



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

지중구조물의 단면력에 미치는 지반반력계수의 영향

2013 년 12 월

부경대학교 산업대학원 토목공학과

변 형 석

The Effect on Coefficient of Subgrade Reaction for
Section Forces of Underground Structure

Byun Hyung Suk

*Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

The coefficient of subgrade reaction in designing underground structures may be used as a boundary condition in structural analysis and may serve as an important factor in estimating the internal section forces on the static and dynamic loads by the response

displacement method.

The purpose of this study is to investigate the effects of changes in the magnitude of coefficient of subgrade reaction on designing the underground structures. We have considered the factors that are expected to influence the calculation of coefficient of subgrade reaction of semi-infinite underground structure., such as (1) the selected longitudinal lengths(L) of the semi-infinite structure in calculating the basic conversion cross sectional area(A), (2) the reduction effects on the coefficient of subgrade reaction by underground water levels. We have then checked out the internal section forces of the structure consequent to the variation of the coefficient of subgrade reactions to investigate how much they effect on designing the structure.

The coefficient of subgrade reaction was calculated by changing the base length (L) of the structure. When the base length(L) is considered as 3 or 4 times of the width(B) of the structure, the value of the coefficient was calculated to be about one half of the coefficient for which the L was considered equal to the B ($L=B$). It was even reduced to be around a fifth of the coefficient when the L was considered equal to $100B$, close to the semi-infinite structure($L=100B$).

We examined the effect of underground water level on the coefficient of subgrade reaction in sandy soil by using the numerical analysis. There were around 2% differences between on saturated and on dried dense sand condition, and 4% at loose sand, indicating that the effect was negligibly slight.

The results of the structure for the static and dynamic loading showed that the difference in internal force at a given section was

sufficiently small in the static analysis irrespective of all the base lengths. However, the results for the dynamic loading showed that the internal force at a given section was reduced as the coefficient of subgrade reaction was decreased, and in particular, the reduction rate of moment at the center wall was most remarkable to the order of 20 to 30%.

개 요

본 논문에서는 반무한장 지중구조물의 지반반력계수의 산정에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되나 설계시 반영되지 않고 있는 요소로 첫째, 기초환산재하면적 산정시 구조물의 종방향의 길이. 둘째, 지하수에 의한 지반반력계수 저감효과로 선정하고 이에 대해 매개변수연구를 수행하였다. 또한 이러한 지반반력계수의 감소가 실제 지중구조물의 설계에 미치는 영향을 확인하기 위해 지반조건과 구조물의 길이를 변수로 하여 단면력을 확인하였다.

1. 구조물의 길이(L)가 폭(B)의 3~4배에 이르면 지반반력계수의 값이 급격하게 줄어들어 길이가 폭과 동일한(L=B) 경우의 지반반력계수값에 비해 대략 1/2수준으로 감소하였고, 반무한장에 가까운 폭의 100배(L=100B)에서는 약 1/5수준으로 줄어들었다.

2. 사질토지반에서 구조물의 기초면이 지하수위보다 아래에 위치할 경우 지반반력계수의 저감률을 유한요소해석을 통해 검토한 결과, 조밀한 지반

에서는 약 2%, 느슨한 지반에서 4%정도로 그 영향은 무시할 정도로 작게 나타났다.

3. 기초의 길이(L)를 달리함에 따라 산출된 지반반력계수를 적용하여 상시와 내진시에 대한 구조검토 결과, 기초길이가 길어져도 상시해석에서는 단면력의 차이가 매우 작게 나타났다. 그러나 내진시해석의 경우에는 대체로 지반반력계수가 줄어들수록 단면력은 감소하였으며 특히 벽체 중앙부에서의 발생모멘트 감소율은 20~30%정도로 가장 현저하게 나타났다.

4. 아직 국내에서는 반무한장 지중구조물의 지반반력계수 산정시 기초의 길이(L)에 관한 세부지침이나 기준이 없는 실정으로 설계자의 공학적 판단에 따라 적용하고 있다. 기초길이에 관한 매개변수 연구에서 확인한 것과 같이, 기초길이의 증가에 따른 지반반력계수의 감소가 박스구조물의 설계에 미치는 영향이 미미하여 과다설계가 이루어질 우려가 적으므로 관행적으로 적용하는 것과 같이 기초의 길이(L)가 폭(B)과 같은 정방향으로 지반반력계수를 산정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

공학석사 학위논문

The logo of Pukyong National University is a circular emblem. It features a stylized blue and grey design in the center, resembling a compass or a stylized 'P'. The outer ring of the logo contains the text 'PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY' in blue capital letters at the top and '부경대학교' in Korean at the bottom.

지중구조물의 단면력에 미치는
지반반력계수의 영향

2013 년 12 월

부경대학교 산업대학원

토목공학과

변 형 석

공학석사 학위논문

지중구조물의 단면력에 미치는
지반반력계수의 영향

지도교수 정 진 호

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함

2013 년 12 월

부경대학교 산업대학원

토목공학과

변 형 석



2013 년 12 월

주 심 공 학 박 사 정 두 회 (인)

위 원 공 학 박 사 이 환 우 (인)

위 원 공 학 박 사 정 진 호 (인)



목 차

표 목차	iii
그림목차	iv
Abstract	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적 및 내용	2
제 2 장 이론적 배경	3
2.1 지반반력계수의 정의	3
2.2 지반반력계수의 산정 방법	4
2.2.1 Terzaghi 제안식	5
2.2.2 Vesic 제안식	6
2.2.3 Scott 방법	6
2.2.4 침하해석으로부터 계산	7
2.2.5 도로교설계기준	7
제 3 장 조건별 지반반력계수에 미치는 영향	9
3.1 종방향길이에 따른 영향	9
3.1.1 검토개요 및 기본사항	9
3.1.2 지반반력계수 산정	9
3.1.3 탄성침하이론과의 비교	11

3.2 지하수에 의한 영향	14
3.2.1 검토개요	14
3.2.2 유한요소해석	15
3.2.3 해석결과	16
제 4 장 지반반력계수가 구조물의 단면력에 미치는 영향 검토	20
4.1 검토개요 및 기본사항	20
4.2 해석 순서	22
4.3 단면해석	23
4.3.1 박스구조물 해석모형	23
4.3.2 설계조건 및 적용 경계조건	24
4.3.3 지반반력계수 산정	24
4.3.4 상시 하중 산정	28
4.3.5 내진시 하중 산정	31
4.3.6 하중조합	38
4.4 해석결과 검토	40
4.4.1 지반조건별 박스 단면력	40
4.4.2 박스구조물 단면력에 미치는 지반반력계수의 영향	45
4.4.3 박스구조물의 안정성 검토	46
제 5 장 결론	49
참 고 문 헌	51

표 목차

표 1.1 사업별 지반반력계수 산정 현황	1
표 2.1 지반반력계수 k_s 의 일반적인 범위	4
표 2.2 평판재하시험으로부터 지반반력계수를 산정하는 Terzaghi 제안식	5
표 2.3 E_0 와 α 값	8
표 3.1 검토분류표	9
표 3.2 분류별 지반반력계수	10
표 3.3 계산식에 따른 k_v 비교표	12
표 3.4 검토 분류표	14
표 3.5 검토단면의 지반 물성값	15
표 3.6 CASE-1 결과	16
표 3.7 CASE-2 결과	17
표 3.8 CASE-3 결과	18
표 3.9 지하수의 유무에 따른 $k_{0.3}$ 검토 결과	19
표 4.1 지층의 구성	20
표 4.2 단면제원	23
표 4.3 재료의 특성	24
표 4.4 상시 지반반력계수, k_v	25
표 4.5 내진시 CASE-1 지반반력계수	27
표 4.6 내진시 CASE-2 지반반력계수	27
표 4.7 내진시 CASE-3 지반반력계수	27
표 4.8 상시 작용 하중	28
표 4.9 상시하중 재하도	29
표 4.10 지반의 분류	31
표 4.11 지진계수의 산정	32

표 4.12 위험도계수의 산정	32
표 4.13 고유주기의 산정	32
표 4.14 수준별 표준설계속도응답스펙트럼	34
표 4.15 CASE별 지반변위에 의한 토압	35
표 4.16 CASE별 외벽면 전단력	36
표 4.17 구체관성력	37
표 4.18 내진하중 재하도	37
표 4.19 상시해석시 하중조합	38
표 4.20 내진시의 하중조합	39
표 4.21 CASE-1 전단력 결과표	40
표 4.22 CASE-1 모멘트 결과표	40
표 4.23 CASE-2 전단력 결과표	41
표 4.24 CASE-2 전단력 결과표	41
표 4.25 CASE-3 전단력 결과표	42
표 4.26 CASE-3 전단력 결과표	42
표 4.27 CASE-1의 내진시 단면력도	43
표 4.28 전단력에 대한 부재 안정성 검토결과	47
표 4.29 모멘트에 대한 부재 안정성 검토결과	48

그림 목차

그림 2.1	지반반력계수의 결정	3
그림 3.1	기초길이- k_v 관계그래프	10
그림 3.2	탄성침하의 영향계수 I_s	12
그림 3.3	계산식에 따른 k_v 비교그래프	13
그림 3.4	검토 단면	14
그림 3.5	해석 모델링	15
그림 4.1	검토 단면	21
그림 4.2	해석 순서도	22
그림 4.3	해석 모형	23
그림 4.4	상시 및 내진시의 경계조건	24
그림 4.5	내진설계기준면 표준설계속도응답스펙트럼	33
그림 4.6	CASE-1의 k_v 와 발생부재력의 관계	45
그림 4.7	CASE-2의 k_v 와 발생부재력의 관계	45
그림 4.8	CASE-3의 k_v 와 발생부재력의 관계	46

The Effect on Coefficient of Subgrade Reaction for Section Forces of Underground Structure

Byun Hyung Suk

*Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

The coefficient of subgrade reaction in designing underground structures may be used as a boundary condition in structural analysis and may serve as an important factor in estimating the internal section forces on the static and dynamic loads by the response displacement method.

The purpose of this study is to investigate the effects of changes in the magnitude of coefficient of subgrade reaction on designing the underground structures. We have considered the factors that are expected to influence the calculation of coefficient of subgrade reaction of semi-infinite underground structure., such as (1) the selected longitudinal lengths(L) of the semi-infinte structure in calculating the basic conversion cross sectional area(A), (2) the reduction effects on the coefficient of subgrade reaction by underground water levels. We have then checked out the internal section forces of the structure consequent to the variation of the coefficient of subgrade reactions to investigate how much they effect

on designing the structure.

The coefficient of subgrade reaction was calculated by changing the base length (L) of the structure. When the base length(L) is considered as 3 or 4 times of the width(B) of the structure, the value of the coefficient was calculated to be about one half of the coefficient for which the L was considered equal to the B ($L=B$). It was even reduced to be around a fifth of the coefficient when the L was considered equal to $100B$, close to the semi-infinite structure($L=100B$).

We examined the effect of underground water level on the coefficient of subgrade reaction in sandy soil by using the numerical analysis. There were around 2% differences between on saturated and on dried dense sand condition, and 4% at loose sand, indicating that the effect was negligibly slight.

The results of the structure for the static and dynamic loading showed that the difference in internal force at a given section was sufficiently small in the static analysis irrespective of all the base lengths. However, the results for the dynamic loading showed that the internal force at a given section was reduced as the coefficient of subgrade reaction was decreased, and in particular, the reduction rate of moment at the center wall was most remarkable to the order of 20 to 30%.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경

지반반력계수의 산정시 가장 주의하여야 할 부분은, 동일한 하중에 대하여 기초의 크기가 증가함에 따라 지중응력의 범위가 커지게 되고 침하량도 커져 결과적으로는 지반반력계수가 감소하게 된다는 점이다. 따라서 지반반력계수 산정시 반드시 기초의 크기영향을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

<표1.1>은 대표적인 무한장 지중구조물인 전력구와 지하철의 설계시 적용된 지반반력계수이다.

<표1.1> 사업별 지반반력계수 산정 현황

사 업 명	B_v		E_0 (kN/m ²)	k_v (kN/cm ³)
	B (m)	B (m)		
지하철0호선 본선BOX	10.0	10.0	140,000	33,640
00 서구지역 전기공급시설 전력구공사 (2009)	4.7	4.7	300,000	126,989
	5.4	5.4	84,000	32,041
00지역 전기공급시설 전력구공사 (2010)	2.3	2.3	22,400	16,205
000 서부지역 전기공급시설 전력구공사(2012)	2.5	1	20,000	76,662
000 00전력(주) 지중 송전선로 건설공사(2013)	2.84	2.84	25,200	10,428

폭(B)에 대한 길이(L)의 비가 큰 구조물임에도 불구하고 단위폭(1m) 또는 구조물의 폭(B)을 길이(L)로 적용하여 지반반력계수를 산정하고 있는 실정이다.

그리고 다수의 지중구조물은 지하수위면 보다 아래에 위치하고 있다. 구조물의 해석시 현장의 조건을 적절히 반영하여야 한다는 원리에 충실하기 위해 지반반력계수의 산정에 있어서 지하수의 유무가 어느 정도 영향을 미치는지 검토되어야 할 것이다.

1.2 연구 목적 및 내용

지중구조물의 설계에 있어서 지반반력계수는 해석시 경계조건으로 활용될 뿐만 아니라 응답변위법으로 내진하중을 산정하는데 있어서 중요한 변수가 된다. 따라서 본 논문에서는 지반반력계수의 산정에 있어서 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인을 다음과 같이 선정하고 매개변수 연구를 수행하였다.

