공동주택 지하 주차장 기초형식 선정방법에 관한 연구

A Study on the Selection Method of Foundation Type in the Underground Parking Lot of Apartments

임 남 기* 이 영 도** 배 용 환***
Lim, Nam-Gi Lee, Young-Do Bae, Yong-Hwan

Abstract

Normally easy task of plat in urban architecture is that using underground full of activities for increase building site efficiency. Especially for using underground space for the parking lot. Also utilize underground is more increase for fulfill requirement in modern society considered with environmental friendly architecture.

The primary objective of this study is to apply analyzed formal foundation type for selecting the optimum type of parking lots considered with structural stability, economical efficiency, construction efficiency, construction duration. This study aim to on criteria decided through the questionaries for the selection considered with in the scale of second stories parking lots underground, parking volume is 80 and reinforced concrete structure. The bearing capacity is 6~8m and downward from surface, healthy ground bearing capacity is 40 t/m2. This study comparative analysis and discuss economical efficiency, construction efficiency, construction duration based constructivist stability which applied Single foundation, Mat foundation, Drop Mat foundation. The result of this study is as follows;

First, the result of economical efficiency is that on the basis of single foundation, Drop Mat foundation is 1.88, Mat foundation 2.04 as a comparative analysis on the basis of total construction cost included material cost, labor coast and machinery cost. Second, the result of construction efficiency order is single foundation, Drop Mat foundation, Mat foundation as a comparative analysis on the based connected characteristics.

Third, the result of construction duration is that on the basis of Mat foundation, Drop Mat foundation is 1.33, single foundation is 1.87 as a comparative analysis Critical Path. Forth, Each foundational type characteristics order through the matrix method is that overall each formal type of foundation contraries at economical efficiency and construction efficiency, construction duration. Also expect contradiction between engineers and owners due to engineer pursuit construction duration and ower to begin with economical efficiency. Fifth, The selection of suitable foundation formal type needs that based consider project characteristic and field condition as according to above result of a comparative analysis.

As a result, a comparative analysis economical efficiency, construction efficiency, construction duration of Mat foundation, Drop Mat foundation, single foundation with 3Bay reinforced structure underground parking lots on the healthy ground.

키워드 : 기초형식, 지하주차장, 경제성, 시공성, 공사기간
Keywords : Foundation Type, Underground Parking Lot, Economical Efficiency, Construction Efficiency, Construction Duration

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리 나라는 인구 밀도가 높은 나라이다. 그리고 건축이용이한 평지가 적으므로 도심지 건축물은 대지의 효율을 높이기 위하여 지하 공간을 적극 이용하고 있다. 특히 환경 친화적인 건축이 요구되는 현 시대적 상황에 부응하기 위하여 지하 공간을 이용하는 지하 건축물은 점차 증가하고 있다.

이러한 추세 속에서 도심지 주차난을 해결하기 위한 주차장 구조물을 지하 공간에 설치하고 있는 것이 보편화 되어 가고 있다. 특히 지상 건축물이 대형화, 초고층화 되어 가면서 건축물 부설 주차장은 지하 공간에서 더욱 대형화 될 것으로 전망되고 있다.

이에 따라 초고층 건축물의 부설 주차장을 지하 공간에 지하 주차장으로 설치함에 있어 기초 구조의 합리적인 설계 방안이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 공동주택의 지하 주차장을 설치함에 있어 구조적 안전성을 바탕으로 하여 경제성, 시공성, 공사기간 등을 고려한 지하 주차장의 기초 형식을 분석하여, 지하 주차장 기초형식의 선정을 위한 기초자료를 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 대상으로 하는 지하 주차장은 지하 2개층, 주차대수 80대의 철근 콘크리트 구조물을 사례로 선정하였다. 지내력은 지표면 6~8M 이하에서의 건전한 지반의 지내력인

* 동명정보대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
** 경동대학교 건축공학과 교수
*** 도흥 건축사사무소 소장

40 t/m2으로 기준을 정하였다. 지하 주차장 기초에서 통상적으로 적용되고 있는 독립기초, Mat기초, Drop Mat기초에 대하여 구조적 안전성을 바탕으로 한 경제성, 시공성, 공사 기간 등을 비교, 분석, 고찰하여 지하 주차장의 기초 구조를 합리적으로 설계하는데 필요한 기초형식 선정자료를 제시하는 것을 연구의 범위로 하며, 연구 수행 절차 및 방법은 다음과 같다.

1) 기초에 대한 참고 문헌, 논문, 보고서 등을 통하여 본 연구에서 기준으로 하는 독립기초, Mat기초, Drop Mat기초의 기초 형식 및 지내력의 특성의 대한 이론적 내용에 대하여 고찰한다.
2) 기초형식의 제한조건 및 기초형식 선정시에 고려하여야 할 사항을 분석하고 선정방법을 고찰한다.
3) 사례를 통한 기초형식의 특성을 비교하기 위하여, 기준 지내력의 조건에서 기초의 안정성이 확보될 수 있도록 구조 검토를 통하여 각 형식의 기초 규격 및 주요 부재를 설계한다.
4) 기초형식 선정시 고려해야 할 특성들에 대하여 설문조사를 통하여 중요도를 분석하고 기초형식의 주요특성인 경제성, 시공성, 공사기간에 대하여 사례를 통한 비교 분석한다.
5) 기초 형식별로 비교 분석된 내용을 매트릭스방법에 따라 정리하여 적합한 지하 주차장 기초형식의 선정을 위한 자료를 제시한다.

