

공동주택 지하주차장 상부구조 형식 분석연구

A Study on the Superstructure System Analysis of Underground Parking Lot in Apartment.

임 남 기*	송 희 원**	이 영 도***
Lim, Nam-Gi	Song, Hee-Won	Lee, Young-Do

Abstract

The purpose of this study was to find out the most reasonable design in the superstructure of an underground parking lot which needs to be considered with the economic efficiency being influenced on the subdivision price, construction duration, workability and the maintenance of crack and leakage status of apartment house. In this research, we've evaluated the fitness for the superstructure of an underground parking lot by examination of construction constraint, which was based on the calculated data of structural design and quantity survey. The results of this study are summarized as follows.

1. The system of the absent structure of beam is proper structure for economic efficiency, construction duration and workability, but it is disadvantageous at the side of maintenance efficiency because of the many part of large slab. In the opposite direction, the establishing structure of beam has the advantages of structural stability except economic efficiency, construction duration and workability.
2. It's required a proper selection for the views being contrary to each other which the owners considers good quality, on the other hand, the contractors consider construction duration and workability.
3. In making a selection for the superstructure of an underground parking lot, we have concluded that it is the most important to choose the proper structure for the demanded performance by contrasting with two system. (2Bay or 3Bay)

키워드 : 지하 주차장, 구조형식, 경제성, 시공용이성, 유지관리성

keywords : Underground parking lot, Structure system, Economic efficiency, Workability, Maintenance efficiency

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 공동 주택 단지내의 지하주차장은 지상공간의 유효활용을 위하여 지하 구조물로 건설이 확대되고 있으며 앞으로 지하주차장의 층수 증가와 더불어 대형화가 계속될 것이며, 아울러 지하 주차장 건설 공사비 또한 증대될 전망이다.

지금까지는 지하주차장 계획 설계시 계획적인 측면에서의 효율성을 우선으로 연구되었으며, 또한 구조 기술자의 구조적 안전성 위주의 설계로 진행되어 왔기 때문에 구조 형식 선정에 필요한 경제성과 사용성 측면에서의 검토가 미흡한 실정이다. 따라서 주택 수요자의 분양가에 직접적인 영향을 미치는 경제성은 물론 주차장 관련 구조물의 응력 취약 부위에서 균열, 누수 등의 하자를 발생시키는 등 사용성 및 유지관리에 대해서도 검토가 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 지하 주차장 상부구조의 건축 계획 및 설계단계에서의 구조적 안전성을 바탕으로 경제성, 공사기간,

시공용이성 및 사용-유지관리성 등을 종합적으로 평가하여 상부구조 형식 선정에 유효한 기초자료의 제시를 연구 목적으로 한다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 지하 주차장의 상부 구조를 합리적으로 설계하는데 필요한 구조 형식 선정 방법을 제시하는 것을 연구의 범위로 하며, 연구 수행 절차 및 방법은 다음과 같다.

- 1) 상부구조 형식의 제한 조건 및 구조 형식 선정 방법을 고찰한다.
- 2) 사례연구를 위한 각 형식별 구조계산을 실시하고, 이를 근거로 설계수량을 산출한다.
- 3) 구조 형식 선정에 따른 평가요소별 가중치를 조사하고, 구조 형식의 주요 평가요소인 경제성, 공사기간, 시공 용이성, 유지 관리성에 대하여 개별 및 종합 평가를 실시한다.

* 정희원 동명정보대학교 건축대학 교수, 공학박사

** 정희원 동명정보대학교 건축대학원 석사과정

*** 정희원 경동대학교 건축공학부 교수, 공학박사

2. 지하주차장 계획의 실태 조사

2.1 주차장 규모 결정

공동주택 단지 내 주차장 계획 설계시에는 일반적으로 주차장 관계법령 기준에 의거하여 주차장의 계획적인 측면인 주차장 설치기준, 지하 주차장의 설치의무 기준, 주차단위구획 기준, 노외 주차장의 구조 및 설비 기준을 적용하고 있다. 그러나 주차장 기둥 사이에 보통 2대와 3대의 차량이 주차할 수 있는 경우가 대부분이지만 설계자에 따라 주차장의 기본 모듈 산정 및 주차장의 층고 등의 적용상 회사나 프로젝트별로 차이가 발생되고 있어 이에 대한 정확한 기준 설정이 요구되고 있다.

2.2 구조 형식 선정의 실태

지하 주차장의 구조 형식 선정은 대부분 건축 계획 및 설계 초기단계에서 건축 설계자와 구조 엔지니어의 협의 또는 관행, 답습에 의하여 적용되며, 또한 발주자의 요구에 의하여 적용기준의 차이가 발생되고 있을 뿐만 아니라 구조적 안전성에 치중하 나머지 경제성 및 시공성, 사용성 등에 대한 종합적인 검토가 부족한 실정이다.

그림 1.에서와 같이 시공자의 공사비 산출에 의한 경제성과 시공성, 사용자의 유지관리 등의 의견이 구조 엔지니어 측에 거의 전달되지 않고 있어 주차장의 구조 안전성만 만족되면 경제성 및 보수성 측면은 거의 간과되고 있는 실정이다.

또한 최근의 고강도 콘크리트와 철근의 개발 및 사용증대, 복합화 공법 개발에 따른 혼합 및 복합 구조 시스템 적용의 증가추세, 신기술 및 신공법에 의한 원가절감 및 공기단축 필요성 대두 등의 요구뿐만 아니라, 선시공된 주차장 상부옥외 지상의 자재 적치시의 과다하중 빈발 및 DB-24(표준트럭)의 집중하중에 의한 영향 등 여러 가지 복합적인 요소들이 검토되지 않아서 옥외 주차장 바닥 슬래브의 균열 발생 등에 의한 보수 공사비가 추가로 투입되고 있으며, 균열 억제를 위하여 Jack Support를 장기 존치하는 등 시공성 또는 사용성에서도 문제점이 많은 실정이다.