- 1) 기초환산재하면적 산정시 구조물의 종방향길이(L)
- 2) 지하수에 의한 지반반력계수 저감효과

먼저 구조물의 종방향길이를 변수로 하여 도로교설계기준의 계산식에 따라 지반반력계수값을 산출하고, 이를 탄성침하이론을 통해 역계산된 지반반력계수값과 비교 검토하였다. 그 다음 유한요소해석을 통해 지하수의 유무에 따른 지반반력계수의 저감효과를 확인하였다. 마지막으로 이러한 지반반력계수의 변화가 실제 구조물의 설계에 어느 정도 영향을 미치는지의 가시적 효과를 확인하기 위하여 단면구조해석을 수행하였다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 지반반력계수의 정의

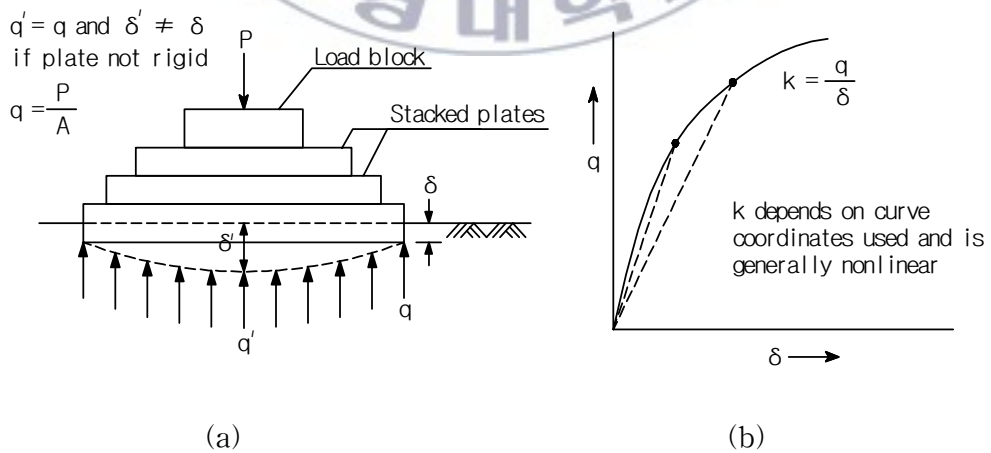
기초부재의 구조적 해석에 널리 사용되는 지반반력계수(coefficient of subgrade reaction), k_s 는 지반을 스프링으로 간주하여 기초의 강성을 나타내는 상수로서, 기초의 하중재하 초기단계의 단위면적당 하중을 침하량으로 나눈 값으로 정의되며 단위는 $\text{kN/m}^2/\text{m} = \text{kN/m}^3$ 이다.

$$k_s = \frac{q}{\delta} \quad (2.1)$$

여기서, k_s : 지반반력계수

q : 하중

δ : 침하량



<그림 2.1> 지반반력계수의 결정

하중시험으로부터 q 와 δ 의 관계는 <그림 2.1> (b)에 표시된 형태의 곡선으로 되는데 지반반력계수는 이 곡선의 할선경사로서 정의된다.

<표 2.1>은 흙의 분류 및 상태에 따른 일반적인 범위의 지반반력 계수값을 나타내고 있다.

<표 2.1> 지반반력계수 k_s 의 일반적인 범위 (Bowles, J.E., 1996)

Soil		k_s (kN/m ²)
Sand	Loose	4,800 ~ 16,000
	Medium dense	96,000 ~ 80,000
	Dense	64,000 ~ 128,000
Clayey medium dense sand		32,000 ~ 80,000
Silty medium dense sand		24,000 ~ 48,000
Clayey soil	$q_u = 100 \sim 200\text{kPa}$	12,000 ~ 24,000
	$q_u = 200 \sim 400\text{kPa}$	24,000 ~ 48,000
	$q_u > 400\text{kPa}$	> 48,000

2.2 지반반력계수의 산정 방법

지반반력계수는 기초설계시 중요한 자료로서, 지반의 종류 및 상태 뿐만 아니라 기초의 크기, 형상, 근입깊이, 하중작용위치 등에 따라 변하게 된다. 기초의 크기가 크게 되면 지중응력이 미치는 범위가 크게 되어 같은 하중에 대한 침하량도 같이 커지게 되므로 지반반력계수가 작아지게 되며, 근입깊이가 깊을수록 지반반력계수가 커지게 된다. 지반반력계수는 각 공식의 특성 및 재하면적에 따라 2~100배 이상 차이가 나게 된다.

또한 전면기초처럼 재하폭이 커질수록 기초 크기 효과를 고려하지 못하고 과소평가 될 수 있으므로 지반반력계수를 산정할 때는 지반의 특성, 기초재하면적 등의 영향을 종합적으로 고려하여 합리적으로 결정하여야 한다.

지반반력계수는 일반적으로 평판재하시험이나 표준관입시험 등을 실시하여 실험적 방법으로 구할 수 있으며, 다음과 같이 다양한 계산식을 이용하여 산정할 수도 있다.

2.2.1 Terzaghi 제안식 (평판재하시험)

Terzaghi(1955)는 한 변의 길이가 30cm인 정사각형 평판재하시험으로부터 $k_{0.3}$ 을 구한 후 <표2.2>와 같이 실제의 지반반력계수 k_{sp} 값을 구하기 위한 식을 제안하였다.

<표 2.2> 평판재하시험으로부터 지반반력계수를 산정하는 Terzaghi 제안식

점토지반 (kN/m ²)	사질토 지반 (kN/m ²)	
	정사각형	직사각형(B폭xL길이)
$k_{sp} = k_{0.3} \frac{0.3}{B}$	$k_{sp} = k_{0.3} \left(\frac{B+0.3}{2B} \right)^2$	$k_{sp} = k_{0.3} \left(\frac{1+0.5\frac{B}{L}}{1.5} \right)$

여기서, k_{sp} = 기초의 지반반력계수(kN/m²)

$k_{0.3}$ = 0.3m x 0.3m 크기의 기초의 지반반력계수(kN/m²)

2.2.2 Vesic 제안식 (삼축압축시험)

Vesic(1961)은 기초의 종방향 길이가 긴 경우 실내 삼축압축시험에서 구한 탄성계수, E를 사용하여 지반반력계수를 얻는 방법을 제안하였다.

$$k_{sp} = 0.65^{12} \sqrt{\frac{EB^4}{E_f I_f}} \frac{E}{B(1-\nu^2)} \quad (2.2)$$

여기서, E : 지반의 탄성계수

E_f : 기초의 탄성계수

ν : 지반의 포아송비

I_f : 기초의 관성모멘트 ($I_f = \frac{1}{12} B h^3$)

B : 기초판의 폭

h : 기초판의 두께

$0.65^{12} \sqrt{\frac{EB^4}{E_f I_f}}$ 은 거의 1에 가까우므로 실제 문제에 있어서 근사식은 다음과 같이 간단히 정리된다.

$$k_{sp} = \frac{E}{B(1-\nu^2)} \quad (2.3)$$

2.2.3 Scott 방법 (표준관입시험)

Scott(1981)는 사질토에 대하여, $k_{0.3}$ 의 값을 임의 깊이에서 표준관입시험 결과값으로부터 구하는 식을 다음과 같이 제안하였다. 식에서 N_{cor} 은 SPT 수정표준관입값을 나타낸다.

$$k_{0.3} = 1,800 N_{cor} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.4)$$

2.2.4 침하해석으로부터 계산

지반반력계수는 침하해석으로부터 역으로 계산하여 얻을 수 있다. 즉, 전면기초에서 침하는 등분포접지압을 가정하여 평균침하를 구한 후에 접지압을 평균침하로 나누어 지반반력계수를 구할 수 있다.

$$k_{0.3} = \frac{P}{\Delta H_{avg}} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.5)$$

여기서, ΔH_{avg} = 전면기초의 평균침하 (계산된 값)

P = 접지압 (kN/m^2)

완전탄성체에 놓여진 연성원형전면기초의 평균침하 ΔH_{avg} 는 중앙침하의 0.85배이며 강성원형전면기초는 0.79배이다.

2.2.5 도로교설계기준 (대한토목학회, 2008)

지반반력계수는 지반이 탄성적 거동을 보여주는 범위 내에서 기초의 변위량이나 지반반력을 구하기 위해 필요한 상수로서, 변위량과 지반반력의 할선경사로 정의하였고 평상시 및 지진시 상태를 구분하여 적용하고 있다.

$$k_v = k_{0.3} \left(\frac{B_v}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (2.6)$$

여기서, k_v : 연직방향 지반반력계수 (kN/cm^3)

$$k_{0.3} : \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

: 지름 0.3m의 강체원판에 의한 평판재하시험의 값에
상당하는 연직방향 지반반력계수

B_v : $\sqrt{A_v}$, A_v :연직방향의 재하면적(m^2)

: 기초의 환산재하폭(m), 형상이 원형일 경우 지름 사용

α : 지반반력계수의 추정에 사용되는 계수로 <표 2.3> 참조

E_0 : 지반탄성계수

<표 2.3> E_0 와 α 값 (도로교설계기준, 2008)

다음의 시험방법에 의한 지반탄성계수 E_0 (kN/m^2)	α	
	평상시	지진시
지름 0.3m의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 지반탄성계수의 1/2	1	2
보링공 내에서 측정한 지반탄성계수	4	8
공시체의 1축 또는 3축압축시험에서 구한 지반탄성계수	4	8
표준관입시험의 N값에서 $E_0=2800N$ 으로 추정된 지반탄성계수	1	2

제 3 장 조건별 지반반력계수에 미치는 영향

3.1 종방향길이에 따른 영향

3.1.1 검토개요 및 기본사항

사질토의 지반에서 구조물(폭3.0m)의 종방향 길이를 달리하여 지반반력 계수를 검토하였다. 지반반력계수는 도로교설계기준에서 제시된 방법(식2.6)을 적용하였고, 변형계수는 N 값으로 부터 추정($E=2800N \text{ kN/m}^2$)하여 적용한다.

<표 3.1> 은 지반조건이 느슨한 모래, 중간정도의 모래, 조밀한 모래인 상태에 대하여 구조물의 길이를 단위길이, 1m, 구조물의 폭, 3m 그리고 8m, 30m, 300m 로 구분하여 각각의 지반반력계수를 산정하는 것을 나타낸 검토분류표이다.

<표 3.1> 검토분류표

구 분	I (지반조건)		II (구조물길이, L)	
분 류	CASE - 1	N치=7 (느슨한 모래)	㉠	단위길이, 1m
			㉡	구조물의 폭, 3m
	CASE - 2	N치=20 (중간정도 모래)	㉢	8m
			㉣	30m
	CASE - 3	N치=40 (조밀한 모래)	㉤	300m

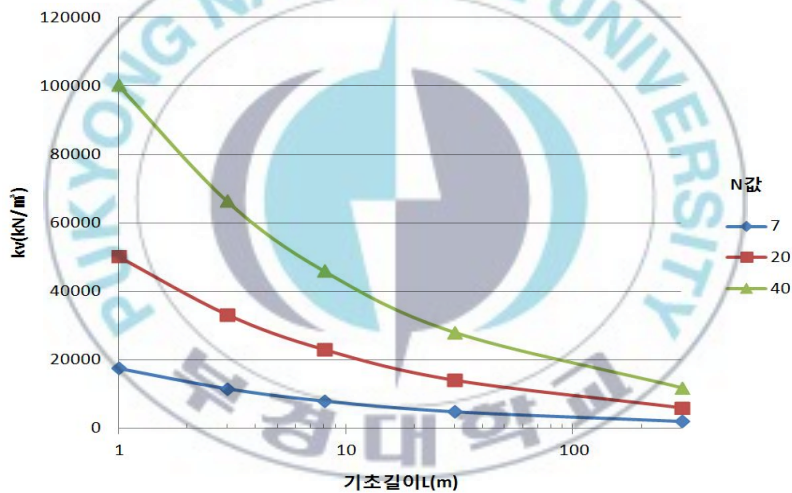
3.1.2 지반반력계수 산정

<표 3.2>는 구조물의 폭(B)을 3m로 정해놓고 구조물의 길이(L)을 1m, 3m, 8m, 30m, 300m로 변화시켜 지반조건($N=7$, $N=20$, $N=40$)에 따라 산정된 지반반력계수를 수록한 도표이다. 구조물 폭($B=3m$)과 동일한 구조물 길이($L=3m$)에 대한 지반반력계수값을 기준으로 하여 구조물 길이가 1m 일때는 150% 크게 산정되었고, 반면에 구조물길이가 8m, 30m, 300m로

커질 경우에는 각각 59%, 42%, 18%로 지반반력계수가 작게 산정되고 있음을 알 수 있으며 이를 그림으로 표현하면 <그림 3.1>과 같다.

<표 3.2> 분류별 지반반력계수

구분	기초환산재하면적			지반반력계수 k_v (kN/m ²)			비 고
	B (m)	L (m)	B_v (m)	CASE - 1 (N=7)	CASE - 2 (N=20)	CASE - 3 (N=40)	
①	3	1	1.732	17,540	50,120	100,200	(151%)
②	3	3	3.000	11,620	33,190	66,390	(100%)
③	3	8	4.899	8,043	22,980	45,960	(69%)
④	3	30	9.487	4,899	14,000	28,000	(42%)
⑤	3	300	30.000	2,066	5,903	11,810	(18%)



<그림 3.1> 기초길이 - k_v 관계그래프

<그림 3.1>에서 나타낸 바와 같이 구조물의 길이(L)가 폭(B)의 3~4배에 이르면 지반반력계수(k_v)는 급격하게 줄어들어 길이가 폭과 동일한 경우 (L=B)에 대한 지반반력계수의 1/2 수준으로 감소하였다. 그리고 탄성계수가 큰 지반(단단한 지반)일수록 기초길이에 따른 지반반력계수의 감소량이 크다. 한편 기초의 길이가 길어질수록 지반의 상태에 의한 지반반력계수의 차이는 적어지는 것으로 확인되었다.

3.1.3 탄성침하이론과의 비교

하중의 작용 후에 즉각적인 기초의 침하는 탄성이론의 식으로 계산할 수 있다. 여기서는 기초의 깊이에 의한 영향은 무시하도록 한다.

$$\Delta H = qB \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_s \quad (3.1)$$

여기서, ΔH : 침하량

q : 기초작용 하중

I_s : 기초의 형태나 강성에 따른 영향 계수

E_s : 지반의 탄성계수

μ : 지반의 푸아송비

식 (3.1)은 다음과 같이 재정리할 수 있다.

