

간척지 온실기초 보강을 위한 심층혼합처리공법의 허용지내력 및 침하량 산정

이학성^{1*} · 강방훈² · 이광승¹ · 이수환¹

¹농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀 농업연구사, ²농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀 농업연구관

Estimation of Allowable Bearing Capacity and Settlement of Deep Cement Mixing Method for Reinforcing the Greenhouse Foundation on Reclaimed Land

Haksung Lee^{1*}, Bang Hun Kang², Kwang-seung Lee¹, and Su Hwan Lee¹

¹Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju, 55365, Korea

²Senior Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract. In order to expand facility agriculture and reduce greenhouse construction costs in reclaimed land, a greenhouse foundation method that satisfies economic feasibility and structural safety at the same time is required. As an alternative, the allowable bearing capacity and settlement were reviewed when the DCM(Deep cement mixing) method was applied among the soft ground reinforcement methods. To examine the applicability of the greenhouse foundation, the allowable bearing capacity and settlement were calculated by applying the theory of Terzaghi, Meyerhof, Hansen, and Schmertmann. In case of the diameter of 800mm and the width and length of the foundation of 4m, the allowable bearing capacity was 179kN/m² and the settlement was 7.25mm, which satisfies the required bearing capacity and settlement standards. The calculation results were verified through FEM(Finite element method) analysis using the Mohr-Coulomb material model. The allowable bearing capacity was 169kN/m² and the settlement was 2.52mm. The bearing capacity showed an error of 5.6% compared to calculated value, and the settlement showed an error of 65.4%. Through theoretical calculations and FEM analysis, it was confirmed that the allowable bearing capacity and settlement satisfies the design criteria as a greenhouse foundation when the width and length of the foundation were 4m. Based on the verified design values, it is expected to be able to present the foundation design criteria for greenhouses through empirical tests such as bearing capacity tests and long-term settlement monitoring.

Additional key words : bearing capacity, deep cement mixing, reclaimed land, soft ground

서 론

국내 국가관리 간척지는 약 30천ha 규모이며, 수출원예단지 및 일반원예단지 계획 면적은 각각 2,936ha, 2,943ha 수준이다. 농식품부는 간척지를 활용한 규모화 시설 농업을 통해 수출경쟁력 강화 정책을 설정하였으며(Seo, 2019), 대표적인 시설원예단지로 화옹지구(화성), 이원지구(태안), 고흥지구(고흥), 새만금간척지 등을 선정하였다(Choi 등, 2014). 이 가운데 새만금간척지 원예단지의 조성 규모는 1,487ha 수준이다(새만금위원회, 2021).

시설농업 측면에서 매립지로 조성된 간척지 원예단지 규모화를 위해서는 경제성, 구조안전성을 동시에 만족하는 온실기초 설계기준을 확립하는 것이 필요하다(Lee 등, 2020). 간척지 연약지반의 경우, 기초를 보강하지 않고 구조물을 축조하기에는 지반의 작은 전단강도로 인해 부동침하 등 상부 구조물을 충분히 지지하지 못하고 지반 변형으로 많은 피해가 우려된다(Yoo 등, 2012).

이러한 우려로 인해, 기 조성된 이원지구, 화옹지구 원예단지의 경우 고가의 PHC(prestressed high-strength concrete) 파일 기초가 시공되었다. 이와 같이 연약지반 특성을 고려한 원예단지 시공사례 및 실증 연구가 미비하여 고사양의 PHC 파일 기초가 적용되고 있다(Yu 등, 2014, Choi 등, 2015b). PHC 파일을 대체하기 위해 나무말뚝(Song 등, 2016) 및 스파

*Corresponding author: lhs0221@korea.kr
Received July 21, 2021; Revised September 24, 2021;
Accepted September 27, 2021

이텔(헬리컬) 기초(Choi 등, 2015b, Yum 등, 2017) 등 일부 기초 연구가 진행되었으나, 구조적 안전성을 검증하기에는 부족한 실정이다.