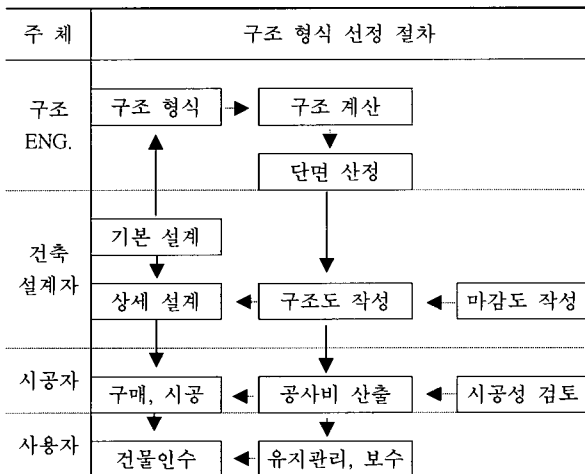


그림 1. 구조형식 선정의 실태

3. 상부구조 형식 선정 및 평가

3.1 제한 조건의 분류

지하 주차장 상부구조 형식 선정 시 고려되어야 할 조건을 체계적으로 분류하여 적절한 구조를 선정하기 위한 기준은 <표 1>과 같다.

표 1. 제한조건의 분류

분 류	세부 항목
경제조건	설계수량, 공사 비용, 수익성, 분양성
공기조건	작업 소요일, 작업 생산성
시공조건	소요부재수, 공정 간섭, 작업 환경
품질조건	구조 안전성, 사용성, 유지 보수성

3.2 제한 조건의 적용

제한 조건의 분류 항목은 상부 구조 형식에 대한 계획 및 설계 시 고려되어야 할 요소들이다. 분류된 제한 조건의 적용 방법은 프로젝트의 최적 성능에 의한 적용방법으로서 프로젝트의 특성, 발주자의 요구조건 그리고 구조 형식간의 상호 제한 조건 등을 고려하고, 적합한 방법으로 요소를 평가하여 최적의 요구성능이 되도록 한다.

지하 주차장 상부구조 형식 계획 및 설계 시에는 필수적으로 공사비 등의 경제성과 공사기간 측면에서의 제한 조건과 설계 조건 등이 고려되어야 한다.

3.3 구조형식의 평가

본 연구에서 분류된 제한 요소는 합리적인 우선순위의 설정이 필요한데 이는 제한 요소별 구조 형식을 선정하는데 있어 상호가중치의 설정이 대단히 중요하다.

가중치의 산정은 일반적으로 설문지를 통한 방법과 다수의 의사 결정자들의 의견을 수렴하여 산정하며 또한 설문과 의사 결정자들 간의 의견을 보완하여 가중치를 산정하기도 한다.

본 연구에서는 가중치의 산정은 전문가의 의견¹⁾을 수렴하여 산정하였으며, 사례연구를 통하여 제한요소를 평가요소로 하여 그 결과를 추출하고 이를 정량화하여 평가척도를 추출하고자 하였다.

1) 평가 기법

본 연구는 합계 100점에 대하여 각 평가요소에 점수를 분배한 후 제한 요소 하나하나의 평가점수를 전체적 가중치를 가지고 평가하는 점수할당법 (Point Allocation)과 각 평가요소의 중요도를 5점 또는 7점으로 표시하는 척도표시법 (Rating)을 활용하기로 한다.

(1) 평가요소 가중치에 의한 점수할당

전문가의 의견을 종합한 결과 평가척도별로 아래 표 2.와 같이 점수할당의 결과가 나타났으며, 전체의 가중치를 100%로 할 때 경제성 32%, 공사기간 24%, 시공용이성 19%, 유지 관리성 25%의 가중치가 도출되었다.

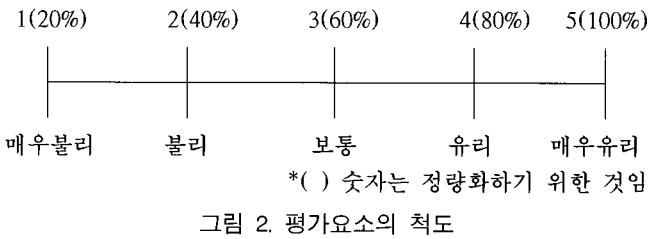
1) 건축사 및 구조 엔지니어 10인을 대상으로 면담조사

표 2. 평가요소 가중치

평가요소	세부항목	가중치(%)	
경제성	공사비용	24	32
	수익 및 분양성	8	
공사기간	작업소요일	16	24
	작업생산성	8	
시공용이성	소요부재수	10	19
	공정간섭	3	
	작업환경	6	
유지관리성	구조안정성	13	25
	사용편리	5	
	유지보수	7	

(2) 평가요소의 척도 표시

전문가의 의견을 반영하여 정량화하기 위한 평가요소의 척도는 그림 2.와 같이 5점 척도표시법을 이용하였다.



2) 평가기준

본 구조형식의 평가요소들은 경제성, 공사기간, 시공용이성, 유지관리성이다. 따라서 이에 대한 구체적인 평가를 위한 기준은 표 3.과 같다.

표 3. 평가 기준표

기준	평가치	평가치				
		1	2	3	4	5
경제성	직접공사비 (단위:백만원)	355 이상	340~355	325~340	310~325	310 미만
공사기간	작업소요일수 (단위:일)	39.5 이상	38~39.5	36.5~38	35~36.5	35미만
시공용이성	보부재길이 (단위:m)	1,150 이상	1,000~1,150	850~1,000	700~850	700 미만
유지관리성 (구조취약부)	큰바닥슬래브/ 교차된 진보 (단위:개소)	55 이상	40~55	25~40	10~25	10미만

* 모든 수치 중 최대 값에 대해서는 모두 미만 값을 취함

4. 사례를 통한 구조형식 비교

4.1 개요

1) 평면계획

공동 주택 단지의 지하주차장 계획의 경우 기둥과 외벽에 의해 주차 구획이 결정된다. 일반적으로 주차장 기둥 사이에는 보통 2대와 3대의 차량이 주차할 수 있는 경우가 대부분이기 때문에 본 사례연구의 주차장은 기둥 사이에 2대씩 주차할 경우(2 Bay) 5.2×5.0m의 기본 기둥 모듈을 적용하였으며, 또한 3대씩 주차할 경우 (3 Bay) 7.6×5.0m 기본 기둥 모듈을 적용하는 2가지 경우를 대상으로 선정하였다.