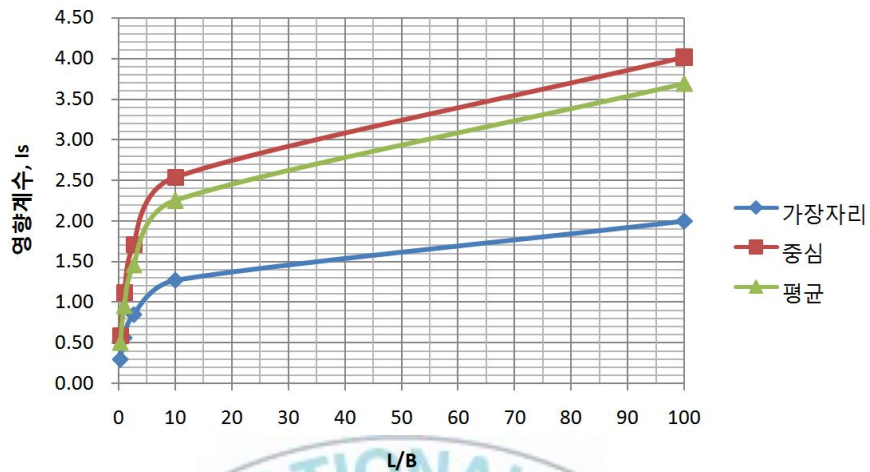
$$k_s = \frac{q}{\Delta H} = \frac{E_s}{B(1 - \mu^2) I_s} \quad (3.2)$$

영향계수 I_s 는 지반이 반무한, 균질하며 등방성이고 폭 (B), 길이(L)을 갖는 직사각형 연성기초의 경우 Steinbrenner(1934)에 의해 제안된 공식에 따라 계산하여 구할 수 있으며, 중심에서 I_s 의 값은 가장자리값의 2배이다.

$$I_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{L}{B} \ln \left(\frac{1 + \sqrt{(L/B)^2 + 1}}{L/B} \right) + \ln \left(\frac{L}{B} + \sqrt{\left(\frac{L}{B} \right)^2 + 1} \right) \right] \quad (3.3)$$

여기서, B : 기초의 폭, L : 기초의 길이

<그림 3.2>는 폭이 3m인 기초의 길이가 단위길이, 1m에서부터 폭의 100배($L=100B$)까지의 경우에 대한 영향계수, I_s 를 그림으로 나타낸 것이다.

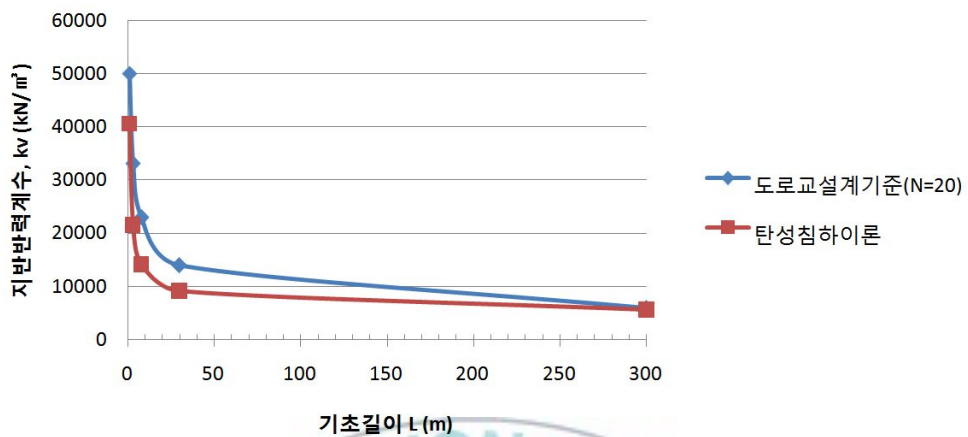


<그림 3.2> 탄성침하의 영향계수 I_s

<표 3.3>은 폭이 3m인 기초의 길이(1)를 단위길이, 1m, 구조물 폭, 3m 그리고 8m, 30m, 300m로 늘려가며 도로교설계기준에서 제시한 식(식 2.6)과 탄성 침하이론에 따라 산출한 지반반력계수(식 3.2)의 값을 나타내고 있고, 해석에 이용된 푸아송비, μ 는 0.3이며 지반의 탄성계수, E_0 는 도로교설계기준에서 제시된 식($E_0=2,800\text{N}$)을 이용하여 산정하였다. 지반조건은 CASE-2 (N=20, 중간정도 모래)에 대한 값이다. 이를 그림으로 표시하면 <그림 3.3>과 같다.

<표 3.3> 계산식에 따른 k_v 비교표 ($\mu=0.3$ 적용)

구 분	기초환산재하면적			E_0 (kN/m ²)	I_s			k_v (kN/m ³)			
	B (m)	L (m)	B_v (m)		중심	가장 자리	평균	도로교설계기준		탄성침하이론	
								$k_v = k_{0.3}(\frac{B_v}{0.3})^{-3/4}$		$k_s = \frac{E_s}{B(1-\mu^2)I_s}$	
㉠	3.0	1.0	1.732	56,000	0.59	0.30	0.50	50,120	(151%)	40,604	(189%)
㉡	3.0	3.0	3.0	56,000	1.12	0.56	0.95	33,190	(100%)	21,505	(100%)
㉢	3.0	8	4.899	56,000	1.71	0.85	1.45	22,980	(69%)	14,116	(66%)
㉣	3.0	30	9.487	56,000	2.54	1.27	2.25	14,000	(42%)	9,117	(42%)
㉤	3.0	300	30.0	56,000	4.00	2.00	3.69	5,903	(18%)	5,559	(26%)



<그림 3.3> 계산식에 따른 k_v 비교그래프

<그림 3.3>에서와 같이 기초의 길이(L)이 폭(B)와 동일한 경우(㉔)에서 폭의 10배($L=10B$)에 이르는 경우(㉕,㉖)까지 도로교설계기준에 따른 계산값이 탄성침하이론의 값에 비해 약 50%가량 크게 나왔고, 폭의 100배($L=100B$)에 이르러서는 그 값이 거의 동일해졌다. 하지만 기초길이에 따라 지반반력계수가 유사한 비율로 감소하는 것으로 확인되어 도로교설계기준의 계산식이 기초의 길이에 따른 지반반력계수의 변화율을 적절히 반영하는 것으로 판단된다.

3.2 지하수에 의한 영향

3.2.1 검토개요

동일한 하중조건에서 지하수의 유무에 따른 침하량을 산정하여 지하수위와 지반반력계수의 관계를 검토하였다.

<그림 3.4>은 작용하는 응력의 크기와 지층의 범위를 나타낸 것으로, 기초폭 3m, 90kN/m^2 의 하중이 폭 21m, 높이 15m로 정의된 지층에 작용하는 것으로 검토하였다.



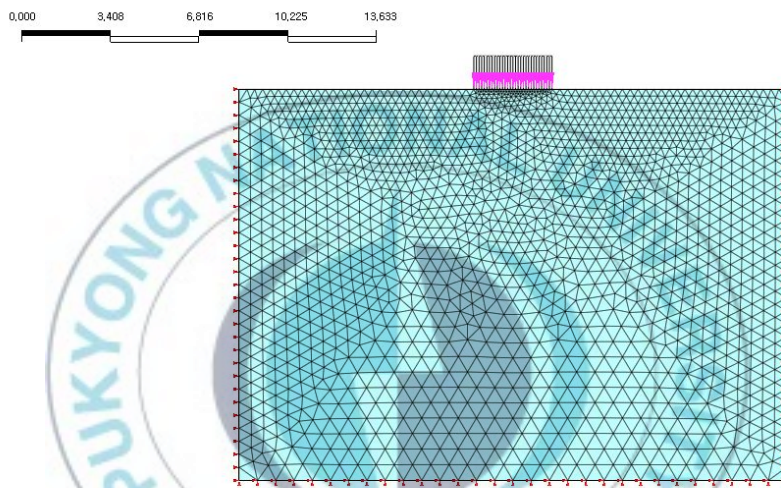
<표 3.4>와 같이 지반조건이 느슨, 중간정도, 조밀한 모래층에 대해 건조상태와 포화상태일 경우에 대하여 유한요소해석법에 의해 침하량을 구하고 이를 통해 지반반력계수를 산정하였다.

<표 3.4> 검토 분류표

구 분	I (지반조건)		II (지하수 유무)	
분 류	CASE - 1	N치=7 (느슨한 모래)	①	건조상태
	CASE - 2	N치=20 (중간정도 모래)		
	CASE - 3	N치=40 (조밀한 모래)	②	포화상태

3.2.2 유한요소해석

<그림 3.5>은 검토단면에 대한 유한요소 매쉬를 나타내는 그림이며 MIDAS GTS 범용 전산 프로그램을 이용하여 유한요소해석을 수행하여 건조 시와 포화시에 대한 침하량을 산정하였다.



<그림 3.5> 해석 모델링

<표 3.5>는 유한요소 해석시 적용한 각 CASE별 지반조건에 대한 지반 물성값이다.

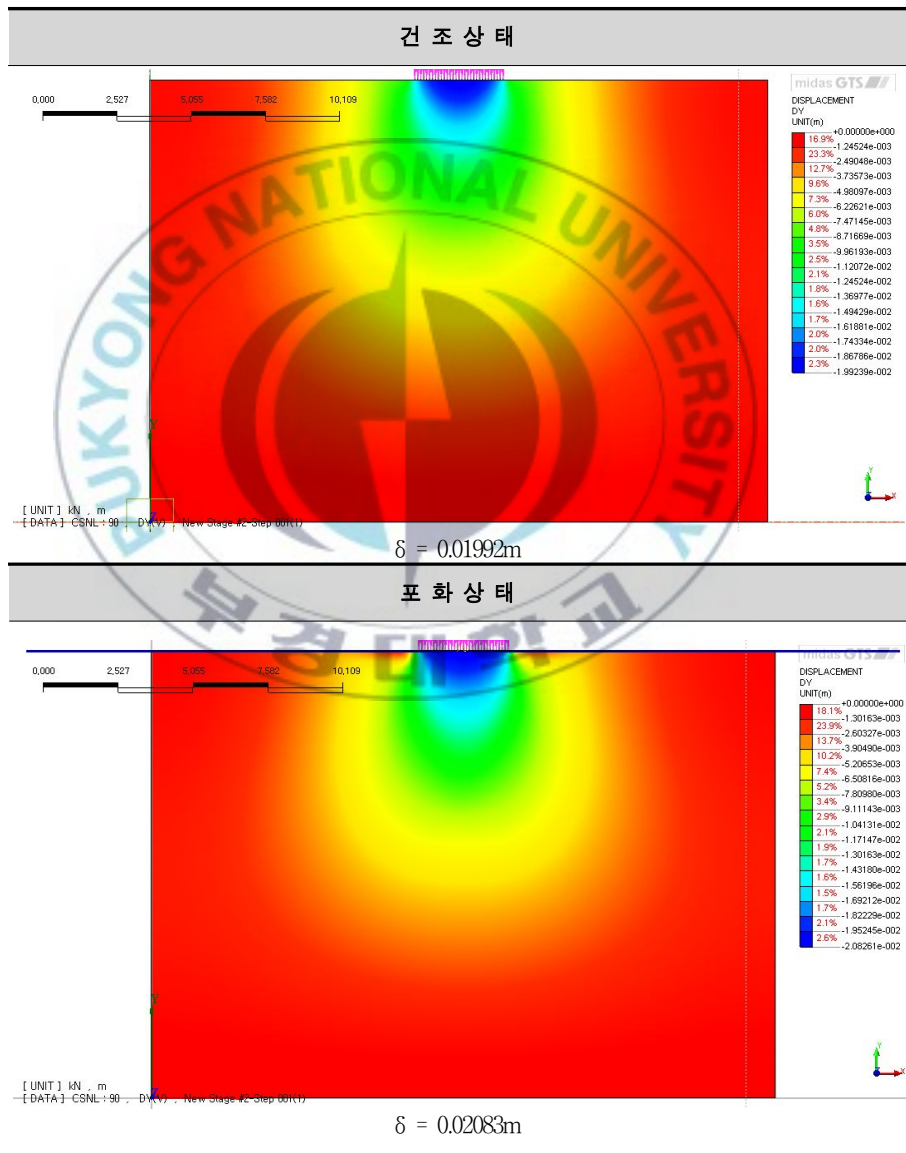
<표 3.5> 검토단면의 지반 물성값

구 분	점착력 (kPa)	내부마찰각 (Deg.)	포아송비	변형계수 (MPa)	단위중량 (kN/m ³)
CASE - 1 (N=7)	0	30	0.35	20	18
CASE - 2 (N=20)	0	33	0.33	40	18
CASE - 3 (N=40)	0	38	0.30	80	18

3.2.3 해석 결과

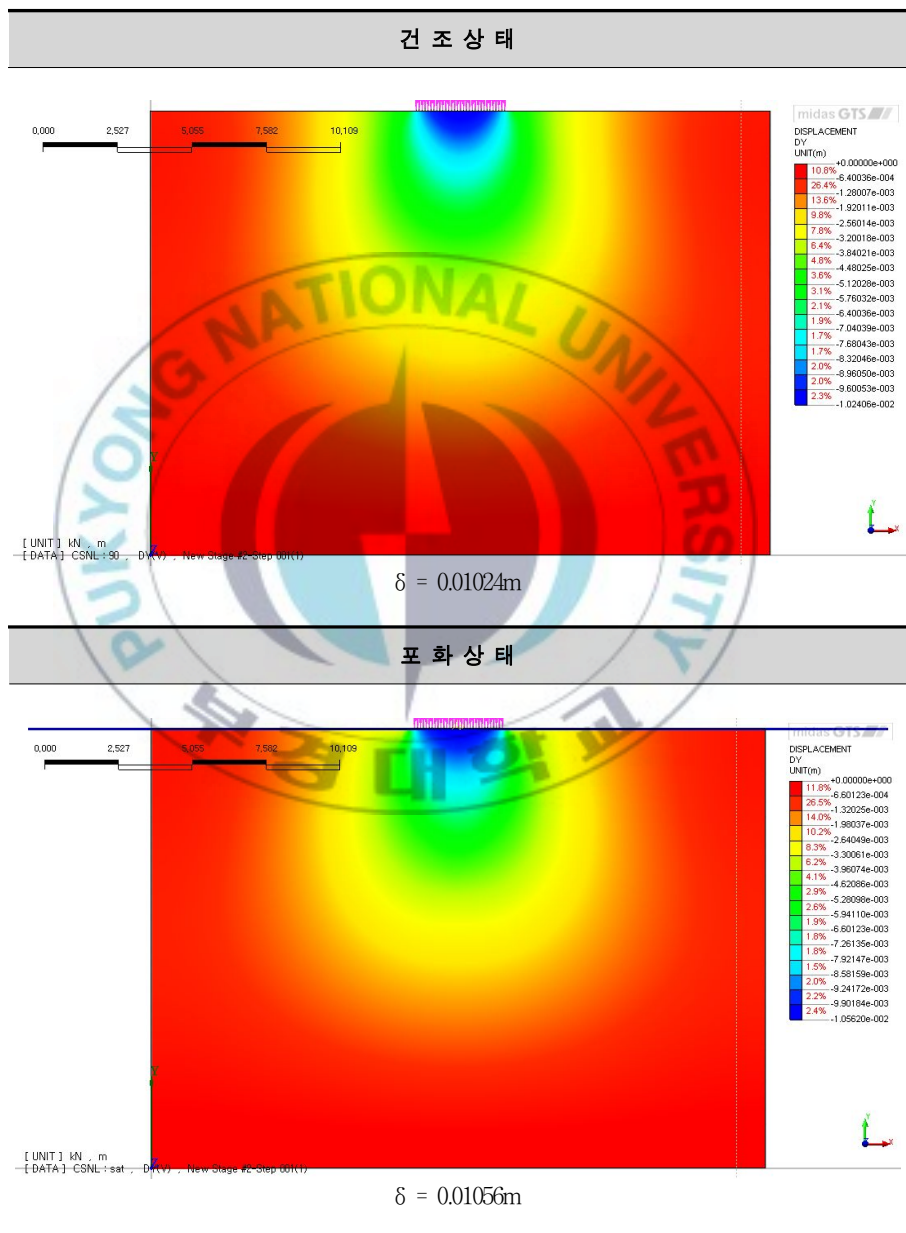
<표 3.6>은 느슨한 모래일 경우에 대한 계산결과로 침하량은 건조상태에서 19.92mm, 포화상태에서 20.83mm로 확인되었다.