2. 기초형식에 대한 이론적 고찰

2.1. 독립기초

독립기초(Isolate Footing)는 기초 밑에 있는 흙을 옆으로 밀리지 않게 하기 위하여 적당한 깊이에 설치해야 한다. 독립기초의 선정에서 지질조건으로 결정되는 최대 요인은 신뢰할 수 있는 지지층의 깊이를 말한다. 굴삭의 어려움도 있지만, 일반적으로 지표에서 5 m 정도가 되고, 또한 지하수 처리가 가능하여야 된다.

굴착 저면은 기초저면보다 잡석기초 등의 두께만큼 깊어지지만, 이들 기초는 충분한 강성이 필요하기 때문에 저면지반이 비교적 연약한 경우에는 잡석 등이 지반으로 침투되는 양을 고려하여 굴착면 높이를 결정하여야 한다. 독립기초의 지지 지반이 암반에 있을 때에는 이를 설계대로 굴착하여 기초를 설치하지만, 이 때 암반절삭에 따라 생기는 암 부스러기를 완전히 제거하여 암반표면을 충분히 정리해야 한다. 기초는 마감된 암반 상에 직접 설치될 경우가 많지만, 암반표면의 마감상태에 따라 고르기 콘크리트나 받침 모르터를 사용할 수도 있다. 그러나, 잡석 또는 자갈 깔기 등은 절대로 피해야 한다.

지형에 있어서 건축물 등 일련의 구조물의 독립기초의 깊이가 일정하지 않는 경우가 있다. 특히 라멘조 등의 부정정 구조물에서는 그 깊이가 기초의 지지조건을 좌우하기 때문에 구조물에 악영향을 주게 된다. 따라서, 이와 같은 경우에는 되도록 독립기초의 바닥은 동일 높이로 하는 것이 바람직하다. 지지지반이 얕은 곳은 파고, 또 깊은 곳은 콘크리트 등으로 지지층을 쌓아올리는 등의 배려가 필요하다. 또 독립 기초를 경사지 등 지표면이 경사하고 있는 곳에 설치할 경우는 바닥면의 경사로 발생하는 수평력에 의해 편심과 경사하중이 생기게 되고 지지력의 감소가 현저하기 때문에 설계시 충분한 검토가 필요하다.[1)]

2.2 Mat 기초

건물의 기초구조 선정에 있어서 지반의 허용지지력이 작고, 상부구조의 하중이 커서 독립기초나 복합기초로 하면 기초의 바닥면적이 건물이 차지하는 면적의 반 이상이 될 때는 대부분 Mat기초 공법으로 시공한다.

최근 공정의 복잡성 해소, 공기단축, 인건비 절약 등의 요구로 전체 공사비가 다른 기초 형식에 비하여 1/3이상의 상승이 예상되더라도 현장의 요구에 의하여 채용이 늘어나는 경향이다.

Mat기초는 연약지반에 빌딩을 건설시 적용하며, 기초폭이 크기 때문에 지중에 전달되는 응력의 범위가 넓으므로 침하에 대한 검토를 충실히 해야 한다. 구조물의 침하는 파괴가 일어나지 않는 경우라도 구조물의 사용성, 손상, 외관 등의 측면에서 중요한 의미를 가진다.[2)]

상부구조의 광범위한 면적내의 응력을 단일의 기초 슬래브로 지정 또는 지반에 전달하는 기초형식으로, 보기에 따라서는 복합기초 혹은 연속기초의 일종이라고도 생각할 수 있다.

Mat기초의 특징은 다음과 같다.

1) 건물전체를 연속한 바닥면적을 가진 단일 기초슬래브로 지지하는 것이다.
2) 바닥면적은 외벽선 둘레에 내민보(캔틸레버보)식으로 바닥면을 넓히는 정도이고, 임의로 바닥면적을 늘리는 것이 불가능하므로 하중의 증대에 대처하기 위해서는 허용 지내력도를 크게 할 필요가 있다.
3) Mat기초의 저면 너비는 독립기초에 비해서 훨씬 크므로 지지력 및 침하를 지배하는 영역이 지표면 아래로 상당한 깊이까지 도달하는 것이다.
4) 인접지의 터파기 영향이 없으면 건물지하부분의 깊이가 그대로 유효한 근입깊이가 될 수 있다. 따라서 이른바 뜬기초(Floating Foundation)로 활용하는 것이다.
5) 초고층 건축물의 기초는 내진 및 부동침하의 방지를 위하여 기초슬래브의 두께를 대단히 두껍게 하여야 하며, 기초의 바닥면적도 커야하므로 Mat 기초를 채택하고 있다. 이때 주의해야 할 점은 기초 폭의 커짐에 따라 지중에 전달되는 응력의 범위도 넓으므로 침하에 대한 검토를 세심하게 해야 하며 상부구조의 하중이 부분적으로 다른 경우에는 그 접합부분의 변형과 전단력을 검토하여야 한다.[3)]
6) Mat기초는 콘크리트 단면이 일정하므로 콘크리트 타설, 다

1) 토목(지질)학회, 동호회, http://www.ceg4u.com/, Visited. Oct. 16.
2) 김기아, 지반소성을 고려한 매트기초의 탄소성 유한요소해석, 대한건축학회, 학술발표논문, 제19권 제2호, 1999.10.30.pp.151
3) 건축시공실무자료집/2.기초공사, 건축학술부, 정학사, 1997.7, P.22를 참고로 함.