차로의 배치는 대상 건물 폭에서 통로 2구간, 건물길이에 1구간으로 통로를 계획하였다.

(1) 2 Bay의 경우

차량 2대×9칸, 차로 1칸의 건물 길이 53.3m로 정하였으며, 건물 폭은 주차 4열, 통로 2열의 건물 폭 33.2m, 바닥면적 1,770㎡로 계획하였다.

(2) 3 Bay의 경우

차량 3대×6칸, 차로 1칸의 건물길이 52.2m, 건물 폭은 주차 4열, 통로 2열의 건물 폭 33.2m, 바닥면적 1,733㎡로 계획하였다.

2) 층수 및 단면계획

본 사례연구 대상인 주차장의 단면계획은 그림 3.과 같다. 층수는 2개층이며, 지하 1층 바닥과 지붕 1층의 2개층 평면 계획은 동일하며, 층고도 3.8m로 동일하게 계획하였다.

지하 1층 바닥은 무근 콘크리트 15cm로 마감하며, 지상 1층 옥상 바닥은 방수 및 단열층 위 신더 콘크리트 10cm와 일반 토사 90cm의 옥상 조경 공간으로 계획하여 최근의 옥외 공간의 환경 친화적 경향을 고려하였다.

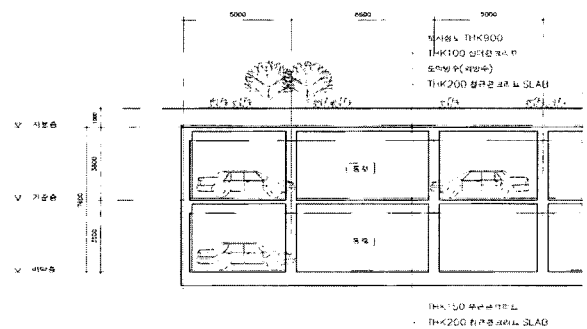


그림 3. 주차장 단면도

3) 상부 구조 형식

공동 주택단지 내의 지하 주차장 골조 공사는 보다 구조적으로 안전하고, 주차공간으로서 기능이 뛰어나며 아울러 경제적인 구조 형식을 검토하여 합리적으로 설계되어야 한다. 본 연구대상 건물의 구조형식과 구조평면은 각각 표 4. 및 그림 4.와 같다. 2 Bay와 3 Bay의 2가지 주차 형식에 대하여 각각

의 상부 구조 형식을 구분하여 구조계산을 실시한 후 설계수량을 산출하여 공사비 등을 상호 비교 하였다.

표 4. 구조형식의 개요

구분	2 Bay	3 Bay
기둥모듈	2대 수용 폭 5.2m, 길이 5m	3대 수용 폭 7.6m, 길이 5m
없는 경우	기둥 사이에 Girder만 설치 (건물폭방향 차로에만 Beam 설치) : 2B-0로 표기	기둥 사이에 Girder만 설치 (건물길이방향 차로에만 Beam 설치) : 3B-0로 표기
작업 필요 개소 설치	기둥 사이의 Girder와 건물 폭, 길이 방향 차로에 Beam 설치 : 2B-1로 표기	기둥 사이의 Girder와 건물 길이 방향 차로에 Beam 설치 : 3B-1로 표기
모두 설치	기둥 사이에 모두 Beam 설치 : 2B-2로 표기	기둥 사이에 모두 Beam 설치 : 3B-2로 표기

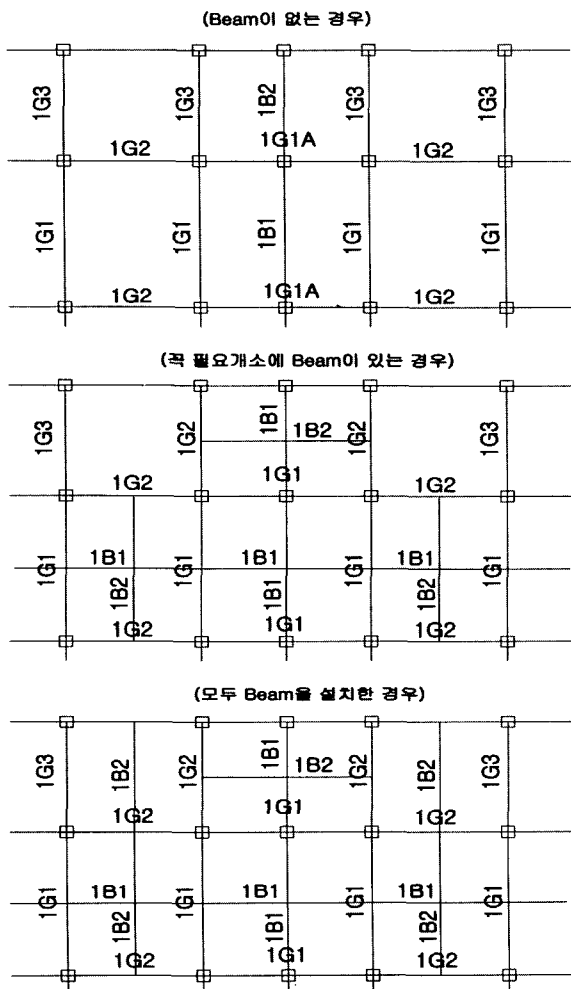


그림 4. 구조 평면도

4) 구조 설계 기준

(1) 구조재료 및 설계 기준

콘크리트의 설계 기준 강도 $f_{ck}=210 \text{ kgf/cm}^2$, 철근의 항복 강도 $f_y=4,000 \text{ kgf/cm}^2$ (SD40)을 사용하였으며, 구조 해석프로그램은 프레임 MIDAS/GEN, 슬래브 MIDAS/SDS, 부재설계 극한강도 설계법에 의한 Software를 사용하였다.