<표 3.6> CASE-1 결과



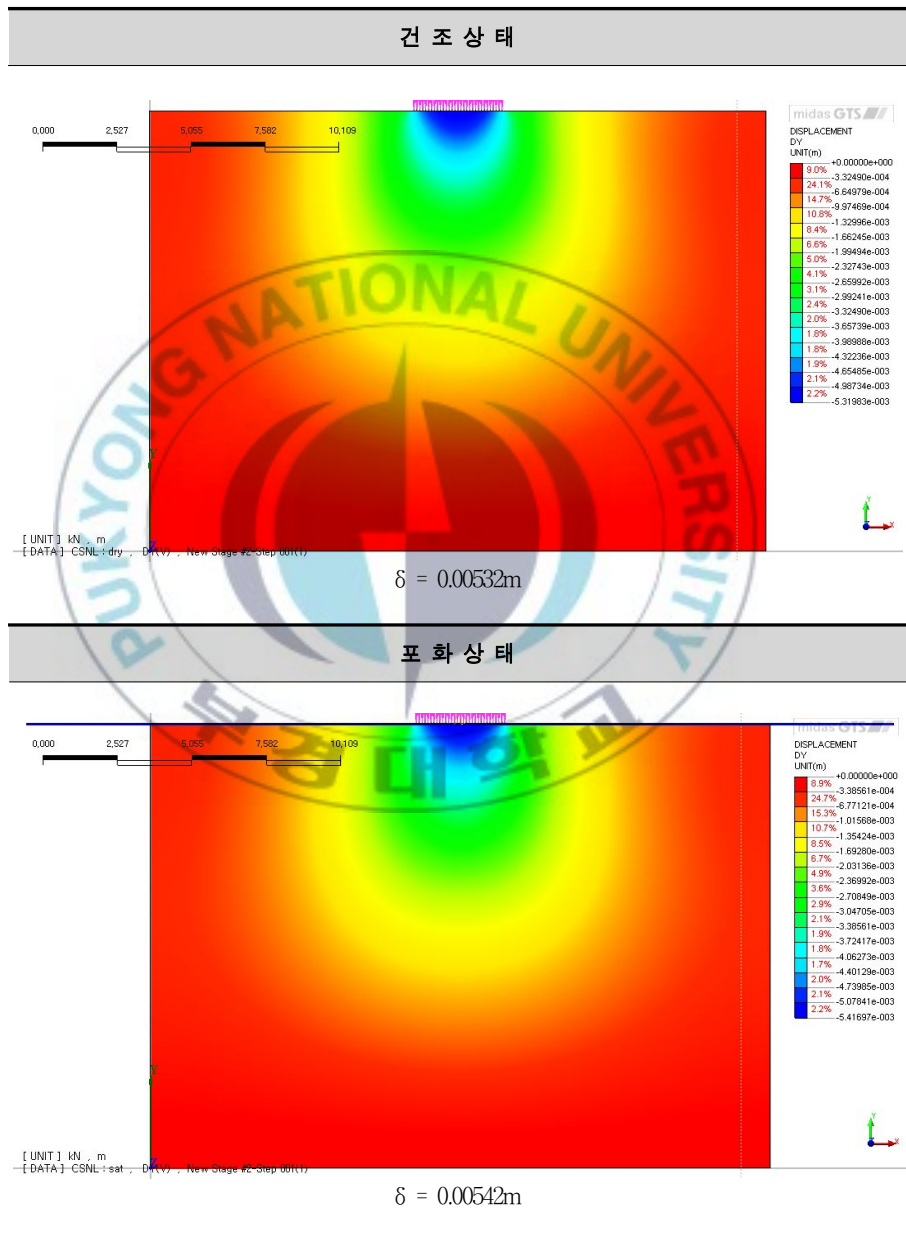
<표 3.7>은 중간정도의 모래일 경우에 대한 계산결과로 침하량은 건조 상태에서 10.24mm, 포화상태에서 10.56mm로 확인되었다.

<표 3.7> CASE-2 결과



<표 3.8>은 조밀한 모래일 경우에 대한 계산결과로 침하량은 건조상태에서 5.32mm, 포화상태에서 5.42mm로 확인되었다.

<표 3.8> CASE-3 결과



<표 3.9>는 사질토 지반에 대하여 그 상태를 느슨, 중간, 조밀로 구분하여 90kN/m^2 의 하중이 작용폭 3m인 경우에 대한 침하량을 유한요소해석을 통해 확인된 침하량과 이를 통해 계산된 지반반력계수를 수록한 표이다.

<표 3.9> 지하수의 유무에 따른 $k_{0.3}$ 검토 결과

구 분		q (kN/m ²)	ΔH (m)	$k_{0.3}$ (kN/m ²)	비 교
CASE 1 (느슨)	건조상태	90	0.01992	4,518	100%
	포화상태	90	0.02083	4,320	96%
CASE 2 (중간)	건조상태	90	0.01024	8,789	100%
	포화상태	90	0.01056	8,522	97%
CASE 3 (조밀)	건조상태	90	0.00532	16,917	100%
	포화상태	90	0.00542	16,605	98%

<표 3.9>에서와 같이 지하수의 유무에 따른 지반반력계수의 저감률을 유한요소해석을 통해 검토한 결과 조밀한 지반에서는 약 2%, 느슨한 지반에서 4%로 나타나 그 영향은 무시할 정도로 작게 나타났다. 이는 점성이 없는 모래지반에서 침하 산정에 고려되는 탄성계수와 푸아송비에 지하수가 영향을 주지 않기 때문인 것으로 판단된다.

제 4 장 지반반력계수가 구조물의 단면력에 미치는 영향 검토

4.1 검토개요 및 기본사항

동일 단면에 대해 구조물 길이를 달리하면서 발생 단면력을 확인하여 지반반력계수의 변화가 구조물의 설계에 미치는 영향을 확인하고자 한다. BOX의 단면검토는 콘크리트구조기준(한국콘크리트학회, 2012)에 따르고, 범용 토목구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 사용하여 상시 및 내진시(응답변위법 적용)에 대하여 검토 수행하였다.

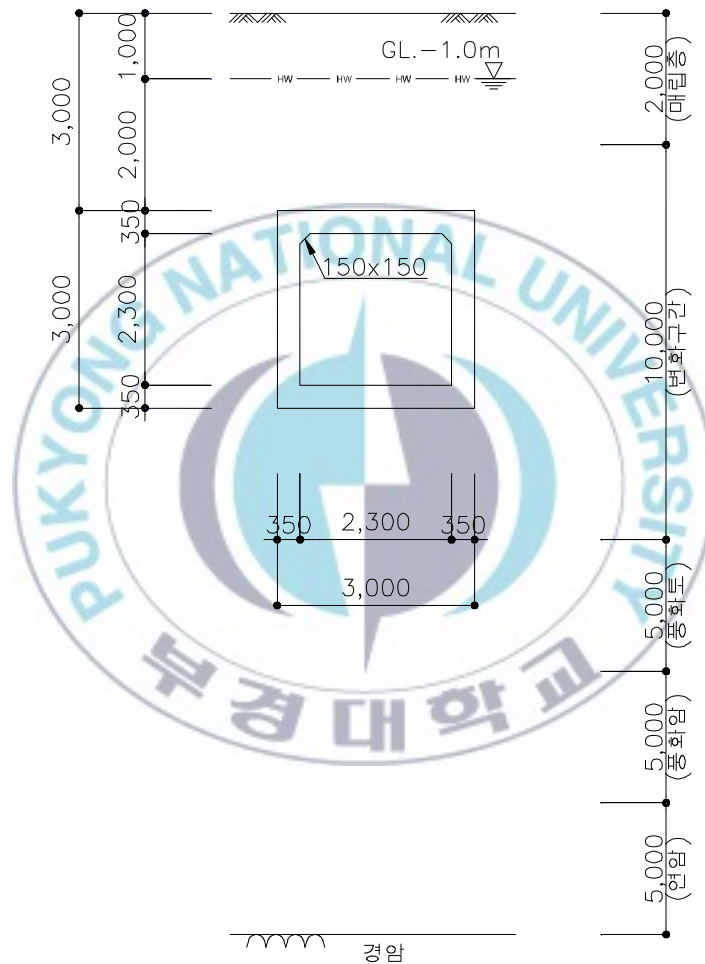
지반반력계수는 상시의 경우 국내에서 단면설계시 가장 통용되는 도로교 설계기준에서 제시된 방법을, 내진시에는 도시철도 내진설계기준에서 제시된 방법을 적용하였다. 검토분류는 <표 3.1>과 같으며, 지하수에 의한 지반반력 계수의 영향은 무시하였다.

<표 4.1>는 내진해석을 수행하기 위한 지층의 구성 및 층두께, 각 층의 물성치를 나타낸 것이다.

<표 4.1> 지층의 구성

구 분		층두께 (m)	단 위 중 량 (kN/m ³)	내부마찰각 (°)	N 값	전단파속도 (m/sec)
매립층		2	18.0	30	10	172
변화 구간	CASE - 1	10	18.0	30	7	153
	CASE - 2			30	20	217
	CASE - 3			30	40	274
풍 화 토		5	20.0	32	40	274
풍 화 압		5	21.0	33	50	295
연 압		5	24.0	35	-	560

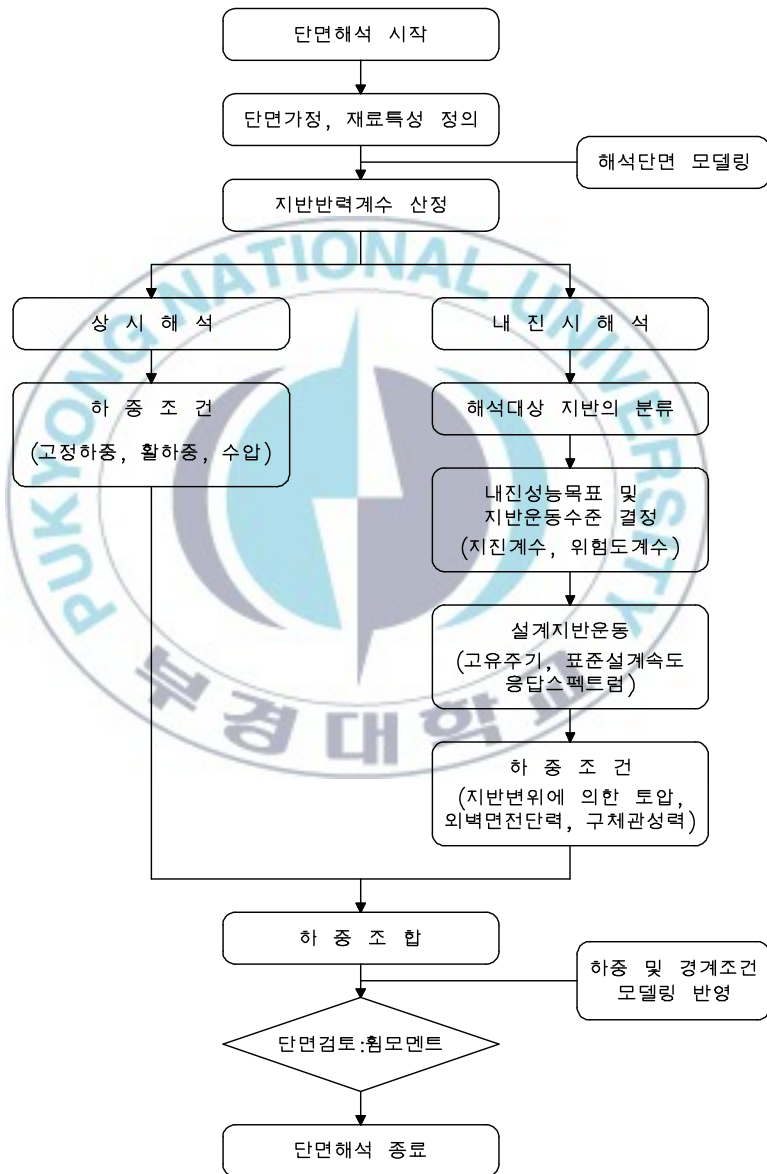
<그림 4.1>은 단면검토시 적용한 해석단면으로 토피가 3m인 구조물 (폭 3.0m, 높이 3.0m, 두께 350mm)이고, 내진해석시의 기반면은 경암으로 지표로부터 27m 하부에 있는 것으로 적용하였다.



<그림 4.1> 검토단면

4.2 해석순서

<그림 4.2>는 상시 및 내진시에 대한 해석순서도이다.

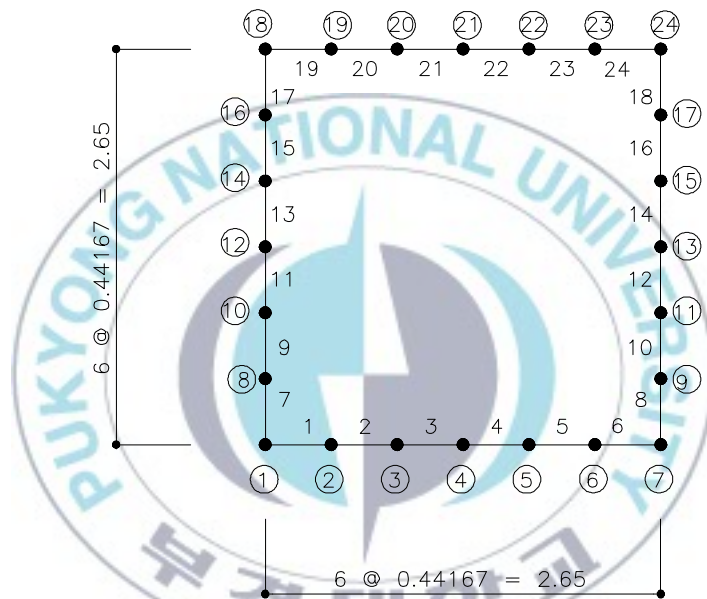


<그림 4.2> 해석순서도

4.3 단면해석

4.3.1 박스구조물 해석모형

<그림 4.3>는 부재력 검토시 적용한 모델링 단면이고, 부재별 단면 제원은 <표 4.2>와 같다.



