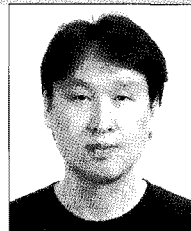


PEB 시스템의 설계와 시공

Design and Construction of PEB System



주 기 수*



손 수 덕**



채 승 훈***

* (주)동성중공업 상무이사

** (주)동성중공업 기술연구소 연구소장

*** (주)동성중공업 기술연구소 팀장

1. PEB System의 소개

1.1 국내외 PEB 시스템에 대한 기술동향

2차 세계대전으로 비행기 격납고 등의 대형공간의 구조물이 필요하게 되고 해체와 이동, 조립이 간편하며, 표준설계, 대량생산 및 공기단축이 가능한 장점을 PEB 시스템이 등장하게 되었다. Clear Span을 기준으로 1940년 전반에는 12.2m, 1940년 후반에는 21.3m, 1950년도 후반에는 30.48m, 1960년대 후반에는 컴퓨터의 발달로 30.48m이상으로 지을 수 있게 발전되어 왔다. 1950년대부터 미국에서는 Metal Building Manufactures Association(MBMA)가 설립되어 PEB 설계를 위한 기준(Manual)을 만들었으며, 1986년에는 풍하중 조항을 적용하여 미국 및 세계 각국의 기준에 풍하중 조항의 개발에 기여하였다.

국내에서는 1996년 PEB의 최적설계방안에 대한 연구가 진행되었으며 이후로 꾸준한 연구가 진행되어 왔다. 최근에는 비주거용 철골구조물의 약 30%정도가 PEB 시스템으로 설계가 진행되고 있는 것으로 파악되고, 학계에서도 PEB 부재에 대한 해석 및 구조실험 등 이에 대한 연구가 이루어지면서 많은 관심을 가지고 있다.

1.2 PEB 시스템의 특성

PEB의 어원은 Pre-Engineered Metal Building System에서 온 것으로, Metal Building System, Modular Building, Prefabricated Building의 의미로도 쓰인다. 초창기에는 단지 철골 부재를 이용한 Metal Building System으로 표준설계 개념이 강했으나, 근래에는 Tapered Member(변단면 부재)를 사용한 최적철골 시스템, 탄키 및 최적품질관리 시스템, 경제적인 철골 시스템이라는 의미가 부여되어 있기도 하다.

미국의 경우 대표적인 PEB 업체는 Butler Manufacturing co., Behlen Manufacturing co., MeTalic 등 30개 회원사가 있고, 국내에는 (주)동성중공업을 비롯한 다수의 업체가 PEB 시스템의 설계기술 및 생산설비를 갖추고 있다. 주로 사용하는 PEB설계 전용 S/W는 MBS사(Metal Building Software Inc.), LTI사(Loseke Technologies Inc.), Butler사의 프로그램 등이 주로 사용되고 있으며, 설계대상 용도에 따라 최적설계 및 설계후 프로세스에 대하여 조금씩 차이를 보이고 있다.

PEB 시스템을 기존골조 시스템과의 비교하여 장점을 살펴보면 단일 H형강 사용한 주골조 설계시 최대 휨모멘트에 대응되는 부재사이즈를 일률적으로 적용함으로써 인한 물량

최적설계가 한계가 있는 반면에, PEB 시스템 골조에서는 응력분포에 따른 최적의 변단면 설계로 강재중량을 약 60~70%정도로 절약되고, 제작의 자동생산기법과 효율적인 시공계획에 의하여 공사금액과 공사기간을 효과적으로 줄일 수 있다.

그러나 선진 외국보다 국내의 보급 사용기간이 상대적으로 짧음으로 설계, 제작, 설치경험의 부족하고, PEB 설계를 위한 국내 설계기준이 명확하지 않아 국내 규준적용이 어렵다. 또한 외국 전용프로그램에만 의존하므로 한국기준을 감안한 프로그램 개발 등 이에 대한 지속적인 연구개발이 앞으로 극복해야 할 당면과제이기도 하다.