(2) 주차장 하중 기준

지하층 바닥 (Basement Floor) : 고정하중은 무근 콘크리트 ($t=150\text{mm}$)는 345 kgf/m^2 , 콘크리트 슬래브($t=200\text{mm}$)는 480 kgf/m^2 를 적용하였다.

주차장 지붕층 (Roof Floor) : 고정 하중은 흙, 보통 토사($t=900\text{mm}$) $1,620 \text{ kgf/m}^2$, 신더콘크리트 ($t=100\text{mm}$) 230 kgf/m^2 , 보호몰탈 ($t=20\text{mm}$) 50 kgf/m^2 , 방수 및 단열 10 kgf/m^2 , 콘크리트 슬래브($t=200\text{mm}$) 480 kgf/m^2 를 적용하였다.

(3) 차량에 대한 하중

건축법규상의 자동차 차고의 적재하중은 지속적인 주차장 관련 구조물의 손상에 따라 설계기준 하중을 증가시켜 왔는데 2000년의 변경된 건축물 하중 기준 및 해설에서는 승용차전용 옥내 주차 구간은 기존 300kgf/m^2 에서 400kgf/m^2 , 옥내 차로 구간은 기존 300kgf/m^2 에서 600kgf/m^2 로 변경되었으며, 옥외주차구간은 18t이하의 트럭을 기준으로 $1,600\text{kgf/m}^2$ [$w=\{(0.4/1.8) \times 18,000 \text{ kg}\} \div (1.8\text{m} \times 1.8\text{m}) \times (1+0.3)$]로 제시하고 있다. 특히 앞의 괄호 내에서와 같이 옥외구간의 차량 중량에 대해서는 총중량 18t의 차량에 대하여 건설교통부 제정 도로교 시방서에서 제시하는 바퀴하중의 최대 부담률인 0.4/1.8과 하나의 바퀴에 대한 점유면적 $1.8\text{m} \times 1.8\text{m}$ 를 고려하였으며, 차로 및 경사로에 대해서는 충격계수 0.3을 적용하였다. 따라서 본 연구에서의 적재 하중은 지하1층은 600 kgf/m^2 , 지상부분은 $1,600 \text{ kgf/m}^2$ 를 적용시켜 검토하였다.

5) 부재 단면 선정

기둥 부재 : 기둥의 크기는 지하층과 지붕층 모두 $500 \times 700\text{mm}$, 기둥의 주근은 D22로서, 기둥 단면적에 대한 주근의 철근량은 1.11~1.99%(최소 철근비 기준 0.8%), 대근은 D10을 사용하였고, 배근 간격은 300mm, 보조대근 D10@900 간격으로 일정하게 설계하였다.

큰보(Girder) 부재 : 주차장 지하1층의 큰보는 $500 \times 700\text{mm}$, 주차장 지붕층의 큰보는 $600 \times 900\text{mm}$ 로 단면을 선정하였으며 주근은 D25를 사용하였고, 늑근은 D10, D13를 100~300mm 간격으로 배근하였다.

작은보(Beam) 부재 : 지하층의 작은보는 $400 \times 700\text{mm}$, 지붕층의 작은보는 $600 \times 850\text{mm}$ 로 단면을 선정하였으며, 주근은 D25, 늑근은 D10, D13를 사용하였다.

슬래브 부재 ① 2 Bay 구조 평면도 : 기둥과 기둥 사이에 보(Girder)만 있고 연결된 Beam이 없는 경우(2B-0) 슬래브 바닥 면적 중 차로 구간의 슬래브는 $6.5 \times 6.6\text{m}$ (42.9m^2)인 바 여기에는 작은 보(Beam)를 설치하였다. 본 2 Bay 슬래브의

두께는 200mm로 산정하였고, 배근은 D13, D16을 간격 200~300mm로 배근하였다.

② 3 Bay 구조 평면도 : Beam이 없는 경우(3B-0)의 슬래브 바닥 면적 중 차로 구간의 슬래브는 7.6×6.6m(50.16m²)인 바 가운데 작은 보(Beam)를 설치하였다. 본 3 Bay 슬래브의 두께는 200mm로 산정하였고, 배근은 D13, D16을 200~300mm 간격으로 배근하였다.

4.2 경제성 평가

1) 공사비 적용 기준

재료비 단가 기준은 물가자료, 노무비 단가 기준은 대한건설협회 공표 시중노임단가, 기계경비 단가 기준은 대한건설협회 공표 육상기계경비를 2002년 1월을 기준으로 적용하였으며, 공사비 산출 범위에서는 기초공사(지정 및 기초부분), 토공사 및 흙막이 공사. 라멘 구조체에서 벽체(내외부), 경사로, 계단, 내외부 마감 공사 및 간접 공사비 등은 제외하고, 기준층 및 지붕층 골조만을 대상으로 하였다.

2) 층별 비교 분석

구조 형식에 따른 지하층(B층)과 지붕층(R층)에 대한 층별 공사비를 산출한 결과는 표 5.와 같다.

층별 공사비 비교에서 지하층(B층)/지붕층(R층)의 비는 평균 44.7%/55.3%로서 지붕층이 23.7% 많이 소요되는 것으로 나타났다. 이는 지붕층의 하중이 지하기준층보다 많이 적용된 설계물량에서의 차이로 인한 공사비 차이의 결과라고 볼 수 있다. 한편, 지붕층은 기준층보다 약 2.7배의 적재하중을 적용하였으나 층별 공사비는 23.7%에 불과하므로 결국 하중의 증가에 따른 공사비 증가는 별로 크지 않다는 것을 알 수 있다.

