

철골조 학교건축에 관한 연구(4): 구조분야

Steel Skeleton School Building(4): Structure

이 경 회*, 김 상 대**, 이 선 구***, 박 영 기****,
 Lee, Kyung-Hoi Kim, Sang-Dae Lee, Sun-Goo Park, Young-Ki
 신 성 우*****, 구 재 오*****, 박 영 호*****, 박 흥 순*****
 Shin, Sung-Woo Koo, Jae-Oh Park, Young-Ho Park, Heung-Soon

1. 서 론

본 연구는 크게 계획, 환경, 구조, 재료 및 시공분야로 구분하여 종합적으로 추진되었으나 여기서는 구조분야에 관해서만 언급하였다.

1.1 연구배경 및 목적

급격히 변하는 시대 상황은 교육환경에서도 새로운 교육운영 방식과 시설을 요구하고 있으며, 특히 노후화된 초등 및 중등학교 시설의 현실을 감안할 때 교육환경과 시설의 개선은 시급한 과제가 되고 있다. 지금까지 기존의 학교건물은 대부분 철근콘크리트 라멘조로 건축되어 왔으나 이 구조의 몇가지 장점에도 불구하고 품질의 저하와 날로 증가되는 환경 문제 등을 고려할 때 새로운 재료에 의한 학교건물의 건축이 요구된다고 하겠다.

철골구조는 철강산업의 발전에 의해서 최근에 전세계적으로 널리 확산, 보급되고 있으며, 특히 초고층 건물 뿐만 아니라 주거용으로도 각광을 받고 있어, 이 구조를 학교건물에 도입하는 것은 시대적 요구와

변화를 고려할 때 철근콘크리트 구조에 대한 훌륭한 대안이 될 것으로 기대된다.

본 연구는 학교에서 가장 기본이 되는 건물(校舍)에 철골조를 도입하여 미래 지향적이며, 더 안전하고 효과적인 교육시설을 마련하는 데 기여하는 것을 목표로 삼고, 장점은 최대한 살리고, 단점은 보완하여 향후 전국적인 철골조 학교건물의 보급을 위한 기술 축적을 위해서 수행되었다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구의 진행은 일차적으로 현재 일반화되어 있는 R.C조 학교 3개교를 비교 모델로 선정하여 철골조로 변경할 경우에 예상되는 차이점 및 문제점(장·단점)을 파악하기 위하여 3개 모델에 대한 구조해석 및 평가를 수행하고, 국내·외의 현장을 직접 방문하여 자료를 수집하여 실제 문제점을 파악하였다. 또한 관련 전문가들의 자문을 통하여 수시로 연구의 방향과 내용을 보완하였다.

위의 연구내용을 토대로 국내 상황에 적합한 학교건축 모델을 제시하고, 제시된 모델안을 각각 R.C조와 철골조로 설계하여 구조시스템 제시 및 구조해석을 수행하고 타당성을 검토, 비교하여 종합적인 결론을 도출하였다.

2. 철골조의 장·단점 및 구조계획

2.1 철골조의 장·단점

* 정희원, 연세대 건축공학과 교수, 회장
 ** 정희원, 고려대 건축공학과 교수
 *** 정희원, 숭실대 건축공학과 교수
 **** 정희원, 연세대 건축공학과 교수
 ***** 정희원, 한양대 건축공학과 교수
 ***** 정희원, 강원대 건축공학과 교수
 ***** 정희원, (주)동양구조안전기술 사장
 ***** 정희원, (주)금강연구소 자재응용연구팀장

| R.C조 | 철골조 |
|--|--|
| 1) 철근콘크리트는 재료적 특성상 면적 및 형태의 모듈화가 쉽지 않고 균일한 강도를 얻기 어렵다. | 1) 역학적으로 많은 장점이 있어 철골조로 계획된 구조물은 면적 및 형태의 모듈화를 통하여 균일한 강도 및 구조계 획을 이룰 수 있다. |
| 2) 구조체에 개방된 공간이 많을수록 안전성에 문제가 발생하기 쉽다. | 2) 철골조는 장스팬 및 개구부가 많은 구조에서도 안전성을 확보할 수 있다. |
| 3) 같은 조건의 철골조 보다 실의 공간 손실 및 기초 구조가 커진다. | 3) 같은 설계 조건의 R.C조 보다 경량이고 단면이 작아지는 경향이 있어 실의 공간 손실이 작아지고, 기초구조 또한 경제적이다. |
| 4) 강재보다 에너지 흡수능력이 떨어진다. | 4) 강재의 에너지 흡수능력은 철근콘크리트조보다 뛰어나 지진시 횡력에 보다 유리하게 저항할 수 있다. |
| 5) 철골조에 비해 층간변위, 진동, 부식 등에서 유리하다. | 5) 층간변위나 진동 장애에 유의해야 할 필요가 있고, 집합부의 상태 및 강재 자체의 부식에 주의해야 한다. 6) 효율적인 구조계획 및 경량화에 따른 부수적 효과도 기대할 수 있다. |

2.2 구조계획

현재 국내의 학교 건물은 정형화된 구조물의 대표적인 건물로 인식되고 있는 것이 보통이고, 건설분야의 다른 구조물에서 사용이 꾸준히 증가되고 있는 철골조나 프리캐스트조 등의 구조시스템 도입이 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 철골조의 도입은 구조재료가 바뀌는 경우에 부대적으로 변경되는 많은 요소들(시스템, 마감재, 환경 등)과 더불어 전반적인 철골조 학교에 대한 인식과 가치의 전환을 가져올 수 있을 것이다.

구조계획에 있어서 철골조 학교는 합리적인 시스템을 이루도록 하며, 특히 평면계획은 철골조 구조시스템이 요구하는 제반조건에 부합될 수 있는 융통성을 가져야 한다.

또한 각종 구조부재의 규격화, 바닥구조의 프리패브화 등의 시도로 규격화, 경량된 시스템을 개발하여 철골조의 장점을 충분히 살려야 한다. 특히 실내 간벽 등의 이동 가능성은 R.C조나 PC 구조에서는 거의 기대하기 어려운 것으로 실의 용도가 교육환경 변화에 따라 다양해질 수 있는 학교 건물에서는 상당한 장점으로 작용하도록 계획한다. 더불어 순수 철골조 이외에 철근콘크리트와의 혼용이 이루어지더라도 무리가 없도록 계획한다.

3. 학교 건축의 구조시스템

3.1 학교 건축의 구조시스템 현황

현재 국내 학교건축의 주류를 이루는 구조시스템은 일반적인 중저층 철근콘크리트 구조물에서 통용되는 R.C 라멘조가 대부분이다. 다음 3개 학교 건물의 교사동을 중심으로 분석하여 일반적인 학교건물의 현황을 파악하고자 한다.