1.3 PEB 제작 및 설계 관련기관

1.3.1 MBMA(Metal Building Manufactures Association)

1956년 10월 1일 13개의 주요 회원사들로 설립된 기구이다. MBMA는 가장 잘 알려진 건물 제작업자들과 9,000개의 시공업자들을 대표하는 약 30개의 회원사들로 구성되어 있다. 협회가 수행한 가장 중요한 역할 중 하나는 엔지니어링 표준을 개발하여 제작업자들에게 제공하는 것이다.

1.3.2 AISI(American Iron and Steel Institute)

AISI는 열을 가하지 않고 제작하는 강재나 냉간 압연 강재 분야에 많은 노하우를 가지고 있고, 특히 2차 부재, 벽체 및 지붕 마감재와 같은 전형적인 metal building system의 대부분의 요소는 AISI 규정에 지배를 받는다.

1.3.3 AISC(American Institute of Steel Construction)

AISC는 공장에서 주조 후 여전히 높은 온도에서 물리로 성형하여 최종 단면 치수로 만들어 지는 H형강, 앵글 및 채널을 포함한 압연 구조용 강재의 설계기준 및 표준을 개발한다.

1.3.4 NAIMA(North American Insulation Manufacturers Association)

NAIMA는 유리섬유(fiberglass), 암면(rock wool) 및 광재면(slagwool) 소재의 단열재 제작업자들을 대표하는 기구.

1.3.5 SBA(System Builders Association)

metal building의 도급업자 및 시공업자들을 대표하는 기구이다.

1.3.6 BSI(Building System Institute)

BSI는 위의 MBMA, AISI, SBA 및 System Builders Association 으로 구성된 포괄 조직이다. BSI는 metal building 산업에 관한 교육 및 판매 자료들을 만들어 낸다.

1.3.7 MCA(Metal Construction Association)

공사에 금속재의 폭넓은 사용을 촉진시키기 위해서 형성된 기구.

1.3.8 NRCA(National Roofing Contractors Association)

지붕 하도급업자들로 구성 되어 있으며 신규 및 기존 지붕재료에 관한 교육, 실험 및 평가를 제공하는 기구.

1.3.9 LGS(Light Gage Structural Institute)

LGS는 C, Z형강의 설계 성능 및 허용 응력 등의 기술적인 자료를 생산하는 것 이외에도 경량 형강 프레임 제작의 품질을 판촉하는 기구.

1.3.10 Modern Trade Communications Inc.

metal building 산업의 세 가지 잡지를 출판하는 것으로 유명한 기구.

2. PEB 시스템의 설계 프로세스

2.1 적용하중 종류

2.1.1 고정하중(Dead Load)

① Dead Load

- PEB System에 영구적으로 작용하는 하중으로 PEB 구조물의 무게

② Collateral Load

- Dead Load를 제외한 스프링 쿨러, 전기설비 등 추가적인 하중

2.1.2 활하중(Live load)

① Roof Live Load

- 설치 및 유지보수시의 발생하중과 건물의 일생동안 움직이는 물체 등에 의해서 발생하는 하중

② Live load

- 건물의 사용과 용도에 의해서 발생하는 하중

2.1.3 적설하중(Snow Load)

- 쌓인 눈의 중량에 의하여 작용하는 하중

2.1.4 지진하중(Seismic Load)

- 지진에 의한 지반하중으로 구조물에 작용하는 하중

2.1.5 풍하중(Wind Load)

- 수평으로 작용하는 바람에 의하여 발생하는 하중

2.1.6 추가하중(Auxiliary Load)

- 크레인이나 이동물체에 의하여 발생하는 하중

2.2 설계방법 및 하중조합

위의 하중을 무분별하게 조합할 필요는 없다. 예를 들어, 일생에 한번 일어날 만한 태풍이 기록적인 폭설과 동시에 일어날 가능성은 매우 희박하다. 드물게 일어나는 지붕의 보수와 수선 효과를 고려한 지붕 적재하중이 주요 지진이 일어나는 동안에 발생할 가능성은 마찬가지로 희박하다. 구조물에 가해지는 조합 하중을 현실적으로 나타내기 위해서 두 가지 접근방식이 일반적으로 취해졌는데, 이는 한계상태 설계법과 허용응력 설계법에 반영되어 있다.