따라서 지붕층의 육상 주차장 관련 균열 및 누수에 대한 하자 문제 해결을 위하여 상부의 하중을 높게 적용하여 상부 구조 부재의 물량을 다소 증가시켜도 공사비의 영향은 크지 않은 것으로 나타났으므로 하자 저감을 위해서는 큰 경제적 부담없이 구조적인 보강을 추가할 수 있을 것으로 사료된다.

표 5. 층별 공사비

(단위 : 백만원)

층별	2B-0	2B-1	2B-2	3B-0	3B-1	3B-2
B층	136,227 (44.5)	148,173 (45.8)	161,912 (45.0)	136,453 (43.6)	140,316 (43.6)	153,695 (45.5)
R층	170,085 (55.5)	175,670 (54.2)	198,047 (55.0)	176,737 (56.4)	181,196 (56.4)	183,818 (54.5)
계	306,312 (100)	323,843 (100)	359,959 (100)	313,190 (100)	321,512 (100)	337,513 (100)

3) 공종별 비교 분석

구조 형식에 따른 콘크리트, 거푸집, 철근 공사비를 산출한 결과는 그림 5.와 같다.

(1) 콘크리트 공사

콘크리트 공사비는 콘크리트 설계물량에서의 차이로 인한 결과로서 Beam이 없는 구조, Beam 필요개소 설치구조, Beam 모두 설치한 구조의 순으로 공사비가 높게 나타났다. 또한 공사비가 가장 낮은 Beam이 없는 구조 중에서 3Bay가 2Bay보다 5.0% 낮아 3Bay의 Beam이 없는 구조인 3B-0이 가장 유리하며, 공사비가 높은 Beam을 모두 설치하는 구조 중에서 2Bay가 3Bay보다 15.5% 높아 2Bay의 Beam을 모두 설치하는 구조인 2B-2가 가장 불리한 결과를 보이고 있다.

(2) 거푸집 공사

거푸집 공사비는 거푸집 설계물량에 비례하는 바, 기둥 및 Slab의 거푸집량은 거의 동일하나 보(큰보 및 작은보)의 부재길이에 따른 거푸집량의 요인이 가장 크게 작용한 결과라고 볼 수 있다. 결국 보의 거푸집량에 의하여 거푸집 공사비와 거푸집 작업기간이 좌우된다고 할 수 있다.

따라서 Beam이 없는 구조, Beam 필요개소 설치 구조, Beam을 모두 설치하는 구조의 순으로 거푸집 공사비가 높게 나타났다. 또한 공사비가 가장 낮은 Beam이 없는 구조 중에서 3Bay가 2Bay보다 7.0% 낮아서, 3Bay의 Beam이 없는 구조인 3B-0이 가장 유리하며, 공사비가 높은 Beam을 모두 설치하는 구조 중에서 2Bay가 3Bay보다 14.0% 높아서, 2Bay의 Beam을 모두 설치하는 구조인 2B-2가 가장 불리한 결과를 보이고 있다.

(3) 철근 공사

철근 공사비는 기둥간격이 좁은 2Bay가 기둥간격이 넓은 3Bay보다 철근량이 적게 나타나 앞에서의 보(큰보 및 작은보)의 부재길이에 따른 거푸집량과는 대조적인 현상을 보이고 있다. Beam이 없는 구조 중에서 2Bay가 3Bay보다 18.0% 낮고, 2Bay의 Beam이 없는 구조인 2B-0이 가장 유리하며, Beam을 모두 설치하는 구조 중에서 3Bay가 2Bay보다 6.0% 높아 3Bay의 Beam을 모두 설치하는 구조인 3B-2가 가장 불리한 결과를 나타내었다.

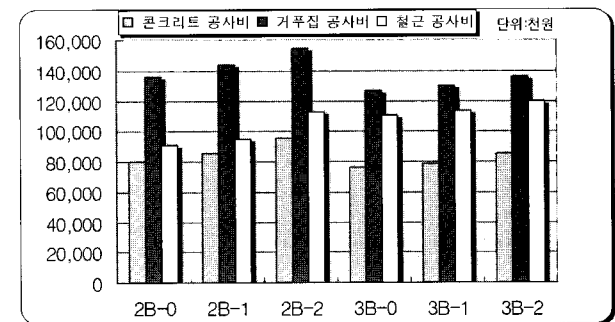


그림 5. 공종별 공사비

4) 경제성 평가

이상의 결과에 따라 각 구조형식별 종합 공사비를 비교하여 경제성을 평가한 결과는 그림 6.과 같다.

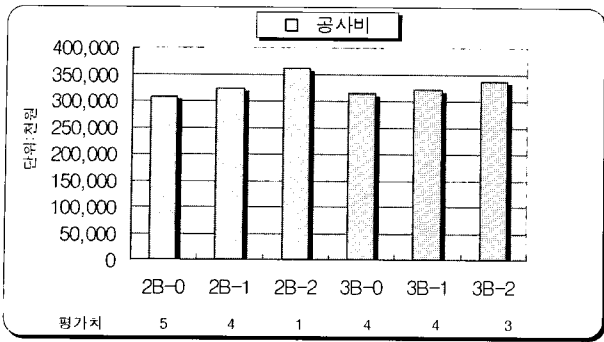


그림 6. 경제성 평가

상기와 같이 공사비를 비교한 경제성 평가에서 Beam 없는 구조에서는 3Bay보다는 2Bay가 높게 나타났으나 (2.2%공사비가 높음) 거의 유사한 것으로 평가되었다. 그러나 Beam을 모두 설치한 구조에서는 3Bay보다는 2Bay가 가장 높은 공사비를 나타내었으므로 가장 불리한 구조로 평가되었다.

