-	753.7	H-250×125×6/9	19.9	373.9	81	500	0	
								127.3	-855.8	H-400×200×8/13						
								-	750.1	H-248×124×5/8						
Mount ain Shaped	○	○	C3		3	-	750.1	H-248×124×5/8	15.57	369.4	68	400	16.0			
						127.3	-855.8	H-400×200×8/13								
						-	750.1	H-248×124×5/8								
Flexure+ Comp.+ Tension (Beam String Structure)	Arc	-	Hinge	○	○	BS1		3	-102	-168.3	H-150×150×7/10	8.1	0	17	150	47.6
									132.5	-1582	H-350×350×12/19					
									-134.7	-269	H-340×250×9/14					
Mount ain Shaped	○	○		BS2		0	132.5	-1582	H-350×350×12/19	27.7	0	74	350	10		
							-134.7	-269	H-340×250×9/14							
							-134.7	-269	H-340×250×9/14							
Mount ain Shaped	○	○	BS3		3	-134.7	-269	H-340×250×9/14	18.3	0	24	340	36.6			
						-134.7	-269	H-340×250×9/14								
						-134.7	-269	H-340×250×9/14								

부재의 최대 휨모멘트, 최대축력, 그리고 그에 따라 가장 작게 설계된 부재사이즈를 기입하였다. 기재된 부재력은 계수하중에 대한 내력을 기재하였다.

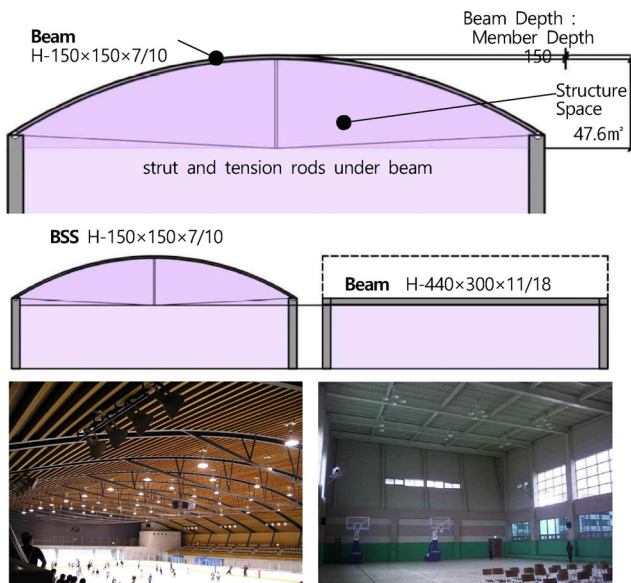
스팬은 20m로 동일하지만, 입면형의 형태와 구조시스템

의 변화에 따라 구조부재의 길이나 구성부재의 개수 등이 상이하므로 수평구조부에만 소요되는 설계 구조체의 중량을 조사하여 기입하였다.

또한 스팬의 중앙지점에서 발생하는 최대 수직변위도

기입하였는데, 지붕으로 활용되는 20m 스패의 경우 $L/240$ ($20,000/240=83.33\text{mm}$)의 허용처짐 내에서 가능한 부재를 선택하여 설계하면서, 요구 내력을 만족시키는 구조부재를 설계했을 때 발생하는 최대 중앙처짐을 기입하였다. 처짐은 허용하중 상태의 값을 기재하였다.

구조체의 해석과 설계값 외에도 구조시스템 별로 나타날 수 있는 공간효과를 수치적으로 나타내고자 하였다. 이를 설명하기 위해 Figure 3에서 연력도형의 구조입면형을 가진 들림형보 구조시스템을 예로 보였다. 이 모델에서 휨모멘트와 압축력에 따라 설계된 상부의 보는 깊이 150mm의 H형강으로 그 부분은 단일부재 구조체로 존재하게 된다. 이 150mm를 Table 5에서는 ‘구조높이’로 기입하였다. 한편 이 들림형보 모델에서는 하부에서 조합된 구조부재들이 3.5m의 깊이로 공간을 차지하며 상부보를 들어주는 역할을 하고 있기 때문에 150mm의 작은 부재로 설계될 수 있었으므로 이 구조가 자리를 차지하는 공간을 표에서 ‘구조공간’이라는 면적으로 표기하였다.