짐 및 양생이 용이하여 구조체의 품질 향상에 유리하나 철근콘크리트 시공량이 많으므로 철근콘크리트의 시공계획에 대한 세심한 사전준비가 필요하다.

2.3 Drop Mat기초

Drop Mat의 기본 이론은 Flat Slab에서 찾아볼 수 있다. Flat Slab구조물에 대한 Lowe나 Timoshenko의 이론은 오래전부터 학계의 인정을 받고 있으나, 이론식이 복잡하여 현실적으로 실용화하기에는 대단히 어려운 실정이다.[4]

일반적으로 Flat Slab란 보는 없고 기둥만으로 지지되는 슬래브로서, 기둥 둘레의 전단력과 모멘트를 감소시키기 위하여 드롭 패널(지판, Drop panel)과 기둥머리(Column capital)를 둔 것이다.

드롭 패널과 기둥머리 없이 기둥만으로 지지하는 슬래브도 있는데, 이를 평판 슬래브(Flat plate slab)라고 하며, 하중이 크지 않거나 지간이 짧은 경우에 사용된다.[5]

보다 쉽게 구조설계에 응용할 수 있도록 Marcus, Gehler, Westergard 등이 탄성판의 휨이론 및 라멘해석에 기초를 둔 약산법을 발표였으나, 이들 안은 설계식이 판의 변장비에 대한 제한과 드롭패널의 크기에 관계없이 일정한 수치에 의한 판모멘트 분배율 설정 등으로 이론해석값과는 많은 차이를 갖고 있다.[6] 대한건축학회에서 제정한 철근콘크리트구조계산규준에 의할 경우, 특별한 응력해석을 하지 않을 경우는 실용적 약산식으로 라멘계산법과 토탈모멘트법으로 Drop Mat 기초를 해석하도록 권장하고 있으며, 그 중에서도 사용하기가 비교적 쉬운 라멘계산법 일종인 Gehler법을 실무자들은 Flat Slab 및 기초의 해석에 많이 이용하고 있는 실정이다.

Drop Mat기초의 특징은 다음과 같다.

1) 건물 전체는 기둥하부의 Drop Panel 부분과 매트 부분의 연속된 바닥으로 지지하는 것이다
2) Drop Panel은 기둥으로 전달되는 건물하중의 축력을 충분히 견딜 수 있는 두께와 폭을 유지하여야 한다.
3) Drop Panel 부분과 매트접속 부분은 구조적 연속성을 유지하기 위하여 철근의 정착 및 콘크리트 일체 타설이 요구된다.
4) 기초 콘크리트의 단면이 일정하지 않으므로 철근배근, 콘크리트 타설, 다짐 및 양생이 어려워 구조체의 품질향상에 불리하나, 경제성을 감안하여 발주자의 요구에 의하여 채용되는 경우가 있다.
5) 기초는 Mat 하부에 Drop Panel를 별도 설치하여야하므로 공정관리 시공관리 측면에서 Mat 기초에 비하여 상대적으로 불리하다.

4) 송호산, 지반크기변화에 따른 Flat Slab 구조물의 휨모멘트에 대한 연구
5) 변동균외 2인, 철근콘크리트, 동명사, 2001. p.279
6) 송호산, 지판크기변화에 따른 Flat Slab 구조물의 휨모멘트에 대한 연구, 재인용

3. 기초 형식의 선정 방법

3.1 기초형식의 제한조건

기초형식은 기초형식 선정시에 다음과 같은 여러 가지 조건에 의하여 제한을 받는다.

1) 경제성

건축주는 원가절감을 우선 지향하는 경향이므로 설계 단계에서 공사비가 작은 기초형식을 대체적으로 선호하고 있다. 시공단계에서 예상되는 재료 및 인건비의 변동을 고려하여 기초형식이 검토되기도 한다. 일반적으로 기초형식은 프로젝트의 규모와 특성에 적합한 경제적 기초 형식으로 제한되고 있다.

2) 시공성

현장 기능공의 고령화, 3D업종의 기피현상 등으로 노무절감이 요구되는 건설현장에서 자재의 운반 및 조립의 용이성, 장비 이용의 효율성 등은 공사를 최적화하게 하는 필수 요건이라 할 수 있다. 지하주차장 기초형식은 공사의 최적화를 위하여 시공용이성의 여부에 의하여 제한되고 있다.

3) 공사기간

건축주는 프로젝트의 선정 기간을 단축하기 위하여, 시공자는 공사의 간접비를 절감하기 위하여 지하공사에서 공사기간의 단축을 시도하고 있다. 지하공사에서 공사기간을 단축하기 위한 수단으로 기초형식을 제한하고 있다.

4) 지반의 특성

직접기초는 지표면하의 건전한 지반 상에 설치되고, 기초지반은 일반적으로 사질토와 점성토로 형성되어 있다. 사질토와 점성토는 함수비, 투수계수, 다짐특성, 장비주행성 등, 물리적 특성이 서로 상이하므로 지하주차장 기초형식은 토질의 특성에 적합한 공법에 의하여 제한되고 있다.

5) 품질확보 용이성

상부 구조물의 기초구조로서의 중요성을 감안할 때, 기초의 평면 및 단면의 복잡성 등으로 품질확보에 지장을 초래하는지의 여부는 지하주차장 기초 형식을 선정함에 있어 중요한 조건이 된다.