4.3 공사기간 평가

1) 작업소요기간 산정의 기준

일반적으로 단위 공종에 대한 평균 생산성과 투입 예정인 작업조를 근거로 소요 기간을 산정하였다.

$$D_{ij} = \frac{A_{ij}}{P_{ij} \times N_{ij}} \quad D_{ij} : \text{작업별 소요기간}$$

A_{ij} : 작업량 (면적, 중량)

P_{ij} : 표준적인 인부의 평균 생산성

N_{ij} : 작업 투입 예정 인부의 수

2) 공종별 공사기간 비교 분석

구조 형식별 공종별 작업소요기간을 산출한 결과는 그림 7.과 같다.

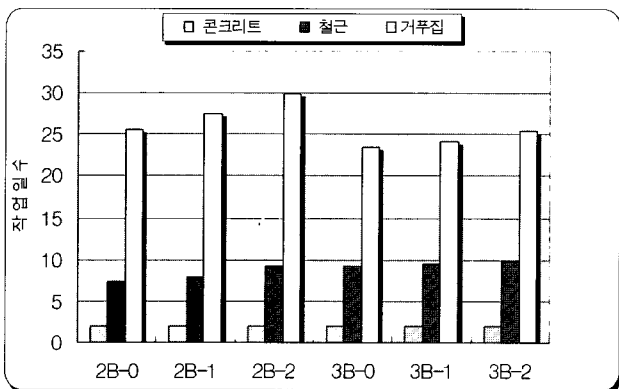


그림 7. 공종별 작업일수

각 공종별 작업일수를 종합 비교 분석한 결과 콘크리트 작업은 4.9~5.8%, 그 다음은 철근 작업이 21.0~26.5%, 가장 많은 비율은 거푸집 작업으로 67.8~73.6%를 차지하였다. 구조형식 중 보(큰보 및 작은보) 부재의 길이가 길고 많은 구조는 거푸집의 설계물량이 많기 때문에 공사비 증가와 더불어 공사

기간이 많이 소요되는 요인이 되는 것이다. 골조공사에서의 거푸집 공사기간은 주공정 작업(Critical path)이 되므로 공기 단축을 도모할 수 있도록 거푸집 작업원의 증가, 작업 능력 향상 및 공법개선 등 과학적 관리가 필요하다. 그래서 비율이 가장 높은 거푸집 작업일수를 낮출 수 있는 구조 형식을 취하는 것이 유리하다고 볼 수 있다.

따라서 2Bay보다는 3Bay 구조형식이 거푸집 비율이 낮기 때문에 7.1% 유리한 것으로 나타났다. 한편, 철근 작업기간이 차지하는 비율은 2Bay보다 3Bay가 높기 때문에(4.9일) 철근 작업 기간 측면에서는 3Bay가 다소 불리한 면도 있으나, 전체 공사기간을 비교하게 되면 전반적으로 3Bay가 유리한 것으로 나타났다.

3) 전체공사기간 평가

이상과 같이 각 구조 형식별 작업소요일수를 비교하여 공사기간을 평가한 결과는 그림 8.과 같다.

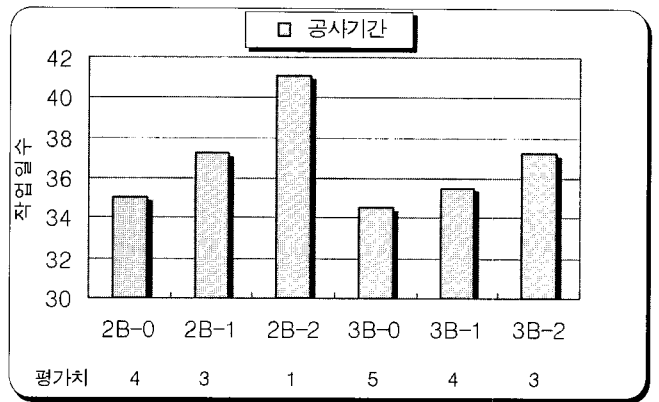


그림 8. 공사기간 평가

작업일수를 비교한 공사기간 평가에서 Beam 없는 구조에서는 2Bay보다는 3Bay가 높게 나타났으나 (0.5일 많음) 거의 동일한 것으로 평가되었다. 그러나 Beam을 모두 설치하는 구조에서는 3Bay보다 2Bay가 가장 낮은 평가치를 얻어 가장 불리한 구조로 평가되었다.

4.4 시공 용이성 평가

1) 시공 용이성 산정기준

본 사례연구의 2 Bay와 3 Bay 각 경우별로 부재별 수량비교는 각 층별 기둥과 Slab의 부재 수량은 동일하나, Girder와 Beam의 부재수량에 차이가 발생되고 있어 보 부재의 수량과 그 길이에 따라 거푸집 및 철근의 설계물량으로 작업 소요량 및 시공 용이성을 판단할 수 있다. 또한 보의 거푸집 설치 시 하부의 지주받침수량에 따라 작업성능에 영향을 미치는 요인이 되고 있으며 더구나 3Bay에서의 긴보부재가 많은 구조에서는 Jack Support 사용이 증가되고 있어 이 또한 거푸집 작업에 많은 영향을 미치고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 시공성을 정량화하기 위하여 보 부재의 길이 수량에 따라 시공 용이성을 판단하는 기준을 적용하였다.

2) 시공 용이성 평가

각 구조형식별 보 부재길이를 비교하여 시공 용이성을 평가한 결과는 그림 9와 같다.