(a) Example of BSS (b) Example of Beam
Figure 3. Difference of Beam String Structure and Beam Structure

예로 보인 들림형보 시스템의 경우와 가장 단순해 사용빈도가 높은 직선형 보 시스템의 경우를 비교한 그림을 보면 하부에 동일한 유효높이와 가용공간을 가지게 되더라도, 들림형보의 경우는 부재의 구조깊이가 150mm로 줄어들지만 하부에 구조체로 구성된 구조공간을 필요로 한다. 반면에 직선형 보는 약 440mm의 구조깊이가 필요하지만 다른 구조공간을 만들어내지는 않는다. 가장 공간을 최소화하며 슬리드한 구조체를 보여주지만, 구성적 효과는

얻기 어렵다. 만일 직선형 보 시스템에서 가용공간 이상의 공간감을 얻고자 층고를 높이고자 한다면(점선) 기둥의 높이가 높아지면서 기둥의 부담이 더욱 증가하는 것도 고려되어야 한다. 하부에 이 구조시스템이 실제로 사용되어 보이는 사례의 이미지에서도 ‘구조깊이’와 ‘구조공간’이라는 측면으로 본다면 계획의 지향하는 바가 전혀 다르다는 것을 알 수 있다.

즉, 구조계획으로 인한 건축특성을 파악할 때 ‘구조깊이’와 ‘구조공간’의 크기 또한 실제 체육공간 설계의 대단히 중요한 계획 결정요소라는 것을 알 수 있다. 따라서 이를 수치상으로 Table 5에 기입하여 각 구조시스템의 변화와 구조입면형의 특성을 파악할 수 있게 하였다.

1) 구조입면형의 변화에 따른 특성

휨 구조시스템(F1~F5)에서는 구조입면형의 변화에 따른 특성변화를 보이기 위해서 라이즈(f)값을 0, 3m, 6m 변화하여 해석과 설계를 수행하였다. 구조입면형의 변화는 기존의 연구³⁾에서도 검토한 것처럼, 토목교량에서 구성하는 형식으로 수평마감면에 작용하는 수직하중만을 받으며 양 지점을 가질 때는 라이즈(f 값)이 커질수록 모멘트값이 줄고 축력이 커지면서 구조의 역학적 합리성이 두드러지는 요소변화이다.

그러나 하부공간과 지붕면을 가지는 건축구조물에서는 하부구조의 강성과 지붕면을 따라 증가하는 하중으로 인해 이러한 기본특성이 설계에 그대로 발현되지 않는다는 것을 해석결과가 보여준다. 특히 산형보(F5)의 경우는 직선형보를 20m 이상의 대형스팬에서 라이즈만을 높여 구성했을 경우, 경사진 편측보 역시 상당한 스패로 하중을 부담해야 하므로 커지는 모멘트와 축력 때문에 오히려 가장 큰 부재로 설계되는 것을 알 수 있었다.

최대 모멘트를 보이는 직선형의 보(F3)의 구조중량과 구조깊이에 비교하면 연력도형에 가까운 원호아치의 입면형의부재가 시스템에 관계없이 구조체적과 하부구조의 영향 등에서 가장 유리하다는 것을 알 수 있는데, 구조깊이는 줄어드는 반면 구조공간이 넓어지며 내부공간감을 풍성하게 만드는 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 이 같은 연력도형의 효율 우세 특성은 분석한 전체 구조시스템의 모델에서 나타난다. 예를 들어 휨과 버팀대를 함께 조합하는 S1~S3의 모델의 경우처럼 같은 구조시스템에서도 원호아치형을 취한 S1의 경우가 가장 적은 중량으로 하부구

3) 이주나, 휨 구조시스템의 구조디자인적 구성요소와 디자인 조합 수법 분석, 한국공간구조학회논문집, 16(1), pp.73~85, 2016.