2.2.1 한계상태 설계법

한계상태 설계법은 구조물이 모든 계수하중 조합에 대하여 어떠한 적용 가능한 한계상태도 초과되지 않도록 구조물을 설계하는 방법이다. 한계상태라는 것은 구조물 또는 구조부재가 안전에 관련한 강도에서 또는 구조물의 사용성 측면에 부적합하게 된 상태를 말한다. 즉, 한계상태와 과도한 변형이나 진동과 같은 사용하중 상태에서의 구조성능에 대한 사용성 한계상태가 있다.

구조해석의 한계상태 설계법은 아래에서 논의하는 허용응력설계법 보다 일정한 신뢰도를 제공하지만 현재, 아직 PEB 설계에서는 널리 수용되어 있지는 않으므로 상세히 다루지는 않는다.

2.2.2 허용응력 설계법

허용응력 설계법에서는 동시에 하중이 일어날 수 있다고 인식되는 가능성을 나타내는 몇 가지 하중들이 다양한 조합으로 더해진다. 각 조합에서 발생하는 종합적인 응력이 계산되고 허용응력값과 비교된다.

국내에 사용되는 허용응력설계법(허용응력 설계법에 의한 강구조 설계기준, 2003년)의 하중 조합은 아래의 표와 같다.

하중 종류	하중 및 외력의 작용상태	하중 조합	비고
장기	평상시	D+L	
단기	적설시	D+L+S	단기하중의 허용응력도는 장기하중의 허용응력도의 1.33배
	폭풍시	D+L+W	
	지진시	D+L+E	

D:고정하중, L:적재하중, S:적설하중, W:풍하중, E:지진하중

국외에 사용되는 허용응력설계법(ASCE, 2005년/ MBMA, 2006년)의 하중 조합은 아래의 표와 같다.

하중 종류	하중 조합	비고
기본 조합	D	W, E일 경우에도 단기하중에 대한 허용응력 증가 없음. 저감조합은 PEB SYSTEM에 작용하는 하중조합임.
	D+L+F+H+T+(Lr or S or R)	
	D+(W or 0.7E)+L+(Lr or S or R)	
	0.6D+W+H	
	0.6D+0.7E+H	
저감 조합	D+0.75[L+(Lr or S or R)]	
	D+0.75(W or 0.7E)+L+(Lr or S or R)	

D:고정하중, L:활하중, Lr:지붕활하중, S:적설하중, W:풍하중, E:지진하중, T:온도하중, F:압력하중, H:수압하중, R:강우하중

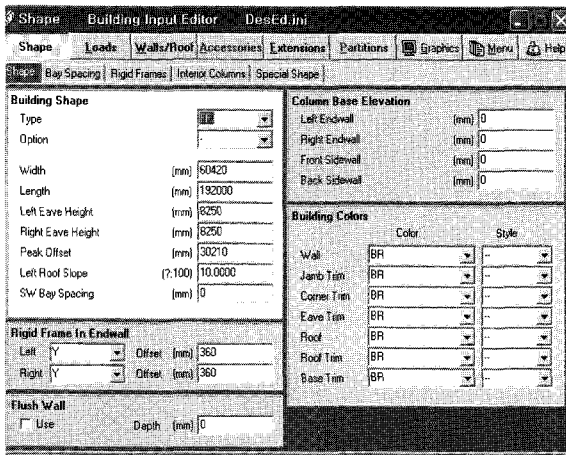
국내 하중조합은 구조물의 일반적인 하중조합을 나타내는 반면 미국은 ASCE나 MBMA에서는 PEB SYSTEM에 대하여 상세한 하중조합을 제시하여 만약에 일어날수도 있는 돌발사항에 대해서도 준비하고 있는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 눈이 오고 바람이 불 경우에도 대비하는 것은 우리나라 서해안이나 동해안의 경우에 해당된다고 볼 수 있다. 이 경우 눈이 녹지않고 얼거나 많은 눈이 오고 있는 상태에서 강한 바람이 불 경우 건물은 매우 불안정한 상태가 될 것이다. 이러한 상태에 대한 안전성을 확보하기 위해서는 미국의 허용응력 설계법상의 하중 조합을 PEB설계의 하중조합으로 사용하는 것이 바람직하다.