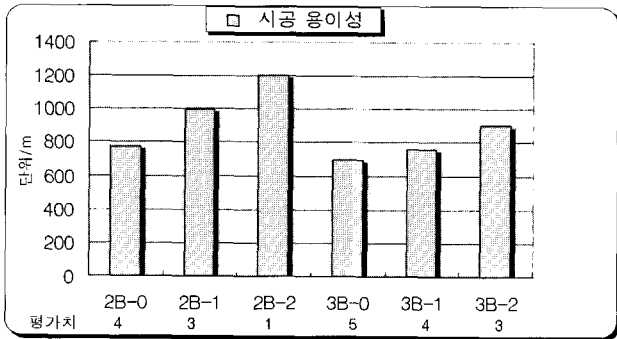


그림 9. 시공용이성 평가

시공 용이성 평가에서 Beam 없는 구조가 유리하며, Beam을 모두 설치하는 구조에서는 보부재의 길이가 가장 많아 작업성면에서 복잡하므로 불리하게 나타났다. 또한 Beam 없는 구조에서는 2Bay보다는 3Bay의 평가치가 높으며, Beam을 모두 설치하는 구조는 3Bay보다 2Bay가 가장 낮은 평가치를 얻어 가장 불리한 구조로 평가되었다.

4.5 유지 관리성 평가

1) 유지 관리성 산정

(1) 유지 관리의 현황

공동 주택 단지의 지하 주차장은 선 시공된 지하 주차장 옥외 지상 부분에 포장 공사를 하기 전에 이미 공사용 가설 자재를 적재하거나, 옥외 주차장의 바닥 슬래브가 장비의 이동통로로 사용되는 경우가 많아 시공 초기에 균열이 형성되고, 이 균열이 온도변화와 건조 수축에 의해 커지거나 추가 발생되는 경우가 많다. 이러한 균열을 억제하기 위하여 Jack Support를 설치하거나 균열에 의한 구조물 보수를 위하여 많은 비용과 노력이 계속 투입되어 사회적인 문제까지 야기되고 있는 실정이다. 따라서 주차장 상부구조 형식의 선정에서도 구조 취약부를 사전에 파악하여 균열 및 누수 현상을 사전에 예방할 수 있도록 구조형식 선정에 있어 검토가 되어야 한다.

(2) 유지 관리성 산정 기준

본 연구에서는 지하 주차장 상부 구조체에서 가장 많은 균열이 발생되고 있는 보부재와 Slab부재를 선정하여 구조적으로 취약한 부재의 수량을¹⁾ 산출하여 본 사례연구의 2Bay와 3Bay 각 경우별로 구조 취약 부위의 수량을 비교하여 유지 관리성을 판단하는 기준으로 적용하였다.

Slab 부재 : 구조 계산상으로는 가능한 Span이라 할지라도 보와 기둥으로 구획된 바닥면적이 7.5m×3.75m (24.4㎡) 이상의 넓은 바닥면적(중간보나 Beam이 설치되지 않은 구조)에 해당되는 큰 바닥 Slab개소 산출하였다

보 부재 : 보에서는 변곡점 및 큰보와 작은보가 만나는 교차 부위에 해당되는 큰보부재가 7.5m이상의 개소를 산출하였다.

2) 유지 관리성 평가

구조 형식별 큰 바닥면적 및 긴보 부재를 비교하여 유지 관리성을 평가한 결과는 그림 10., 그림 11.과 같다.

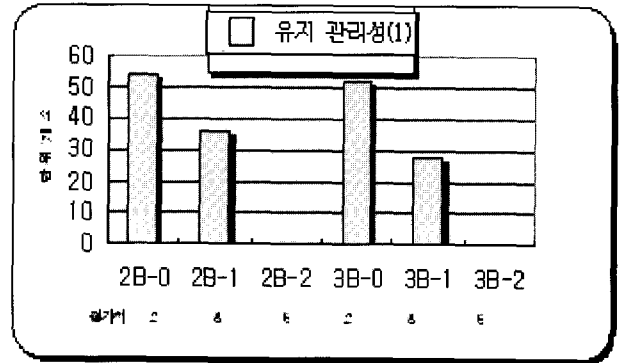


그림 10. 유지관리성 평가 (큰 바닥면적 비교)

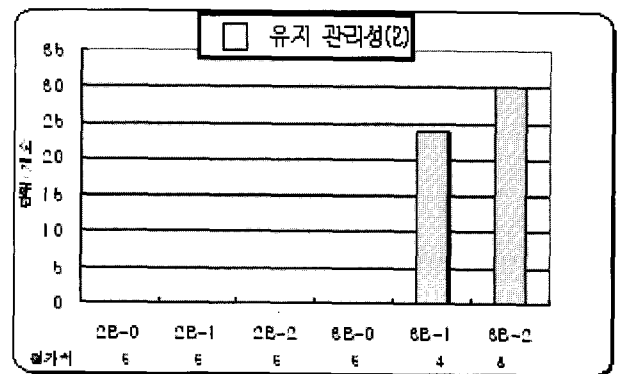


그림 11. 유지관리성 평가(긴보 부재 비교)

유지 관리성 평가에서 Beam 없는 구조에서는 큰바닥 면적의 구조취약부재가 많아 불리하며, Beam 모두 설치하는 구조에서는 큰바닥 면적이 없어 유리하게 나타났다. 반면에 3Bay에서 긴보부재가 많은 Beam을 모두 설치하는 구조는 보의 구조취약부재가 많아 불리하게 나타나는 등 큰바닥 면적이 많은 구조와 긴보부재가 많은 구조는 서로 상반된 현상으로 평가되었다. 일반적으로 큰바닥 면적이 많은 Beam 없는 구조인 경우 균열 및 누수 현상의 구조 취약부재가 많은 관계로 보수량 및 유지 관리성 면에서는 불리하게 평가되었다. 한편, 긴보부재가 많은 3Bay의 Beam을 모두 설치하는 구조인 경우, 극한 강도 설계법에 따른 철근 콘크리트 구조계산규준 및 해설에 따르면 최소균열폭을 허용하고 있으므로 긴보부재의 균열 발생은 일반적 현실이라고 볼 수 있으므로 유지관리 측면에서 비교적 덜 불리하다고 평가된다. 또한 유지관리성 측면에서 불리한 Beam 없는 구조에서는 구조 취약부위인 Slab의 두께를 증가시키는 등 하자저감의 대안으로 사료된다.

