

## 흙막이 가시설의 거동 분석을 통한 안정성 확보 방안에 관한 연구

### A Study on Securing safety through Behavior Analysis of Earth Retaining Wall

김광렬<sup>1</sup>, 김유성<sup>2</sup>, 김성수<sup>3\*</sup>

Kwang-Leyol Kim<sup>1</sup>, You-Seong Kim<sup>2</sup>, Seong-Soo Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Member, Doctor Candidate, Department of Civil Engineering, Chonbuk National Univ., 567, Baekje-Ro, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 561-756, Republic of Korea

<sup>2</sup>Member, Professor, Department of Civil Engineering, Chonbuk National Univ., 567, Baekje-Ro, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 561-756, Republic of Korea

<sup>3</sup>Member, Doctor Candidate, Department of Civil Engineering, Chonbuk National Univ., 567, Baekje-Ro, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 561-756, Republic of Korea

#### ABSTRACT

Recently despite the development of analysis program and construction technologies, collapse at the many earth retaining wall construction site of the structure due to the economic and human damage has occurred. The results of geotechnical investigation studies field, it was found to differ from the results of the original design. There may be errors parameters calculated from the results of ground investigation in such a case. And it can be estimated that it is irrational to behavior analysis of the earth retaining wall were analyzed by utilizing the parameters. And in this study, parameters that affect the earth retaining wall the correlations were analyzed using elasto-plastic method. Analysis method was changed various parameters (cohesion, subgrade reaction coefficient, load condition) applied to the elasto-plastic method. And due to a change in the behavior of earth retaining wall materials were analyzed. As a result, the cohesion greatly affects the behavior of earth retaining wall materials in various parameters. For this reason, the results of the geotechnical investigation, confirmation of the actual ground is very important in the design of the earth retaining wall. And, calculating accurate and reasonable of the cohesion of the various parameters is very important.

#### 요 지

최근 해석프로그램과 시공기술의 발달에도 불구하고 많은 흙막이 가시설 공사현장에서 구조물의 붕괴로 인한 경제적·인적 피해가 발생하고 있다. 이번 연구 현장의 지반조사 결과는 원래 설계시 조사결과와 다른 것으로 나타났다. 이러한 경우에 지반조사 결과를 통해 산정된 매개변수는 오류가 있을 가능성이 있고, 그 지반정수를 활용하여 분석한 가시설 구조물의 거동분석도 비합리적임을 추정할 수 있다. 이번 연구에서는 가시설 구조물에 영향을 주는 매개변수에 대한 상관성을 탄소성해석법을 이용하여 분석하였다. 분석방법으로 탄소성해석법에 적용되는 주요 매개변수(점착력, 지반반력계수, 하중조건)를 변화시키고 그 변화로 인한 흙막이 가시설 재료(부재)의 거동을 분석하였다. 그 결과 점착력이 재료의 거동에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서 흙막이 가시설의 설계에서 지반조사 결과와 실제 지반의 확인과 여러 매개 변수 중에서 점착력의 정확하고 합리적인 산정이 매우 중요함을 알 수 있었다.

**Keywords** : Earth retaining wall, Elasto-plastic method, Geotechnical investigation, Cohesion

Received 29 Aug. 2013, Revised 18 Nov. 2013, Accepted 19 Nov. 2013

\*Corresponding author

Tel: +82-70-4060-8183; Fax: +82-63-270-2421

E-mail address: praysoo@gmail.com (S.S. Kim)

## 1. 서론

이미 많은 연구자들에 의해 흠막이 가시설의 거동 및 변위에 대한 연구는 수행되어 왔지만, 실제적으로 흠막이 가시설에 작용하는 측방토압과 그 외 여러 가지 요인들을 정확하게 파악하여 그 관계성을 규명하는 것은 매우 어렵다. 흠막이 가시설은 최근 넓은 평지에서뿐만 아니라 도심지의 좁은 공간에 가시설 구조물을 설치하고 그 규모 또한 대형화 되고 있어 이에 따른 주변지반의 침하나 흠막이 가시설의 거동 및 변위의 최소화는 주변 구조물의 안정성을 확보하고 인적·경제적 피해를 막기 위한 필수적으로 검토되어야 할 매우 중요한 사항이다.

흠막이 가시설의 설계시 중요한 변수인 대상 토사의 강도정수(점착력, 내부마찰각, 변형계수, 단위중량 등) 산정은 매우 중요하다. 지금까지 대부분 이러한 강도정수는 가시설 구조물이 설치되는 지점 또는 인근 지점에서 실시한 지반조사 결과로 얻어진 N값을 여러 학자들이 제안한 산정식으로 추정하거나 시료를 채취하여 실내 역학시험을 통하여 구하고 이를 흠막이 가시설 설계에 활용하였다.

그러나 실제로 흠막이 가시설 공사시 벽체의 변형 발생으로 인하여 그로 인한 많은 인명사고 및 경제적 손실이 발생하고 있는 상황이다. 이를 통하여 사전에 실시된 지반조사 및 강도정수의 산정 또는 해석의 부적절함이 존재하고 있다는 것을 알 수 있다.