본 연구에서는PHC 파일 기초를 대체하기 위하여, 고속도로, 해안지반에 주로 시공되고 있는 지반개량공법 중(KIPA, 2005), 다짐공법의 경우 두꺼운 매립층에 적용하기 어려운 단점으로 고결공법중의 하나인 심층혼합처리공법 적용에 따른 허용지지력 및 침하량 산정을 통하여 온실기초 공법으로써의 적용 가능성을 검토하고자 한다. 온실기초 설계시 요구되는 허용지지력 및 침하량 산정을 위하여 Terzaghi, Meyerhof, Hansen 이론을 적용하여 통하여 허용지지력을 산출하고, Schmertmann 이론을 통해 침하량을 산정하였다. 허용지지력, 침하량 산정을 위해 필요한 토양의 물리적 특성은 새만금 간척지 1공구 원예단지 현장시험 및 실내시험을 통해 물성치를 산출하였다. 추가적으로, MIDAS GTX NX 프로그램의 Mohr-coulomb 재료 정의를 통해 이론식으로 산출된 허용지지력 및 침하량에 대하여 수치해석 검증을 수행하였다. 본 논문은 추후에 진행될 심층혼합처리공법의 실증시험 결과를 사전에 예측하기 위한 연구에 초점을 두고 있다.

재료 및 방법

1. 심층혼합처리공법

심층혼합처리공법(Deep Cement Mixing, DCM)은 연약 지반층에 시멘트 등의 고화재를 주입하고 혼합 교반함으로써 개량체 기둥을 형성하는 공법이다(Han 등, 2019). 심층혼합처리공법 적용에 따른 온실기초 구성은 Fig. 1(a) 및 1(b)와 같이 직경 800mm를 기본 조건으로 하였으며, 말뚝의 위치는 2×2 배열로 구성하였다. 콘크리트 매트는 온실기초 배치간격을 고려하여, 3×3m, 4×4m, 5×5m, 6×6m 조건으로 검토하였

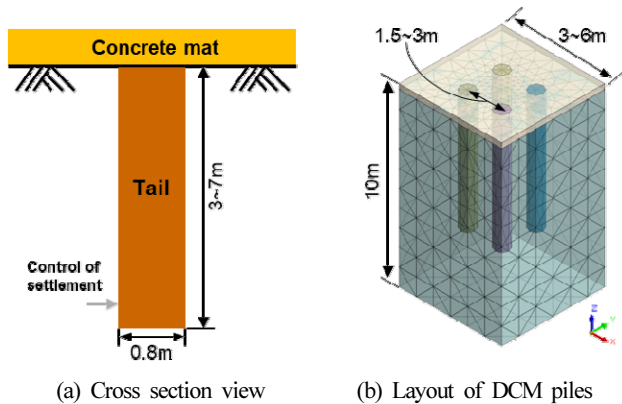


Fig. 1. Cross section and layout of DCM method.

다. 심도의 경우 표준관입시험 결과를 토대로 3~7m 범위로 설정하였다. 이는 온실 기초 폭과 길이의 1~2배수 범위이다.

2. 지반조사

군산시 옥구를 어은리에 위치한 새만금간척지 농생명용지 1공구에 대한 지반조사를 진행하였다. 조사항목으로 표준관입시험(SPT), 공내재하시험, 공내전단시험 등을 수행하였다. Fig. 2와 같이 시추조사에 사용된 시추기는 한신 Power-4000이며, 공내재하시험은 LLT(Lateral Load Test), 공내전단시험은 BST(Borehole shear test) 방식을 적용하였다. 표준관입시험은 표준해머(64kg)에 의해 낙하고 76cm의 조건으로 자유낙하시켜 관입 깊이를 측정하고 15cm씩 3단계 시행하여, 시료(Sample)를 30cm 관입하는데 필요한 타격횟수를 N치로 하였다(Lee, 1991). 공내재하시험은 Mono-cell 방식으로, 지반변형 특성 분석을 위해 재하(Loading)-제하(Unloading)을 반복하고 압력-변형량 곡선을 통해 탄성계수를 산출한다.

$$E = (1+\nu) \times R_m (\Delta P / \Delta R) \quad (1)$$

식(1)은 탄성계수 산출식으로, E는 탄성계수, P는 압력, 변형량은 시추공의 반경R, ν는 포와송비, R_m은 R₀ + ΔR/2이다.