2.3 PEB설계전용 프로그램인 MBS(Metal Building Software)을 이용한 설계 Process

2.3.1 형상(Shape) 입력

형상 입력 창은 크게 Shape, Bay Spacing, Rigid Frames, Interior Column, Special Shape로 구성되어 있으며 각 창의 입력내용은 다음과 같다.

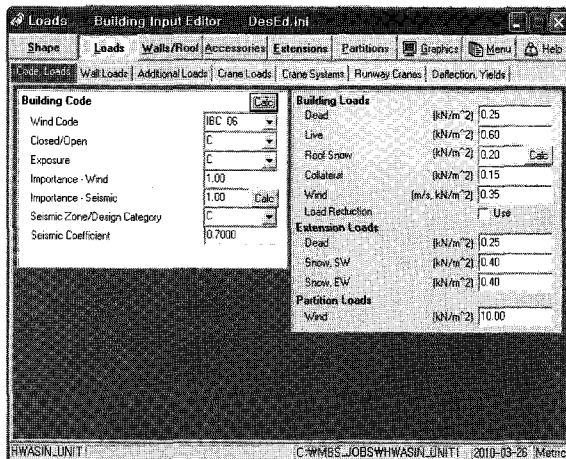
- Shape - 건물의 폭, 길이, 처마높이, 용마루높이, 지붕물매
- Bay Spacing - 주골조의 간격 및 End Wall Column의 간격
- Rigid Frames - 간격이 다른 주골조를 구분
- Interior Column - 내부 기둥의 위치 및 기둥 상하부의 구속 상태를 입력
- Special Shape - 용마루를 중심으로 양쪽의 지붕물매가 다른 경우 각각의 좌표로 주 골조의 형상을 입력



2.3.2 하중(Loads) 입력

하중 입력 창은 크게 Code/Loads, Additional Load, Crane Part, Deflection/Yields로 구성되어 있으며 입력내용은 다음과 같다.

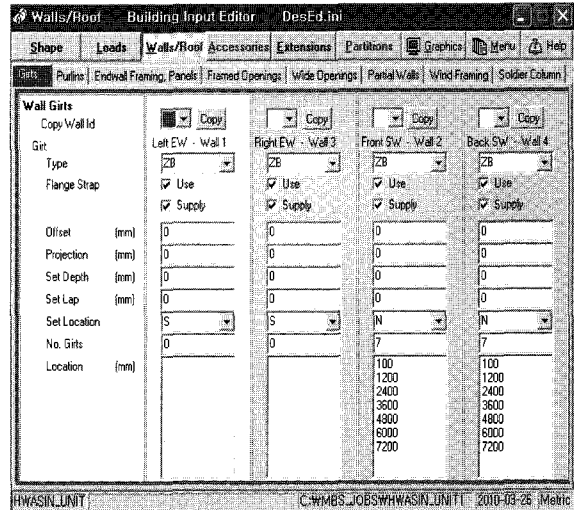
- Code/Loads - 적용하고자하는 기준 및 건물에 작용하는 등분포 하중
- Additional Load - Code/Loads에서 고려하지 못하는 집중하중 및 국부적인 하중
- Crane Part - Crane의 사양과 사용 범위
- Deflection/Yields - 건물의 변위제한 및 사용 강재의 항복강도



2.3.3 외벽 및 지붕(WALL/ROOF) 입력

외벽 및 지붕 입력 창은 크게 Girts, Purlins, Wall, Openings, Wind Framing으로 구성되어 있으며 입력내용은 다음과 같다.