흠막이 가시설 공사에 대한 선행연구 중 사고사례 분석에 대한 연구로는 기술검토사례집-옹벽 및 굴착분야(Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, 2007), 지반굴착에 따른 인접시설물 안전관리 기준정립 연구(Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, 2010) 등에서와 같이 다양한 시설물별·공정별 사례에 대한 사고 개요 수준의 분석·수집 연구가 수행된바 있으며(Seong et al., 2013), Seong et al.(2013)은 지반굴착 단일 공정에 대하여 사고 및 인접시설물에 영향을 끼친 다수의 사례를 수집하여 붕괴원인에 대한 분석과, 수치해석기법을 사용하여 국내 대표적인 지반조건 및 공사공법에 따른 굴착시 영향 분석을 수행한바 있다. 또한 흠막이 가시설 공사에 대한 사고사례를 24건에 대해서 분석한 결과 지반조사의 불충분(bad geotechnical investigation)으로 인한 사고가 12건, 가시설 구조체의 불안정(instability on the structure of scaffolding)으로 인한 사고가 9건, 지하수위 처리(groundwater treatment)의 미흡에 의한 불안정으로 인한 사고가

9건으로 나타난바 있다(Seong et al., 2011).

또한 그 동안의 연구의 경향은 크게 흠막이벽에 작용하는 측방토압(Chae and Moon, 1994), 벽체의 변위 발생과 그로 인한 배면 지반의 침하에 대한 연구(Mana and Clough, 1981), 흠막이 가시설 최적부재의 선정(Kim, 2003) 등에 국한되어 주로 연구가 진행되어 왔으며 금번 연구와 같이 실제로 흠막이 구조물의 안정성에 미치는 여러 가지 변수 중 가장 중요하게 영향을 미치는 요소에 대한 구체적인 연구는 거의 수행되지 않았었다.

흠막이 가시설 구조물의 안정성 해석 방법은 여러 가지가 있지만 주로 쓰이는 탄소성법 해석방법은 입력자료가 간편하고 전문성을 많이 요구하지 않기 때문에 설계시 사용빈도가 매우 높고, 해석 자체는 구조물의 절점을 대상으로 벽체와 지반을 각기 해석하여 조합하는 해석방법이다(Jeong and Kim, 2009).

따라서 본 연구에서는 실제 흠막이 가시설 벽체의 시공이 이루어진 현장을 대상으로 가시설 벽체의 거동을 탄소성 해석기법을 이용하는 Sunex 6.14를 활용하여 분석해보았으며 이를 통하여 흠막이 가시설의 설계시 안정성에 영향을 주는 중요 요인들에 대해서 고찰해 보았다.

## 2. 탄소성보 해석법

흠막이벽의 구조해석에는 여러 가지 방법이 제안되어 있으나 일반적으로 벽체를 보로 취급하는 관용적인 해석법과 벽체와 지반을 동시에 고려하여 흠-구조물 상호작용을 반영하는 해석법이 적용된다. 벽체를 보로 취급하는 해석법은 수작업으로 해석 가능한 관용적인 해석법이지만 현재에는 컴퓨터의 개발과 수치해석의 기법의 발달로 해석과정에서 지반의 지지력 계수와 벽체의 변화까지 고려하여 토압을 파악하는 방법으로까지 발달되어 왔다(Oh and Cho, 2004). Fig. 1에 일반적인 흠막이 구조해석법을 나타내었다.

탄성 지반위의 보에 대한 해석 모델링은 Hetenyi(1946)에 의해 이론해가 제안되었으며, 유한차분법의 기술을 접목시키고, 지반을 탄소성의 스프링으로 치환하여 탄소성보 해석 방법으로 발전하였으며(Kim, 1998) 탄소성보 해석법은 토류벽체의 변위, 휨모멘트, 토압분포 등을 구할 수 있고 유한요소해석에 비해 입력자료가 간편한 장점으로 인하여 널리 사용되고 있는 방법이다(Haliburton, 1968; Braiaud and Kim, 1998).

