

말뚝기초와 이질지반 경계부 기초저판에서의 발생모멘트 예측에 관한 연구

A Study on Prediction of Moment Developed in Bottom of Foundations between Pile and Heterogeneous Soils

임해식¹ · 박용부²

Hae-Sik Lim¹ and Yong-Boo Park²

(Received June 8, 2011 / Revised July 19, 2011 / Accepted July 20, 2011)

요 약

동일 건축물의 지지력변화 구간이나 이질기초 부위에서 보강방법은 경험적이나 약식검토방법으로 처리되고 있으므로 이를 보완하기 위해 해석적 기법을 도입하여 발생 모멘트를 예측할 수 있는 방법을 제시하였다. 먼저, 문헌조사를 통한 현재의 보강대책 및 침하량 산정법에 대한 문제점을 도출하고 49m², 54m², 84m²(I형 15층) 아파트를 대상으로 말뚝기초와 이질기초사이의 거동을 범용 구조해석 프로그램(SAP 2000)을 통해 구조해석을 실시하였다. 즉, 49m², 54m², 84m²(I형 15층) 3가지 형태의 기초슬래브가 이질기초에 설치시 영향을 수치해석한 결과를 바탕으로 이질정도에 따른 발생 모멘트를 예측할 수 있도록 도표로 제시하였다.

주제어 말뚝기초, 기초슬래브, 이질지반, 지반반력계수, 휨모멘트

ABSTRACT

To reinforce bearing capacity-changed section or different foundation in the same building, empirical or simple tools have been used. To solve this problem, an analytical solution which can evaluate and reinforce the stability of foundation is introduced. To suggest a clue for the problems, current foundation reinforcing method is studied through recent literature studies and the structural analyses of foundation slab are performed on the pile foundation of 49m², 59m² and 84m² I type apartments in 15 story building. The analyses are conducted with SAP 2000, a computer program for ordinary structural analysis. To predict the moments of slab by ground non-uniformity, the structural analysis results for the foundation slab of 3 types 15 story apartment buildings in 49m², 59m² and 84m² I type on non-uniformity ground are shown in the diagrams.

Key words Pile Foundation, Foundation Slab, Heterogeneous Soil, Soil Reaction Coefficient, Bending Moment

1. 서 론

구조물 기초가 불균질하거나 경사진 지반, 또는 일반토사에서 암반으로 지지력이 급변하는 지반구간에서 시공되는 경우가 빈번하다. 특히, 주차장과 건축물을 통합하는 통합주차장의 기초는 영역별로 다른 형식으로 계획하는데 이 경우 말뚝과 지내력 기초 또는 지내력 기초와 매트등 이질기초로 시공하고 경계부위에 대한 보강대책을 적용하고 있다.

즉, 이질 기초부위의 침하량과 절대 침하량, 부등 침하량은 경험적 기울기 기준으로 안정을 판단하고 이것에 대한 보강 대책은 경계부위 보강 콘크리트 타설 또는 기초 내림 및 동일 기초(대개의 경우 말뚝기초)로 안전측 시공을 실시한다. 그러나, 기초부위의 침하량을 고려한 지지력 산정 방법이 이론적으로 객관적 타당성을 가지고 심도있게 검토되지 않았다. 특히, 많은 현장에서 시공중 상기의 문제가 예기치 않게 발생되는데 전문가의 심도있는 검토와 대책제시를 위한 시간

본 논문은 대한주택공사(1999)의 “기초 지지력 변화구간에서의 기초안정성 검토방안” 보고서를 바탕으로 작성되었음.

1) 한국토지주택공사 녹색도시설계단 차장(주저자: haisik@lh.or.kr)

2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(교신저자: parkyb@lh.or.kr)..

적 여유가 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 구조해석을 실시하여 지반의 이질 정도에 따라 말뚝기초 상부의 기초저판에서 발생하는 최대 휨모멘트 예측과 이때의 이질기초에 대한 보강대책 방안을 제시하였다. 이를 위해 이질 기초경계면에서의 침하량 산정 법과 침하량을 고려한 경계면 보강실태를 조사하고 이질 기초부위에서의 침하량을 고려한 해석 프로그램인 SAP 2000 을 사용하여 공동주택의 대표적인 평형인 49m²-105-15I, 59m²-90-15I, 84m²-60-15I(세대면적-세대수-층수)를 대상으로 구조해석을 실시하였다. 이때, 기초형식은 말뚝기초이며 구조물 평면을 4등분하여 지반강성의 차이를 두고 발생 모멘트를 검토하였다. 즉, 기초구조물의 형상, 크기, 자체강성, 토질 조건을 고려한 구조해석 실시하여 구조부위(슬라브, 기둥, 보 등)의 보강철근 범위 및 기초하부 시공방안을 제시하였다.