<그림 4.3> 해석모형

<표 4.2> 단면제원

ELEMENT 번 호	폭 (m)	높이 (m)	단면적 (m ²)	단면2차모멘트 (m ⁴)	비 고
19 ~ 24	1.0	0.35	0.350	0.003573	상부슬라브
7 ~ 18	1.0	0.35	0.350	0.003573	벽 체
1 ~ 6	1.0	0.35	0.350	0.003573	하부슬라브

* 1 ~ 24 : BEAM ELEMENT NUMBER

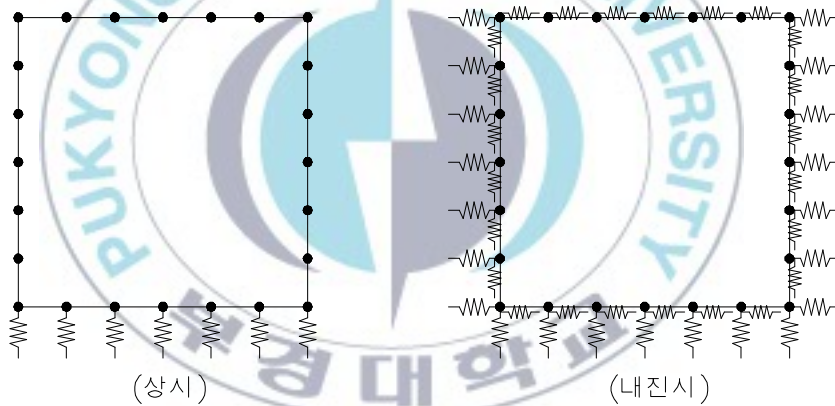
* ① ~ ②④ : NODE NUMBER

4.3.2 설계조건 및 적용 경계조건

<표 4.3>은 단면검토시 적용한 콘크리트의 재료특성이고, 상시 및 내진시 해석에 적용한 경계조건을 나타내면 <그림 4.4>과 같다.

<표 4.3> 재료의 특성

재료의 특성	
• 설계기준강도: $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$	• 탄성계수 : $E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \text{ (} f_{cu} = f_{ck} + 4 \text{)}$
$f_y = 400 \text{ MPa}$	$= 8,500 \times \sqrt[3]{31} = 26,702 \text{ MPa}$
• 단위중량 : $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$	$E_s = 200,000 \text{ MPa}$



<그림 4.4> 상시 및 내진시의 경계조건

4.3.3 지반반력계수 산정

1) 상시의 지반반력계수

<표 4.4>는 지반조건이 느슨한 지반(CASE-1), 중간정도 지반(CASE-2), 조밀한 지반(CASE-3)에서의 상시에 대한 구체저판의 연직 지반반력계수를 나타낸 표이다.

<표 4.4> 상시 지반반력계수, k_v (kN/m³)

구 분	L (m)	CASE-1	CASE-2	CASE-3	비 고
①	1	17,540	50,120	100,200	하부슬라브 연직방향
②	3	11,620	33,190	66,390	
③	8	8,043	22,980	45,960	
④	30	4,899	14,000	28,000	
⑤	300	2,066	5,903	11,810	

2) 내진시의 지반반력계수

내진해석시의 지반반력계수 혹은 전단지반반력계수는 지진의 세기와 관련된 기능수행수준 및 붕괴방지수준에 적합한 특성치를 적용하여야 한다. 이에 따라 선형해석을 수행하는데 있어서 하중수준에 따른 비선형특성을 감안하기 위해 지반의 전단탄성계수를 보정하여 적용하였다.

$$K_V = K_{v0} \times \left(\frac{B_v}{30}\right)^{-\frac{3}{4}} \quad (4.1)$$

$$K_H = K_{h0} \times \left(\frac{B_h}{30}\right)^{-\frac{3}{4}} \quad (4.2)$$

$$K_{SB} = \lambda \times K_V \quad (4.3)$$

$$K_{SS} = \lambda \times K_H \quad (4.4)$$

여기서, K_V : 구체저판의 연직 지반반력계수 (kN/m³)

K_H : 구체측벽의 수직 지반반력계수 (kN/m³)

K_{SB} : 구체저판의 전단 지반반력계수 (kN/m³)

K_{BB} : 구체측벽의 전단 지반반력계수 (kN/m³)

K_{v0} : 구체측벽의 전단 지반반력계수 (kN/m³)

K_{h0} : 구체측벽의 전단 지반반력계수 (kN/m³)

B_v : 연직 환산재하폭

B_h : 수평 환산재하폭

λ : 1/3

$$K_{v0} = \frac{1}{30} \times E_D \quad (4.5)$$

$$K_{h0} = \frac{1}{30} \times E_D \quad (4.6)$$

$$E_D = 2 \times (1 + \nu_D) \times G_D \quad (4.7)$$

$$G_D = \frac{\gamma_t}{g} \times V_s^2 \quad (4.8)$$

여기서, E_D : 지반의 동적탄성계수 (kN/m²)

ν_D : 동적포아송비

G_D : 지반의 동적전단탄성계수 (kN/m²)

γ_t : 지반의 단위중량 (kN/m³)

g : 중력가속도 (m/sec²)

V_s : 성능수준별 전단파속도 (m/sec)

$$V_s = c \times V_o \quad (4.9)$$

여기서, V_o : 해당 지층의 초기전단파속도 (m/sec)

c : 성능수준별 지반변형에 대한 보정계수

$c = 0.8$ (기능수행수준)

$c = 0.5$ (붕괴방지수준)

<표 4.5>는 내진시에 대하여 지반조건이 느슨한 지반(CASE-1)에서의 위치 및 수준별로 산정된 연직 및 전단 지반반력계수를 나타낸 것으로, <표 4.6>는 중간정도 지반(CASE-2), <표 4.7>은 조밀한 지반(CASE-3)에서의 값을 나타낸 표이다.

<표 4.5> 내진시 CASE-1 지반반력계수 (kN/m³)

구 분	L (m)	상부슬라브 전 단	벽 체		하부슬라브	
			수 직	전 단	연 직	전 단
기능수행 수 준	(A)	1	21,320	63,960	21,320	63,960
	(B)	3	14,120	42,370	14,120	42,370
	(C)	8	9,776	29,330	9,776	29,330
	(D)	30	5,955	17,870	5,955	17,870
	(E)	300	2,511	7,534	2,511	7,534
붕괴방지 수 준	(A)	1	8,329	24,990	8,329	24,990
	(B)	3	5,516	16,550	5,516	16,550
	(C)	8	3,819	11,460	3,819	11,460
	(D)	30	2,326	6,979	2,326	6,979
	(E)	300	981	2,943	981	2,943

<표 4.6> 내진시 CASE-2 지반반력계수 (kN/m³)

구 분	L (m)	상부슬라브 전 단	벽 체		하부슬라브	
			수 직	전 단	연 직	전 단
기능수행 수 준	(A)	1	42,890	128,700	42,890	128,700
	(B)	3	28,410	85,220	28,410	85,220
	(C)	8	19,670	59,000	19,670	59,000
	(D)	30	11,980	35,940	11,980	35,940
	(E)	300	5,052	15,150	5,052	15,150
붕괴방지 수 준	(A)	1	16,750	50,260	16,750	50,260
	(B)	3	11,100	33,290	11,100	33,290
	(C)	8	7,682	23,050	7,682	23,050
	(D)	30	4,679	14,040	4,679	14,040
	(E)	300	1,973	5,920	1,973	5,920

<표 4.7> 내진시 CASE-3 지반반력계수 (kN/m³)

구 분	L (m)	상부슬라브 전 단	벽 체		하부슬라브	
			수 직	전 단	연 직	전 단
기능수행 수 준	(A)	1	68,380	205,100	68,380	205,100
	(B)	3	45,290	135,900	45,290	135,900
	(C)	8	31,350	94,060	31,350	94,060
	(D)	30	19,100	57,300	19,100	57,300
	(E)	300	8,054	24,160	8,054	24,160
붕괴방지 수 준	(A)	1	26,710	80,130	26,710	80,130
	(B)	3	17,690	53,080	17,690	53,080
	(C)	8	12,250	36,740	12,250	36,740
	(D)	30	7,461	22,380	7,461	22,380
	(E)	300	3,146	9,438	3,146	9,438

4.3.4 상시 하중 산정

<표 4.8>은 단면검토시 적용한 상시하중에 대해 나타낸 표이다.

<표 4.8> 상시 작용 하중

구 분		산 출 근 거	적 용 (kN/m ²)
① 구조물 자중		프로그램내 자동 입력	-
② 상부슬라브 작용 토압	지하수 無	$w_d = 3.0 \times 18.0 = 54.0$	$w_d = 54.000$
	지하수 有	$w_{d'} = 1.0 \times 18.0 + 2.0 \times 9.0 = 36.0$	$w_{d'} = 36.000$
③ 수평토압	지하수 無	$q_{N1} = 0.5 \times (3.0 + 0.35/2) \times 18.0 = 28.575$ $q_{N2} = 28.575 + 0.5 \times 2.65 \times 18.0 = 52.425$	$q_{N1} = 28.575$ $q_{N2} = 52.425$
	지하수 有	$q_{N1'} = 0.5 \times \{1.0 \times 18.0 + (2.0 + 0.35/2) \times 9.0\} = 18.788$ $q_{N2'} = 18.788 + 0.5 \times 2.65 \times 9.0 = 30.713$	$q_{N1'} = 18.788$ $q_{N2'} = 30.713$
④ 연직활하중		-	$L_v = 15.000$
⑤ 활하중에 의한 측압		$L_h = 0.5 \times 15.000 = 7.500$	$L_h = 7.500$
⑥ 연직 및 양수압		$W_1 = 10.0 \times 2.000 = 20.000$ $W_2 = 10.0 \times 5.000 = 50.000$	$W_1 = 20.000$ $W_2 = 50.000$
		$q_{w1} = 10.0 \times (2.000 + 0.35/2) = 21.750$ $q_{w2} = 21.750 + 10.0 \times 2.650 = 48.250$	$q_{w1} = 21.750$ $q_{w2} = 48.250$

여기서, w_d : 지하수가 없는 경우 상부슬라브에 작용하는 토압

$w_{d'}$: 지하수가 있는 경우 상부슬라브에 작용하는 토압

q_{N1} : 지하수가 없는 경우 벽체 상단부에 작용하는 토압

q_{N2} : 지하수가 없는 경우 벽체 하단부에 작용하는 토압

$q_{N1'}$: 지하수가 있는 경우 벽체 상단부에 작용하는 토압

$q_{N2'}$: 지하수가 있는 경우 벽체 하단부에 작용하는 토압

L_v : DB-24에 따라 상부슬라브에 작용하는 활하중

L_h : L_v 에 의해 벽체에 작용하는 활하중에 의한 측압

W_1 : 지하수에 의해 상부슬라브에 작용하는 수압

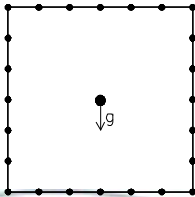
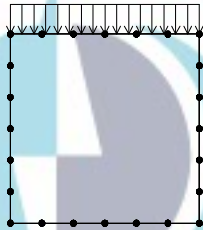
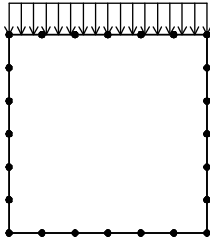
W_2 : 지하수에 의해 하부슬라브에 작용하는 수압

q_{w1} : 지하수에 의해 벽체 상단부에 작용하는 수압

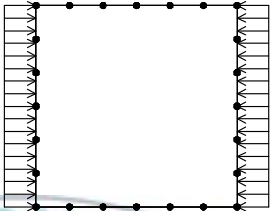
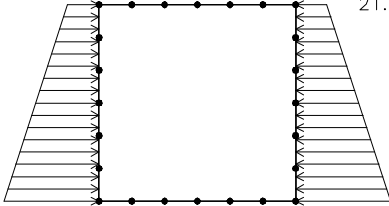
q_{w2} : 지하수에 의해 벽체 하단부에 작용하는 수압

<표 4.9>은 각각의 상시하중이 작용하는 위치 및 방향을 나타낸 것이다.

<표 4.9> 상시하중 재하도

구 분	하중작용 위치 및 방향
① 구조물 자중	
② 상부슬라브 작용 토압	 지하수無 : 54.000 kN/m² 지하수有 : 36.000 kN/m²
③ 수평토압	 지하수無 : 28.575 kN/m² 지하수有 : 18.788 kN/m² 지하수無 : 52.425 kN/m² 지하수有 : 30.713 kN/m²
④ 연직활하중	 15.000 kN/m²

<표 4.9> 계속 (상시하중 재하도)

구 분	하중작용 위치 및 방향
⑤ 활하중에 의한 측압	 7.500 kN/m² 7.500 kN/m²
⑥ 연직 및 양수압	 20.000 kN/m² 50.000 kN/m²
⑦ 측벽 수압	 21.750 kN/m² 48.250 kN/m²

4.3.5 내진시 하중산정

1) 지반의 분류

<표 4.10>은 지반의 종류를 나타낸 표로서, 검토대상 지반의 평균 전단파 속도는 280 ~ 324m/sec로 지반종류 S_D 에 해당한다.