(1) 등현초등학교

시 공 : 1994년

층 수 : 옥탑 1층, 지상 4층

층 고 : 3.3m

구 조 : 철근콘크리트 라멘조

기 초 : 철근콘크리트 말뚝 기초

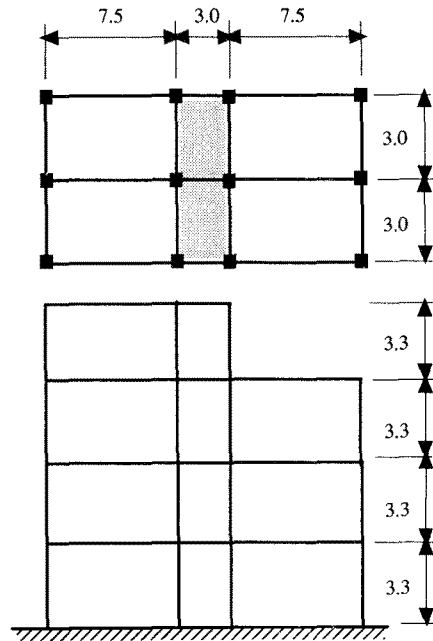


그림 1. 등현초등학교 평면 및 입면도

(2) 성재중학교

시 공 : 1994년

층 수 : 옥탑 1층, 지상 3층

층 고 : 3.3m

구 조 : 철근콘크리트 라멘조

기 초 : 철근콘크리트 말뚝 기초

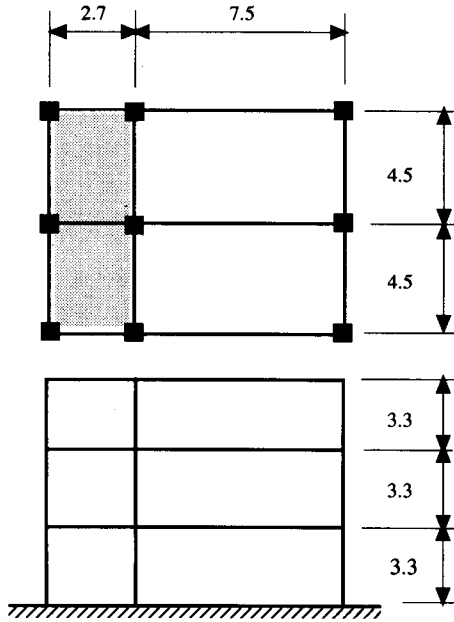


그림 2. 성재중학교 평면 및 입면도

(3) 상주중학교

층 수 : 옥탑 1층, 지상 3층
 층 고 : 3.3m
 구조 : 철근콘크리트 라멘조
 기초 : 철근콘크리트 말뚝 기초

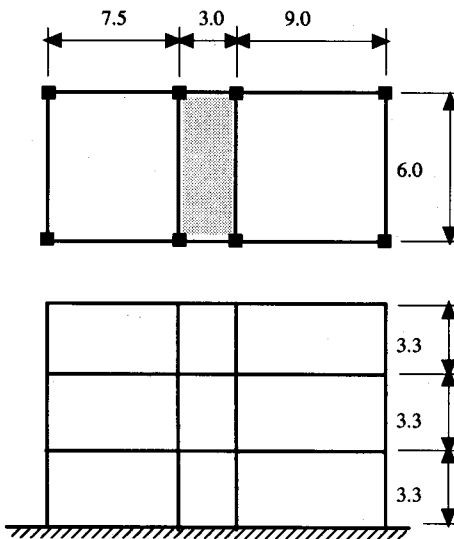


그림 3. 상주중학교 평면도 및 입면도

(4) 3개교의 구조적 공간구성 분석

3개교의 현황 파악을 통하여 나타난 일반적인 구조적 공간 구성의 특성은 표 1에 정리하였다.

표 1. 구조적 공간 구성의 특성

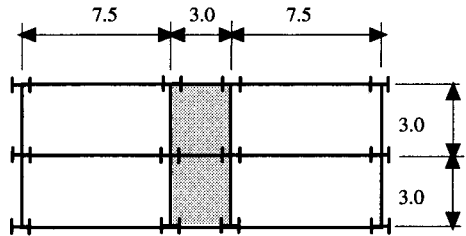
| 학교명 | 평면 배치 형태 | 구조 모듈 (m×m) | 복도폭 (m) | 층고 (m) |
|--------|----------|-------------|---------|--------|
| 등현초등학교 | 중복도형 | 7.5×3.0 | 3.0 | 3.3 |
| 성재중학교 | 편복도형 | 7.5×4.5 | 2.7 | 3.3 |
| 상주중학교 | 중복도형 | 7.5×6.0 | 3.0 | 3.3 |

3.2 기존 R.C조의 철골조 전환 방안

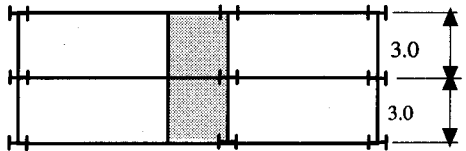
기존 R.C조 3개교를 평면계획의 변화없이 단순 철골조로 전환할 경우(TYPE-A)와 복도의 좌, 우 기둥 중 하나를 제거할 경우(TYPE-B), 두가지 형태의 구조모듈을 해석하여 구조계획적 측면에서 상호 비교하여 새 모델을 제시한다.

(1) 등현초등학교

(가) TYPE-A

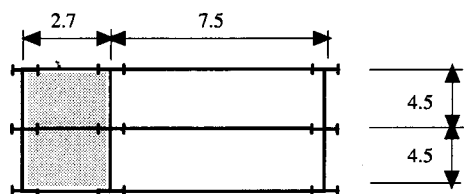


(나) TYPE - B

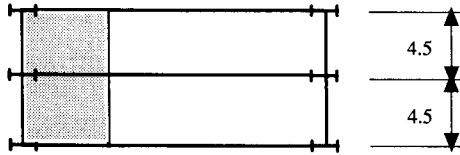


(2) 성재 중학교

(가) TYPE-A

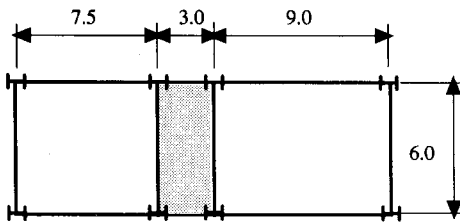


(나) TYPE - B

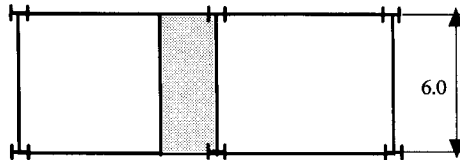


(3) 상주중학교

(가) TYPE-A



(나) TYPE - B



3.3 기존 R.C조/철골조안 비교 검토

(1) 제원 비교

(가) 기둥

R.C조에 비해 철골조의 경우, 거의 모든 기둥이 단면 감소 효과를 나타내고 있다. 기둥의 경우, 실의 이용자들이 직접적으로 공간의 효율성을 느낄 수 있고, 벽체의 마감과도 관련이 있기 때문에 철골조 공간 이용성의 장점을 쉽게 느낄 수 있다. 결과적으로 기존의 R.C조를 평면계획의 변화 없이 혹은 단순 변형