2. 이질기초의 침하해석과 보강

2.1 침하를 고려한 해석개념

허용지지력이하의 하중강도에서는 기초의 하중—침하곡선은 거의 탄성범위내에 있는 경우가 많기 때문에 지지지반을 탄성체로 간주하는 것이 근사적으로 허용된다. 일단 지반이 탄성체라고 가정하고 탄성계수와 포아손비만 결정되면 여러 종류의 경계치 문제에 대해서 수치해석을 하는 것이 가능하다. 여기서, 침하량을 정확히 예측하기 위한 것이라고 하기보다 설계를 위해서 사용하기 쉬운 형태로 정리한 근사식으로 나타내면 다음과 같다. 지반을 똑같은 반무한 탄성체로 가정하면 그 표면에 작용하는 하중점의 침하량은 탄성이론의 지중응력에서 Hooke의 법칙에 의해서 연직변형을 구하고, 그것을 깊이방향으로 적분하여 구할 수 있다(식 (1), Terzaghi, 1943).

$$S_E = I_s \frac{1-\nu^2}{E} qB \quad (1)$$

여기서, S_E : 즉시 침하량(m)

B : 기초의 단변길이(원형의 경우는 직경)(m)

q : 기초의 평균하중(t/m²)

E : 지반의 탄성계수(t/m²)

ν : 지반의 포아손비

I_s : 기초저면 형상과 강성에 의해 결정되는 계수

식 (1)은 동일한 E 및 ν 의 지반이 무한히 깊은 경우의 침하량 산정식이고 유한두께의 지반상에서 하중면의 침하량 해석은 직사각형 기초의 등분포하중에 의한 하중면의 모서리의 탄성침하량을 고려한 것이지만, 이것을 이용해서 직사각형 하중 기초면의 구석부와 중앙의 침하량의 평균치를 구하면

식 (2)와 같이 된다(우기영외, 1992).

$$S_E = \nu_H \frac{q\sqrt{A}}{E} \quad (2)$$

여기서, S_E : 즉시 침하량(m)

A : 기초의 저면적(m²)

q : 기초의 평균하중(t/m²)

E : 지반의 탄성계수(t/m²)

ν_H : 지반의 포아손비, 두께 및 기초저면의 형상에 의해서 결정되는 계수

한편, 응력계산용 접지압을 구하는 방법은 격자보의 아래 선상에 분포한 탄력을 생각하여 구할 수 있고 기초 슬래브의 아래 면상에 분포한 탄력을 고려하면 직접적으로 슬래브 부분과 격자보 부분의 응력을 구할 수 있지만 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해 각 기둥 아래에서 집중적으로 탄성지점된 격자보로 생각하면 된다. 이 모델에 각 기둥하중을 가하여 지점반력과 지점의 침하량을 계산하고 동시에 지점 상대침하에 의한 격자보의 응력을 산정한다. 단, 이 기둥하중에는 기초슬래브 자중을 포함하지 않는다. 실제의 지점반력과 지점침하는 기초슬래브의 자중을 포함하는 기둥하중에 의해 구해지지만 기초슬래브의 응력을 구하는 경우에는 그 자중이 아직 단단해지지 않는 콘크리트를 통해 지반에 전달되므로 기초슬래브 자중을 생각하지 않아도 좋다.

2.2 이질기초 적용시 보강대책

지층의 굴곡이 심하고 지지층의 깊이가 건물부위별로 차이가 많아 동일 구조물내에서 말뚝기초와 지내력 기초로 이루어진 이질기초는 부등침하를 최소화하고 경계부위의 응력 집중에 대비, 강성이 큰 매트기초등을 적용한다. 필요시 추가로 철근을 보강하며 경계구간은 말뚝시공으로 인해 지내력이 확보되지 않을 수 있으므로 경계부위에 C중 콘크리트등으로 지반을 보강한다(손덕길외, 2002).

3. 범용 프로그램에 의한 구조물 해석

3.1 해석 대상구조물

공동주택의 구조는 기초의 형식이나 시공방법이 아래와 같이 매우 다양하다.

- ① 평형 : 49m², 59m², 84m², 108m²
- ② 층수 : 5층, 10층, 15층, 20층, 25층
- ③ 복도타입 : 계단형, 복도형
- ④ 구조물 형태 : I형, L형, 탑상형, 복합형
- ⑤ 세대조합 : 4호 조합, 6호 조합, 7호 조합, 8호 조합등.

표 1. 해석 구조물 조건

평형	49m ² (기초면적 : 11m×49m)	59m ² (기초면적 : 11m×45m)	84m ² (기초면적 : 15m×46m)
층수	15	15	15
복도타입	계단형	계단형	계단형
구조물형태	I형	I형	I형
세대조합	7	6	4

표 2. 두께 80cm인 경우의 기초슬래브 모멘트별 소요 철근량

$F_c = 240\text{kg/cm}^2$ $F_y = 4,000\text{kg/cm}^2$
 Plate Thk. = 80cm Conc. cover = 10 cm (unit : t-m)

배근 간격	D19 (cm ²)	D19+D22 (cm ²)	D22 (cm ²)	D22+D25 (cm ²)	D25 (cm ²)	D25+D29 (cm ²)	D29 (cm ²)
100	68.43	79.66	90.69	103.68	116.38	130.30	136.09
125	55.21	64.37	73.40	84.08	94.56	106.11	117.41
150	46.27	54.0	61.64	70.69	79.61	89.46	99.14
180	38.73	45.25	51.69	59.35	66.90	75.27	83.51
200	34.94	40.84	46.67	53.61	60.47	68.07	75.57
250	28.07	32.83	37.55	43.17	48.74	54.92	61.04
300	23.46	27.45	31.41	36.13	40.82	46.03	51.19
Mnmax(t-m)	138.08	137.78	137.48	137.18	136.88	136.48	136.09

해석대상은 다양한 구조물형태중 보편적이고 향후, 시공가능성이 높은 경우를 해석대상으로 선정하였다(표 1).

상기 선정된 구조물을 해석하기 위한 프로그램은 SAP 2000을 이용하였다. 일반적으로 구조해석용 범용 프로그램으로는 SAP 2000, MIDAS, ETABS등이 있으나 이중 기초부위의 조건을 고려하기 위해 SAP 2000을 주프로그램으로 활용하였다.