(a) SPT test



(b) LLT test

Fig. 2. Test procedure of SPT and LLT test method.

공내전단시험은 기초 설계에 중요한 지반의 점착력 (Cohesion, C) 및 내부마찰각(Friction angle, ϕ)을 산정하기 위해 시추공내에서 진행되는 직접전단시험이다. 시추공내 전단기와 연결된 로드를 지상에서 끌어당기는 수직력(Shear stress)를 가하여 파괴시 전단응력을 산정한다. 측정된 수직, 전단응력을 근거로 점착력과 마찰각을 산정하였다(Kim 등, 1997).

3. 수치해석 모델

심층혼합처리공법의 지지력 및 침하량에 대한 검증은 위하여, 3차원 유한요소해석 프로그램MIDAS GTX을 사용하였으며, 연약지반의 비선형성(Nonlinearity)을 고려하기 위하여 Mohr-Coulomb 재료를 정의하고 해석을 수행하였다. 도출된 해석 값과 이론식으로 계산된 허용지지력, 침하량에 대해 상대 비교하였다.

Fig. 3은 해석에 사용된 수치해석 모델로 경계조건, 하중조건, 지하수위 등을 나타내고 있다. 침하량 계산을 위해 100 kN/m^2 하중을 혼합처리공법 상부에 부여하였다. 하중의 경우 '97년 한국형 유리온실 표준설계도에 명시된 온실의 지내력 기준은 50 kN/m^2 이지만(Lee 등, 2020), 최근 온실의 시스템 고도화에 따른 고정하중 증가 및 국토교통부 건축물의 구조기

준 등에 관한 규칙 제4절 기초의 구조기준의 모래 또는 점토 지반의 장기 응력에 대한 허용지내력 기준 100 kN/m^2 을 고려하였다. 지지력 해석의 경우 지반-시공 변위 순서로 시공단계세트를 정의하였다. 지지력의 경우 강제변위에 따른 반력 값을 산출하고, 수렴성 검토를 위하여 강제변위 180 mm 까지 해석을 수행하였다. 지하수위의 경우 강우시 지하수위 변화를 고려하여 지표에 적용하여 포화된 토층으로 가정하였다.

Table 1은 해석에 사용된 원지반과 보강체 물성치를 나타내고 있다. 지반의 물성치는 현장, 실내 시험 결과를 토대로 작성하였으며, 보강체는 관련 혼합처리공법의 물성치를 준용하였다(Kim 등, 2016). 일반적으로 지반의 물성치는 실내시험, 경험적 추정 방식을 통해 1차적으로 산정하고 문헌자료를 참고로 최종적인 지반설계정수를 산정하지만, 본 논문에서는 추후에 진행될 심층혼합처리공법의 실증 시험결과를 사전에 예측하기 위한 연구에 초점을 두고 있다.

4. 허용지지력 및 침하량 산정 이론식

본 연구에서 검증하고자 하는 심층혼합처리공법의 허용지내력과 침하량은 Terzaghi, Meyerhof, Hansen의 지지력 산정식 및 Schmertmann의 탄성 침하량 산정식을 적용하였다. 응력분담비 2, 허용지지력 산출을 위한 안전율은 3.0을 적용하였다(Choi 등, 2015a). 온실기초 허용지지력(유리온실)은 100 kN/m^2 로 가정하였으며, 침하량은 Terzaghi와 Peck이 제안한 것을 근거로 25.4 mm 로 설정하였다(Jung 등, 2010). Terzaghi의 지지력 산정식은 다음과 같다(Terzaghi 등, 1996).