표 2. 기둥의 제원

(단위 : cm)

| 학교명 | R.C 조 | 철골조 | | 비고 |
|--------|-------|----------------|----------------|-----|
| | | TYPE A | TYPE B | |
| 등현초등학교 | 50×35 | 25×25 20×20 | 25×25 20×20 | 춤×폭 |
| 성재중학교 | 50×40 | 25×25 20×20 | 30×30 | |
| 상주중학교 | 60×40 | 30×30 | 30×30 | |

만으로도 상당히 공간 이용율을 높일 수 있다는 것을 보여준다.

(나) 보

기둥에 비해 직접적인 공간 이용율의 증가를 경험할 수는 없지만 첨단 설비가 증대되고 있는 현실을 감안할 때, 천정고의 확보와 설비공간을 유리하게 이용할 수 있다는 점을 알 수 있다.

표 3. 보의 제원

(단위 : cm)

| 학교명 | R.C 조 | 철골조 | | 비고 |
|--------|-------|--------|---------|-----|
| | | TYPE A | TYPE B | |
| 등현초등학교 | 50×35 | 45×20 | 50×20 | 춤×폭 |
| 성재중학교 | 55×40 | 50×20 | 50×20 | |
| 상주중학교 | 60×40 | 50×20 | 48.8×30 | |

(2) 탄성해석 비교 - 내진설계 기준

기존 R.C조 1개교(등현초등학교)를 비교 대상으로 하여 탄성해석을 할 경우, 즉 항복응력을 기준으로 허용응력설계를 할 경우의 결과는 비탄성 해석을 할 경우의 R.C조 및 철골조 거동과 비교된다.

탄성 영역에서의 구조물의 거동은 최종적인 내력의 검토가 이루어지는 비탄성 영역에서의 거동과는 다른 양상을 나타내기 때문에 R.C조와 철골조의 차이점을 분명하게 보여주는 자료가 된다. 다음 표 4의 탄성해석 결과는 비탄성해석 결과를 검토하는 과정에서 자세히 다루어 진다.

표 4. R.C조와 철골조의 탄성해석 결과

| 구 조 | | R.C조 | | 철골조 | |
|-------------|-------------|-------|------|-------|-------|
| 내진 성능 | 건물의 자중(ton) | 82.53 | | 11.73 | |
| | 밀면전단력(ton) | 6.66 | 8.1% | 2.4 | 20.5% |
| 최상층 변위 (cm) | | 0.9 | | 1.08 | |

주) 기준 : $V = \frac{AISC}{R} W$ 에서 건물의 자중 W에 대한 %로 평가

(3) 비탄성 해석 비교

(가) 밀면전단력

최종단계 (Drift Ratio:1/80)에 대한 값을 비교한 결과 표 5에서 밀면전단력의 증가율이 R.C조에서 크게 나타나고 있다. 이것은 내진해석시에 밀면전단력이

각 층별 횡하중으로 전환되는 점을 고려할 때 철골조가 R.C조보다 유리함을 나타낸다.

표 5. R.C조와 철골조의 밀면전단력

| 해석 방법 | | R.C조 | 철골조 | 비고 |
|--------------|-------------|-------|-------|----|
| 탄성 해석(ton) | | 6.66 | 2.40 | |
| 하부 기둥 항복시 | 비탄성 해석(ton) | 13.08 | 4.23 | |
| | 증가율 | 1.96 | 1.76 | |
| 최종단계 | 비탄성 해석(ton) | 68.55 | 15.18 | |
| | 증가율 | 10.3 | 6.33 | |

(나) 최상층 변위

- ① 철골조의 최상층 변위가 전반적으로 R.C조보다 크게 나타나는 것은 강재의 유연성에 기인하지만 변위값이 모두 허용범위 내에 있으므로 비탄성해석시의 검토에는 문제가 되지 않는다.
- ② 탄성해석과 비탄성 해석결과 모두 R.C조에서 변위가 조금 작게 나왔으나 변위의 증가율은 R.C조에서 더 크게 나타나고 있다. 따라서 비탄성 영역에서의 거동이 발생하는 경우, 변위의 증가율이 작은 철골조가 유리하다고 할 수 있다.

표 6. R.C조와 철골조의 최상층 변위

| 해석 방법 | R.C조 | 철골조 | 허용치 |
|-------------|-------|-------|------|
| 탄성 해석 (cm) | 0.90 | 1.08 | 2.47 |
| 비탄성 해석 (cm) | 9.48 | 10.04 | |
| 증가율 | 10.50 | 9.30 | |

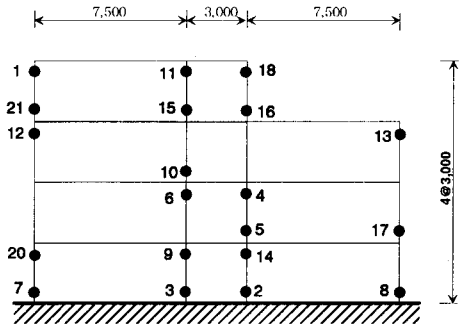
(다) 소성힌지

① R.C조

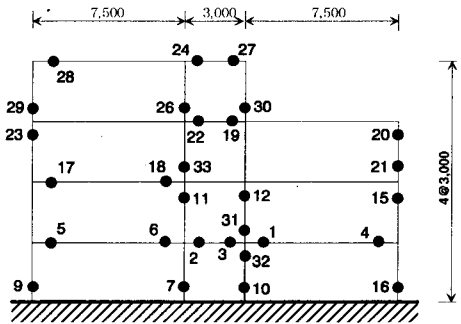
소성힌지 8번 (1층 우측 기둥 하부)에 소성힌지가 형성될 경우, 구조물의 붕괴 매카니즘을 정할 수 있다. 이것은 여러 붕괴 매카니즘 중의 한 경우에 해당되며, 하부 기둥의 파괴에 의한 붕괴 매카니즘을 볼 수 있다. 또한 4층에서는 21번 힌지가 발생할 때 Side Sway 매카니즘이 형성되고 있다. 이 때 구조물의 층간변위비(Drift Ratio)가 기준값을 초과하게 되어 전체적인 붕괴 매카니즘이 형성된다.