해석자료는 구조계산서, 1층 및 지하층 전체 평면도, 지하층 부분확대도, 지지력별 말뚝기초 평면도, 말뚝기초의 철근량 산정표 또는 배근도등을 사용하였으며 슬래브 두께는 80cm이다. 일반적으로 아파트기초에서 사용되는 바닥슬래브의 발생 모멘트 값에 해당하는 철근량은 표 2와 같다.

표 2는 하중을 벽체나 기둥으로 재하하는 구조물에서 말뚝기초와 슬래브사이의 발생하는 최대 모멘트(Mnmax)를 보강하기 위해 사용하는 철근 D19, D22, D25, D29의 철근량 산정표로서 설계사무소등에서 실무적으로 이용하고 있다.

3.2 기초형식 및 지반조건

대부분의 건축구조물은 지반 지지력의 조건에 따라 전면기초(매트기초)와 말뚝기초로 나누어 설계와 시공을 하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 해석대상 구조물인 15층 아파트 기초에 적용되는 말뚝기초로 기초형식을 설정하고 기초하부의 지반조건을 변화시키면서 구조물 하중재하시 각 위치별 모멘트 분포를 관찰하였다.

말뚝기초에서 한쪽 말뚝지반의 지반반력계수를 식 (3)에

의해 산정하고 한쪽 지반은 이와 비슷한 강성의 암반지반 반력계수를 찾아 이 강성에서부터 차등을 두어 이질지반 조건을 모사하였다. 이때, 말뚝과 같은 강성을 가지는 지반반력계수는 약 13,889.12t/m²/m였으며 9,000t/m²/m, 5,000t/m²/m, 1,000t/m²/m의 종류지반이 구조물 평면을 4등분하여 1/2와 3/4 면적비에 위치하는 각 경우에 대해 해석하였다.

기존의 재하시험을 통한 추정법은 다수의 재하시험에서 실측된 k_v 로부터 a를 역산하고 말뚝종류 및 시공법별로 근입비 1/D와의 관계에 착안한 것으로 식 (3)으로부터 구할 수 있다.

$$\text{여기서, } k_v = \frac{a \times A_P \times E_P}{l} \quad (3)$$

- k_v : 말뚝의 지반반력계수(kg/m)
- A_P : 말뚝의 순단면적(cm²)
- E_P : 말뚝의 탄성계수(kg/cm²)
- l : 말뚝길이(cm)
- D : 말뚝지름(cm)

a는 아래에서 산정한다.

- 타입 강관말뚝 a : 0.014(1/D) + 0.78
- 타입 PC, PHC 말뚝 a : 0.013(1/D) + 0.61
- 현장타설말뚝 a : 0.031(1/D) - 0.15
- 내부굴착 강관말뚝 a : 0.009(1/D) + 0.39
- 내부굴착 PHC 말뚝 a : 0.011(1/D) + 0.36

재하시험에 의한 말뚝머리하중 P ~ 말뚝머리 침하량 S 곡

선에서, $\log P \sim \log S$ 곡선법 등에 따라 판정되는 항복시에 있어서 할선경사를 실측 k_v 로 하며 대부분의 데이터가 $L/D \geq 10$ 이기 때문에 원칙적으로 근입비가 10 이상의 말뚝에 적용되는 것이다. 따라서, $L/D < 10$ 의 말뚝에서는 유사한 조건의 재하시험기록 등을 참고로 하여 종합적으로 k_v 를 결정하는 것이 합리적이다(김형원, 2002).

3.3 단면가정 및 모델링(59m², 말뚝기초)

3.3.1 검토조건

- ① 종 별 : 말뚝기초
- ② 형 식 : 철근 콘크리트구조물
- ③ 기초면적 : 45m×11m
- ④ 지반조건

- 말뚝의 스프링정수 산정(PHC 400)

$$\begin{aligned}
 k_v &= \frac{a \times A_p \times E_p}{1,000} \\
 &= \frac{0.935 \times 1257 \times 250,000}{1,000} \\
 &= 293,824 \text{ kg/cm} = 29,383 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

여기서, $a = 0.013(1/D) + 0.61$
 $= 0.013(1/1,000) + 0.61 = 0.935$

$$\begin{aligned}
 A_p &= \frac{\pi \times D^2}{4} \\
 &= \frac{3.14 \times 40^2}{4} \\
 &= 1,257 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$E_p = 250,000 \text{ kg/cm}^2$$

- 말뚝과 상응하는 전면기초부의 지반반력계수

기초저면의 일부는 말뚝기초이고 일부는 강성이 큰 기초지반에 전면기초로 배치되는 경우를 상정하기 위하여 기초저면 1/2이 말뚝기초이고 1/2이 전면기초인 지반에서, 전면기초부 지반의 지반반력계수가 말뚝기초부의 강성과 같은 크기의 지반반력계수를 다음과 같은 방식으로 산정하여 말뚝기초부와 상응하는 전면기초부 지반의 지반반력계수 13,889t/m²/m로 결정하였다. 즉, PHC 400 말뚝의 스프링 정수 29,383t/m를 저판 1/2 부위에 배치하고 나머지 1/2 부위에는 말뚝이 없이 지반으로만 지지하는 경우를 상정하였으며, 기본적으로 격자 크기를 1m×1m로 하고 벽체 부위는 0.2m×0.2m의 격자 크기로 상정하였다(그림 2). 따라서, 말뚝이 없는 지반의 경우라도 지반반력계수의 종류가 부담하는 저부 면적에 따라 다음과 같이 4가지 종류로 나누어진다.