<표 4.10> 지반의 분류

지반 종류	지반상태	상부 30.0m에 대한 평균 지반 특성		
		평균전단파속도, $\overline{v_s}$ (m/s)	평균표준관입시험, $\overline{N}$ (타격수)	평균비배수전단강도, $\overline{s_u}$ (kN/m2)
S_A	경암지반	1500 초과	-	-
S_B	보통암 지반	760초과 1500이하		
S_C	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360초과 760이하	50초과	100초과
S_D	단단한 토사지반	180이상 360이하	15이상 50이하	50이상 100이하
S_E	연약한 토사지반	180미만	15미만	50미만
S_F	부치고유의 특성 평가가 요구되는 지반			

지 반	두께 (m)	CASE-1		CASE-2		CASE-3	
		전단파속도 (m/sec)	평균전단파 속도(m/sec)	전단파속도 (m/sec)	평균전단파 속도(m/sec)	전단파속도 (m/sec)	평균전단파 속도(m/sec)
매립층	2	172	13	172	13	172	13
변화구간	10	153	57	217	80	274	101
풍화토	5	274	51	274	51	274	51
풍화암	5	295	55	295	55	295	55
연암	5	560	104	560	104	560	104
계	27		280		303		324

2) 지진계수 산정

<표 4.11>은 지진계수를 나타낸 표로서 지반종류 S_D 의 내진 I 등급을 적용한 지진계수는 $C_a=0.16$, $C_v=0.23$ 이다.

<표 4.11> 지진계수의 산정

지반분류	지진계수, Ca		지진계수, Cv		비고
	지진구역		지진구역		
	I	II	I	II	
SA(경암)	0.09	0.05	0.09	0.05	
SB(보통암)	0.11	0.07	0.11	0.07	
SC(연암)	0.13	0.08	0.18	0.11	
SD(굳은토사)	0.16	0.11	0.23	0.16	적용
SE(연한토사)	0.22	0.17	0.37	0.23	

3) 위험도 계수

<표 4.12>는 적용 위험도계수를 나타낸 표로서 기능수행수준과 붕괴방지수준에 대하여 각각 100년, 1000년의 재현주기를 적용한다.

<표 4.12> 위험도계수의 산정

재현주기(년)	50	100	200	500	1000	2400	비 고
위험도계수, I	0.04	0.57	0.73	1.00	1.40	2.00	

4) 고유주기, T_G

<표 4.13>은 고유주기를 나타낸 표로, (식 4.10)에 따라 산정하였다.

<표 4.13> 고유주기의 산정

구 분		T_G' (m/sec)						T_G (m/sec)
		매립층	변화구간	풍화토	풍화암층	연암층	계	
전단파 속도 (m/sec)	CASE - 1	0.047	0.261	0.073	0.068	0.036	0.485	0.534
	CASE - 2	0.047	0.184	0.073	0.068	0.036	0.408	0.449
	CASE - 3	0.047	0.146	0.073	0.068	0.036	0.370	0.407

$$T_G = 1.1 \times T_G' \quad (4.10)$$

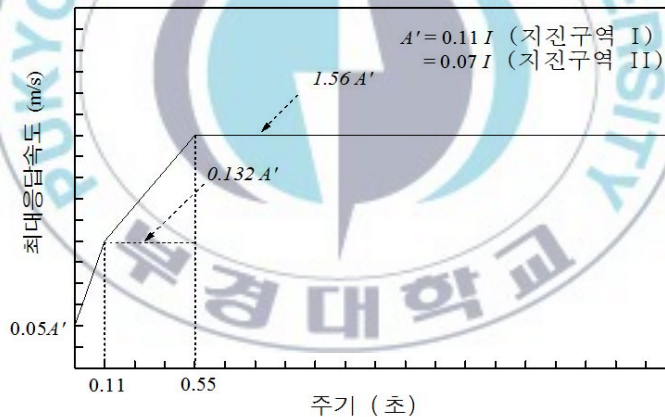
$$T_G' = \sum (4H_i / V_{si}) \quad (4.11)$$

여기서, H_i : 층두께

V_{si} : 층별 전단파속도

5) 표준설계속도응답스펙트럼, S_v

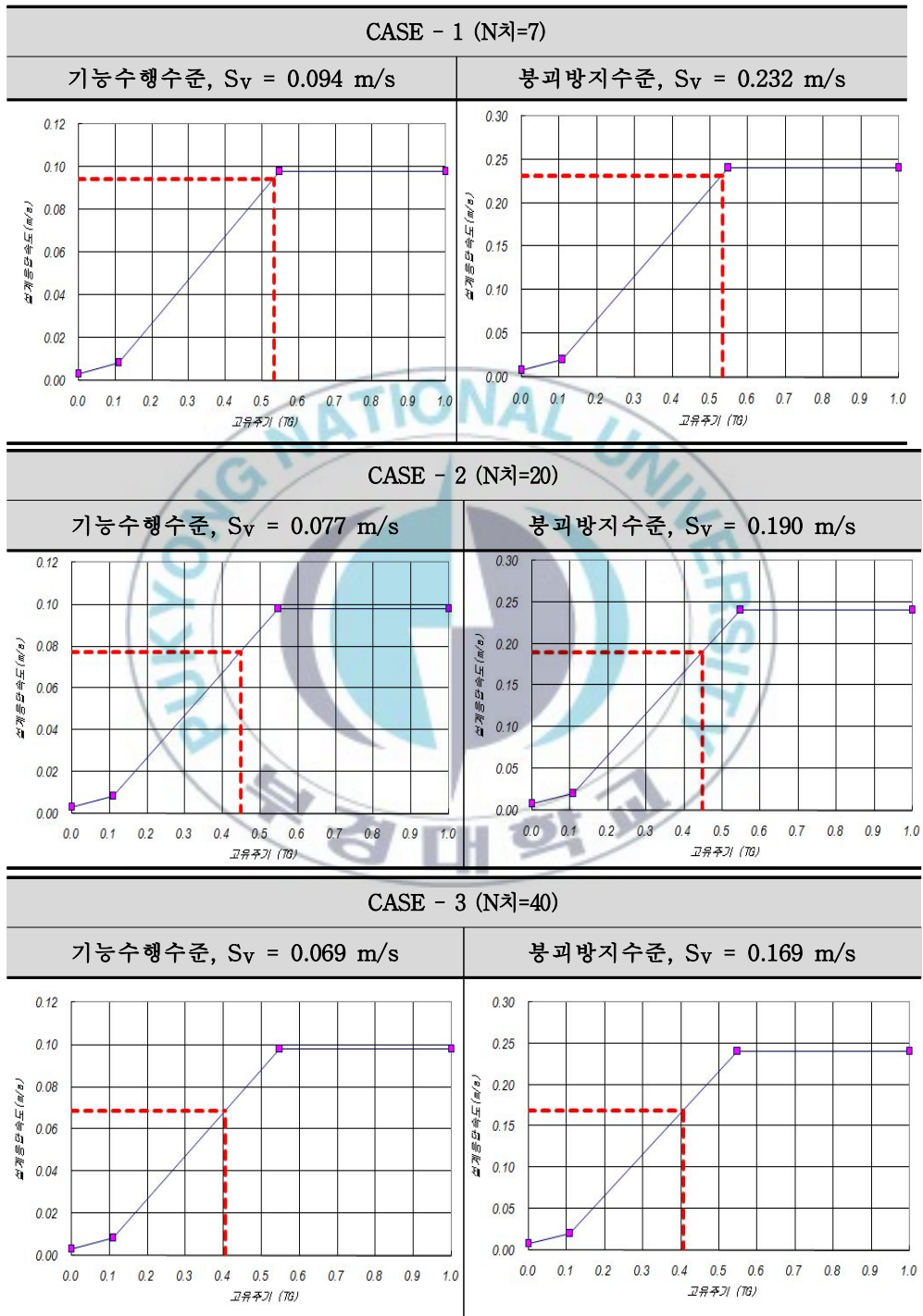
지하구조물의 내진설계의 경우 응답변위를 산정하기 위하여 기반면에서의 설계응답스펙트럼을 이용한다. <그림 4.5>는 ‘송변전설비 내진설계 실무 지침서’ (한국전력공사, 2003)에서 제시한 지표층 지반의 고유주기에 해당되는 내진설계기준면 설계속도응답스펙트럼이다.



<그림 4.5> 내진설계기준면 표준설계속도응답스펙트럼(5% 감쇠)
송변전설비 내진설계 실무 지침서 (한국전력공사, 2003)

<표 4.14>은 각 CASE별 표준설계속도응답스펙트럼을 도시한 그림이다.

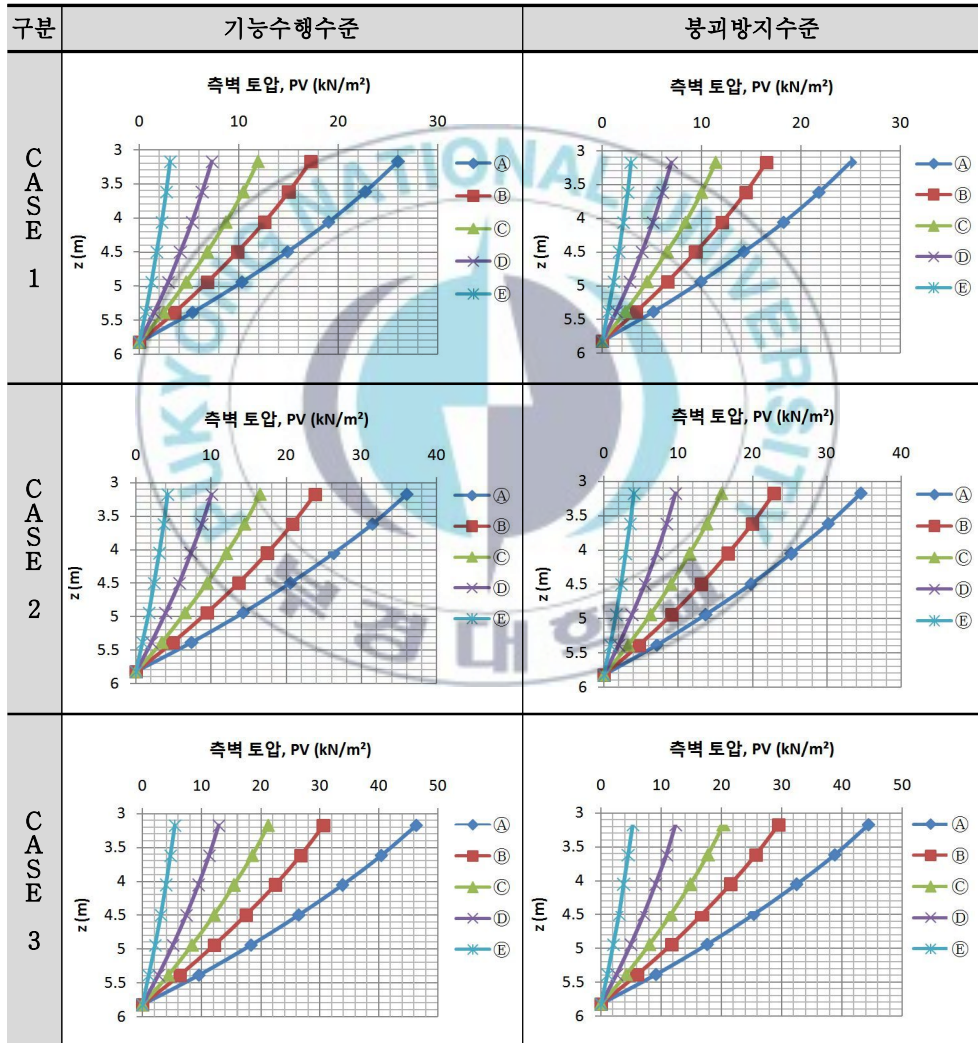
<표 4.14> 수준별 표준설계속도응답스펙트럼



6) 지반변위에 의한 토압

<표 4.15>는 지반조건 CASE에 따라 지반변위에 의한 벽체에 작용하는 토압을 나타낸 것이다. 기초의 길이가 길어질수록 지반반력계수가 감소되어 작용토압도 감소하는 것을 알 수 있다.

<표 4.15> CASE별 지반변위에 의한 토압



$$P_V(Z) = K_H [U(Z_U) - U(Z_B)] \quad (4.12)$$

$$\text{여기서, } U(Z_U) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2H_s} Z_U\right) \quad (4.13)$$

$$U(Z_B) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2H_s} Z_B\right) \quad (4.14)$$

S_v : 지표층 지반의 고유주기에 해당되는 내진설계기준면
설계속도 응답스펙트럼 값 (m/s)

T_G : 고유주기

H_s : 지표층 지반의 두께(m)

Z_B : 하중작용점의 지표층으로부터의 깊이

7) 외벽면전단력

<표 4.16>은 CASE별 구조물에 작용하는 외벽면 전단력을 정리한 표이다.

<표 4.16> CASE별 외벽면 전단력

구 분	상면전단력 (kN/m')		하면전단력 (kN/m')		측벽전단력 (kN/m')	
	기능수행	붕괴방지	기능수행	붕괴방지	기능수행	붕괴방지
CASE - 1	2.836	2.721	5.585	5.359	4.211	4.040
CASE - 2	3.923	3.764	7.727	7.414	5.825	5.589
CASE - 3	5.047	4.843	9.942	9.538	7.495	7.191

$$\tau_u = \frac{G_D}{\pi \cdot H_s} \cdot S_v \cdot T_G \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{x_u}{2H_s}\right) \quad (4.15)$$

$$\tau_b = \frac{G_D}{\pi \cdot H_s} \cdot S_v \cdot T_G \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{x_b}{2H_s}\right) \quad (4.16)$$

$$\tau_s = \frac{\tau_u + \tau_b}{2} \quad (4.17)$$

여기서, τ_u : 상부슬래브 상면에 작용하는 지진시 전단력(kN/m²)

τ_b : 하부슬래브 하면에 작용하는 지진시 전단력(kN/m²)

τ_s : 측벽의 바깥면에 작용하는 지진시 전단력(kN/m²)

x_u : 지표면에서 상부슬래브 상면까지의 깊이(m)

x_b : 지표면에서 하부슬래브 하면까지의 깊이(m)

$G_D = \left(\frac{\gamma_t}{g}\right) \cdot V^2_{SD}$: 지반의 동적변형계수

8) 구체 관성력

<표 4.17>는 내진시 발생하는 구체 관성력을 나타낸 표이다.

<표 4.17> 구체관성력

구 분	기능수행수준	붕괴방지수준
적 용	0.0844 g	0.2072 g

$$E_I = C_a W \quad (4.18)$$

여기서, E_I : 구체 관성력

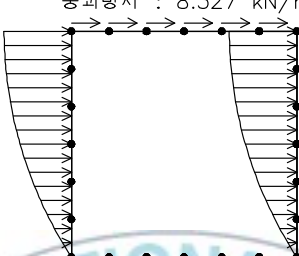
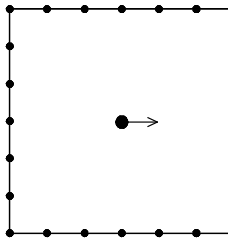
W : 전력구의 자중

C_a : 지진계수(기반암과 지표면의 지진계수를 직선 보간)

9) 내진하중 재하도

<표 4.18>는 CASE-1 ㉠에 대한 내진하중의 재하도를 나타낸 것이다.