② 철골조

R.C조에서의 마찬가지로 1층 기둥 하부의 파괴로 1차 붕괴 매카니즘이 형성되었다고 판단할 수 있으나 R.C조 보다는 많은 16개의 소성힌지가 발생한 후에 매카니즘이 형성되고 있고, 층간변위비(Drift Ratio)가 규정값을 초과할 때까지 더 많은 소성힌지가 발생하고 있다.



(a) R.C조



(b) 철골조

그림 4. 소성힌지 형성

③ 평가

R.C조의 경우에 기둥에만 소성힌지가 발생하고 있는데 이것은 기둥과 보의 단면을 동일하게 선정함으로 인해 더 많은 하중을 받는 기둥에서 집중적인 소성힌지가 형성된 것으로 판단된다. 구조물의 붕괴에 있어서 기둥의 파괴가 가장 위험한 영역임을 감안하면 표 7에서 보여지는 것과 같이 철골조의 소성 능력이 R.C조보다 유리하다고 할 수 있다.

표 7. R.C조와 철골조의 붕괴 매카니즘

| | R.C조 | 철골조 | 비고 |
|----------------------|-------------------------|-----|----|
| 소성 힌지수 | 20 | 29 | |
| 1층 하부 기둥 붕괴에 이르는 힌지수 | 8 | 16 | |
| 붕괴 매카니즘 | Side Sway + 1층 하부 기둥 붕괴 | 복합 | |

주) 붕괴 매카니즘 형성 Drift Ratio : 1/80

(라) 비탄성 거동에 의한 내진성능 비교

- ① 건물의 완전 붕괴까지는 건물의 자중에 대한 비율이 상당히 크게 나타나고 있지만 실제로 1층 하부 기둥이 파괴되면 안전성 면에서 건물의 붕괴 매카니즘이 형성된 것으로 볼 수 있으므로 R.C조와 철골조에서 탄성해석에 의한 값보다 약 2배 정도의 하중에 대해 견딜 수 있다.
- ② 전체적으로 살펴보면 R.C조는 상당히 강하게 설계되어 있다. 기둥에만 파괴가 일어나고 있고, 구조물이 비탄성 영역에서 거동하기 전에 파괴되고 있어 내진 성능면에서는 위협하다고 할 수 있다.
- ③ 철골조는 R.C조보다는 보에서 많은 소성힌지가 형성되고 있으며, 소성힌지가 상당히 형성된 후에 1층 기둥하부가 파괴에 이르고 있고, 최종 붕괴시까지 소성힌지의 형성이 분산되어 있어 R.C조보다는 내진 성능면에서 우수하다고 할 수 있다. 1층 하부 외측기둥을 보강하여 내진 성능을 좀 더 향상시킬 수 있을 것으로 보인다.

표 8. 내진성능 평가

| | | R.C조 | | 철골조 | |
|------------------|-----------|-------|-------|-------|--------|
| 건물의 자중 (ton) | | 82.53 | | 11.73 | |
| Base shear (ton) | 탄성해석 | 6.66 | 8.1% | 2.4 | 20.5% |
| | 1층 기둥 항복시 | 13.08 | 15.8% | 4.23 | 36.1% |
| | 최종 단계 | 68.55 | 83.1% | 15.18 | 129.4% |

주) 기준 : $V = \frac{AISC}{R} W$ 에서 건물의 자중 W에 대한 %로 평가

(마) 기 타

- ① 층전단력 - 층간변위비

모두 1층에서 하부 기둥의 파괴로 인하여 비탄성 거동이 가장 미미하게 나타나고 있으며, R.C조에서는 비탄성 거동이 거의 나타나지 않고 있지만 철골조에서는 3층에서 비탄성 거동이 나타나고 있다. R.C조에서는 2층에서 층간변위비(Drift Ratio)가 기준값을 초과하고 있지만 철골조에서는 3층에서 기준값을 초과하고 있다.

② 횡변위 (Lateral Displacement)

R.C조에서는 3층에서 횡변위가 급격히 증가하고 있으나 철골조에서는 2층에서 횡변위가 급격히 증가하고 있다.

③ 층간변위비 (Drift Ratio)

R.C조에서는 3층, 철골조에서는 2층에서 층간변위비가 급격히 증가하고 있다.

④ 전도모멘트 (Overturning Moment)

R.C조와 철골조에서 모두 비탄성 거동을 잘 나타내고 있으며, 전체적으로 R.C조가 철골조보다 약 5배 정도 큰 값이 나오고 있다.

⑤ 층전단력 (Story Shear)

전도모멘트와 비슷한 양상을 보이고 있다.

⑥ 연성 (Ductility)

R.C조에서는 3층에서 연성이 가장 크게 나오고 있으며, 철골조에서는 1층에서 상당히 큰 연성이 발생되고 있다.

3.4 철골조 학교의 구조시스템

(1) 철골조 학교의 구조시스템

철골조의 경우, 강축방향은 라멘구조의 휨 변형으로 에너지를 흡수하여 횡력에 저항할 수 있는 구조로 하고, 약축 방향은 수평력의 전체 혹은 일부를 가새(Brace)가 부담하는 가새구조로 하는 형식이 일반적이다. 그러나 많은 자연채광을 필요로 하여 개구부가 많고, 학생들의 움직임이 활발한 학교건축에 있어서는 양방향 라멘구조로 가새를 두지 않는 구조시스템을 선택할 수도 있다.

일반적으로 철골조에서는 기둥에 H형강을 사용하게 되는데, 양방향 (X, Y방향) 모두 강성이 같도록 제작된 조립재 (Built-Up)가 아니므로 양방향 강성의 차이가 있어서 같은 조건이 아니기 때문에 양방향 모두 라멘구조로 횡력에 저항하는 구조시스템을 선택하는 경우, 사전에 협의를 거쳐서 설계에 반영하는 것이 필요하다.

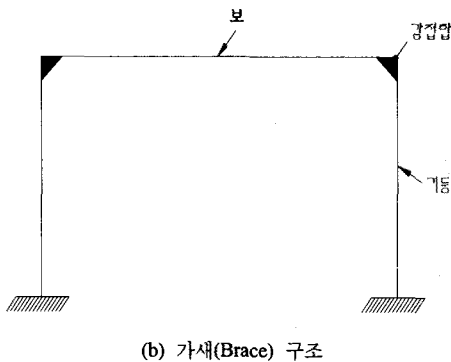
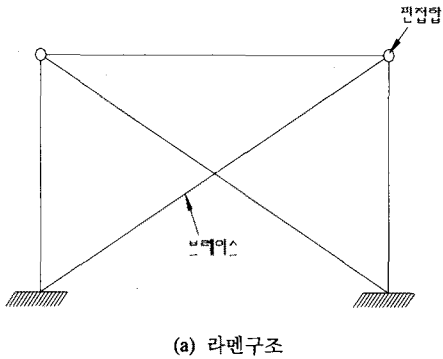


그림 5. 라멘과 가새구조

(2) 내부 구조 방식

1차 골조(Main Frame)를 일반 철골조로 하고, 몇 개의 실을 이루는 단위마다 최소 치수의 경량 철골로 기둥과 보를 설치하여 부담 하중을 줄이고, 용도변경이 용이하도록 한다. 설계초기 단계에 결정된 실의 용도가 추후 변경되면 용도 변경에 따라 보와 기둥이 평면계획에 지장을 주는 요소가 될 수 있다. 따라서 경량철골의 이용은 철골조의 해체범위를 줄이고, 다양한 평면계획에 지장을 주지 않기 위해 사용될 수 있고, 더불어 실간(室間) 벽체가 이동 가능할 경우는 실을 다용도로 이용할 수 있다.