여기서, $k_{v1}(A)$: 격자크기 1m×1m에 사용되는 지반반력 계수
 $k_{v2}(B)$: 1m×0.5m

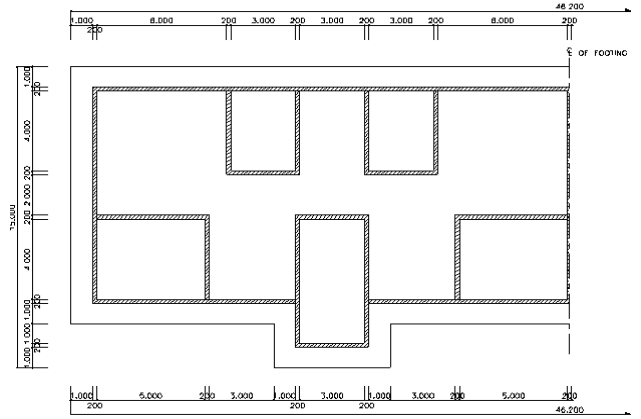


그림 1. 말뚝기초 단면(59m², 단위 : mm)

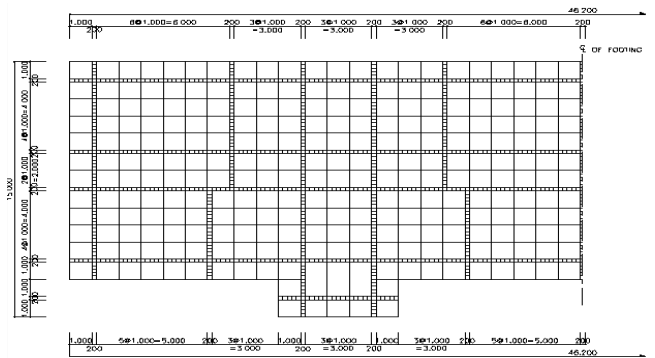


그림 2. 모델링(59m², 단위 : mm)

$$k_{v3}(C) : 0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$$

$$k_{v4}(D) : 0.6\text{m} \times 0.2\text{m}$$

따라서, 1m×1m 격자 크기가 네모서리에서 중첩되는 경우의 지반반력계수를 k_v 라 하면 격자크기 및 중첩에 따라 다음과 같은 4가지 종류의 지반반력 계수를 산정할 수 있다.

$$k_{v1} = k_v \times A$$

$$k_{v2} = k_v \times B$$

$$k_{v3} = k_v \times C$$

$$k_{v4} = k_v \times D$$

이렇게 산정된 지반반력계수를 아래 식 (4)를 이용하여 말뚝기초를 대응하는 지반의 1m×1m 격자크기 지반반력 계수로 산정하였다.

$$\begin{aligned}
 k_{v\text{말뚝}} \times \text{말뚝갯수} &= k_{v1\text{지반}} \times \text{해당격자수} \\
 &+ k_{v2\text{지반}} \times \text{해당격자수} \\
 &\dots
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서, $k_{v\text{말뚝}}$: 말뚝의 스프링 정수
 $k_{v\text{지반}}$: 지반의 지반반력계수

3.3.2 단면가정

기초 단면은 그림 1과 같으며 기초 저판위에 구조체 벽체 부위를 통해 하중이 작용하는 것으로 모사하였다.

3.3.3 벽체 작용하중 산정

① 모델링

말뚝기초 벽체에 작용하는 연직하중은 그림 2와 동일하다. 즉, 벽체 부위로 상부 하중이 균등하게 전달되는 것으로 가정하였다.

② 지반반력계수 수정

말뚝의 스프링정수와 전면기초부위 지반반력계수의 모델링 지지면적에 따른 수정은 전면기초부에서의 방식과 동일하며 이질지반은 말뚝기초와 같은 강성의 지반반력계수에서부터 일정 값씩 지반반력계수를 작게 고려하였다.

표 4는 모델링 조건에서 기초단면의 위치에 따라 해석을 위한 스프링 위치에 따라 4개의 점유면적(격자크기 1m×1m 위치가 4,3,2 모서리가 겹치는 경우와 1m 격자망과 0.2m 벽체두께 격자망이 겹치는 경우)으로 구분하고 지반조건에 따라 지반반력계수를 산정하였다. 즉, 이질기초의 종류를 말뚝의 스프링 정수(29,383t/m²/m), 지반조건별 반력계수(13,889t/m²/m, 9,000t/m²/m, 5,000t/m²/m, 1,000t/m²/m)로 구분하고 기초단면

을 4등분하여 이질기초 전체가 말뚝의 스프링 정수인 경우 (A)등 9가지로 구분하였다.

3.3.4 구조해석 모델링

말뚝기초의 구조해석을 위한 격자망은 기초 슬래브와 스프링으로 묘사한 지반의 형상 및 이질지반으로 인한 지반 처짐을 단면으로 표시한 것으로 그림 3과 같다.

그림 3은 SAP 2000을 이용하여 말뚝기초와 동일한 지반이 3/4, 이질지반이 1/4인 조건이고 기둥아래에서 집중적으로 탄성지지된 격자망의 지점변위, 치환하중 형상이다.