$$Q_{ult} = \alpha \cdot C \cdot N_c + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q + \beta \gamma_1 \cdot B \cdot N_r \quad (2)$$

$$N_q = a^2 / \{2 \cos^2(45 + \phi/2)\} \quad (3)$$

$$a = \exp\{(0.75\pi - \phi/2) \tan \phi\} \quad (4)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (5)$$

$$N_r = \{2(N_q + 1) \tan \phi\} / \{1 + 0.4 \sin(4\phi)\} \quad (6)$$

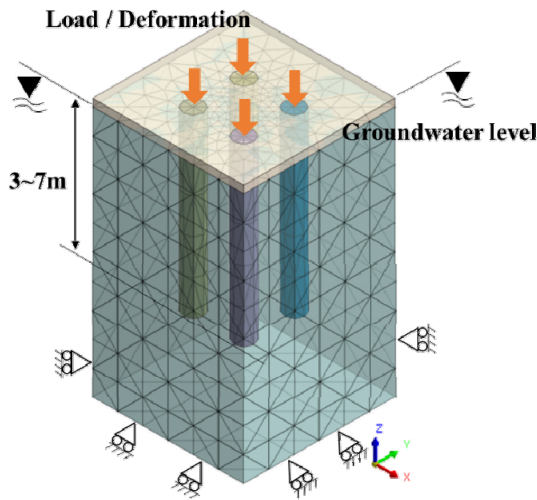


Fig. 3. Boundary conditions in analysis.

Table 1. Physical properties of reclaimed soil and reinforcement (Kim 등, 2016).

	Allowable compressive strength (kN/m^2)	Specific weight (kN/m^3)	Cohesion (kN/m^2)	Modulus of elasticity (kN/m^2)	Internal friction angle (θ)
Reclaimed soil	-	16.0	3.2	7,800	26.1
Reinforcement	400	19.0	30	300,000	35.0

여기서, 식 (2)의 Q_{ult} 는 극한 지지력(kN/m²), C는 기초하중면 하부의 지반의 점착력(kN/m²), B는 기초의 최소폭(원형기초에서는 직경), D_f는 기초의 근입깊이(m), γ_1 는 기초저면 하부 지반 흙의 단위중량(kN/m³), γ_2 는 기초저면 상부 지반 흙의 단위중량(kN/m³), α , β 는 기초의 형상계수(정사각형의 경우 각각 1.3, 0.4 적용)이며, 식 (2) - (6)의 N_c , N_q , N_r 는 지지력계수를 나타낸다. Meyerhof 지지력 산정식은 식 (7)과 같다(Meyerhof, 1963).

$$Q_{ult} = C \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r \cdot s_r \cdot d_r \cdot i_r \quad (7)$$

$$S_c = 1 + 0.2 K_p (B/L), S_q = S_r = 1 + 0.1 K_p (B/L), K_p = \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (8)$$

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{K_p (D_f/B)}, d_q = d_r = 1 + 0.1 \sqrt{K_p (D_f/B)} \quad (9)$$

$$i_c = i_q = (1 - \phi/90)^2, i_r = (1 - \theta/\phi)^2, \theta = \tan^{-1} (V/H) \quad (10)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi, N_r = (N_q - 1) \tan (1.4\phi), N_q = \exp(\pi \cdot \tan \phi) \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (11)$$

여기서, S_c , S_q , S_r 는 기초의 형상계수, i_c , i_q , i_r 는 기초의 경사계수, d_c , d_q , d_r 는 기초의 깊이계수, N_c , N_q , N_r 는 지지력 계수를 나타낸다. Hansen 지지력 산정식은 식 (12)와 같다(Hansen, 1970)

$$Q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0.5 \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r \cdot s_r \cdot d_r \cdot i_r \cdot b_r \cdot g_r \quad (12)$$

$$S_c = 1 + (B/L)(N_q/N_c), S_r = 1 - 0.4(B/L), S_q = 1 + (B/L) \sin \phi \quad (13)$$

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} (D_f/B); D_f > B, d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} (D_f/B); D_f > B = 1 + 0.4 (D_f/B); D_f \leq B, = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D_f/B); D_f \leq B \quad (14)$$

$$i_c = i_q = (1 - i_q) / (N_q - 1), i_r = [1 - (0.7H) / (V + BLc_a \cot)]^{a_2}, i_q = [1 - (0.5H) / (V + BLc_a \cot)]^{a_2} \quad (15)$$

$$g_c = 1 - \beta / 147, g_r = g_q = (1 - 0.5 \tan)^5 \quad (16)$$

$$b_c = 1 - \eta / 147, b_r = \exp(-2.7 \eta \tan \phi), b_q = \exp(-2.0 \eta \tan \phi) \quad (17)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi, N_r = 1.5 (N_q - 1) \tan \phi, N_q = \exp(\pi \cdot \tan \phi) \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (18)$$