- Girts - 4개 벽체의 Girt 종류와 위치를 입력
- Purlins - Roof의 Purlin 종류와 간격을 입력
- Wall - 양쪽 Endwall의 구조방식 및 칸막이 벽의 위치를 입력
- Openings - 개구부의 크기와 위치를 입력
- Wind Framing - Brace의 종류와 설치 위치를 입력



2.3.4 판넬 및 악세서리(Accessories) 입력

판넬, 물동이 및 악세서리를 입력

2.3.5 건물 연장부(Extension) 입력

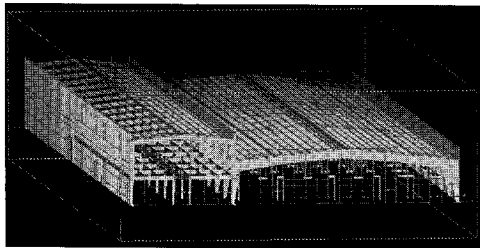
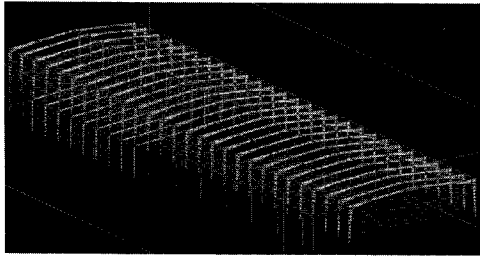
건물 외부의 연장부, 즉 캐노피와 파라펫을 입력 상기의 방식으로 구조물의 조건을 입력한 후 최적설계를 진행하면 된다.

3. 도면 및 생산 프로세스

3.1 생산도면(Shop Drawing)

PEB System에서는 구조설계 만큼 중요한 것이 생산도면 (shop Drawing)을 작성하는 것이다. 2D를 기반으로 생산도면을 작성하면 부재간의 간섭 등을 검토할 수가 없으며, 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. 그래서 간섭 등의 검토가 쉬우며, 효율성이 높은 3D기반의 생산도면 프로그램을 실무에 많이 사용한다.

3D기반의 생산도면 프로그램의 장점은 다음과 같다.



- (1) 철골도면 작성시간을 단축
- (2) 자동화된 도면을 생성하기 때문에 도면의 오기를 방지
- (3) 부품리스트, 자재리스트, 조립리스트, 도장면적을 자동으로 출력가능하기 때문에 대외적 경쟁력 향상

3.2 제작

발생응력에 저항할 수 있는 최적의 단면을 사용하는

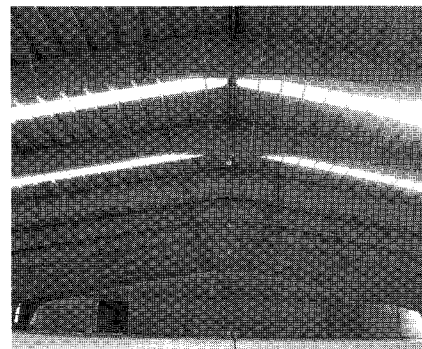
PEB System에서의 제작과정은 정밀도 확보와 품질관리가 필수적이다. 이는 구조체의 안전성을 확보하는 무척 중요한 요소이다.

PEB System은 제작과정은 아래의 그림과 같으며, 일반 철골 생산보다 PEB를 제작하는 1차 용접작업이 추가되어 있다.

PEB의 웨브는 굵이 큰 반면 두께가 작아서 제작시 1차 용접때 잔류 응력등으로 뒤틀리는 현상이 발생하는데 이는 교정기를 사용해서 해결하고 있다.