3.4 단면가정 및 모델링(84m², 말뚝기초)

모든 검토방식이 59m²형의 말뚝기초와 동일하며 기초지반면의 크기는 그림 4와 같다.

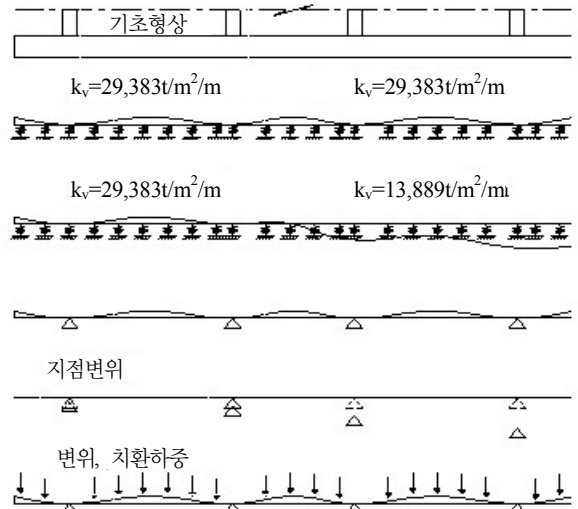


그림 3. 말뚝기초의 구조해석을 위한 격자망

표 3. 지반 및 격자크기별 지반반력계수

k	격자크기 (m)	지반 조건별 반력계수(t/m ² /m)				
		말뚝	지 반			
k _v		29,383	13,889	9,000	5,000	1,000
k _{v1}	1×1	29,383	13,889	9,000	5,000	1,000
k _{v2}	1×0.5	14,691.5	6,945	4,500	2,500	500
k _{v3}	0.5×0.5	7,345.75	3,472	2,250	1,250	250
k _{v4}	0.6×0.2	3,525.96	1,667	1,080	600	120

표 4. 지반조건별 이질기초 종류(말뚝강성 및 지반반력계수)

구분	지반조건별 반력계수(t/m ² /m)			
A	29,383	29,383	29,383	29,383
B	29,383	29,383	13,889	13,889
C	29,383	29,383	9,000	9,000
D	29,383	29,383	5,000	5,000
E	29,383	29,383	1,000	1,000
B'	29,383	13,889	13,889	13,889
C'	29,383	9,000	9,000	9,000
D'	29,383	5,000	5,000	5,000
E'	29,383	1,000	1,000	1,000

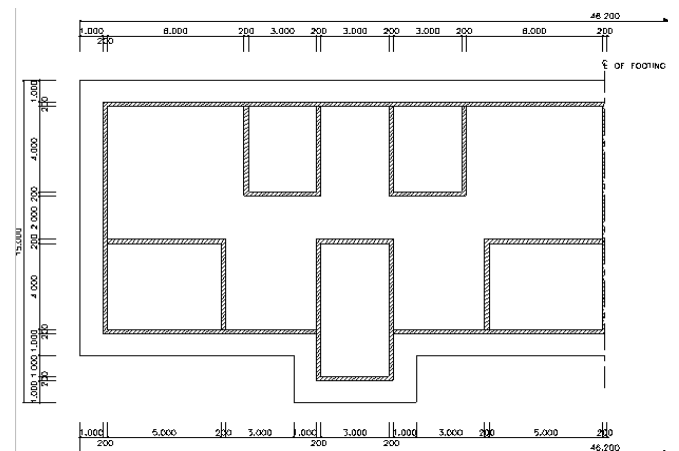


그림 4. 기초지반의 크기(84m², 단위 : mm)

3.5 단면가정 및 모델링(49m², 말뚝기초)

모든 검토방식이 다른 타입의 말뚝의 경우와 같으며 기초 지반면의 크기는 그림 5와 같다.

해석시 매쉬의 크기와 조건에 따라 적용 지반반력계수와 이질지반 조건의 경우의 수를 다음과 같이 하였다.

말뚝의 스프링정수와 전면기초부위 지반반력계수의 모델링 지지면적에 따른 수정은 전면기초부에서의 방식과 동일하며 이질지반을 고려하기 위해 전면기초부 지반반력계수를 낮추어 각각의 지반반력계수를 산정하였으며 이를 요약하면 다음과 같다(표 5~표 6).

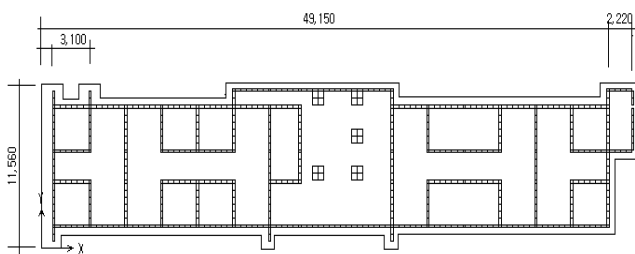


그림 5. 기초지반의 크기(49m², 단위 : mm)

표 5. 지반 및 격자크기별 지반반력계수

k	격자크기 (m)	지반 조건별 반력계수(t/m ² /m)					
		말뚝	지 반				
k _v		29,383	16,540	11,540	6,540	1,000	500
k _{v1}	0.5×0.5	7,345.75	4,135	2,885	1,635	250	125
k _{v2}	0.5×0.25	3,672.88	2,067	1,443	818	125	62.5
k _{v3}	0.25×0.25	1,836.44	1,033	721	409	62.5	31.25
k _{v4}	0.5×0.35	5,142.03	2,894	2,020	1,145	175	87.5

표 6. 지반조건별 이질기초 종류(말뚝강성 및 지반반력계수)