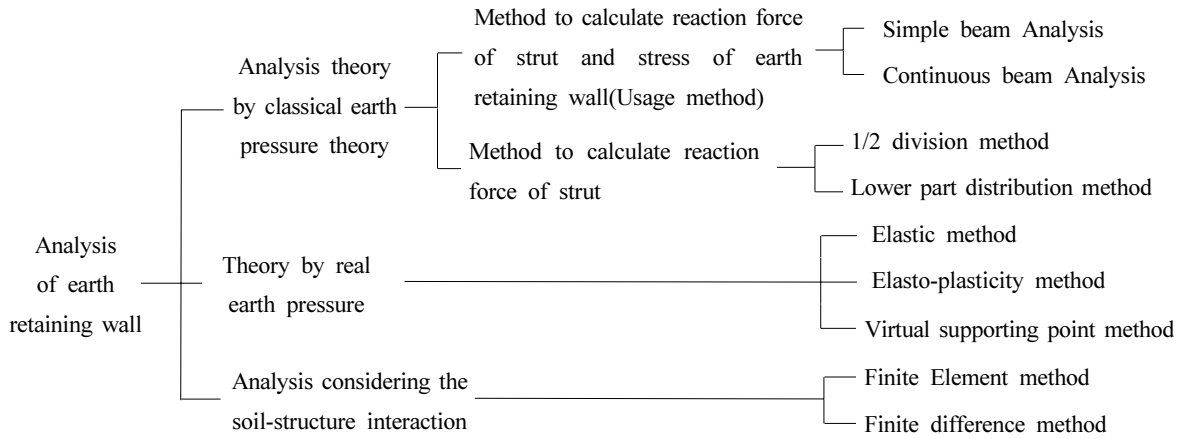


Fig. 1. Analysis theory of earth retaining wall

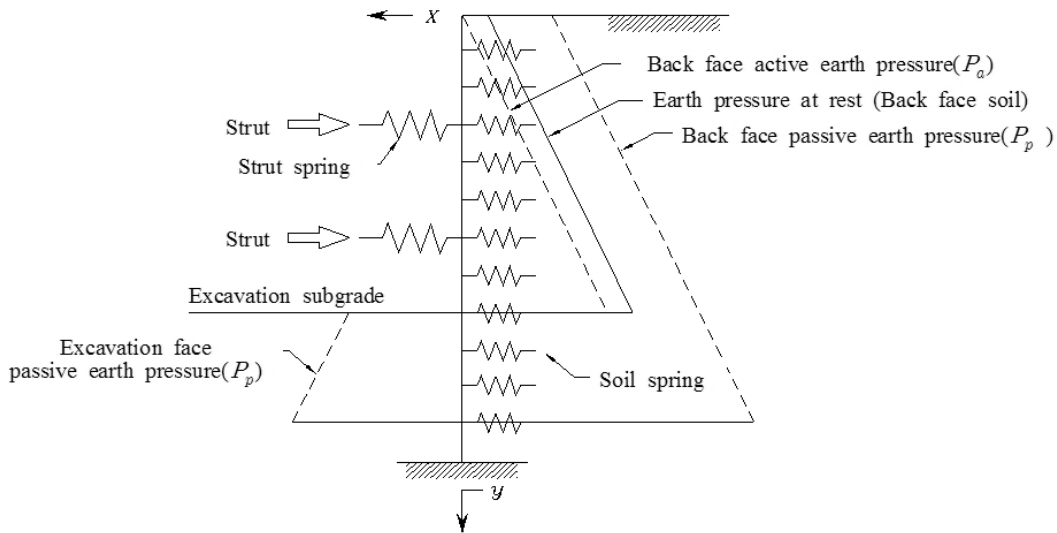


Fig. 2. Basic structure model of elasto-plastic beam method

본 연구에서 활용된 탄소성 지반상 연속보 해석법은 일률적인 하중 형태보다는 실제상황을 현실적으로 적용시킬 수 있으므로 보다 실제적인 해석방법으로 간주되며(Oh and Cho, 2004), 이 탄소성해석법은 지반을 굴착함에 따라 단계적으로 변하는 응력이나 변위 및 굴착면 밑 이하의 토압이 흙막이 벽체의 변형에 따라 탄소성 거동을 하며 지반과 토류벽 및 지지구조의 상호작용을 고려하여 굴착 단계별로 벽체의 변형과 토압 및 지지구조의 변력을 구하는 방법이다. 고전 토압론에 의한 관용계산법과 다른 점은 토류벽의 변형을 고려하여 굴착상부 벽체배면의 토압분포를 삼각형 이외의 것으로 채용할 수 있고 굴착면 근입부의 토압을 생각하는 것이 다르다는 것이며 기타 구조계산에서는 대체로 관용법과 동일한 방법을 채택하고 있다(Lee, 2009).

다만 탄소성 해석법은 각 해석 절점의 구조물과 지반의

저항력을 동시에 고려할 수 없어서 해석의 연속성 및 지반-구조물의 상호작용은 고려할 수 없는 단점을 가지고 있다(Jeong and Kim, 2009).

$$EI \frac{d^4 x}{dy^4} + \frac{A \cdot E_s}{L} \cdot x = P_i \pm K_s \cdot x \quad (1)$$

- 여기서,  $E$  : 흙막이벽체의 탄성계수
- $I$  : 흙막이벽체의 단면 2차모멘트
- $A$  : 지보공의 단면적
- $E_s$  : 지보공의 탄성계수
- $L$  : 지보공의 길이
- $P_i$  : 초기토압(주로 정지토압이 사용됨)
- $K_s$  : 수평지반반력계수로 구한 지반스프링 강성계수
- $x$  : 깊이  $y$  지점에서의 벽체의  $x$  방향의 변위

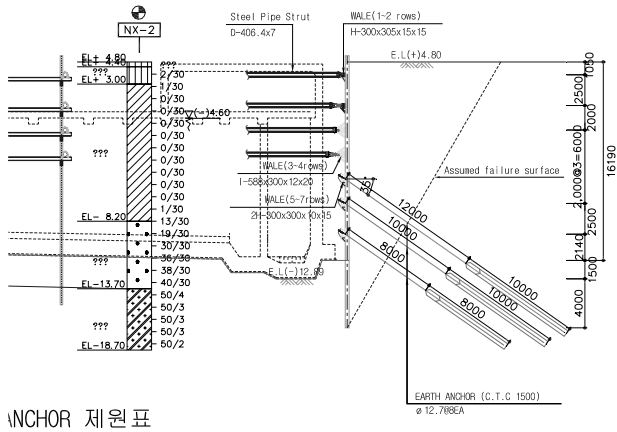


Fig. 3. Cross-section of construction site

### 3. 분석 대상

#### 3.1 현장개요

본 연구의 분석 대상 현장은 ○○유역 수질개선 사업 현장의 2개소 중 1개 현장으로 기초 및 벽체 구조물 시공 중에 버팀보의 과도한 변위가 발생한 현장이다. 흠막이 벽체는 길이가 22.7m인 sheet pile이며 벽체는 1~4단은 강관 버팀보, 5~7단은 제거식 앵커로 지지되도록 설계되어 있다. 현장 지반조사는 2013년 3월에 실시되었으며 그 결과 지층은 전담층 0.4m, 퇴적층 17.1m, 풍화암층 11.5m 순으로 분포하고 있는 것으로 나타났다. 한편 지하수위는 지반고 아래 4.6m에 위치하는 것으로 조사되었다. Fig. 3은 실제 흠막이 벽체의 설치 단면도를 나타낸 것이며 사용된 부

Table 1. Material data

| Material         | Horizontal spacing (m) | Dimension                            |
|------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Steel pipe strut | 3.0                    | D 406.4×7                            |
| Sheet pile       | —                      | SPVA – 500×200×19.5                  |
| Wale             | —                      | H – 300×305×15×15, H – 588×300×12×20 |
| Anchor           | 1.5                    | φ12.7×8                              |