4. 철골조 계획안에 대한 구조해석

기존 R.C조 학교를 철골조로 전환한 경우에 대한 여러 가지 검토 등을 토대로 국내의 가장 일반적인 교실(계획분야의 검토 참조) 크기를 감안하여 제안된 9.0m×7.5m 모듈(중복도형과 편복도형)과 가까운 장

래에 실현될 다양한 수업형태에 알맞은 교실 형태를 고려하여 제안된 8.4m×8.4m 모듈에 대하여 R.C조와 철골조로 구조해석을 수행하고, 비교 검토하여 구조적으로 가장 적절한 안을 마련하도록 한다.

4.1 구조설계 개요

(1) 건물개요

- 건물의 용도 : 학교
- 건물의 규모 : 지상 3층
- : 층고 3.3m

(2) 구조 개요

- 지상 구조
 - 모델 1-1 : 9.0m×7.5m 철골조 (중복도형)
 - 모델 1-2 : 9.0m×7.5m R.C조 (중복도형)
 - 모델 2-1 : 9.0m×7.5m 철골조 (편복도형)
 - 모델 2-2 : 9.0m×7.5m R.C조 (편복도형)
 - 모델 3-1 : 8.4m×8.4m 철골조 (편복도형)
 - 모델 3-2 : 8.4m×8.4m R.C조 (편복도형)

- 기초 구조 : 전 모델 R.C 독립기초

(3) 구조설계기준

- 적용기준
 - 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙
 - 건설부
 - 한국강구조 설계기준 및 해설
 - 철근콘크리트 설계기준 및 해설
 - 대한건축학회
- 참고기준
 - UBC 1988, ACI 318-89, AISC

(4) 구조재료의 규격 및 설계기준 강도

- 형강 및 강판: SS41 ($f_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$)
- 고력볼트 : F10T M20
- 콘크리트 : $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- 철근 : SD30 ($f_y = 3,000 \text{ kg/cm}^2$)

(5) 기초지반 (가정)

- 허용지내력도 : $F_c = 30 \text{ t/m}^2$
- 설계지하수위 : 없는 것으로 가정

(6) 구조계산용 프로그램
· ETABS & STAADⅢ

표 11. R.C조 하중표 (단위 : kg/m²)

| | | 고정하중 | 적재하중 |
|-----|-----|------|------|
| 지붕층 | | 390 | 80 |
| 기준층 | | 440 | 250 |
| 화장실 | | 460 | 250 |
| 계단 | 계단참 | 418 | 300 |
| | 계단판 | 750 | 300 |
| 외벽 | | 416 | |
| 내벽 | | 245 | |

표 12. 철골조 하중표 (단위 : kg/m²)

| | | 마감내용 | 고정하중 | 적재하중 |
|-------------------|-------|---------------|------|------|
| 지붕층 | | 샌드위치 패널 | 30 | 80 |
| | | 퍼린 & 가새 | 20 | |
| | | 천정판 (Ceiling) | 30 | |
| | | | 80 | |
| 교실, 복도, 사무실 | | 마감 (t=24) | 48 | 250 |
| | | 몰탈 (t=40) | 80 | |
| | | 슬래브 (t=120) | 290 | |
| | | 천정판 | 20 | |
| | | | 440 | |
| 화장실 | | 마감 (t=15) | 30 | 250 |
| | | 방수및몰탈(t=60) | 120 | |
| | | 슬래브 (t=120) | 290 | |
| | | 천정판 | 20 | |
| | | | 460 | |
| 계단 | 참 | 마감 (t=24) | 48 | 300 |
| | | 몰탈 (t=40) | 80 | |
| | | 슬래브 (t=120) | 290 | |
| | | | 418 | |
| | 판 | 마감 (t=24) | 74 | 300 |
| | | 몰탈 (t=20) | 40 | |
| | | 슬래브 (t=208) | 614 | |
| | | 몰탈 (t=20) | 750 | |
| 외벽 | 판넬 | 200 | | |
| 내벽 | 간막이 벽 | | 100 | |
| | | 몰탈 (t=36) | 72 | |
| | | 벽돌(Brick) | 171 | |
| | | | 245 | |

4.2 설계하중

(1) 고정하중과 적재하중

비교대상이 되는 구조물은 R.C조 및 철골조로 설계되었으므로 각 자중 및 마감의 변화에 따라 적용하중이 다르게 된다. 따라서 다음의 하중표에 따라 각 모델에 적용되는 하중을 선택한다.

또한 실의 용도가 확정되지 않은 상태이므로 각 실은 교실에 준하여 아래의 하중을 적용한다.

(2) 풍하중 (Wind Load)

Wind Load는 건축물의 구조규준 등에 관한 규칙 (건설부, 1988) 제 13조에 근거하여 산정하였다.

설계기준풍속 $v_o = 35.0 \text{ m/sec}$

노풍도 B

풍력계수 C = 1.4

| 설계속도압 | q (kg/m ²) | 높이 (m) |
|-------|------------------------|--------|
| | 110.00 | 9.9 |
| | 106.67 | 6.6 |
| | 103.33 | 3.3 |

(3) 지진하중 (Earthquake Load)

Earthquake Load는 건축물의 구조규준 등에 관한 규칙(건설부, 1988) 제 14조에 근거하여 산정하였다.

$$V = \frac{A \cdot I \cdot C \cdot S}{R} W$$

$$F = \frac{W \cdot H}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot H_i} V$$

V : 밑면전단력

A : 지역계수 (= 0.12, ZONE 2)

I : 중요도계수 (= 1.0)

C : 동적계수 (= 1.21)

S : 지반계수 (= 1.0)

R : 반응수정계수 (철골조 = 6.0)

(R.C조 = 4.5)