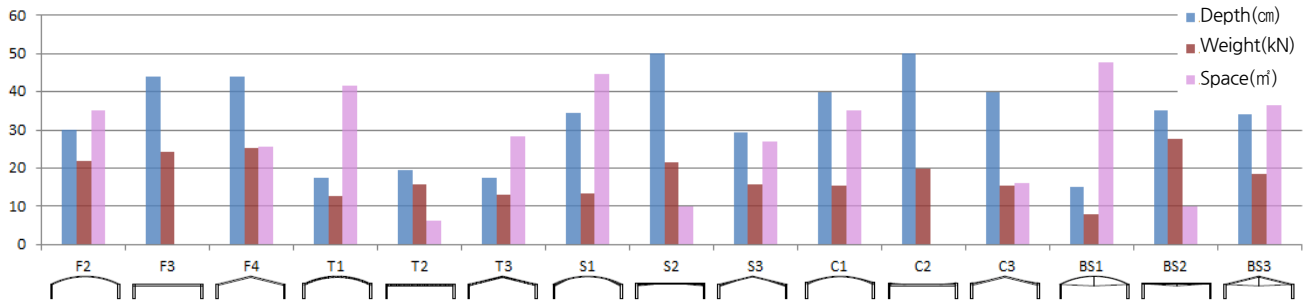


Figure 4. The Distribution of member depth, Weight of Structure, Structure Space in the Results of Analysis Models

조의 영향을 최소화 하며 큰 공간을 구성하는 것을 알 수 있다. 특별히 들림형보 시스템인 BS1~BS3의 경우를 관찰하면 직선형이나 산형보다 원호아치형이 상당한 비율로 효율이 좋아지는 것을 볼 수 있다(Figure 4 참조). 이것이 대형체육관에서 아치형의 지붕을 흔히 만날 수 있는 이유 일 것이다. 한편 중앙부 처짐에 있어서는 산형구조(F4, F5)의 경우가 조절이 가장 쉬운 것도 관찰할 수 있다.

따라서 구조입면형은 체육시설의 스패인이 더 장대화되거나 하중이 증가되어 구조부담에 대한 고려가 필수적이거나, 또는 재료강도가 부족하지만 여러 방면에서 효과적인 목재 등의 구조재료를 활용하고자 할 때 반드시 검토되어야 할 구조계획 요소라 할 수 있다.

2) 재료강성

인장과 압축이 하나의 단면에서 나타나는 휨 구조시스템(F1~F5)은 강성부재만이 사용가능하다. 그리고 휨부재와 압축부재인 버팀대를 조합하는 휨+압축구조시스템(S1~S3)의 경우도 강성부재만이 활용가능하다. 그러나 그 외의 구조시스템에서는 인장내력만 발생하는 부재를 포함하고 있기 때문에 이 부재들을 로드나 케이블과 같은 연성부재로 바꿔 사용할 수 있다.

연성인장재를 사용하면 부재중량을 줄일 수 있고 Figure 5에서 보인 사례들처럼 구조공간의 개방감도 높아지고 내외부의 구조체의 디자인도 변화시킬 수 있다. 연성부재를 사용할 수 있는 구조시스템을 Table 5에 표기하였다.



(a) Web Rod of Truss in San Francisco Airport (b) Tension Cable in Makuhari Messe

Figure 5. Examples of using Non Rigid Tension Member

3) 정착 및 접합

기본적인 휨 구조시스템(F1~F5)은 보의 단면 안에서 우력으로 자체정착된다. 그와 유사하게 트러스(T1~T3)나 들림형보 시스템((BS1~BS3)도 상하현재 역할을 할 수 있는 구조부재로 구성되어 자체정착 시스템에 해당한다. 그러나 버팀대(S1~S3)를 활용하거나 인장재(C1~C3)로 보의 휨모멘트를 감소시킨 복합응력 구조시스템의 경우는 버팀대의 추력과 인장재의 당김력을 하부구조에 부담시키는 정착방식을 가지고 있다. 이로 인해 이들 구조시스템에서 하부기둥에 발생하는 모멘트가 휨 구조시스템(F1~F5)의 수준에 육박함을 알 수 있다.