Table 2. Soil data used as input values for the analysis

| Soil type         | SPT N-value | Depth (m) | Soil unit weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Cohesion (kN/m <sup>2</sup> ) | Friction angle (deg) | Subgrade reaction coefficient (kN/m <sup>3</sup> ) |       |
|-------------------|-------------|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------|--|-------|
|                   |             |           | $\gamma_t$                            | c                             | $\phi$               | $K_h$  |       |
| Reclamation soil  | 6           | 0.4       | 18                                    | 10                            | 28                   | 14300  |       |
| Sedimentary layer | Silt        | 3         | 1.4                                   | 17                            | 25                   | 0  | 9000  |
|                   | Clay        | 11        | 11.2                                  | 17                            | 25                   | 0  | 9000  |
|                   | Gravel      | 39        | 4.5                                   | 20                            | 0                    | 32   | 30000 |
| Weathered rock    | 50          | 11.5      | 21                                    | 33                            | 35                   | 35000  |       |

재는 Table 1에 나타내었다.

### 3.2 적용 강도정수

본 연구대상 현장은 당초 설계에 의하여 시공 중 강관 버팀보의 변위가 발생하였다. 당초 설계시 적용된 강도정수는 설계당시 실시된 현장 인공의 여러 곳에서 지반조사를 실시한 후 지층별로 대표적인 N값을 이용하여 추정하거나 역학실험을 통하여 얻은 강도정수를 적용하였으며 Table 2와 같다.

### 3.3 해석 조건 및 분석결과

3.2절에 기술한 각종 정수를 바탕으로 탄소성 해석을 실시하여 지반정수와 외부조건의 변화에 따른 흠막이 벽체의 거동 분석과 가시설 부재의 안정성에 대한 분석을 실시하였다. 탄소성 해석 단계 설정은 당초 설계시 단계별 해석과 동일하게 설정하여 해석을 실시하였고, 지하수위는 배면측은 지반고를 기준으로 (-)4.6m 높이에서 고정되어 있는 상태로, 굴착측은 굴착 깊이에 따라 굴착면에 일치하는 것으로 설정하였다. 굴착 및 시공순서는 아래와 같다.

- Step 1 : 수직벽(sheet pile) 근입 및 배면측 지반에 상재하중 13kN/m<sup>2</sup> 적용
- Step 2 : 1단계 굴착 (G.L -1.6m)
- Step 3 : 1단 Strut 설치(G.L -1.1m) + 2단계 굴착 (G.L -4.1m)

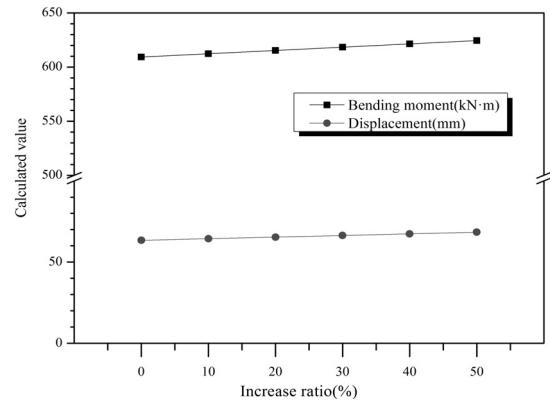
- Step 4 : 2단 Strut 설치(G.L -3.6m) + 3단계 굴착 (G.L -6.1m)
- Step 5 : 3단 Strut 설치(G.L -5.6m) + 4단계 굴착 (G.L -8.1m)
- Step 6 : 4단 Strut 설치(G.L -7.6m) + 5단계 굴착 (G.L -10.1m)
- Step 7 : 5단 Anchor 설치(G.L -9.6m) + 6단계 굴착 (G.L -12.1m)
- Step 8 : 6단 Anchor 설치(G.L -11.6m) + 7단계 굴착 (G.L -14.6m)
- Step 9 : 7단 Anchor 설치(G.L -14.1m) + 8단계 굴착 (G.L -17.7m)

본 연구에서는 원 설계시 적용된 여러 강도 정수 및 조건을 변화시켜 가시설 흙막이 부재에 발생하는 응력 및 변위 등의 변화 값에 대하여 분석하여 이를 통하여 실제로 부적절한 정수가 설계에 적용될 경우 구조물에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 고찰하고자 하였다.

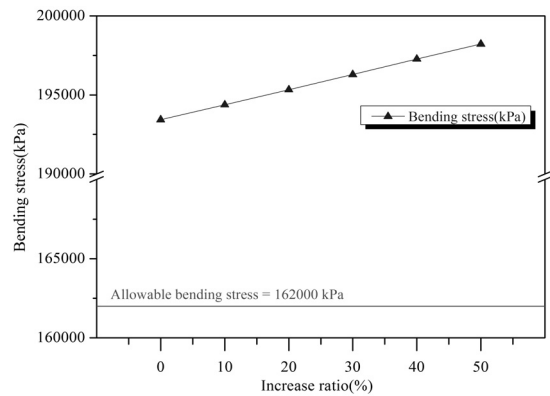
따라서 아래와 같이 세 가지 조건의 여러 경우로 변화에 따라 부재에 미치는 영향을 분석하였다.