W : 건축물의 전중량

F : 층 지진하중

표 5.13 지진하중 산정(1)

| 모델 | 층 | W_i (t) | H_i (m) | $W_i * H_i$ | $W*H /$ $SUM(W*H)$ |
|-----|-----|--------------|--------------|-------------|-----------------------|
| 1-1 | RF | 13.0 | 9.9 | 128.70 | 0.112 |
| | 3 | 103.4 | 6.6 | 682.44 | 0.592 |
| | 2 | 103.4 | 3.3 | 341.22 | 0.296 |
| | 1 | - | - | - | - |
| | SUM | 219.8 | - | 1152.36 | 1 |
| 1-2 | RF | 63.2 | 9.9 | 625.68 | 0.352 |
| | 3 | 116.2 | 6.6 | 766.92 | 0.437 |
| | 2 | 116.2 | 3.3 | 383.46 | 0.216 |
| | 1 | - | - | - | - |
| | SUM | 295.6 | - | 1776.06 | 1 |
| 2-1 | RF | 7.13 | 9.9 | 70.59 | 0.104 |
| | 3 | 61.19 | 6.6 | 403.85 | 0.597 |
| | 2 | 61.19 | 3.3 | 201.93 | 0.299 |
| | 1 | - | - | - | - |
| | SUM | 129.51 | - | 676.37 | 1 |
| 2-2 | RF | 34.75 | 9.9 | 344.03 | 0.319 |
| | 3 | 74.02 | 6.6 | 488.53 | 0.454 |
| | 2 | 74.02 | 3.3 | 244.27 | 0.227 |
| | 1 | - | - | - | - |
| | SUM | 182.79 | - | 1076.83 | 1 |
| 3-1 | RF | 7.26 | 9.9 | 71.87 | 0.106 |
| | 3 | 61.30 | 6.6 | 404.58 | 0.596 |
| | 2 | 61.30 | 3.3 | 202.29 | 0.298 |
| | 1 | - | - | - | - |
| | SUM | 129.86 | - | 678.74 | 1 |
| 3-2 | RF | 35.38 | 9.9 | 350.26 | 0.326 |
| | 3 | 73.30 | 6.6 | 483.78 | 0.450 |
| | 2 | 73.30 | 3.3 | 241.89 | 0.225 |
| | 1 | - | - | - | - |
| | SUM | 181.98 | - | 1075.93 | 1 |

표 5.13 지진하중 산정(2)

| 모델 | 층 | F (t) | V (t) | M (t.m) |
|-----|-----|----------|----------|------------|
| 1-1 | RF | 0.60 | | |
| | 3 | 3.15 | 0.60 | 1.98 |
| | 2 | 1.57 | 3.75 | 14.36 |
| | 1 | - | 5.32 | 31.91 |
| | SUM | 5.32 | - | - |
| 1-2 | RF | 3.36 | - | - |
| | 3 | 4.17 | 3.36 | 11.10 |
| | 2 | 2.06 | 7.53 | 35.94 |
| | 1 | - | 9.54 | 67.58 |
| | SUM | 9.54 | - | - |
| 2-1 | RF | 0.33 | - | - |
| | 3 | 1.87 | 0.33 | 1.09 |
| | 2 | 0.94 | 2.20 | 8.35 |
| | 1 | - | 3.14 | 18.71 |
| | SUM | 3.14 | - | - |
| 2-2 | RF | 1.88 | - | - |
| | 3 | 2.68 | 1.88 | 6.20 |
| | 2 | 1.34 | 4.56 | 21.25 |
| | 1 | - | 5.90 | 40.72 |
| | SUM | 5.90 | - | - |
| 3-1 | RF | 0.34 | - | - |
| | 3 | 1.88 | 0.34 | 1.09 |
| | 2 | 0.95 | 2.22 | 8.35 |
| | 1 | - | 3.17 | 18.71 |
| | SUM | 3.17 | - | - |
| 3-2 | RF | 1.91 | - | - |
| | 3 | 2.64 | 1.91 | 6.30 |
| | 2 | 1.32 | 4.55 | 21.32 |
| | 1 | - | 5.87 | 40.69 |
| | SUM | 5.87 | - | - |

(4) 수평하중 적용 비교

표 14. 수평하중의 분포 (단위 : t)

| 적용 하중 | 층 | 모 델 | | | | | |
|------------------|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1-1 | 1-2 | 2-1 | 2-2 | 3-1 | 3-2 |
| 풍 하 중 | RF | 4.51 | 4.51 | 4.51 | 4.51 | 4.27 | 4.27 |
| | 3 | 4.44 | 4.44 | 4.44 | 4.44 | 4.14 | 4.14 |
| | 2 | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 4.01 | 4.01 |
| | 1 | - | - | - | - | - | - |
| | SUM | 13.25 | 13.25 | 13.25 | 13.25 | 12.42 | 12.42 |
| 지 진 하 중 | RF | 0.6 | 3.36 | 0.33 | 1.88 | 0.34 | 1.91 |
| | 3 | 3.15 | 4.17 | 1.87 | 2.68 | 1.88 | 2.64 |
| | 2 | 1.57 | 2.06 | 0.94 | 1.34 | 0.95 | 1.32 |
| | 1 | - | - | - | - | - | - |
| | SUM | 5.32 | 9.54 | 3.14 | 5.90 | 3.17 | 5.87 |

4.3 구조 평면도

- (1) 모델1-1: 9.0×7.5 모듈 철골조(중복도)
- (2) 모델1-2: 9.0×7.5 모듈 R.C조(중복도)
- (3) 모델2-1: 9.0×7.5 모듈 철골조(편복도)
- (4) 모델2-2: 9.0×7.5 모듈 R.C조(편복도)
- (5) 모델3-1: 8.4×8.4 모듈 철골조(편복도)
- (6) 모델3-2: 8.4×8.4 모듈 R.C조(편복도)

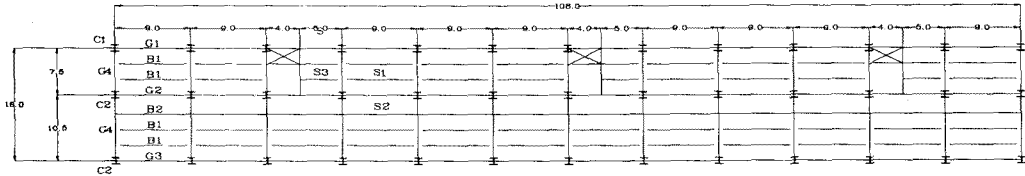
4.4 응력 해석 (FRAME ANALYSIS)

(1) 변위 (DISPLACEMENT)