이러한 정착방식은 디자인에 따라 여러 수법으로 개선되거나 변경될 수 있다. 예를 들어, 양측에 공간이나 지붕을 내밀어서 균형을 맞추는 정착방식을 고안하면 복합응력 구조시스템상의 효율을 얻으면서도 하부구조부에 부담을 최소화시키고 중앙부 변위를 조절할 수 있는 대안이 된다. 상당히 많은 대공간 체육관에서 이러한 정착수법을 활용하는 경우를 관찰할 수 있는데(Figure 6 참조), 이로 인해 내외부 형태와 구조체의 디자인은 물론, 체육공간 양측으로 공간의 구성변화를 가져오기 때문에 건축계획적인 측면에서 통합적으로 고려되어야 하는 요소임을 알 수 있다.



(a) Example of Tree Type Strut (b) Example of Back Stayed Cable

Figure 6. Example of Balanced Anchorage Type

접합의 측면에서 보면, 부재내력감소와 간결한 안정성 확보를 위해 양단강점을 선택했던 휨 구조시스템(F1~F5)에서 하부기둥에 발생하는 모멘트가 가장 크게 나타나는 것이 관찰된다. 강점은 접합부 구성 자체도 비용을 요구하

며, 하부로 부담시킨 내력은 하부구조의 증대를 가져와서 건물전체의 구조체적을 증가시키고, 지진에 대하여도 장스팬 구조부재가 일체로 저항해야 하는 등 종합적으로 불리한 점도 있을 수 있다. 특히 대개의 경우 다른 부재의 조합없이 긴 철골기둥으로 이루어지거나 콘크리트벽으로 구성되는 국내 학교체육관의 설계에서 양 외측 수직구조의 부담이 커질 수밖에 없고 이것은 측면 벽의 폐쇄적 구성으로 연결되는 요인이 되기도 한다.

구조시스템 구성상 접합부 주변에 추가부재를 가지고 있어서 자체적으로 번거로운 강점을 피할 수 있는 구조시스템의 경우는(예, T1~T3, S1~S3, C1~C3, BS1~BS3) 모든 부재를 한지로 접합해 가공이나 시공상의 간편함과 더불어 지진하중으로부터 독립적 저항 등을 모색할 수 있다. 뿐만 아니라 근본적으로 강점이 불가능한 것으로 판단되고 있는 목구조의 경우도 이러한 한지접합의 구성으로 대공간을 만드는 구조방식으로 검토될 수 있다. 구조시스템 별로 모델에 반영된 접합법을 표기하였다.

4) 안정방식

휨 구조시스템의 모델(F1~F5)에서는 강점으로 안정성을 확보하였고, 그 외 시스템에서는 기둥과의 접합부 부근에 경사부재를 배치하여 안정성을 확보하도록 하였다.

틀림정보의 경우는 구조시스템 상으로 양 접합조건이 단순보와 동일한 조건이기 때문에 양 수직부재위에 올려져 공간을 구성할 때에는 안정성에 저항하기 위하여 별도의 안정시스템을 고안해야한다. 본 모델해석에서는 하부구조가 단독으로 안정성을 확보하는 방식을 활용하였다.

5. 결론

학교체육관에서 건축적 특성에 영향을 미치는 구조계획 방법을 분석하기 위해, 사례를 조사하고 모델 해석과 설계로 구조시스템과 구조계획 구성요소의 활용방법을 고찰한 결과 다음과 같은 내용을 얻을 수 있었다.