### 3.3.1 상재하중의 변화

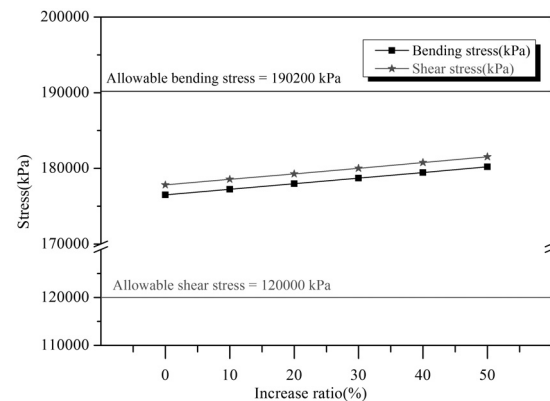
배면에 작용하는 상재하중을 변화시키는 조건을 설정하였다. 원설계시에는 13kN/m<sup>2</sup>이 작용하였으나 이를 10% 씩 증가시켜 최고 50%까지 5단계로 증가시켜 이에 따라 부재에 작용하는 영향을 분석하였다. 분석결과는 Table 3 과 Fig. 4에 나타내었으며 이중 부재력 기준을 초과하여 안정성에 문제가 있는 것으로 판단되는 Sheet pile과 하단부 9.6m~14.1m에 설치되는 Wale의 결과만을 정리하여 나타내었다. 분석결과 Sheet pile에서 Bending moment는 상재하중 50% 증가시 15.1kN·m, 변위는 5.0mm 증가, 휨응력은 4,790kPa 각각 증가하는 것으로 나타났고, Wale에 서는 휨응력이 3,710kPa, 전단응력이 3,720kPa 증가하는



(a) Bending moment and displacement - sheet pile



(b) Bending stress - sheet pile



(c) Bending stress and shear stress - wale

Fig. 4. Sheet pile and wale analysis result according to surcharge loads change

Table 3. Analysis result according to surcharge loads change

| Material                            | Type                    | Allowable value | Surcharge                                   |  |  |  |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------|---|--|--|--|
|                                     |                         |                 | 13,0 kN/m <sup>2</sup><br>(Original design) | 14,3 kN/m <sup>2</sup><br>(10% Increase) | 16,9 kN/m <sup>2</sup><br>(30% Increase) | 19,5 kN/m <sup>2</sup><br>(50% Increase) |
| Sheet Pile                          | Bending Moment (kN · m) | —               | 609.3                                       | 612.3                                    | 618.3                                    | 624.4                                    |
|                                     | Displacement (mm)       | —               | 63.4  | 64.4                                     | 66.4                                     | 68.4                                     |
| Wale (Installed<br>9.6~14.1m depth) | Bending Stress (kPa)    | 162000          | 193430                                      | 194380                                   | 196290                                   | 198220                                   |
|                                     | Shear Stress (kPa)      | 120000          | 177820                                      | 178560                                   | 180020                                   | 181540                                   |

Table 4. Analysis result according to cohesion

| Material                         | Type                    | Allowable value | cohesion                                    |   |   |   |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------|---|---|---|---|
|                                  |                         |                 | 0~33 kN/m <sup>2</sup><br>(Original design) | 0~30 kN/m <sup>2</sup><br>(10% Reduction) | 0~23.1 kN/m <sup>2</sup><br>(30% Reduction) | 0~16.5 kN/m <sup>2</sup><br>(50% Reduction) |
| Sheet Pile                       | Bending Moment (kN · m) | —               | 609,3                                       | 626,3                                     | 661,6                                       | 751,8                                       |
|                                  | Displacement (mm)       | —               | 63,4  | 68,7                                      | 84,2  | 103,7                                       |
|                                  | Bending Stress (kPa)    | 162000          | 193430                                      | 198830                                    | 210030                                      | 238670                                      |
| Wale (Installed 9.6~14.1m depth) | Bending Stress (kPa)    | 190200          | 176510                                      | 182900                                    | 198460                                      | 213900                                      |
|                                  | Shear Stress (kPa)      | 120000          | 177820                                      | 184240                                    | 199710                                      | 215500                                      |

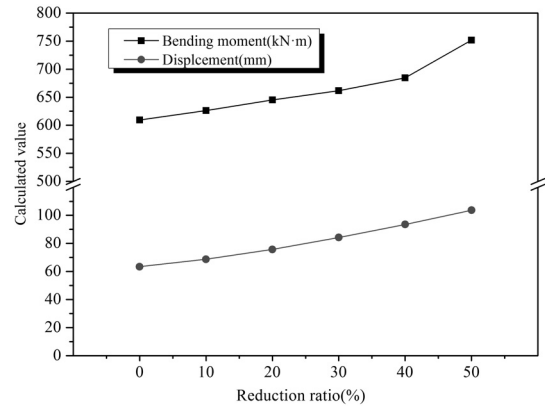
것으로 나타났다.

### 3.3.2 점착력의 변화

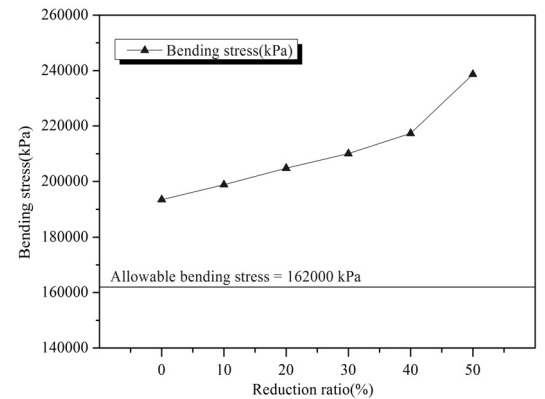
원설계시 적용된 지층별 강도정수 중 점착력을 변화시키는 조건을 설정하여 분석을 실시하였다. 지층별로 상이하긴 하나 원설계시 적용된 0~33kN/m<sup>2</sup>의 점착력을 일률적으로 10%씩 감소시켜 최고 50%까지 5단계로 감소시켜 이에 따라 부재에 작용하는 영향을 분석하였다. 분석결과는 Table 4와 Fig. 5에 나타내었으며 이중 부재력 기준을 초과하여 안정성에 문제가 있는 것으로 판단되는 Sheet pile과 하단부 9.6m~14.1m에 설치되는 Wale의 결과만을 정리하여 나타내었다. 분석결과 Sheet pile에서는 Bending moment는 점착력이 50% 감소시 142.5kN·m, 변위는 40.3mm 증가, 휨응력은 45,240kPa 각각 증가하는 것으로 나타났고, Wale에서는 휨응력이 37,390kPa, 전단응력 37,680kPa 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.3.3 지반반력계수의 변화