여기서, g_c , g_q , g_r 는 경사면의 접지계수, b_c , b_q , b_r 는 경사면의 선단계수를 나타낸다. 세가지 이론식을 적용하여, 극한지지를 산출하고 안전율 3.0을 고려하여 가장 작은 값을 허용지력으로 결정한다. Schmertmann의 침하량 산정식은 식 (19)와 같고, Terzaghi & Peck이 제안한 25.4mm를 근거로 침하량 허용 여부를 판단하였다.

$$S = C_1 \cdot C_2 \cdot \Delta P \cdot \Sigma (I_z/E) \cdot \Delta Z \quad (19)$$

여기서, C_1 는 기초 근입깊이 보정계수, C_2 는 지반의 Creep 보정계수, ΔP 는 기초에 작용하는 순하중(kN/m²), ΔZ 는 각 토층의 두께(m), I_z 는 변형영향계수, E는 탄성계수(kN/m²)을 나타낸다.

결과 및 고찰

1. 지반조사 결과

Table 2는 새만금간척지 농생명용지 1공구 5지점에 대한 표준관입시험 결과와 토질 분포에 대하여 나타내고 있다. 심도 1 - 7m 범위는 매립층으로 실트 섞인 세립질 모래(Silty sand)로 구성되어있고, 퇴적층은 7 - 31m까지 고르게 분포되어있다. 그 밑단에는 풍화토와 풍화암층으로 구성되어있고, 풍화토는 BH-5 위치에서만 발견되었다. 혼합처리공법에 대한 검증을 위해 N치 값이 낮은 BH-2 위치를 대상으로, N치 10내외인 심도 6 - 7m 지점의 공내재하시험, 공내전단시험을 통해 확보된 물리적 특성은 Table 1과 같다. 지하수위의 경우 표토에서 2m 수준에서 나타났다. 새만금 농생명용지의 경우 일반적으로 풍화암이 40m 내외에서 조사되는 것과 비교하여 상대적으로 심도가 낮게 분포되는 것을 확인할 수 있었다.

2. 이론해

Table 3은 직경 800mm에 폭(B), 길이(L) 변화에 따른 허용 지지력과 침하량 산출 결과이다. 폭과 길이가 3m인 경우 혼합처리공법의 배치간격은 1.5m가 되고, 6m인 경우 3.0m가 된다. 치환율은 5.6 - 22.4% 수준이었고 저치환율과 연약지반 특성을 고려한 안전한 설계를 위해 응력분담비는 2.0를 적용하였다(Song 등, 2011)

허용지력은 모든 조건에서 가장 낮은 값을 나타내는 Hansen 이론 해를 기준으로 만족 유무를 검토하였다. 폭, 길이 4m 기준으로 허용지력은 179kN/m², 침하량은 기초 심

Table 2. Results of geological layer and standard penetration test (unit: penetration No./cm).

Depth (m)	BH-1	BH-2	BH-3	BH-4	BH-5	Soil stratum
1	14/30	9/30	9/30	20/30	15/30	
2	14/30	9/30	13/30	26/30	20/30	
3	13/30	7/30	10/30	29/30	27/30	
4	25/30	7/30	26/30	22/30	36/30	Buried layer
5	32/30	7/30	34/30	20/30	40/30	(Silty sand)
6	34/30	7/30	35/30	15/30	43/30	
7	28/30	17/30	35/30	20/30	39/30	
8	12/30	26/30	25/30	22/30	32/30	
9	7/30	34/30	6/30	18/30	25/30	
10	7/30	21/30	13/30	27/30	28/30	
11	12/30	12/30	18/30	29/30	27/30	
12	17/30	12/30	20/30	36/30	27/30	Deposit layer
13	25/30	11/30	29/30	29/30	26/30	(Silty sand)
14	27/30	13/30	34/30	42/30	27/30	
15	32/30	14/30	36/30	46/30	21/30	
16	50/10	17/30	35/30	33/30	21/30	
17		19/30	36/30	16/30	14/30	
18		23/30	32/30	23/30	11/30	
19		25/30	24/30	24/30	12/30	
20		31/30	14/30	32/30	29/30	
21		39/30	11/30	38/30	50/21	
22		37/30	12/30	35/30	36/30	
23		35/30	17/30	35/30	50/19	Weathered soil layer
24		37/30	16/30	40/30	50/10	(Silty sand)
25		35/30	25/30	40/30	50/6	
26		37/30	32/30	42/30	50/3	
27		50/8	50/30	42/30	50/3	Weathered rock layer
28			50/27	43/30	50/2	(Granite gneiss)
29			50/28	44/30	50/2	
30			50/10	39/30		
31			50/5	41/30		
32			50/4	50/28		
33			50/2	50/20		
34				50/11		
35				50/7		