6) 후속공종에 대한 영향

세부 작업수가 많으면 사용재료의 현장 적치량이 증대되며, 현장 적치량의 증대는 후속공종에 의한 구조물의 품질저하 프로젝트의 공기지연 등을 초래하므로 세부 작업수에 따른 후속공종에 대한 영향은 지하주차장 기초형식을 제한하고 있다.

3.2 기초형식 선정시 고려사항

기초형식 선정시는 기초형식을 제한하는 다음특성에 대하여 충분한 고려가 필요하다.

1) 경제성

기초를 완성하는데 소요되는 공사비는 공종별로 토공사, 거푸집공사, 철근공사, 콘크리트공사로 구성되어 있으며, 비목별로는 재료비, 노무비, 경비로 구성되어 있다. 기초는 형식에 따라 기초 규격이 다르므로 기초형식에 따라 토공사, 거푸집공사, 철근공사, 콘크리트공사의 수량이 서로 상이하고 총 공사비에도 차이가 있다. 향후 재료비 및 인건비의 변동을 고려하여 시공단계에서의 기초 공사비를 예측하여 경제성을 판단하기도 한다. 그러나 경제성만 너무 치중하다보면 품질의 저하로 인한 재시공 및 공기지연으로 공사비가 증가되어 결과적으로 경제성이 불리하게 되는 경우가 있다.

따라서 기초형식 선정시에는 각 형식의 기초공사에 소요되는 합리적인 수량 및 공사비를 예측하는 등의 종합적인 검토가 요구된다.

2) 시공성

기초공사에서는 현장의 접근성, 자재조립의 단순성, 자재운반의 용이성, 장비이용의 효율성, 자재적치의 용이성, 기후에 대한 적응성 등의 확보를 통한 시공의 최적화를 유지할 필요가 있다. 기초를 설치하기 위한 구덩이 설치 여부는 현장으로의 장비 및 노무접근의 편의성에 영향을 미치고, 기초 거푸집 및 철근 조립의 복잡 정도는 시공의 단순성에 영향을 미친다. 자재의 소요량 및 단위부재의 크기는 자재운반의 용이성 및 장비의 이용 효율을 좌우한다. 시공단면의 복잡정도에 따라 작업을 연속적 시공할 수 있는 시공의 연속성과 우천 시 작업장내서의 배수처리 등의 원활함이 달라질 수 있다. 따라서 기초형식 선정시에는 기초 시공의 최적화를 위하여 시공의 용이성과 관련된 특성들에 대한 충분한 사전 검토가 요구된다.

3) 공사기간

공사기간은 네트워크상의 주공정(Critical Path)에 의하여 결정되어진다. 지하주차장에 있어 기초공사의 공정은 상부 골조의 기초를 설치하기 위한 공정으로 주공정상에 존재하고 있다. 기초의 공사기간은 시공의 조건, 시공 단면의 특징, 장소적 조건, 노무의 조건, 장비의 조합 등에 따라 많은 차이가 있다. 통상적으로 건축주는 프로젝트의 완성기간을 단축하기 위하여 노력하며, 시공자는 간접공사비의 절감을 위하여 기초공사에 있어서 공기단축의 노력을 하고 있으나 공기단축에 너무 치중하다 보면 품질확보 등을 소홀히 할 수도 있다.

4) 지반의 특성

기초 구조물이 설치되는 지반의 조건은 시공의 용이성, 후속공종 및 기후적응성에 영향을 미친다. 지표면 6~8M 이하에서의 건전한 지반에 주로 형성되어 있는 토질은 사질토와 점성토이다. 사질토는 취급하기 좋고 다짐성이 양호하여 기초에서 굴착된 흙의 적재, 배토, 운반, 다짐 등에서 유리하나 점성토는 함수비가 크고 흙의 취급이 어려워서 현장내 적재 및 되메우기, 다짐 등이 불리하다. 따라서 되메우기 다짐 등의 토공량이 많은 독립기초를 점성토 지반에 설치할 경우, 시공성의 저하 및 공기지연 등의 현상이 발생하기 쉽다. 흙막이 굴착에 있어서 지하수위가 기초 저면보다 높을 때 사질토 지반에서는 보일링(Boiling)이 발생하기 쉬우며, 점성토 지반에서는 히빙(Heaving)의 발생이 쉽다. 그러므로 지하주차장 기초형식 선정시에는 지반의 이러한 특성들이 충분히 검토되어 선정되어야 한다.

5) 품질확보 용이성

기초 형식에 따라 평면형태 및 단면규격이 상이하며, 시공순서가 다르므로 기초형식에 따라 품질의 확보의 용이성에 차이가 있다. 구조물의 평면형태가 복잡할수록 거푸집 조립면적이 많아지고 철근배근이 복잡해지며 콘크리트 채움성이 나빠져서 구조물의 품질이 저하된다. 또 단면높이가 일정하지 못하면 구조물의 설계 규격 확보 불량 및 시공 후 콘크리트 변형 등의 품질저하가 발생 할 수 있다. 품질확보 용이성은 Mat기초가 우수하며, 독립기초는 매우 불량하다. 품질확보는 기초 구조에서 중요하므로 지하주차장의 기초 선정시에는 품질확보의 용이성에 대한 검토가 선행되어야 한다.