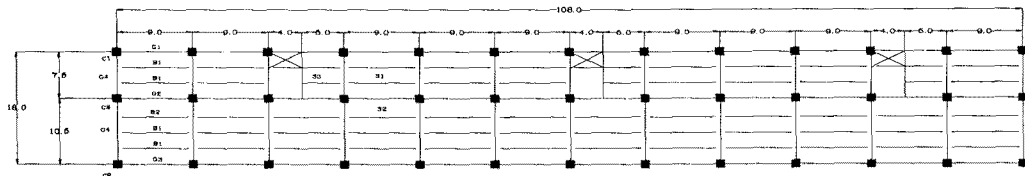
(가) 수평변위

전체적으로 R.C조의 변위가 약간 적은 값을 나타내고 있지만 부재 선정의 차이에 따라 달라질 수 있으며, R.C조와 철골조 모두 허용치 내에 있다. 철골조 중에서 1-1의 변위가 가장 적은 것은 중복도형으

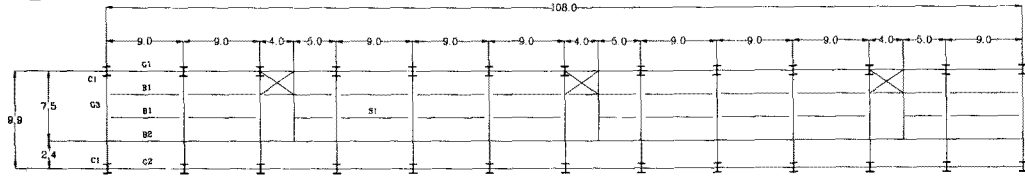
(1) 모델 1-1



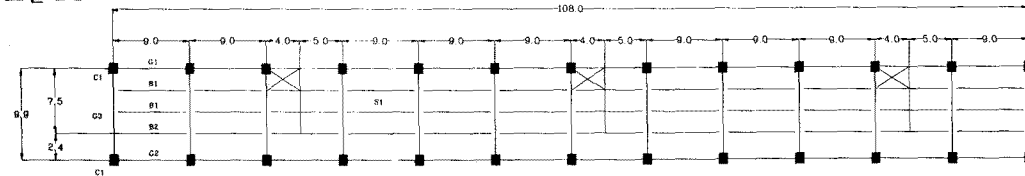
(2) 모델 1-2



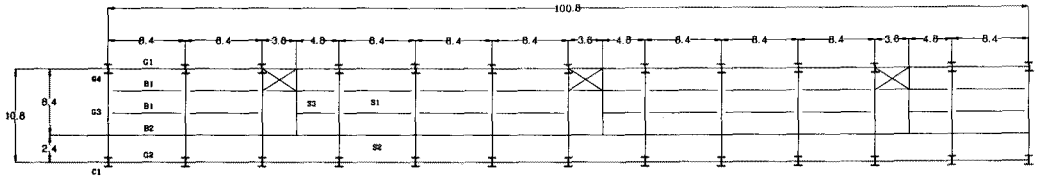
(3) 모델 2-1



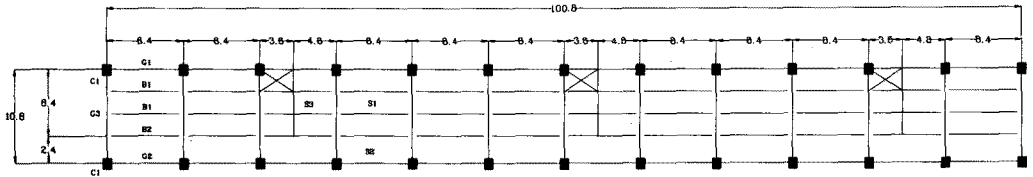
(4) 모델 2-2



(5) 모델 3-1



(6) 모델 3-2



로 강성이 큰 것(기둥 3개)이 이유이고, 같은 편복도 형을 비교해 볼 때 9.0m×7.5m 모듈보다 8.4m×8.4m 모듈이 더 효율적이라고 할 수 있다.

(나) 수직변위

역시 R.C조의 변위가 약간 적은 값을 나타내고 있고, R.C조와 철골조 모두 허용치 내에 있다. 수직 변위에서는 스패인 길어지면 그 부담면적이 그만큼 비례해서 값이 커지는 경향을 나타내고 있으나 부재의 선택에 따라 달라질 수 있다.

표 15. 수평 및 수직변위 (단위 : cm)

| 모델 | 수평 변위 (기둥) | | 수직 변위 (거더) | | 비고 |
|-----|------------|-----------|------------|-----------|------|
| | 최대값 | 허용값 H/400 | 최대값 | 허용값 L/300 | |
| 1-1 | 0.63 | 2.48 | 1.31 | 2.50 | 철골조 |
| 1-2 | 0.35 | 2.48 | 1.70 | 2.50 | R.C조 |
| 2-1 | 1.29 | 2.48 | 1.85 | 2.50 | 철골조 |
| 2-2 | 0.73 | 2.48 | 1.54 | 2.50 | R.C조 |
| 3-1 | 1.13 | 2.48 | 2.15 | 2.80 | 철골조 |
| 3-2 | 0.71 | 2.48 | 1.96 | 2.80 | R.C조 |

(2) 주요 부재 검토

(가) 기둥

전반적으로 철골조가 R.C조보다 단면적이 작다. 이것은 앞에서 기존 R.C조를 철골조로 전환할 경우에도 보았듯이 공간 효율성이 커지게 되는 철골조의 장점으로 작용한다. 모든 철골조에서 50% 가까이 단

면적의 감소를 보이고 있다.

예) 8.4m×8.4m 모듈 (R.C조:0.30 m², 철골조 0.16 m², 약 47% 감소)

표 16. 기둥 일람표

| 모델 | 명칭 | 부재 | 베이스 플레이트 (Base Plate) | | |
|-----|----------------|-----------|-----------------------|---------|-------|
| | | | 크기 (mm) | 두께 (mm) | 앵커 볼트 |
| 1-1 | C ₁ | H 300×300 | 400×400 | 20 | 4-M20 |
| | C ₂ | H 394×398 | 500×500 | 20 | 4-M20 |
| 2-1 | C ₁ | H 350×350 | 450×450 | 22 | 4-M20 |
| 3-1 | C ₁ | H 394×398 | 500×500 | 22 | 4-M20 |
| 1-2 | C ₁ | □ 400×400 | | | |
| | C ₂ | □ 500×500 | | | |
| 2-2 | C ₁ | □ 500×500 | | | |
| 3-2 | C ₁ | □ 550×550 | | | |

(나) 보와 거더

① R.C조와 철골조에서 가장 큰 보의 경우, 층의 차이가 약 25cm 정도를 보이고 있다. 철골조의 경우는 설비라인 등을 위해서 부재에 홀을 뚫어 공간 확보가 R.C조에 비해 유리한 데다 전반적으로 층이 더 작은 경향을 보이기 때문에 교실의 층고 등을 낮출 수 있다.

② 모델별로 살펴보면 8.4m×8.4m 모듈은 최대 스패인 8.4m로 최대 9.0m인 다른 모듈보다 전반적으로 작고 가벼운 부재들이 선택되었다.