<표 4.18> 내진하중 재하도

구 분	하중작용 위치 및 방향
① 지반변위에 의한 토압	기능수행 : 8.678 kN/m^2 붕괴방지 : 8.327 kN/m^2 기능수행 : $26.034 \sim 0 \text{ kN/m}^2$ 붕괴방지 : $24.981 \sim 0 \text{ kN/m}^2$ 
② 외벽면 전단력	기능수행 : 2.836 kN/m^2 붕괴방지 : 2.721 kN/m^2 기능수행 : 4.211 kN/m^2 붕괴방지 : 4.040 kN/m^2 기능수행 : 5.585 kN/m^2 붕괴방지 : 5.359 kN/m^2 기능수행 : 4.211 kN/m^2 붕괴방지 : 4.040 kN/m^2 
③ 구 체 관성력	 기능수행 : 0.0844 g 붕괴방지 : 0.2072 g

4.3.6 하중조합

<표 4.19>와 <표 4.20>은 각각 콘크리트구조기준(한국콘크리트학회, 2012)을 적용하여 산정한 상시 및 내진 해석시의 하중조합을 나타낸 표이다.

<표 4.19> 상시해석시 하중조합

구 분	고정 하중	연직토압		수평토압		활하중		수 압	
		지하수 無	지하수 有	지하수 無	지하수 有	연 직	수 평	연 직	수 평
Comb.1	1.2	1.6		1.6		1.6	1.6		
Comb.2	1.2	1.6		0.8		1.6	1.6		
Comb.3	0.9	0.9		1.6					
Comb.4	0.9	0.9		0.8					
Comb.5	1.2		1.6		1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Comb.6	1.2		1.6		0.8	1.6	1.6	1.6	0.8
Comb.7	0.9		0.9		1.6			0.9	1.6
Comb.8	0.9		0.9		0.8			0.9	0.8

<표 4.20> 내진시의 하중조합

구 분	고정 하중	연직토압		수평토압		활하중		수 압		기능 수행	붕괴 방지
		지하수 無	지하수 有	지하수 無	지하수 有	연직	수평	연직	수평		
Comb.1	1.2	1.2		1.0		1.0	1.0			1.0	
Comb.2	1.2	1.2		0.5		1.0	1.0			1.0	
Comb.3	0.9	0.9		1.0						1.0	
Comb.4	0.9	0.9		0.5						1.0	
Comb.5	1.2		1.2		1.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	
Comb.6	1.2		1.2		0.5	1.0	1.0	1.2	0.5	1.0	
Comb.7	0.9		0.9		1.0			0.9	1.0	1.0	
Comb.8	0.9		0.9		0.5			0.9	0.5	1.0	
Comb.9	1.2	1.2		1.0		1.0	1.0				1.0
Comb.10	1.2	1.2		0.5		1.0	1.0				1.0
Comb.11	0.9	0.9		1.0							1.0
Comb.12	0.9	0.9		0.5							1.0
Comb.13	1.2		1.2		1.0	1.0	1.0	1.2	1.0		1.0
Comb.14	1.2		1.2		0.5	1.0	1.0	1.2	0.5		1.0
Comb.15	0.9		0.9		1.0			0.9	1.0		1.0
Comb.16	0.9		0.9		0.5			0.9	0.5		1.0

4.4 해석결과 검토

4.4.1 지반조건별 박스 단면력

<표 4.21>과 <표 4.22>는 각각 느슨한 모래층에서 기초의 길이(L)에 따른 상·하부 슬라브와 벽체에서의 전단력과 모멘트를 나타낸 표이다.

<표 4.21> CASE - 1 전단력 결과표 (사질토, N=7)

구분	L (m)	발생전단력(kN)								내진시 발생전단력 비교 (㉔를 기준)			
		상 시				내진시							
		상부 단부	벽체 상단	벽체 하단	하부 단부	상부 단부	벽체 상단	벽체 하단	하부 단부	상부 단부	벽체 상단	벽체 하단	하부 단부
㉑	1	164.16	125.52	159.63	174.26	130.77	99.57	121.02	115.67	101%	109%	107%	101%
㉒	3	164.16	125.47	159.68	174.48	129.88	91.65	113.62	114.86	100%	100%	100%	100%
㉓	8	164.16	125.44	159.71	174.62	129.30	90.18	112.33	114.40	100%	98%	99%	100%
㉔	30	164.16	125.41	159.73	174.74	128.73	89.04	109.40	113.99	99%	97%	96%	99%
㉕	300	164.16	125.39	159.76	174.85	128.18	87.96	106.71	113.62	99%	96%	94%	99%

<표 4.22> CASE - 1 모멘트 결과표 (사질토, N=7)

구분	L (m)	발생모멘트(kN·m)						내진시 발생모멘트 비교 (㉔를 기준)		
		상 시			내진시					
		상부 단부	벽체 중앙	하부 단부	상부 단부	벽체 중앙	하부 단부	상부 단부	벽체 중앙	하부 단부
㉑	1	65.70	36.84	74.92	60.78	27.09	62.00	103%	112%	105%
㉒	3	65.68	36.84	75.03	58.63	24.27	59.02	100%	100%	100%
㉓	8	65.67	36.84	75.10	57.28	22.57	57.18	98%	93%	97%
㉔	30	65.66	36.83	75.16	56.02	21.07	55.52	96%	87%	94%
㉕	300	65.65	36.83	75.21	54.82	19.81	53.97	94%	82%	91%

<표 4.23>과 <표 4.24>는 각각 중간정도 모래층에서 기초의 길이(L)에 따른 상·하부 슬라브와 벽체에서의 전단력과 모멘트를 나타낸 표이다.

<표 4.23> CASE - 2 전단력 결과표 (사질토, N=20)

구분	L (m)	발생전단력(kN)								내진시 발생전단력 비교 (㉔를 기준)			
		상 시				내진시							
		상부 단부	벽체 상단	벽체 하단	하부 단부	상부 단부	벽체 상단	벽체 하단	하부 단부	상부 단부	벽체 상단	벽체 하단	하부 단부
㉑	1	164.16	125.78	159.36	173.04	132.21	109.07	127.54	117.23	100%	114%	106%	101%
㉒	3	164.16	125.64	159.50	173.67	131.66	95.40	120.75	116.53	100%	100%	100%	100%
㉓	8	164.16	125.56	159.58	174.05	131.20	92.23	116.56	116.17	100%	97%	97%	100%
㉔	30	164.16	125.49	159.66	174.39	130.71	90.88	112.81	115.89	99%	95%	93%	99%
㉕	300	164.16	125.42	159.72	174.71	130.17	89.56	109.36	115.66	99%	94%	91%	99%

<표 4.24> CASE - 2 모멘트 결과표 (사질토, N=20)

구분	L (m)	발생모멘트(kN·m)						내진시 발생모멘트 비교 (㉔를 기준)		
		상 시			내진시					
		상부 단부	벽체 중앙	하부 단부	상부 단부	벽체 중앙	하부 단부	상부 단부	벽체 중앙	하부 단부
㉑	1	65.82	36.87	74.34	63.51	30.23	65.91	103%	114%	105%
㉒	3	65.76	36.86	74.64	61.53	26.46	62.66	100%	100%	100%
㉓	8	65.72	36.85	74.82	60.16	24.15	60.97	98%	91%	97%
㉔	30	65.69	36.84	74.99	58.81	22.11	58.72	96%	84%	94%
㉕	300	65.66	36.83	75.14	57.48	20.24	56.93	93%	76%	91%

<표 4.25>와 <표 4.26>는 각각 조밀한 모래층에서 기초의 길이(L)에 따른 상·하부 슬라브와 벽체에서의 전단력과 모멘트를 나타낸 표이다.

<표 4.25> CASE - 3 전단력 결과표 (사질토, N=40)

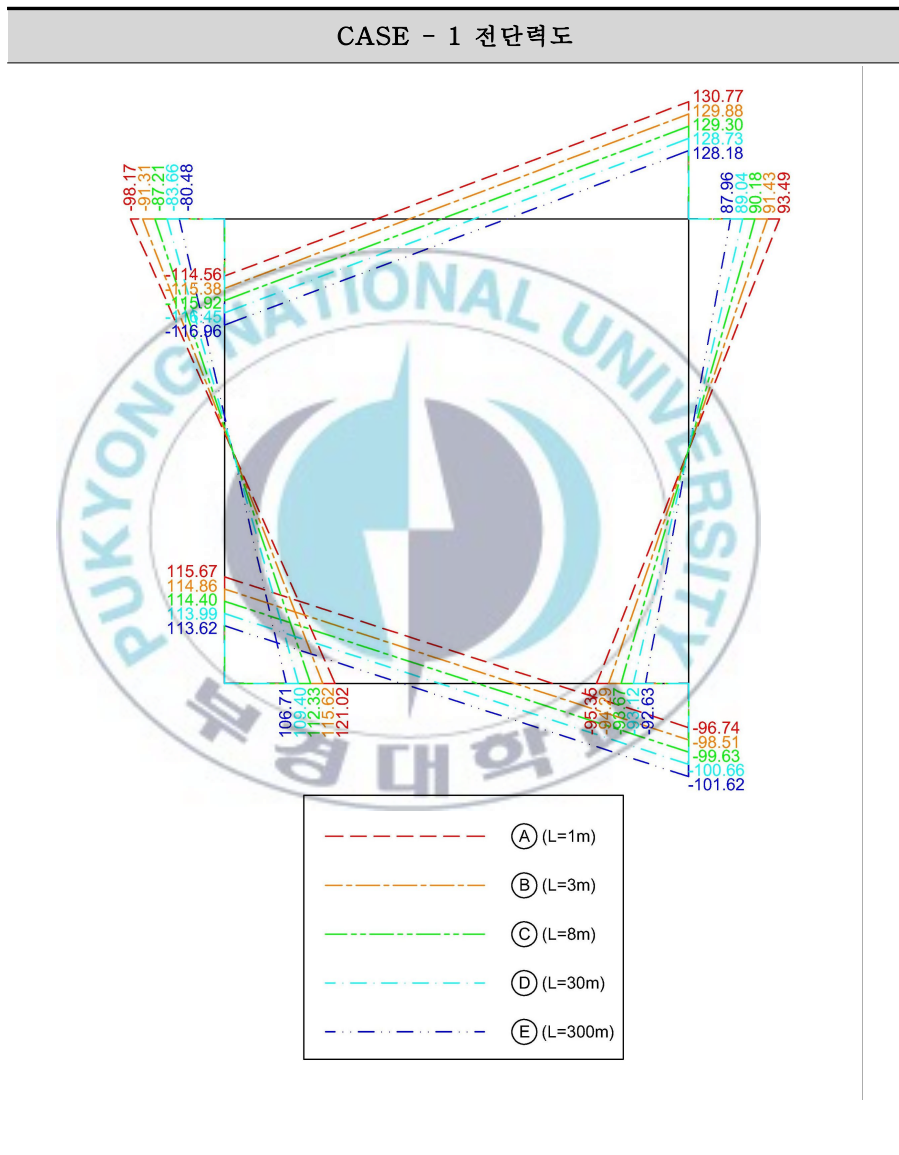
구분	L (m)	발생전단력(kN)								내진시 발생전단력 비교 (㉔를 기준)			
		상 시				내진시							
		상부 단부	벽체 상단	벽체 하단	하부 단부	상부 단부	벽체 상단	벽체 하단	하부 단부	상부 단부	벽체 상단	벽체 하단	하부 단부
㉑	1	164.16	126.16	158.98	171.28	133.03	119.24	133.67	118.64	100%	119%	106%	101%
㉒	3	164.16	125.90	159.24	172.46	132.99	100.13	125.55	118.01	100%	100%	100%	100%
㉓	8	164.16	125.75	159.40	173.20	132.80	94.08	120.56	117.78	100%	94%	96%	100%
㉔	30	164.16	125.60	159.54	173.86	132.51	92.64	116.09	117.69	100%	93%	92%	100%
㉕	300	164.16	125.47	159.67	174.48	132.11	91.16	111.98	117.68	99%	91%	89%	100%

<표 4.26> CASE - 3 모멘트 결과표 (사질토, N=40)

구분	L (m)	발생모멘트(kN·m)						내진시 발생모멘트 비교 (㉔를 기준)		
		상 시			내진시					
		상부 단부	벽체 중앙	하부 단부	상부 단부	벽체 중앙	하부 단부	상부 단부	벽체 중앙	하부 단부
㉑	1	65.98	36.92	73.49	65.41	33.36	69.17	102%	116%	105%
㉒	3	65.87	36.89	74.06	63.82	28.64	65.78	100%	100%	100%
㉓	8	65.80	36.87	74.41	62.62	25.74	63.64	98%	90%	97%
㉔	30	65.74	36.85	74.73	61.38	23.16	61.38	96%	81%	93%
㉕	300	65.68	36.84	75.03	60.09	20.80	59.85	94%	73%	91%

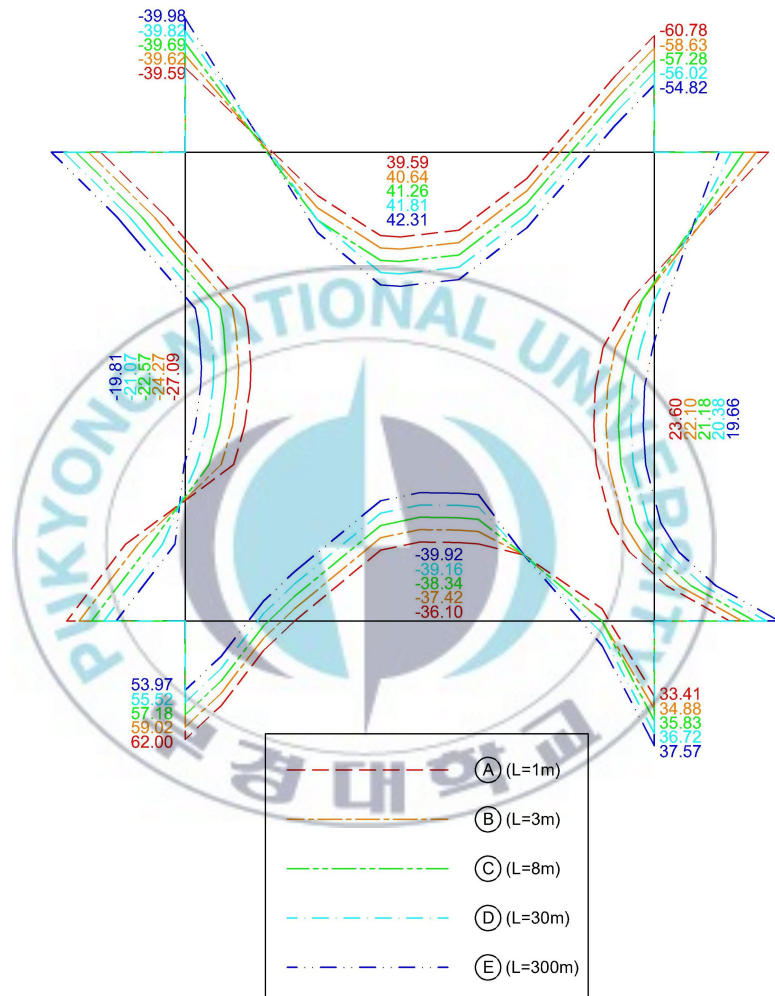
<표 4.21>에서 내진시 단면력을 그림으로 나타내면 <표 4.27>와 같다. CASE-2, 3에서 부재력의 변화도 CASE-1과 유사하였다.