구분	지반조건별 반력계수(t/m ² /m)			
A	29,383	29,383	29,383	29,383
B	29,383	29,383	16,540	16,540
C	29,383	29,383	11,540	11,540
D	29,383	29,383	6,540	6,540
E	29,383	29,383	1,000	1,000
F	29,383	29,383	500	500
B'	29,383	16,540	16,540	16,540
C'	29,383	11,540	11,540	11,540
D'	29,383	6,540	6,540	6,540
E'	29,383	1,000	1,000	1,000
F'	29,383	500	500	500

4. 해석결과 및 분석

4.1 이질 지반에 따른 기초슬래브 최대모멘트 해석결과

49m², 59m², 84m²(I형, 15층)에서 각 평형의 구조물 기초를 일부는 말뚝기초이고 일부는 암지반을 상정하여 먼저 말뚝기초와 동일 강성의 지반반력계수를 산정한후 전체가 말뚝기초인 경우, 일부가 말뚝기초이고 일부가 강성이 큰 지반인 경우를 표 4, 표 6에서와 같이 묘사하여 기초 저판에 발생하는 가장 큰 최대모멘트 값을 종류별로 정리하여 그림 6~11에 나타내었다.

4.2 해석결과와 분석 및 이용방법

상기 해석은 기초단면을 4등분한 조건에서 말뚝기초와 이질지반의 강성인 지반반력계수 차이에 따라 발생하는 모멘트 크기에 따라 배근량을 조정하는 실무적인 방안을 제시하는 것이 주목적이다. 벽체에 재하되는 하중을 균등하게 고려하는 종전 해석법과는 이질지반 조건에서 벽체부근의 하중재하 위치별로 조밀한 격자망으로 설정하여 이질기초에서 발생하는 최대 모멘트 크기별 실무적인 대안을 제시하였다.

그림 6~그림 11의 가로축은 지반의 이질정도와 이질부분의 점유면적을 나타내는 수치이다(표 4, 6 참조). 예를 들어, A는 기초저면 전체가 말뚝기초인 경우를 의미하고 B'는 기초저면의 1/4면적이 말뚝기초로 지지되고 나머지 3/4이 지반반력계수 k_v = 13,889t/m²/m 지반에 위치하는 경우를 의미하게 된다. 세로축은 각 경우에 있어서 기초저판 슬래브에 발생하는 최대 휨모멘트값중 가장 큰값을 나타낸 것이다.

말뚝기초에 이질지반이 면적비로 1/2이나 3/4이 분포하는 59m², 84m²의 경우는 지반반력계수 k_v = 5,000t/m²/m ~ k_v = 13,889t/m²/m인 이질지반에서는 전체가 말뚝기초인 경우에 비해 기초저판 슬래브에 발생하는 최대모멘트 약 80 ~ 90t·m를 나타내고 있다. 기초슬래브의 두께를 변경시키지 않고 배근량의 조정만으로 무리없이 발생모멘트를 저항 할 수 있는 범위는 k_v = 5,000t/m²/m 정도의 이질성을 가지는 지반 정도로 볼 수 있으며 이때 발생 모멘트에 해당하는 배근을 대책으로 제시할 수 있을 것으로 사료된다. 이때, k_v값에 해당하는 지반상태를 선정하기 위하여는 표 7~9를 참조한다.

반면, 49m²의 경우, 이질 정도에 따른 기초저판 슬래브에 발생하는 모멘트값의 변화가 다른 평형에 비하여 크지 않으며 이는 구조체의 벽체배치가 조밀한 것이 원인으로 생각된다. 즉, k_v = 10,000t/m²/m 정도의 차이가 나는 한쪽지반이 암반중 가장 등급이 낮은 CL이나 D등급에 해당하고 한쪽은 말뚝기초로 지지되어도 기초 저판 슬래브에 발생하는 모멘트의 차이는 크지 않다(그림 10, 11).

그림 11에서 기초 저판 모멘트가 크게 발생하기 시작하는 이질 정도 지반은 E', F' 부터로 나타난다. 즉, 말뚝기초 부분

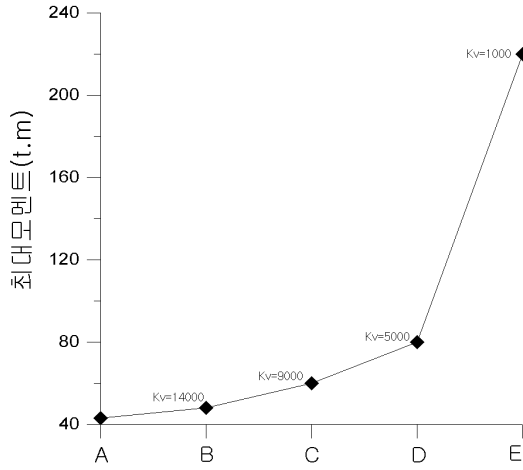


그림 6. 말뚝기초(1/2), 이질기초(1/2) 발생 최대모멘트(59m²)

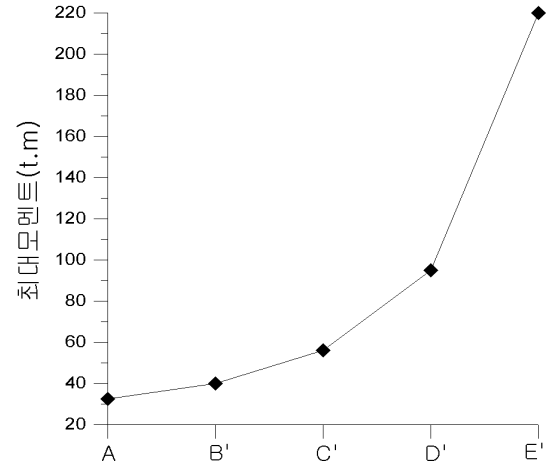


그림 9. 말뚝기초(1/4), 이질지반(3/4) 발생 최대모멘트(84m²)