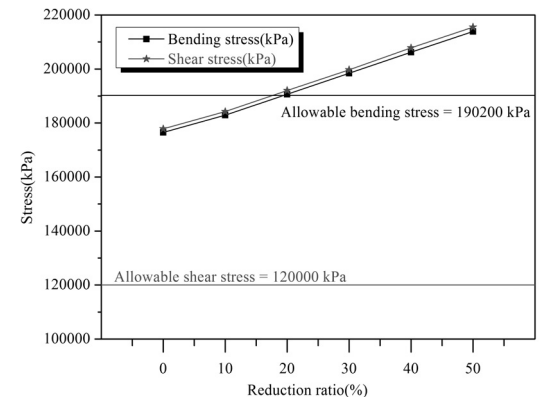
원설계시 적용된 지층별 강도정수 중 지반반력계수를 변화시키는 조건을 설정하여 분석을 실시하였다. 지반반력계수는 원설계시 9,000~35,000kN/m<sup>3</sup>가 적용되었으며 이를 일률적으로 10%씩 감소시켜 최고 50%까지 5단계로 감소시켜 이에 따라 부재에 작용하는 영향을 분석하였다. 분석결과는 Table 5와 Fig. 6에 나타내었으며 이중 부재력 기준을 초과하여 안정성에 문제가 있는 것으로 판단되는 Sheet pile과 하단부 9.6m~14.1m에 설치되는 Wale의 결과만을 정리하여 나타내었다. 분석결과 Sheet pile에서는 Bending moment는 지반반력계수가 50% 감소시 32.6kN·m, 변위는 8.5mm 증가, 휨응력은 10,350kPa 각각 증가하는 것으로 나타났고, Wale에서는 휨응력이 5,550kPa, 전단응력이 5,600kPa 감소하는 것으로 나타났다.



(a) Bending moment and displacement – sheet pile



(b) Bending stress – sheet pile

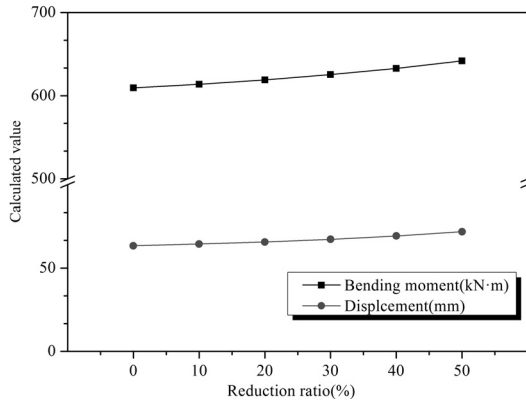


(c) Bending stress and shear stress – wale

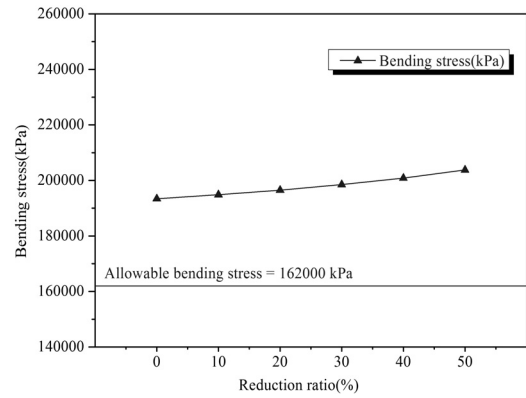
Fig. 5. Sheet pile and wale analysis result according to cohesion change

Table 5. Analysis result according to subgrade reaction coefficient

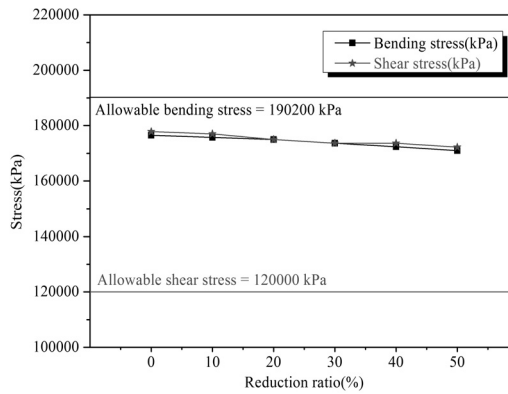
| Material                         | Type                    | Allowable value | subgrade reaction coefficient                     |   |  |  |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------|---|---|--|--|
|                                  |                         |                 | 9000~35000 kN/m <sup>2</sup><br>(Original design) | 8100~31500 kN/m <sup>3</sup><br>(10% Reduction) | 6300~245000 kN/m <sup>3</sup><br>(30% Reduction) | 4500~175000 kN/m <sup>3</sup><br>(50% Reduction) |
| Sheet Pile                       | Bending Moment (kN · m) | —               | 609,3   | 613,8   | 625,3  | 641,9  |
|                                  | Displacement (mm)       | —               | 63,4  | 64,5  | 67,3   | 71,9   |
|                                  | Bending Stress (kPa)    | 162000          | 193430  | 194860  | 198510   | 203780   |
| Wale (Installed 9.6~14.1m depth) | Bending Stress (kPa)    | 190200          | 176510  | 175740  | 173640   | 170960   |
|                                  | Shear Stress (kPa)      | 120000          | 177820  | 177020  | 174930   | 172220   |