<표 4.27> CASE - 1 의 내진시 단면력도



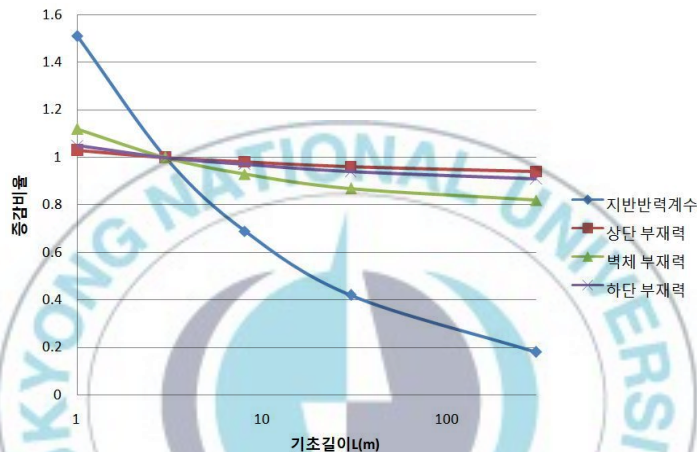
<표 4.27> 계속 (CASE - 1 의 내진시 단면력도)

CASE - 1 모멘트도

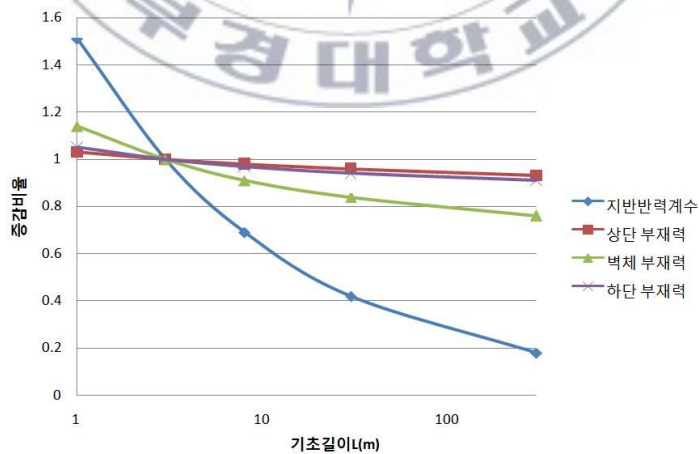


4.4.2 박스구조물 단면력에 미치는 지반반력계수의 영향

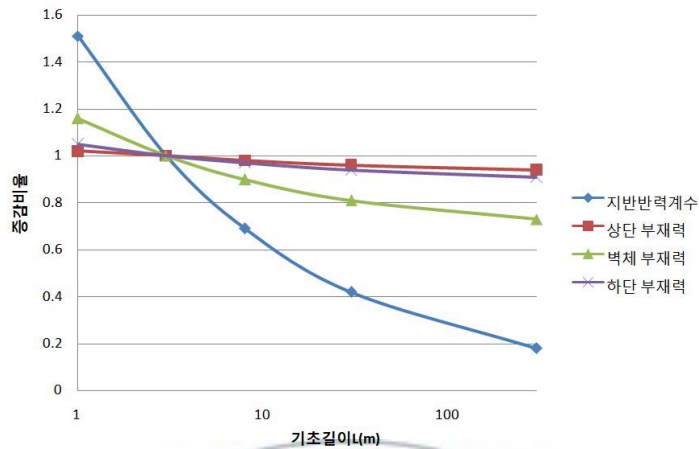
<그림 4.6>은 느슨한 모래층에서 기초길이(L)이 증가함에 따라 달라지는 지반반력계수와 벽체 상단, 중앙, 하단부의 발생모멘트를 그림으로 나타내었다. 마찬가지로 <그림 4.7>는 중간정도의 모래층, <그림 4.8>는 조밀한 모래층에 대한 결과를 나타내었다.



<그림 4.6> CASE - 1의 k_v 와 발생단면력의 관계



<그림 4.7> CASE - 2의 k_v 와 발생단면력의 관계



<그림 4.8> CASE - 3의 k_v 와 발생단면력의 관계

기초의 길이(L)을 달리할 때 사질토 지반에 대하여 그 상태에 변화를 주고 각각의 지반반력계수와 발생모멘트를 비교해 보았다. <그림 4.6> ~ <그림 4.8>에서와 같이 기초의 길이(L)이 증가하여 지반반력계수의 값이 감소하면, 상시해석에서는 발생단면력의 차이가 매우 작게 나타났으나, 내진시해석의 경우에는 대체로 지반반력계수가 줄어들수록 발생단면력은 감소하였으며 특히 벽체 중앙부에서의 발생모멘트 감소율은 20~30%정도로 가장 현저하게 나타났다.

4.4.3 박스구조물의 안정성 검토

기초의 길이에 따른 지반조건별 박스의 단면력에 대한 부재 안정성 검토를 실시하여 구조물의 설계에 미칠 영향에 대하여 확인하였다. 부재의 재료특성은 <표 4.3>과 같으며 상시와 내진시의 단면력 중 큰 값을 적용한 안정성 검토 결과를 표로 나타내면 <표 4.28>과 <표 4.29>과 같다.

<표 4.28> 전단력에 대한 부재 안정성 검토 결과

구 분		상부단부		벽체상단		벽체하단		하부단부	
		T=300mm Ø Vn=207.85kN		T=300mm Ø Vn=207.85kN		T=300mm Ø Vn=207.85kN		T=300mm Ø Vn=207.85kN	
		Vu (kN)	검 토	Vu (kN)	검 토	Vu (kN)	검 토	Vu (kN)	검 토
CASE - 1	㉠	164.16	O.K	125.52	O.K	159.63	O.K	174.26	O.K
	㉡	164.16	O.K	125.47	O.K	159.68	O.K	174.48	O.K
	㉢	164.16	O.K	125.44	O.K	159.71	O.K	174.62	O.K
	㉣	164.16	O.K	125.41	O.K	159.73	O.K	174.74	O.K
	㉤	164.16	O.K	125.39	O.K	159.76	O.K	174.85	O.K
CASE - 2	㉠	164.16	O.K	125.78	O.K	159.36	O.K	173.04	O.K
	㉡	164.16	O.K	125.64	O.K	159.50	O.K	173.67	O.K
	㉢	164.16	O.K	125.56	O.K	159.58	O.K	174.05	O.K
	㉣	164.16	O.K	125.49	O.K	159.66	O.K	174.39	O.K
	㉤	164.16	O.K	125.42	O.K	159.72	O.K	174.71	O.K
CASE - 3	㉠	164.16	O.K	126.16	O.K	158.98	O.K	171.28	O.K
	㉡	164.16	O.K	125.90	O.K	159.24	O.K	172.46	O.K
	㉢	164.16	O.K	125.75	O.K	159.40	O.K	173.20	O.K
	㉣	164.16	O.K	125.60	O.K	159.54	O.K	173.86	O.K
	㉤	164.16	O.K	125.47	O.K	159.67	O.K	174.48	O.K

<표 4.29> 모멘트에 대한 부재 안정성 검토 결과

구 분		상부단부		벽체중앙		하부단부	
		D16@200 ØMn=105.11kN·m		D16@200 ØMn=94.98kN·m		D16@200 ØMn=88.23kN·m	
		Mu (kN·m)	검 토	Mu (kN·m)	검 토	Mu (kN·m)	검 토
CASE - 1	Ⓐ	65.70	O.K	38.84	O.K	74.92	O.K
	Ⓑ	65.68	O.K	36.84	O.K	75.03	O.K
	Ⓒ	65.67	O.K	36.84	O.K	75.10	O.K
	Ⓓ	65.66	O.K	36.83	O.K	75.16	O.K
	Ⓔ	65.65	O.K	36.83	O.K	75.21	O.K
CASE - 2	Ⓐ	65.82	O.K	36.87	O.K	74.34	O.K
	Ⓑ	65.76	O.K	36.86	O.K	74.64	O.K
	Ⓒ	65.72	O.K	36.85	O.K	74.82	O.K
	Ⓓ	65.69	O.K	36.84	O.K	74.99	O.K
	Ⓔ	65.66	O.K	36.83	O.K	75.14	O.K
CASE - 3	Ⓐ	65.98	O.K	36.92	O.K	73.49	O.K
	Ⓑ	65.87	O.K	36.89	O.K	74.06	O.K
	Ⓒ	65.8	O.K	36.87	O.K	74.41	O.K
	Ⓓ	65.74	O.K	36.85	O.K	74.73	O.K
	Ⓔ	65.68	O.K	36.84	O.K	75.03	O.K

<표 4.28> 및 <표 4.29>는 앞서 확인한 바와 같이 상시의 부재력이 내진시에 비해 크고, 상시의 경우 기초길이(L)의 증가에 따른 단면력의 변화가 거의 없어 결과적으로 지반반력계수가 설계에 미치는 영향은 미미한 것을 나타내고 있다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 반무한장 지중구조물의 지반반력계수의 산정에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되나 설계시 반영되지 않고 있는 요소로 첫째, 기초환산재하면적 산정시 구조물의 종방향의 길이. 둘째, 지하수에 의한 지반반력계수 저감효과로 선정하고 이에 대해 매개변수연구를 수행하였다. 또한 이러한 지반반력계수의 감소가 실제 지중구조물의 설계에 미치는 영향을 확인하기 위해 지반조건과 구조물의 길이를 변수로 하여 단면력을 확인하였다.

1. 구조물의 길이(L)가 폭(B)의 3~4배에 이르면 지반반력계수의 값이 급격하게 줄어들어 길이가 폭과 동일한(L=B) 경우의 지반반력계수값에 비해 대략 1/2수준으로 감소하였고, 반무한장에 가까운 폭의 100배(L=100B)에서는 약 1/5수준으로 줄어들었다.

2. 사질토지반에서 구조물의 기초면이 지하수위보다 아래에 위치할 경우 지반반력계수의 저감률을 유한요소해석을 통해 검토한 결과, 조밀한 지반에서는 약 2%, 느슨한 지반에서 4%정도로 그 영향은 무시할 정도로 작게 나타났다.

3. 기초의 길이(L)를 달리함에 따라 산출된 지반반력계수를 적용하여 상시와 내진시에 대한 구조검토 결과, 기초길이가 길어져도 상시해석에서는 단면력의 차이가 매우 작게 나타났다. 그러나 내진시해석의 경우에는

대체로 지반반력계수가 줄어들수록 단면력은 감소하였으며 특히 벽체 중앙부에서의 발생모멘트 감소율은 20~30%정도로 가장 현저하게 나타났다.

4. 아직 국내에서는 반무한장 지중구조물의 지반반력계수 산정시 기초의 길이(L)에 관한 세부지침이나 기준이 없는 실정으로 설계자의 공학적 판단에 따라 적용하고 있다. 기초길이에 관한 매개변수 연구에서 확인한 것과 같이, 기초길이의 증가에 따른 지반반력계수의 감소가 박스구조물의 설계에 미치는 영향이 미미하여 과다설계가 이루어질 우려가 적으므로 관행적으로 적용하는 것과 같이 기초의 길이(L)가 폭(B)과 같은 정방형으로 지반반력계수를 산정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한국지반공학회, 2009, 구조물 기초 설계기준
2. 한국지반공학회, 2013, 얇은기초, 구미서관
3. 대한토목학회, 2008, 도로교설계기준 해설(하부구조편)
4. 도시철도내진설계기준, 2009, 국토해양부
5. 이성민, 2005, 도시철도기술자료집 개착터널
6. Terzaghi, K., 1955, "Evaluation of the Coefficient of Subgrade reactions", Geotechnique, Vol. 5, No. 4
7. Bowles, J.E., 1996, Foundation Analysis and Design, McGraw Hill Book Co., New York.
8. Das, B.M., 1995, Principles of Foundation Engineering, Third Ed. PWS, Div. of Inter. Thompsn Pub. Inc.
9. Hunt, R.E., 1986, Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation, McGraw Hill Book Company.

감사의 글

반복되는 일상생활에 지쳐갈 무렵 배움에 대한 열망으로 석사 과정을 시작했는데 벌써 많은 시간이 지나 여기까지 왔습니다.

그동안 항상 부족한 제게 지도와 격려를 주시고 본 논문이 완성되기까지 이끌어주신 정진호 교수님께 먼저 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 또한, 논문심사를 하시며 세밀한 지도와 충고를 해주신 정두희 교수님, 이환우 교수님께도 감사드립니다.

석사과정을 무사히 마칠 수 있도록 배려해 주신 이상목 사장님, 민혜경 전무님, 바쁜 업무 와중에도 논문을 쓸 수 있도록 배려해주신 송석 부장님과 CM동료 직원 모두에게 정말 감사를 드리며 논문을 쓰기까지 많은 도움을 주신 모든 분들께 감사의 마음을 전합니다.

짧지 않은 시간이었지만 지켜봐 주시고 용기와 격려를 주신 저의 아버지와 어머니, 장인, 장모님과 그 중에서도 늘 저의 뒷바라지에 모자람이 없도록 세심히 챙겨주는 아내 신화은과 잘 놀아주지 못하여 항상 미안한 마음이 드는 사랑하는 아들 유건이에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

끝으로 여기가 끝이 아니고 또 다른 시작임을 다짐하며 이제까지 도움을 주신 모든 분들에게 작지만 이 한편의 논문으로나마 보내 주신 성원에 보답하고자 합니다.