6) 후속공종에 대한 영향

세부작업의 수가 많아 기초공정에 사용되는 재료가 작업장내에 적치되는 양이 많으면 후속 공정의 준비과정 및 작업진행 과정이 원활하게 진행될 수 없다. 사용재료의 현장 적치량이 많아질수록 현장의 접근성 및 장비 사용률이 저하되며 공정진행에 장애가 발생된다. 그리고 후속공정 진행 중 충격 및 진동 등으로 선 시공된 구조물에 손상을 초래할 수도 있다.

따라서 MAT기초는 공정진행 중 후속공종에 대한 영향이 작으며 세부작업수가 많은 독립기초는 영향이 크다. 지하주차장 기초를 선정함에 있어 세부작업의 수 및 사용재료의 현장 적치 등을 감안하여 후속 공종에 대한 영향이 검토되어야 한다.

3.3 선정방법

지하주차장 기초선정은 설계단계에서 일반적으로 구조 Engineer에 의하여 선정되고 있다. 그러나 구조 Engineer의 타당성 및 현실성 부족으로 합리적인 기초 형식의 선정에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이에 대하여 본 연구에서는 기초형식의 합리적인 선정을 위하여 다음과 같은 절차 및 방법을 적용한다.

첫째, 기초 형식 선정시 고려되어야 하는 특성에 대한 비교연구를 위하여 설문조사를 통하여 특성간 상대 중요도를 측정한다.

둘째, 매트릭스 평가법에 의하여 각 특성의 가중치를 산정한다.

셋째, 기초형식 선정시 고려되어야 하는 특성에 대한 기초형식별 우열상태를 알기 위하여 전체 우열 평가에 영향을 많이 미치는 가중치가 높은 특성에 대하여 사례 비교분석을 통하여 평가한다.

넷째, 사례비교 분석을 통하여 평가된 우열 평가치를 특성 가중치에 곱하여 전체 평가치를 산정 한다.

다섯째, 전체 평가치가 가장 높은 기초형식을 지하주차장의 합리적인 기초형식으로 제시한다.

4. 사례연구

4.1 조사개요

1) 대상선정조건

본 연구 대상 주차장의 연구 기준은 다음 표1과 같다.

표 1. 대상 주차장의 연구기준

구 분	적용사항	비 고
주차대수	80대	3대 Bay
골 조	모두 Beam 없음	1 조건
층 수	지하 2층	1 조건
지 내 력	40 t/㎡	1 조건
기초조건	독립, Mat, Drop Mat	3 조건
분 석	①경제성, ②시공성, ③공사기간	3 조건

위 표와 같이 주차장의 연구기준 조건은 주차대수는 80대로 3대 Bay배치, 골조는 지하2층으로 모두 Beam이 없는 구조, 기초 형식은 MAT 기초, DROP MAT, 독립기초로 계획하고, 단 지내력은 40 t/㎡을 기준으로 한다.

2) 구조설계 기준

본 연구에서 채용한 구조설계 기준은 다음과 같다.

- 건축법(건축물의 구조기준 등에 관한 규칙), 2000
- 콘크리트 구조설계 기준, 건설교통부 제정, 1999
- 건축물 하중기준 및 해설, 건설교통부, 2000

3) 주차장 하중(Parking Load)

본 연구에서 채용한 주차장 하중은 다음과 같다.

(1) 지붕(ROOF FLOOR)

고정하중	2,630 kgf/㎡
	(2,510 kgf/㎡, 2,390 kgf/㎡)
적재하중	1,600 kgf/㎡
계	3,990 kgf/㎡

(2) Typical Floor (주차장 -1st)

고정하중	825 kgf/㎡
적재하중	600 kgf/㎡
계	1,425 kgf/㎡

4) 구조재 강도

(1) 콘크리트 : fc = 210 kgf/㎠
(2) 철 근 : fy = 4,000 kgf/㎠
(3) 허용지내력: fe = 40 t/㎡

5) 사용 컴퓨터 프로그램

(1) FRAME: MIDAS/GEN, MIDAS/SDA
(2) 부재설계: 극한강도설계법에 의한 Software 사용

4.2 경제성 비교

경제성 비교분석을 위하여, 토공사, 거푸집공사, 철근공사, 콘크리트 공사의 수량 및 공사비를 산출하여 비교분석 하였으며, 그 단가기준은 다음과 같다.

재료비는 시중재료비를, 노무비는 시중노임, 경비는 육상기계 경비를 기준으로 하였으며, 단가는 2002년 1월을 기준으로 하였다.

1) 기초형식별 공사비 산출

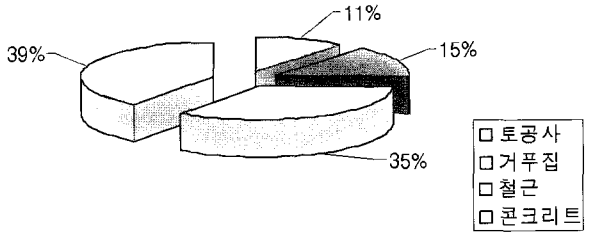

그림 1. 독립기초의 공종별 공사비의 구성비

독립기초의 공사비 전체를 100%로 볼 때 토공사는 11%, 거푸집공사는 15%, 철근공사는 39%, 콘크리트공사는 35%의 구성비를 이루었다.