도가 3m인 경우 22.77mm, 4m인 경우 16.95mm, 7m인 경우는 7.24mm의 결과를 보였다. 폭과 길이가 5m, 6m인 조건에서 대부분 허용지지력은 만족하는 반면 침하량 기준 25.4mm를 초과하는 결과를 보였다. 혼합처리공법의 배치 간격이 넓을수록 온실기초 시공비를 절감할 수 있기에, 배치 간격과 침

도를 동시에 고려한 기초 선정이 필요하다. 시공비 절감, 구조 안전성 측면에서 심도는 3m 이상, 폭과 길이는 3-4m 범위의 콘크리트 독립기초 시공이 적절할 것으로 보인다. 추가적으로 저 치환율이 10% 이상(Han 등, 2016)인 점을 고려하여 고결체의 지반개량효과를 나타내기 위해 폭, 길이 3-4m 범위

Table 3. Calculation result of allowable bearing capacity and settlement of DCM foundation method.

Case	Depth (m)	B (m)	L (m)	Allowable Bearing Capacity (kN/m ²)			Settlement (mm)	Replacementratio (%)	Evaluation
				(Terzaghi)	(Meyerhof)	(Hansen)			
A-1	3	3m	3m	337	390	273	11.39	22.4	O.K
A-2	3	4m	4m	233	267	179	22.77	12.6	O.K
A-3	3	5m	5m	194	221	144	34.92	8.1	N.G
A-4	3	6m	6m	178	203	128	47.22	5.6	N.G
B-1	4	3m	3m	337	390	273	6.74	22.4	O.K
B-2	4	4m	4m	233	267	179	16.95	12.6	O.K
B-3	4	5m	5m	194	221	144	28.77	8.1	N.G
B-4	4	6m	6m	178	203	128	41.15	5.6	N.G
C-1	7	3m	3m	337	390	273	3.95	22.4	O.K
C-2	7	4m	4m	233	267	179	7.24	12.6	O.K
C-3	7	5m	5m	194	221	144	15.99	8.1	O.K
C-4	7	6m	6m	178	203	128	27.21	5.6	N.G

Table 4. Analysis results of bearing capacity and settlement of DCM method.

		Allowable Bearing Capacity (kN/m ²)	Settlement (mm)
Calculation	A-2		22.77 (100%)
	B-2	179 (100%)	16.95 (100%)
	C-2		7.250 (100%)
Numerical analysis (FEM)	A-2		4.829 (21.2%)
	B-2	169 (94.4%)	4.827 (28.5%)
	C-2		2.732 (37.7%)