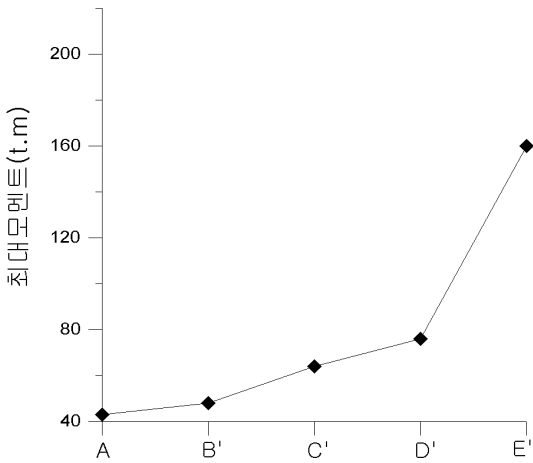


그림 7. 말뚝기초(1/4), 이질지반(3/4) 발생 최대모멘트(59m²)

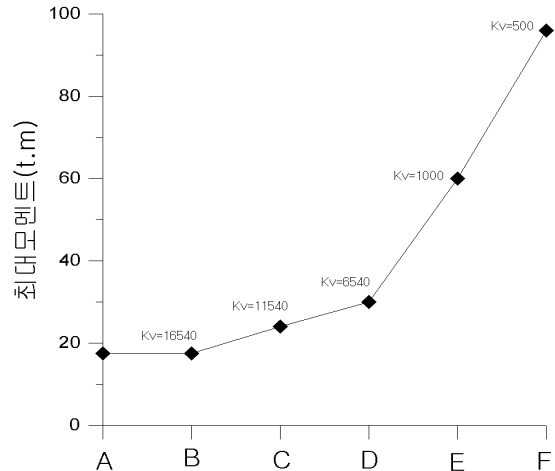


그림 10. 말뚝기초(1/2), 이질지반(1/2) 발생 최대모멘트(49m²)

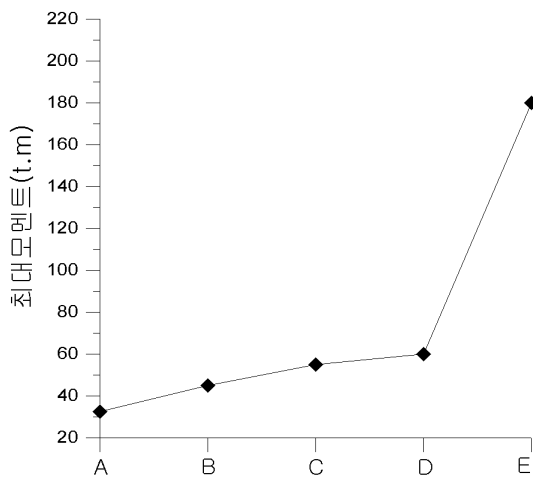


그림 8. 말뚝기초(1/2), 이질지반(1/2) 발생 최대모멘트(84m²)

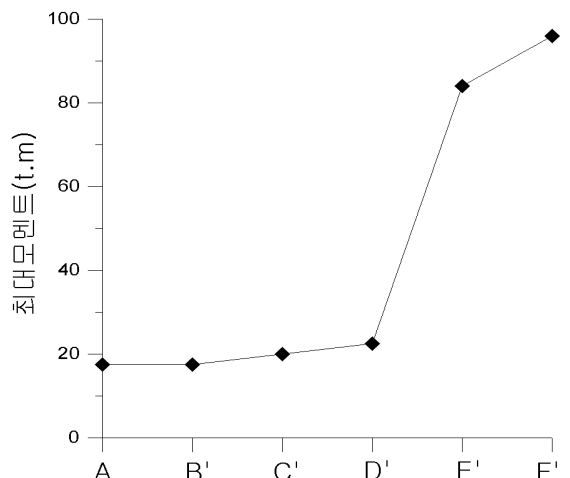


그림 11. 말뚝기초(1/4), 이질지반(3/4) 발생 최대모멘트(49m²)

과 이질 정도가 큰 지반일수록 기초저판 모멘트 응력은 크게 발생하며 그 정도가 어느 한계를 넘으면 급격하게 증가하는

경향을 나타내고 있다.