1) 정순오, 서상욱, "아파트 지하주차장의 균열방지대책", 한국건설관리학회논문집, 2002.3.

4.6 종합 평가

표 6.과 같이 종합적인 평가에서 가장 유리한 구조는 Beam 이 없는 구조로 평가되었으며, 특히 Beam 이 없는 구조 중 3 Bay의 경우(3B-0) 공사기간, 시공용이성 면에서 가장 우수하였으며, 경제성에서도 우수하여 종합평가 86.1점으로 가장 우수한 것으로 나타났으나, 유지관리성 면에서는 큰바닥 면적이 많아 불리하게 평가되었다.

다음으로는 Beam이 없는 구조 중 2 Bay의 경우(2B-0) 경제성 면에서는 가장 우수하였고 공사기간, 시공용이성 면에서도 우수하여 83.9점으로 나타났으나, 유지관리성 면에서는 큰바닥 면적이 많아 불리하게 평가되었다.

가장 불리한 구조는 Beam을 모두 설치하는 구조로서 경제성, 공사기간, 시공용이성 면에서 가장 불리하여 낮은 점수를 얻었는데, 특히 2 Bay의 경우(2B-2)는 3 Bay(3B-2)보다 전반적으로 매우 낮은 평가 점수를 보여 가장 불리한 구조 형식으로 나타났으나 유지관리성 면에서는 큰바닥 면적이 없어 균열 및 누수의 가능성이 적어 유리하게 평가되는 부분도 있었다.

표 6. 종합 평가치

평가요소	가중치	2B-0	2B-1	2B-2	3B-0	3B-1	3B-2
경제성	32%	5	4	1	4	4	3
		32	25.6	6.4	25.6	25.6	19.2
공사기간	24%	4	3	1	5	4	3
		19.2	14.4	4.8	24	19.2	14.4
시공용이성	19%	4	3	1	5	4	3
		15.2	11.4	3.8	19	15.2	11.4
유지관리성	(큰바닥)2	2	3	5	2	3	5
	5%	5	7.5	12.5	5	7.5	12.5
	(긴보)	5	5	5	5	4	3
		12.5	12.5	12.5	12.5	10	7.5
계	100%	83.9	71.4	40.0	86.1	77.5	65.0

5. 결 론

본 연구는 사례조사를 통하여 지하주차장 상부 구조 형식인 2 Bay와 3 Bay, Beam이 없는 경우와 Beam을 필요개소에 설치하는 경우, Beam을 모두 설치하는 경우에 대하여 구조 형식별로 실시한 구조 계산을 근거로 설계수량과 공사비를 산출한 후 경제성 및 공사기간, 시공용이성, 유지관리성 등을 비교 분석하여 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 층별 공사비 비교 분석결과 지붕층이 지하층에 비해 적재 및 고정하중은 2.7~2.8배이나 공사비는 23.7%에 불과하므로 지붕층의 하자저감을 위해서는 상부 구조 부재설계시 안전율을 추가로 확보하는 것이 하자저감상 유효할 것으로 사료된다.

2) 공종별 공사비를 비교 분석한 결과 거푸집 공사비의 비율이 높고, 공사기간에도 큰 영향을 주므로 거푸집 작업량이 적은 구조 형식인 3 Bay가 유리한 것으로 나타났다. 철근공사에서는 기둥 간격이 좁은 2 Bay가 3 Bay보다 철근량이 적게 소요되어 공사비 및 공사기간상 유리한 면이나 구조형식별 종합공사비는 3Bay 또는 Beam이 없는 구조가 유리한 것으로 평가되었다.

3) 종합평가에서 Beam이 없는 구조(2B-0, 3B-0)가 가장 유리하지만, 큰 바닥 Slab 부재의 구조 취약부위로 인하여 불리하며, 반대로 Beam을 모두 설치한 구조는 공사비, 공기, 시공 용이성 면에서는 가장 불리하지만 큰 바닥 Slab부재의 구조 취약 부위가 적어 유리한 것으로 평가되었다.

주차장 상부 구조 형식의 선정시에는 이상의 비교분석 및 평가 결과를 토대로 하여 주차장 요구 성능에 적합한 구조형식을 선정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

한편, 향후의 연구 과제로는 지하주차장 구조 형식 중 기초부분이나 마감 공사 등을 포함한 전 공정에 대한 종합적인 검토와 철골조나 복합화공법 등을 채용한 주차장에 대해서는 합리적인 설계에 활용 가능한 추가의 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 신종현, "공동주택 철근콘크리트 벽식 구조체 공사의 최적화 공사 계획에 관한 연구", 서울대 박사학위논문, 1996. 2
2. 오승준, "흙막이 공사 공법 선정 방법에 관한 연구", 단국대학교 석사학위 논문, 1999, 12.
3. 안용선, "작업분석에 의한 철근콘크리트조 거푸집 공사의 관리 방안에 관한 연구", 한양대학교 박사학위 논문, 1993. 2
4. 정우호, "우리나라 공동주택 최적 바닥재 선정에 관한 연구", 고려대 산업정보대학원, 1988. 8.
5. 임홍철 외, "옥외주차장 바닥 슬래브의 구조안전성능에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표논문, 2000. 4
6. 서상욱 외, "아파트 지하주차장의 균열방지대책", 한국건설관리학회 논문, 2002. 3
7. 김효성, 대림기술정보, 공동주택지하주차장의 구조형식과 설계방법에 대한 연구, 1997.
8. 김정길 외, "초고층 공동주택의 구조공법 선정·모형개발 연구", 대한건축학회논문, 2002, 11.
9. 추영수편역. "주차장의 계획과 설계", 건설도서, 1994. 7.
10. 김인호, "건설계획과 의사결정", 기문당, 1998.