(a) Bending moment and displacement – sheet pile



(b) Bending stress – sheet pile



(c) Bending stress and shear stress – wale

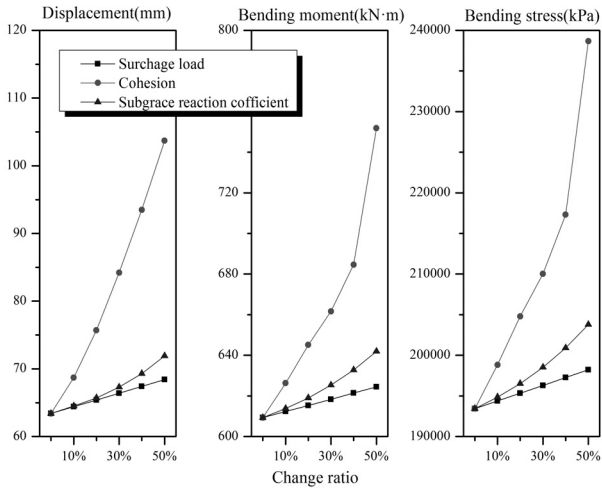
Fig. 6. Sheet pile and wale analysis result according to subgrade reaction coefficient change

Table 6. Analysis result according to 50% change ratio

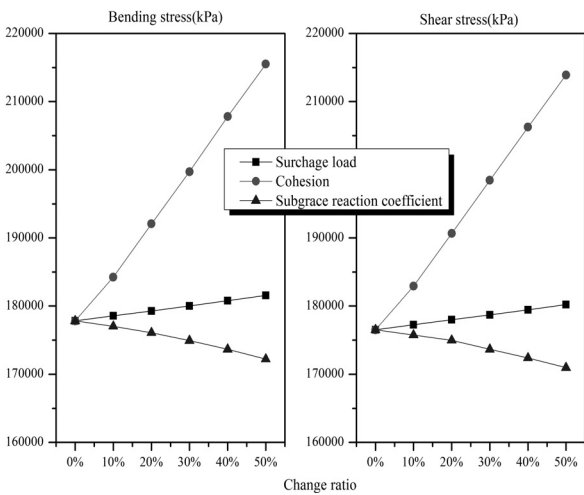
| Material                         | Type                    | 50% change ratio = 50% change value / original design value |          |                               |
|----------------------------------|-------------------------|---|----------|-------------------------------|
|                                  |                         | surcharge loads   | cohesion | subgrade reaction coefficient |
| Sheet Pile                       | Bending Moment (kN · m) | 1,02  | 1,23     | 1,02                          |
|                                  | Displacement (mm)       | 1,08  | 1,63     | 1,13                          |
|                                  | Bending Stress (kPa)    | 1,02  | 1,23     | 1,03                          |
| Wale (Installed 9.6~14.1m depth) | Bending Stress (kPa)    | 1,02  | 1,21     | 0,97                          |
|                                  | Shear Stress (kPa)      | 1,02  | 1,21     | 1,03                          |

3.3.4 지반정수의 변화에 따른 안정성 분석  
배면측의 상재하중, 굴착지반의 지반정수와 지반반력계

수의 변화에 따른 가시설 흙막이의 부재에 미치는 영향을  
종합하여 Table 6, Fig. 7에 나타내었다. 원설계값과 변수



(a) sheet pile



(b) wale

Fig. 7. Sheet pile and wale analysis result according to change ratio

를 50% 변화시켰을 때의 비(50% change ratio)를 Table 6에 나타내었는데 상재하중과 지반반력계수는 0.97~1.13 정도의 변화를 보이고 있으나 점착력을 변화시켰을 때는 1.21~1.63의 비로 상대적으로 다른 변수들에 비해 변화값이 큰 것으로 나타났다. 이를 통하여 흙막이 가시설을 탄

소성보법으로 설계할 경우 점착력의 정확한 산정과 적용이 매우 중요함을 알 수 있다. 실제로 구조물 설치 지점에서 추가로 표준관입시험을 실시한 결과를 Table 7에 나타내었다. 참고문헌(Jeon, 1998)에 의한 점토지반에 있어서 표준관입시험 N값과 점착력  $c$ 와의 관계는 식 (2)와 같으며 식 (2)에 의해 N값에 따른 점토층의 점착력을 추정할 결과 점토층에서의 점착력은 0~6.25kN/m<sup>2</sup>(Table 7)로 설계시 적용된 조건과 상당한 차이가 있음을 알 수 있다.

$$c = \frac{q_u}{2} = \frac{(0.12 \sim 0.13)N}{2} = (0.06 \sim 0.065)N \approx \frac{N}{16} \quad (2)$$

여기서,  $c$  : 흙의 점착력 ( $kg/cm^2$ )

$q_u$  : 일축압축강도 ( $kg/cm^2$ )