표 7. 지반반력계수와 암반변형계수와와의 상관성

지반반력계수 (t/m ² /m)	암반의 변형계수(kg/cm ²)			비 고
	49m ²	59m ²	84m ²	
13,900	16,815	19,854	23,441	CH, CM
9,000	10,887	12,855	15,178	CM
5,000	6,048	7,142	8,432	CM
1,000	1,209	1,428	1,686	CL, D

표 8. 각 암반 등급으로부터 예측된 물리정수의 범위(菊地宏吉외, 1982)

암반 등급	암반의 변형 계수 (kg/cm ²)	암반의 점착력 (kg/cm ²)	암반의 내부 마찰각 (°)	암반의 탄성과 속도 (km/sec)	록테스트햄머 반발도	공내재하시험에 의한		인발시험에 의한 전단강도 (kg/cm ²)
						변형계수 (kg/cm ²)	접선탄성 계수 (kg/cm ²)	
A~B	50,000 이상	40이상	55~65	3.7이상	36이상	50,000 이상	100,000 이상	20이상
CH	50,000~20,000	40~20	40~55	3.7~3	36~27	60,000~15,000	150,000~60,000	
CM	20,000~5,000	20~10	30~45	3~1.5	27~15	20,000~3,000	60,000~10,000	20~10
CL	5,000 이하	10이하	15~38	1.5이하	15이하	6,000 이하	15,000 이하	10~5
D								5이하

표 9. 댐기초 암반의 분류(田中, 1966)

구 분	특 징
A	신선하고 조암광물 및 입자는 풍화나 변질되지 않았고 균열 및 절리는 밀착되어있으며 밀착되어 있고 해머에 의해 타격하면 경쾌한 소리가 난다.
B	암질이 단단하고 1mm 이내폭의 균열 및 절리가 있으나 잘 밀착되어있고 조암광물 입자는 부분적으로 약간의 풍화가 있으며 해머에 의해 타격하면 경쾌한 소리가 난다.
CH	석영을 제외한 조암광물 및 입자는 풍화작용을 받았으나 암질은 비교적 단단함. 절리 및 균열 사이에 얇게 점토층이 존재할 수 있으며 해머로 강하게 치면 절리를 따라 압괴 형태로 떨어져 나오고 약간 탁한 소리가 난다.
CM	석영을 제외한 조암광물 및 입자는 풍화작용을 받아 암질은 연해짐. 절리 및 균열 사이에 박층의 점토층이 존재하여 점착력이 다소 감소되어 있으며 해머로 약하게 쳐도 절리를 따라 압괴 형태로 떨어져 나오고 다소 탁한 소리가 난다.
CL	조암광물 및 입자는 풍화작용을 받아 암질이 연해져 있고 절리 및 균열 사이에 점토층이 존재하여 점착력이 감소되어 있으며 해머로 약하게 쳐도 절리를 따라 압괴 형태로 떨어져 나오고 탁한 소리가 난다.
D	조암광물 및 입자는 풍화작용을 받아 암질이 현저히 연해짐. 절리 및 균열 사이에 점토층이 존재하여 점착력이 거의 없으며 해머로 아주 약하게 쳐도 절리를 따라 압괴 형태로 떨어져 나오고 아주 탁한 소리가 난다.

5. 결론

지지력 변화구간, 이질기초 부위에서 지반의 이질정도에 따라 말뚝기초 상부의 기초저판에서 발생하는 최대 휨모멘트를 SAP 2000 프로그램을 통해 산정하고 이질기초에 대한 보강대책 방안을 제시하였다.

1. 말뚝기초에 이질지반이 면적비로 1/2이나 3/4이 분포하는 59m², 84m²형의 경우는 지반반력계수 $k_v = 5,000t/m^2/m \sim k_v = 13,889t/m^2/m$ 인 이질지반에서는 전체가 말뚝기초인 경우에 비해 기초저판 슬래브에 발생하는 최대모멘트 약 80~90t·m이며 기초슬래브의 두께를 변경시키지 않고 배근량 조정만으로 발생모멘트를 저항 할 수 있는 범위는 $k_v = 5,000t/m^2/m$ 정도의 이질성을 가지는 지반조건이다.

2. 구조체의 벽체구조가 조밀한 경우는 이질 정도에 따른 기초저판 슬래브에 발생하는 모멘트값의 변화가 다른 평형에 비하여 크지 않으므로 $k_v = 10,000t/m^2/m$ 정도의 차이가 나는 한쪽지반이 암반중 가장 등급이 낮은 CL이나 D등급에 해당하고 한쪽은 말뚝기초로 지지되어도 기초 저판 슬래브에 발생하는 모멘트의 차이는 크지 않다.

3. 84m²-I형 15층, 59m²-I형 15, 49m²-I형 15층 3가지 형태의 기초슬래브가 이질기초에 설치될 때 구조적 영향을 수치해석을 통해 이질정도에 따른 최대 발생모멘트를 예측하였다.

4. 기초지반의 이질성이 분포할 때 구조물 재설계에 의한 기초보강보다는 지반반력계수 크기에 따라 기초 슬래브 두께 변경없이 배근량 조정에 의해 휨모멘트에 해당하는 방안을 제시하였다.

참고문헌

1. 김형원(2002), 「말뚝기초의 설계·시공노하우」, 탐구문화사, 서울, pp. 79~80.
2. 대한주택공사(1999), 「기초지지력 변화구간에서의 기초안정성 검토방안」.
3. 손덕길·한경렬·하영배·정득재·강득렬·주인돈·한규범·이완철·최정륜·김춘구·김일환·이영직·송민준(2002), 「실무자를 위한 건축 구조 문제해결-기초편」, 대한주택공사, 서울, pp. 67~68.
4. 우기영·박영호·이승호·김상수(역)(1992), 「기초구조 설계지침」, 탐구문화사, 서울, pp. 144~154.
5. 菊地宏吉, 齋藤和雄(1982), 「ゴム基礎巖盤の安定性に關する地質工學的綜合評價について」, 大ゴム, No.102~103号 統合号, pp. 170~175.
6. 田中(1966), 「彈性波探査の 調査例」, 土地地質 ノート, 2~13.
7. Terzaghi, K. (1943), *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley & Sons.