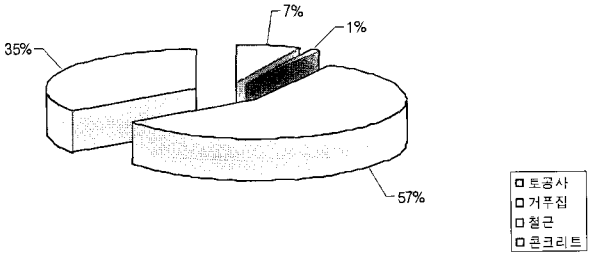

그림 2. MAT기초의 공종별 공사비의 구성비

MAT기초의 공사비 전체를 100%로 볼 때 토공사는 7%, 거푸집공사는 1%, 철근공사는 57%, 콘크리트공사는 35%의 구성비를 이루었다.

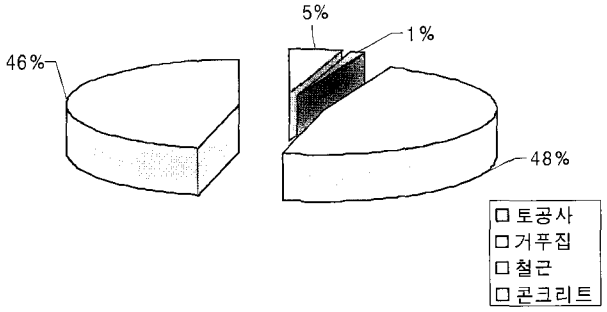

그림 3. DROP MAT기초의 공종별 공사비의 구성비

DROP MAT기초의 공사비는 전체를 100%로 볼 때 토공사는 5%, 거푸집공사는 1%, 철근공사비는 48%, 콘크리트공사는 46%의 구성비를 이루었다.

2) 기초 형식에 따른 수량 및 공사비 비교

(1) 수량비교

기초 형식에 따른 수량을 비교한 결과는 다음 표 2와 같다.

표 2. 기초 형식에 따른 수량 산출 비교표

구 분	Mat기초	Drop Mat기초	독립기초
거푸집(㎡)	120(100)	103(85.8)	725(60.4)
철근(Ton)	178.5(100)	99.7(55.9)	60.7(34.0)
콘크리트(㎥)	1,316.7(100)	1,198.4(91)	648.1(49.2)

표 3에 따르면 Mat를 100으로 볼 때, 거푸집은 Drop Mat기초가 85.8%이며, 독립기초가 60.4%였다. 철근은 Drop Mat기초가 55.9%, 독립기초가 34.0%이며, 콘크리트는 Drop Mat기초가 91.0%, 독립기초가 49.2%로 나타났다.

(2) 공사비 비교

기초 형식에 따른 공사비를 Mat기초를 100으로 하여 비교한 결과 재료비에서는 Drop Mat기초 73.2%, 독립기초 45.5%로 나타났으며, 노무비에서는 Drop Mat기초 59.8%, 독립기초 54.6%로 나타났다. 또 경비에서는 Drop Mat기초 65.5%, 독립기초 49.9%로 나타났다.

기초형식에 따른 총 공사비를 Mat기초를 기준으로 비교한 결과 토공사에서는 Drop Mat기초 49.0%, 독립기초 75.4%였으며, 거푸집공사에서는 Drop Mat기초 85.8%, 독립기초 63.9%로 나타났다. 철근공사에서는 Drop Mat기초가 56.0%, 독립기초 34.0%로 나타났으며, 콘크리트 공사에서는 Drop Mat기초가 90.9%, 독립기초가 49.2%로 나타났다. 그림 4는 기초형식에 따른 총공사비 비교를 그래프로 나타낸 것이다

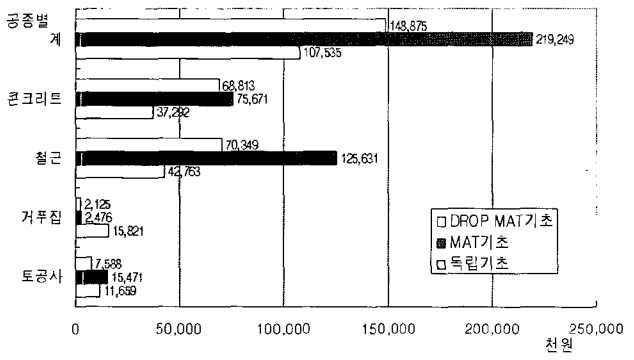

그림 4. 기초형식에 따른 총 공사비 비교

따라서 경제성에서는 독립기초가 Mat기초에 비해 거푸집 공사비는 높았지만 콘크리트 및 철근공사비가 낮게 나타나 가장 경제적(49.0%)이며, 그 다음으로 Drop Mat기초(67.9%)와 Mat기초인 것으로 나타났다.

4.3 시공성 비교

1) 시공성 분석

시공성은 공사관리의 용이성, 접근성, 능률성, 생산성의 확보를 통하여 공사의 최적화를 목표로 하므로 시공단계에서의 시공성과 관련된 특성치에 대하여 각 기초형식들에 대한 시공성을 분석 하였다.

2) 기초형식에 따른 시공성 비교

각 기초형식의 시공성 분석에 따라 시공성을 비교한 결과는 다음 표 3와 같다.

표 3. 기초형식별 시공성 비교

시공성 관련 특성	독립기초	Mat기초	Drop Mat 기 초
현장의 접근성	×	○	×
자재조립의 단순성	×	○	△
자재운반 용이성	×	○	△
장비의 이용성	×	○	△
작업의 연속성	×	○	○
자재 적치 용이성	×	○	○
기후 적응성	×	○	×
종합평가	×	○	△

[(보기) 우수: ○, 보통: △, 불량: ×]

4.4 공사기간 비교

본 연구에서는 도심의 지하주차장 건축 공사에 상당한 기간의 경험을 지닌 건설업체의 현장 기술자들과의 면담조사를 통하여 각 작업들간의 적정한 조합형태 및 생산의 효율성을 고려한 작업인원과 장비조합의 적용을 기준으로 하여 작업기간을 산정하였으며, 과거 유사공사의 공사일보 등의 자료를 통하여 적정성을 확인하였다. 각기초형식별 세부작업들의 작업기간을 정한 다음 Net work 공정표를 작성하여 주공정(Critical Path)상에서 공사기간을 산정하였다.