표 17. 보 및 거더 일람표

| 모델 | 명 칭 | 부 재 | 모델 | 명 칭 | 부재 (폭 × 춤) |
|-----|-----------------------------------|-----------------|-----|-----------------------------------|------------|
| 1-1 | G ₁ , G ₂ | H 400×200×8×13 | 1-2 | G ₁ , G ₂ | □ 300×600 |
| | RG ₁ , RG ₂ | H 244×175×7×11 | | RG ₁ | □ 250×500 |
| | G ₃ | H 440×300×11×18 | | RG ₂ | □ 250×550 |
| | G ₄ | H 588×300×14×23 | | G ₃ | □ 400×800 |
| | RG ₃ , RG ₄ | H 400×200×8×13 | | G ₄ | □ 450×850 |
| | B ₁ | H 450×200×9×14 | | RG ₃ | □ 350×600 |
| | B ₂ | H 482×300×11×15 | | RG ₄ | □ 400×700 |
| | RB ₁ , RB ₂ | H 294×200×8×12 | | B ₁ , B ₂ | □ 300×600 |
| 2-1 | G ₁ , G ₂ | H 400×200×8×13 | 2-2 | G ₁ , G ₂ | □ 300×600 |
| | RG ₁ , RG ₂ | H 244×175×7×11 | | RG ₁ , RG ₂ | □ 250×500 |
| | G ₃ | H 488×300×11×18 | | G ₃ | □ 400×750 |
| | RG ₃ | H 400×200×8×13 | | RG ₃ | □ 350×650 |
| | B ₁ | H 450×200×9×14 | | B ₁ , B ₂ | □ 300×600 |
| | B ₂ | H 482×300×11×15 | | RB ₁ , RB ₂ | □ 300×600 |
| | RB ₁ , RB ₂ | H 294×200×8×12 | | | |
| 3-1 | G ₁ , G ₂ | H 294×200×8×12 | 3-2 | G ₁ , G ₂ | □ 300×600 |
| | RG ₁ , RG ₂ | H 300×150×6.5×9 | | RG ₁ , RG ₂ | □ 250×500 |
| | G ₃ | H 488×300×11×18 | | G ₃ | □ 400×800 |
| | RG ₃ | H 400×200×8×13 | | RG ₃ | □ 350×700 |
| | B ₁ | H 450×200×9×14 | | B ₁ , B ₂ | □ 300×600 |
| | B ₂ | H 496×199×9×14 | | RB ₁ , RB ₂ | □ 300×600 |
| | RB ₁ , RB ₂ | H 300×150×6.5×9 | | | |

(다) 기 초

기초는 R.C조와 철골조 모두 철근콘크리트 독립기초로 계획하였으나 지내력과 지하수위를 가정하였으므로 실제 상황에서는 변화의 가능성이 있다.

- ① 철골조의 가장 큰 장점 중의 하나를 기초에서 발견할 수 있다. 상부구조가 R.C조보다 경량이기 때문에 결과적으로 기초가 작아져 경제적이게 된다. 지내력이 변경되어도 같은 조건이 주어진다면 일반적으로 철골조의 기초가 작아지게 된다.
- ② 모델별로 보면 중복도형의 경우, 기둥이 부담하는 면적에 따라 기초의 크기도 다양해지는 것을 알 수 있다. 따라서 상부구조가 대칭일수록

표 18. 기초 일람표

| 모델 | 명 칭 | L _x (cm) | L _y (cm) | D (cm) 기초두께 |
|-----|----------------|---------------------|---------------------|----------------|
| 1-1 | F ₁ | 170 | 170 | 60 |
| | F ₂ | 250 | 250 | 60 |
| | F ₃ | 200 | 200 | 60 |
| 2-1 | F ₁ | 210 | 210 | 60 |
| 3-1 | F ₁ | 210 | 210 | 60 |
| 1-2 | F ₁ | 200 | 200 | 60 |
| | F ₂ | 280 | 280 | 60 |
| | F ₃ | 230 | 230 | 60 |
| 2-2 | F ₁ | 240 | 240 | 60 |
| 3-3 | F ₁ | 240 | 240 | 60 |

그리고 스펀이 작을수록 기초도 적절한 크기에 작아지는 것을 알 수 있다.

5. 종합평가

5.1 기존 R.C조 / 철골조의 검토

- (1) 철골조는 전반적으로 R.C조에 비해 부재들이 작아지기 때문에 공간 효율성이 높아지게 된다.
- (2) 비탄성 거동에서 알 수 있듯이 철골조는 R.C조에 비하여 밀면전단력, 최상층 변위의 증가율, 소성힌지의 형성 등에서 유리하다. 따라서 보다 우수한 내진성능을 보이고 있다.
- (3) 철골조 자체에서도 경제적인 모듈이 있으며, 구조시스템 및 부재의 선정과 함께 적절한 구조를 이루는데 고려해야 할 중요한 변수이다.

5.2 비교 대상안의 검토

- (1) R.C조를 철골조로 전환할 경우와 마찬가지로 철골조의 부재들이 작아져서 공간 이용률이 높아졌다.
- (2) 구조해석 결과에 의하면 철골조의 경우는 같은 조건의 R.C조에 비해 부재선정에 다양성을 기할 수 있다. 즉 R.C조보다 공간 이용성에서 유리하기 때문에 춤을 키우는 대신에 가벼운 부재를 선택할 수 있는 등 이용 가능한 부재들이 다양하다.
- (3) 각 철골조는 상부 구조물들이 경량화되어 결과적으로 하부구조물(기초)의 크기도 작아지는 등의 장점이 있다.
- (4) 탄성해석에 의하면 R.C조가 조금 더 작은 변위를 나타내고 있으나 철골조도 허용치 이내에 있으므로 문제가 되지 않는다.
- (5) 내부 구조시스템(바다, 벽체, 경량구조물)의 다양화를 가져올 수 있다는 것을 알 수 있다.
- (6) 3가지의 모듈을 검토한 결과, 하층의 적용, 부재의 선정 등에서 정방형 평면이 좀 더 유리하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 8.4m×8.4m 모듈이 가장 합리적이라고 볼 수 있다.

5.3 철골조의 구조성능과 장점

철골조 학교는 다음과 같은 일반적인 구조적 장점을 지니는 것을 알 수 있다.

- (1) 10m 이상의 장스팬이 가능할 뿐 아니라 개방된 대공간을 구성할 수 있다.
- (2) 상부 및 하부 구조물의 경량화를 기할 수 있다.
- (3) R.C조에 비해 비탄성 거동 능력이 뛰어나므로 내진성능이 우수하다.
- (4) 철골조는 모듈화가 가능하며, 표준구조계산과 구조도면의 작성도 가능하다.