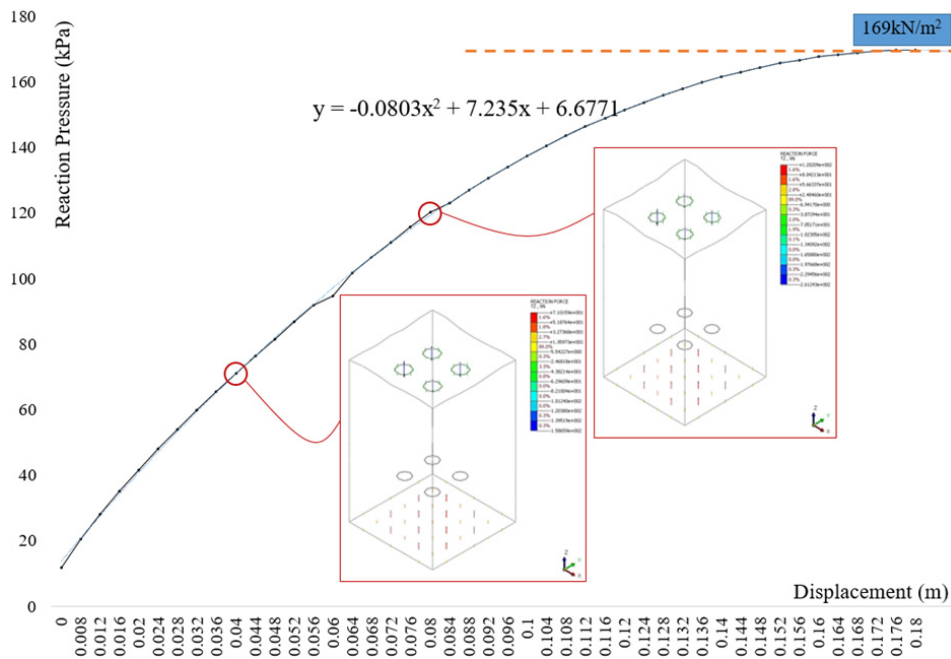


Fig. 4. Bearing capacity of DCM method.

를 기준으로 콘크리트 기초를 설계하는 것이 타당하다고 판단된다.

3. 수치해석 결과

Table 3의 조건 중에 콘크리트 독립기초 설계로 가장 타당할 것으로 판단되는 A-2, B-2, C-2의 조건에서의 해석을 수행하였다. Table 4는 각 조건에서의 허용지지력, 침하량 해석 결과를 보여준다. 허용지지력은 이론치 대비 94.4% 수준으로 높은 수준의 신뢰도를 보였고, 침하량은 이론치 대비 21.2-34.6% 수준의 침하량을 나타냈다. Mohr-coulomb 비선형 재료 정의에 따라, Fig. 4와 같이 변위를 180mm까지 증가시키며 수렴성을 검증하였다. 강제 변위에 따라 기초에 작용하는 반력을 기준으로 산정하였으며, 169kN/m²에서 수렴하는 것을 확인 할 수 있었다. Table 4의 콘크리트 기초의 폭과 길이가 동일할 경우 허용지지력이 같고, 온실기초 심도가 깊을수록 침하량을 억제하는 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 이론식과 같이 심도에 따른 선형적인 침하 억제효과는 나타나지 않았으며, 온실기초 심도가 3m에서 4m로 연장될 경우 침하 억제효과는 크지 않는 것으로 확인되었다.

적 요

국가관리 간척지내 원예단지 조성에 필요한 기반기술 중에 하나인, 온실기초 연구가 부족한 실정이며 고사양의 PHC 파일을 대체하기 위한 대안을 검토하고자 하였다. 지반개량공법 중 심층혼합처리공법(DCM) 적용시 허용지지력과 침하량 산정을 통하여 온실기초 공법으로써의 적용가능성을 검토하였다. 새만금간척지 농생명용지 1공구 지반조사를 통해 지반 특성을 파악하고, Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Schmertmann 이론식을 적용하여 허용지지력과 침하량을 산정하였다. 직경 800mm를 기준으로, 독립 기초 폭과 길이가 3-6m 이고, 기초 심도 3-7m 조건에서 허용지지력과 침하량을 검토하였다. 온실기초 심도가 얇고 콘크리트 매트 간격이 넓을수록 시공비가 절감되는 측면을 고려하여 독립 기초 폭과 길이가 4m, 기초 심도가 3m인 경우가 가장 적합한 것으로 판단되었다. 독립 기초 폭과 길이가 4m이고, 기초 심도가 3m인 조건에 대한 해석 결과로 허용지지력은 169kN/m², 침하량은 2.73mm로 지지력은 이론식 대비 5.6%의 오차를, 침하량은 62.3%의 오차범위를 나타냈다. 향후, 위 검증된 설계 값을 기준으로 구조 시험과 침하모니터링을 통해 신뢰성을 검증하고자 한다. 그 외 나무말뚝, 헬리컬기초 등 유리온실, 내재해형온실에 적용 가능한 기초 공법과의 비교 검증을 통해 각각의 장, 단점을 파악하고 PHC 파일의 대체 가능 유무를 검토할 예정

이다. 이는 온실 유형별 시공 공법을 선정하는데 필요한 기초 데이터로 제시될 수 있을 것으로 기대된다.