$N$  : 표준관입시험시 타격회수

#### 4. 결론

본 연구에서는 흙막이 가시설의 설계시 입력되는 여러 강도정수 및 변수의 변화에 따라 가시설 부재에 미치는 응력 및 변위를 평가하여 안정성에 영향을 미치는 주요인에 대하여 탄소성보법 해석을 통하여 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 해석에 적용되는 변수 중 굴착 배면에 작용하는 상재하중, 지반의 점착력과 지반반력계수를 원설계시보다 상재하중은 10%씩 50%까지 증가시키고, 점착력과 지반반력계수는 원설계시보다 10%씩 50%까지 감소시켜 분석한 결과, Sheet pile은 모멘트, 변위, 휨응력 모두 증가하였으며, 지반반력계수는 Wale에 작용하는 휨응력, 전단응력이 감소하는 것으로 나타났다.
- (2) 원설계값과 변수를 50% 변화시켰을 때의 비(50% change ratio)는 상재하중은 1.02~1.08, 점착력은 1.21~1.63

Table 7. Comparison of N-value and cohesion

| Soil type         | Depth (m) | N-value         |                          | Cohesion (kN/m <sup>2</sup> ) |                               |
|-------------------|-----------|-----------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                   |           | original design | additional investigation | original design value         | assumed value ( $C=100N/16$ ) |
| Reclamation soil  | 0.4       | 6               | —                        | 10                            | —                             |
| Sedimentary layer | Silt      | 1.4             | 3                        | 25                            | —                             |
|                   | Clay      | 11.2            | 11                       | 25                            | 0~6.25                        |
|                   | Gravel    | 4.5             | 39                       | 0                             | —                             |
| Weathered rock    | 11.5      | 50              | 50                       | 33                            | —                             |



그리고 지반반력계수는 0.97~1.13으로 세 가지 변수중에서는 점착력이 변화할 때 흠막이 가시설 부재에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

- (3) 원설계시 적용된 점토층의 점착력은 인근 지반의 여러 곳의 지반조사 결과를 종합하여 얻어진 결과로서 후에 확인 조사 결과 SPT에 의한 점토층의 N값은 0~1로 이를 점착력으로 환산할 때 0~6.25kN/m<sup>2</sup>이므로 실제 설계시 점착력이 최소 4배 정도 과대평가 되어 그 결과 부적절한 설계로 인한 흠막이 가시설에 문제가 발생한 것으로 판단된다.

Seong 등(2011)은 흠막이 가시설 공사에 대한 사고가 지반조사의 불충분의 사례가 24건 중 12건으로 나타나 상당한 비중을 차지함을 연구 결과에서 제시하였으며 금번 연구 대상 현장도 설계당시 지반조사 결과와 실제 지반조사가 다른 경우로 지반조사가 불충분하게 이루어진 사례라 판단할 수 있으므로 정확한 지반조사와 이를 근거로 한 주요 매개변수의 산정은 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서, 이러한 연구 결과 들을 토대로 흠막이 가시설 공사에서는 반드시 설계 당시의 지반조사의 결과와 실제 시공시 지반의 상태를 비교할 필요가 있으며 서로 같지 않을 경우 시공지점의 설계 정수 적용에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

## References

1. Kim, S. M. (2003), *A study on Selecting the Optimum members for Earth Retaining Structure*, Ph.D Thesis, Chungnam National University (in Korean).
2. Kim, N. K. (1998), "Beam on Elasto-Plastic Foundation Modeling of Tieback Walls", *Journal of the Korean geotechnical society*, Vol.14, No.6, pp.81-92 (in Korean).
3. Chae, Y. S. and Moon, I (1994), "The Lateral Earth Pressure on Braced Cut Walls Considering Subsoil Condition in Korea", *KSG FALL '94 National Conference*, Seoul, pp.129-138 (in Korean).
4. Jeon, S. G. (1998), *Practical Design Manual of Structure Foundation*, Science Technology Publishing Co, Seoul, pp.17 (in Korean).
5. Jeong, S. S. and Kim, Y. H. (2009), "Characteristics of Collapsed Retaining Walls Using Elasto-plastic Method and Finite Element Method", *Journal of the Korean geotechnical society*, Vol.25, No.4, pp.19-29 (in Korean).
6. Lee, J. S. (2009), *A study on the Behavior using Measured Data and Back Analysis of Rigid Diaphragm Wall supported by Earth Anchor*, Master Thesis, Yonsei University (in Korean).
7. Oh, J. H. and Cho, C. H. (2004), *Earth retaining engineering*, Goomibook, Seoul, pp.151-165 (in Korean).
8. Seong, J. H. Kim, Y. S. and Shin, B. G. (2013), "Analysis on Impact Factors of Open-cut Type Excavation Work using Numerical Analysis Method", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.12, No.3, pp.43-53 (in Korean).
9. Seong, J. H. Jung, S. H. and Shin, J. Y. (2011), "A Study for Safety Management on Ground Excavation by Analysis of Accident Events", *Journal of the Korea Institute for Structure Maintenance Inspection*, Vol.15, No.6, pp.175-183 (in Korean).
10. *Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation* (2010), "Establishment of the Safety Management Standards of Adjacent facilities according to ground excavation" (in Korean).
11. *Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation* (2007), "Technical review case: Retaining wall and excavation" (in Korean).
12. Briaid, J. L. and Kim, N. K. (1998), "Beam-column Method for Tie-back Walls", *Proc. ASCE, J. of Geotechnical Eng.*, Vol.124, No.1, pp.69-79.
13. Haliburton, T. A. (1968), "Numerical Analysis of Flexible Retaining Structures", *Proc. ASCE*, 94(SM3), pp.1233-1251.
14. Hetenyi, M. (1946), *Beam on Elastic Foundations*, Univ. of Michigan Press, Ann Arbor.
15. Mana, A. I. and Clough, G. W. (1981), "Prediction of Movements for Braced Cuts in Clay", *ASCE, Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol.107, No. GT6.