- 1) 학교체육관은 높이 최소 7m이상, 스패는 17, 21, 27m내외의 실내공간이 요구된다. 또한 형태와 공간 특성으로는 활동적인 모임공간으로서 체육관의 내외부 형태효과와 구조부분이 차지하는 공간 조절, 부재의 경량화를 통한 구조체의 효율증진, 모임공간의 개방감 및 채광 등의 건축적 효과를 고려하는 것이 구조계획에 있어 요구된다.

- 2) 20m 스패를 가진 체육관을 기본모델로 하여 휨, 인장, 압축응력을 활용하는 다양한 구조시스템에서 구조계획 구성요소(구조입면형, 재료의 강성, 접합과 정착, 안정방식)를 변수로 가진 모델을 설정하고, 지붕하중을 적용하여 해석하고 설계하였다. 설계결과와 분석으로서 구조효율을 판단하기 위하여 '구조중량'의 변화를 조사하였고, 건축특성에 미치는 영향을 판단하기 위하여 구조부재의 체적 지표인 '구조깊이'의 변화, 그리고 구조시스템으로 인해 내부에 구조가 차지하는 공간의 지표인 '구조공간'의 면적을 조사하여 Table 5에서 각 시스템별로 나타내었다. 이를 통해 구조시스템별 구조계획이 구조효율 및 건축특성과 밀접하게 관계하고 있음을 보이고, 각 구성요소의 조합방식과 구체적인 학교체육관 구조계획 정보를 제시하였다.

- 3) 분석결과 일반적인 직선형의 휨 구조시스템보다는 축력부재를 조합한 복합응력 시스템이 구조효율이 높은 것으로 나타났다. 또한 아치형이나 산형 등의 구조입면형의 변화가 구조효율에 미치는 영향이 커서 구조체 중량 감소나 구조깊이의 감소를 가져오지만, 내부에서 구조공간을 크게 차지하는 특성을 보이는 것이 관찰되었다.

본 논문에서 설정된 모델은 구조시스템과 구성요소의 변화에 따른 가장 기본적인 구조성능과 공간구성 특성의 변화추이를 보이기 위한 것이다.

실제 학교체육관의 구조설계는 이러한 구조계획 구성요소들이 다양하게 조합 변화 구성되어, 구조효율은 물론 건축의 공간 및 형태에 미치는 영향이 더욱 커질 수 있다고 본다. 특별히 20m 보다 스패가 더 커지면 구조적 합리성에 대한 모색이 더욱 커질 수 있는데, 이러한 학교체육관의 구조계획 시 본 연구의 분석 자료가 건축형태와 공간구성 의도를 구현하는 구조계획 자료로 활용될 수 있을 것으로 본다.

References

1. Choi, Young Gi, Survey on the Gymnasium and Multi-use Facilities of the Schools in Chungbuk Area, Journal of the Korean Institute of Rural Architecture, 2(2), pp.35~46. 2006.
2. Lee, Juna, The Composition Patterns and Architectural Design Elements of the Tensile Structure, Journal of the

- Architectural Institute of Korea, Planning and Design Section, 21(1), pp.43~52. 2005.
3. Lee, Juna, A Study on Design Methods and the Composition Elements in Flexure Structure Systems, Journal of Korean Association for Spatial Structures, 16(1), pp.73~84. 2016.
 4. Editors, Data File of Architectural Design & Detail 105, School 3, Kenchikusiryukenkyusha. ISSN 0288-4267.
 5. Architectural Data Research Council, Gymnasium and Sports Facilities, Bowon, 1992.
 6. Park, Chan Soo, et al, The Composition Method and a State of the Art in Architectural Design Using Structures, Journal of the Architectural Institute of Korea, Planning and Design Section, 25(1), pp.145~154, 2009.
 7. Editors, Data File of Architectural Design & Detail 40, Education Facility of Timber Structure, Kenchikusiryukenkyusha. ISSN 0288-4267.

접수 2019. 8. 30
1차 심사완료 2019. 9. 2
2차 심사완료 2019. 9. 10
게재확정 2019. 9. 11