1) 적용기준

각 작업을 수행하는데 필요한 시간을 산정함에 있어 적용된 1일당 투입되는 자원의 기준은 다음과 같다.

표 4. 작업별 투입자원의 기준

인 력			기계 및 장비			
공종	구분	수	공종	장비명	규격	수
거푸집 공사	형틀목공	6	콘크리트타설	펌프카	80㎥/hr	1
	보통인부	2		크레인	-	1
철근 공사	철근공	10	되메우기	백호	0.2㎥	1
	보통인부	4		컴팩터	1.5	1
콘크리트공사	타설공	8	잔토처리	로우더	2.29	1
	보통인부	4		덤프	15t	4

2) 기초 형식에 따른 공사기간 비교

기초 형식에 따른 공종별 공사기간을 비교한 결과, Mat기초를 기준으로 하였을 때 토공사의 경우 Drop Mat기초가 266.7%, 독립기초가 233.3%, 철근공사의 경우는 Drop Mat가 140%, 독립기초가 120%로 나타났다. 거푸집 공사의 경우, Mat기초와 Drop Mat기초의 기간은 같았으며, 독립기초는 325%로 타나났다. 콘크리트 공사의 경우 또한 Mat기초와 Drop Mat기초의 기간은 같았으며, 독립기초의 경우는 200%

로 나타났다.. 기타공사의 경우는 Mat기초와 Drop Mat기초의 기간이 같이 소요되었으며, 독립기초의 경우만 275%로 나타났다.

Critical Path를 통하여 전체 공사기간을 비교한 결과 Mat기초를 기준으로 하였을 때, Drop Mat기초가 137.5% 독립기초가 187.5%로 나타났다.

다음 그림 5은 기초형식에 따른 공기의 비교를 그래프로 나타낸 것이다.

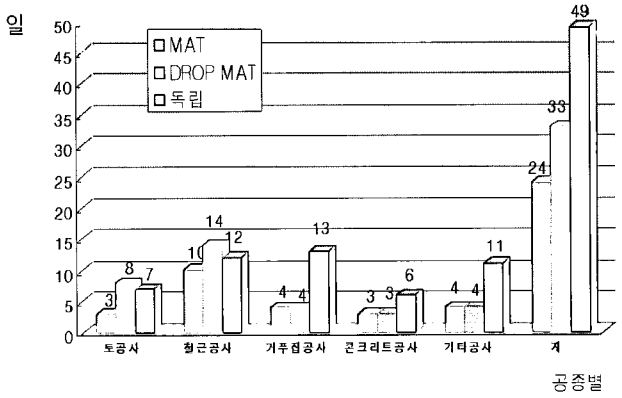

그림 5. 기초형식별 전체공기 비교

4.5 매트릭스 평가방법에 의한 평가결과

기초형식 선정시 고려되어야 하는 특성에 대한 특성간 상대중요도를 측정하기 위하여 설문조사를 하였다. 설문기간은 2002년 11월 14일부터 21일까지 총 8일이 소요되었으며, 총 50부를 배포하여 30부를 회수하여 60%의 회수율을 보였다. 설문대상은 건축설계경력 5년 이상의 건축사를 대상으로 하였다.

설문조사 결과에 따라 특성간 상대 중요도를 매트릭스평가방법에 의하여 분석한 다음 독립기초, Mat기초, Drop Mat 기초의 형식별 우열도를 사례연구 결과를 적용하여 비교분석하였다. 기초형식별 특성우열비교 결과는 다음 그림6과 같다.

그림에 따르면 특성의 상대 비교에서 각 특성별 가중치는 경제성 7.5, 시공성 8.8, 공사기간 10.0, 지반특성 1.3, 품질확보 용이성 2.5, 후속공종에 대한 영향 3.8로 나타났다.

이는 결과적으로 경제성, 시공성, 그리고 공사기간의 가중치는 많이 높지만, 지반특성, 품질확보 용이성, 후속공종에 대한 영향 가중치는 아주 작은 것으로 나타났다.

기초형식별 특성에 대한 우열 평가치의 합계는 독립기초 64, Mat기초 119.3, Drop Mat기초 101.7로 나타났다.

독립기초는 가중치가 높은 경제성, 시공성, 공사기간중 경제성에서는 매우 우수하였으나, 시공성, 공사기간에서 매우 열등 하였으며, Mat기초는 경제성에서 열등하였으나, 시공성, 공사기간에서 매우 우수한 것으로 평가된다. Drop Mat기초는 가중치가 높은 특성에서 모두 보통으로 평가된다.

종합적으로 사례 대상에서 기초공법을 평가한 결과 Mat기초가 가장 우수한 것으로 평가 되었다.