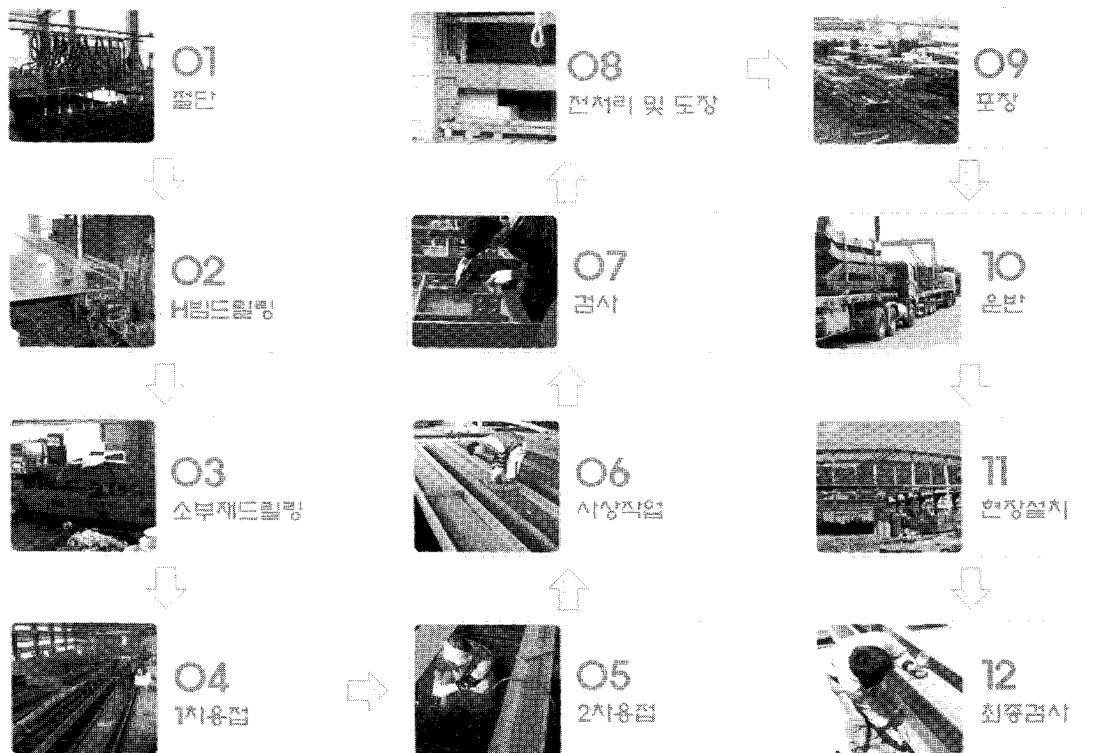
4. 시공사례

4.1 Y기업 창고 신축공사

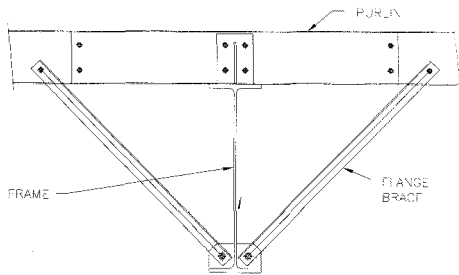


건물개요	
건물폭	78m
건물길이	60m
처마높이	5m
지붕물매	15/100
순경간	78m
기둥간격	10@6m

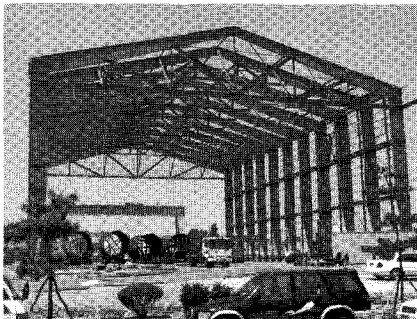
위의 사진은 경북 봉화에 위치한 Y기업의 창고 건물로



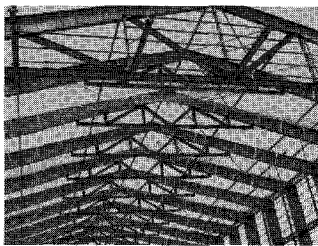
2008년에 설계하여 시공하였다. 지역 특성상 지배하중조합이 고정하중과 적재하중에 의한 것으로 기동상단과 지붕 트러스가 만나는 지점에서 모멘트가 집중되어 web춤이 2,000mm로 구조설계가 되었다. 이와 같이 web의 춤이 클 경우 웨브에 횡좌굴이 발생하게 되는데 이를 방지하기 위해서 아래의 그림과 같은 플랜지 스테이를 2.4m 간격으로 설치하였다.



4.2 S기업 Moving Shelter



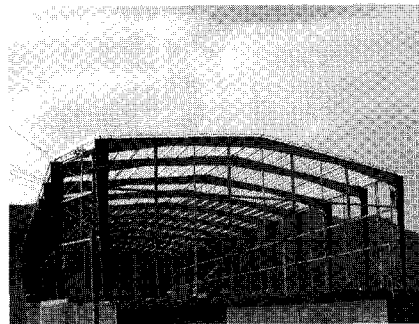
건물개요	
건물폭	36m
건물길이	60m
처마높이	16.5m
지붕물매	2/100
순경간	40m
기둥간격	5@12m



위의 사진은 울산에 위치한 S기업의 PEB형 이동식 구조물(Moving Shelter)이다. 이동식 구조물은 PEB System 구조물에 구동설비를 장착하여 건물이 레일을 따라 움직일 수 있게 한 것이다. 일반 철골구조물과 다르게 이동식 구조물은 기초와 상부구조물이 고정될 수 없기 때문에 구조물 설계시 부재의 안정성 검토와 더불어 사용성 검토 역시 중요하게 고려되어야 한다.

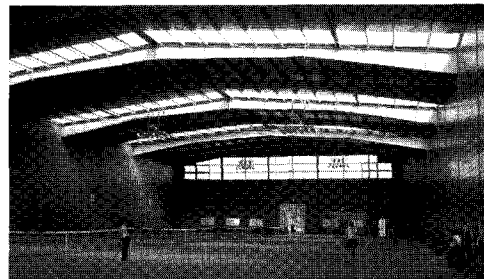