추가 주제어 : 허용지지력, 심층혼합처리공법, 간척지, 연약지반

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01558602)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Choi M.K., S.W. Yun, H.N. Kim, S.Y. Lee, D.H. Kang, and Y.C. Yoon 2015, Uplift capacity of spiral bar through the model experiment. Protected Hort Plant Fac 24:202-209. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2015.24.3.202
- Choi M.K., S.W. Yun, H.T. Kim, S.Y. Lee, and Y.C. Yoon 2014, Current status on the greenhouse foundation. J Agric Life Sci 48:251-260. (in Korean) doi:10.14397/jals.2014.48.3.251
- Han S.H., H.Y. Kim, and G.G. Yea 2016, Probabilistic Optimization for Improving Soft Marine Ground using a Low Replacement Ratio. J Eng Geol 26:485-495. (in Korean) doi:10.9720/kseg.2016.4.485
- Hansen J.B. 1970, A revised and extended formula for bearing capacity. Danish Geotechnical Institute, Bulletin No. 11.
- Kim D.S., S.Y. Jeong, G.C. Kweon and J.Y. Park 1997, Evaluation of nonlinear deformational characteristics of soils from laboratory and field tests. Journal of the Korean Geotechnical Society 13:89-100. (in Korean)
- Kim J.S., G.J. Jung, S.S. Jeong, Y.J. Jeon, and C.J. Lee 2018, A Study on the engineering behaviour of prebored and precast steel pipe piles from full-scale field tests and finite element analysis. Journal of the Korean Geo-environmental Society 19:5-16. (in Korean) doi:10.14481/jkges.2018.19.4.5
- Kim T.H., J.S. Kim, H.G. Choi, and J.H. Jeong 2016, Example of application fo point foundation method. Journal of Korean Geosynthetics Society 15:18-26. (in Korean)
- Lee H.S., B.H. Kang and S.H. Lee 2020, Foundation methods for the soft ground reinforcement of lightweight greenhouse on reclaimed land: a review. Protected Hort Plant Fac 29:440-447. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2020.29.4.440
- Lee M.H. 1991, Standardization of standard penetration test results. Geotechnical Engineering, 7:69-85. (in Korean)
- Lee U.J., G.I. Lee, and J.M. Yu 2005, Current status and development direction of soft ground reinforcement technology. J Geotechnical Engineering 21:30-42. (in Korean)
- Meyerhof G.G. 1963, Some recent research on the bearing

- capacity of foundations. *Can Geotech J* 1:16-26. doi:10.1139/t63-003
- Seo D.U. 2019, Study on multi-purpose utilization and management of agricultural reclaimed land. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61:61-72. (in Korean)
- Song C.S., M.H. Kim, and U.H. Jang 2016, Comparison analysis of model test for prediction of uplift resistance in the reclaimed land greenhouse foundation. *J Korean Soc Agric Eng* 58:45-52. (in Korean) doi:10.5389/KSAE.2016.58.2.045
- Song M., W. Bae, S. Ahn, and Y. Heo 2011, Centrifugal model test on stress concentration behaviors of composition ground under flexible/stiff surcharge loadings. *Journal of The Korean Geoenvironmental Society* 12:5-15. (in Korean)
- Terzaghi K., R.B. Peck, and G. Mesri 1996, *Soil mechanics in engineering practice*, John Wiley & Sons, West Sussex, UK.
- Yoo W.K., B.I. Kim, and Y.U. Kim 2012. Case Study of Stress Concentration Ratio of Composite Ground Improved by Deep Cement Mixing Method. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 13:3216-3223. doi:10.5762/KAIS.2012.13.7.3216
- Yu I.H., Y.G. Ku, M.W. Cho, H.R. Ryu, and D.G. Moon 2014, An analysis of problems and countermeasures in the installation of plastic greenhouse on reclaimed lands. *Korean J Agric Sci* 41:473-480. (in Korean) doi:10.7744/cnujas.2014.41.4.473