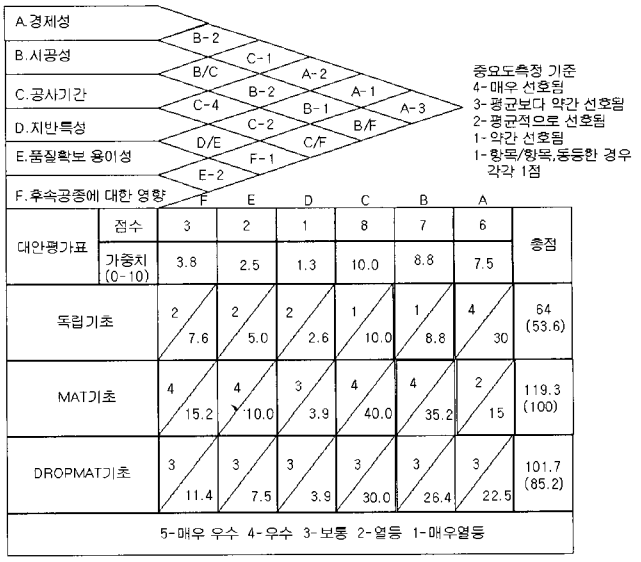

그림 6. 기초 형식별 특성우열 비교

5. 결 론

공동주택의 주차장을 지하공간에 설치함에 있어 기초형식을 선정할 시에는 기초형식별 특성을 종합적으로 비교 분석함을 통하여 합리적인 선정이 필요하다. 그러나 설계단계에서 구조 Engineer의 타당성 및 현장분석 부족으로 합리적인 기초형식의 선정에 어려움을 겪고 있으며, 시공단계에서는 시공 Engineer들이 Mat기초와 Drop Mat의 기초두께를 절충하여 Mat두께를 감소시키거나 Drop 두께만큼의 콘크리트로 기초두께를 증가시켜 Drop Mat기초를 Mat기초로 시공하는 등의 불합리한 현상이 발생하고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 지하 2층, 주차면수 80면, 3Bay 규모의 주차장을 사례로 정해 동일한 안전율을 적용한 구조계산을 근거로 독립기초, Mat기초, Drop Mat기초에 대한 부재설계를 하여, 기초 방식별 특성과 중요도에 대하여 설문조사를 실시하고, 기초형식별 공사비 비교, 공기산정, 시공성 분석 등을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 경제성을 재료비, 노무비, 경비를 종합한 총공사비를 기준으로 비교 분석한 결과, 독립기초를 기준으로 할 때, Drop Mat기초는 1.88배, Mat기초는 2.04배 공사비가 많아지는 것으로 나타났다.

둘째, 시공성을 관련 특성으로 비교분석 한 결과 독립기초, Drop Mat기초, Mat기초의 순으로 시공성이 우수한 것으로 나타났다.

셋째, 공사기간은 Critical Path를 비교 분석한 결과 Mat기초를 기준으로 할 때, Drop Mat기초는 1.33배, 독립기초는 1.87배 길어지는 것으로 나타났다.

넷째, 사례대상 주차장의 기초형식간의 우열도를 매트릭스 방법을 통하여 종합적으로 분석한 결과, 독립기초와 Drop Mat기초 보다 Mat기초가 가장 우수한 기초 형식으로 분석되었다.

다섯째, 프로젝트의 특성에 따른 분석에서 공사기간이 우선 고려되어야 할 프로젝트에서는 Mat기초와 Drop Mat기초, 경제성이 우선 고려되어야 할 프로젝트에서는 독립기초와 Drop Mat기초의 적용이 유리할 것으로 분석되었다.

이상의 연구로부터, 본 연구는 설계단계에서 지하주차장 기초 형식을 선정할 때 프로젝트의 규모 및 특성에 따른 기초형식 선정을 위한 기초 자료로서 유용할 것으로 판단되며, 시공단계에서 시공 Engineer의 공사관리의 기준 및 목표 설정에도 도움이 될 것으로 본다. 다만, 본 연구가 건전한 지반상에 건립되는 철근콘크리트구조의 3Bay 지하주차장만을 대상으로 연구한 사례이므로 향후 기초지반 다양성, 주차평면의 다변화, 건축구법의 개발 등을 고려한 기초형식선정 방법을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Braja M. das, Principal of foundation Engineering, third edition, pws publishin company
2. Joseph E. Bowles, "Mat Design", ACI Journal, Nov-Dec. 1986. P.1010-1016
3. Joseph E. Bowles "Foundation Analysis and Design: McGraw-Hill, 1997.
4. Kazuo Murai(1999), A Calculation of settlement for buildings with mat foundation by considering the rebound of the ground, the 11th ARC
5. Saha D.Milovic(1997), A comparison between observed and calculated large settlements of raft foundation, Canada, Geotech Journal
6. Shyam N. Shukla, "Simplified Method for Design of Mats on Elastic Foundations", ACI Journal, Sep-Oct. 1984, p.469-475
7. 토목(지질)학회, 동호회, http://www.ceg4u.com/, Visited. Oct. 16.
8. 김기아, 지반소성을 고려한 매트기초의 탄소성 유한요소해석, 대한건축학회, 학술발표논문, 제19권 제2호, 1999.10.30.pp.151
9. 건축시공실무자료집/2.기초공사, 건축학술부, 정학사, 1997.7, P.22를 참고로 함.
10. 송호산, 지반크기변화에 따른 Flat Slab 구조물의 휨모멘트에 대한 연구
11. 변동균외 2인, 철근콘크리트, 동명사, 2001. p.279
12. 송호산, 지판크기변화에 따른 Flat Slab 구조물의 휨모멘트에 대한 연구, 재인용