그림은 골조의 강성을 높이기 위해서 이동식 구조물 상부보를 트러스로 보강한 것으로 보강효과도 좋아 가장 많이 사용되고 있는 PEB골조 이동식 구조물의 전형적인 단면이다.

4.3 G 실내 테니스장



건물개요	
건물폭	36m
건물길이	60m
처마높이	16.5m
지붕물매	2/100
순경간	40m
기둥간격	5@12m

위의 사진은 대구에 위치한 G 실내 테니스장이다. PEB System는 경사진 기둥 때문에 내부공간의 활용이 떨어지는 단점이 있다. G 실내 테니스장의 경우 기둥의 경사진 부분을 건물의 바깥쪽으로 돌출시켜 기둥내부를 수직으로 하여 내부 공간을 효과적으로 활용할 수 있었다.



참 고 문 헌

1. 한국강구조학회, 강구조설계기준, 2003
2. 주기수, 채승훈, 김종식, PEB 골조 이동식 구조물의 설계 및 특성, 한국강구조학회지, 제 17권 4호, p.60~65
3. 이성희, 주기수외, 국내 돌발하중의 빈도증가에 대비한 대형 창고건물용 PEB시스템의 연성능력 향상방안, 한국강구조학회 2007년도 학술발표 논문집, p.306~311
4. Metal Building Manufacturers Association, Low Rise Building System Manual, 1986
5. Alexander Newman, Metal Building Systems Design and Specification, 1997
6. American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and other Structures, 2005, ASCE 7-05
7. Metal Building Manufacturers Association, Metal Building System Manual, 2006

[담당 : 김명한, 편집위원]