

중부지방 평야지역의 연약지반에 대한 압밀침하특성 분석 연구

A Study on the Characteristics of Consolidation Settlement of Soft Ground in the Plains of the Central Region

김준석*

Joon-Seok Kim*

Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University, Incheon, Republic of Korea

*Corresponding author: Joon-Seok Kim, jskim@chungwoon.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: In this study, field experimental research was conducted to analyze the settlement characteristics of soft ground in the central inland region of Korea and use it in practice. **Method:** The design predicted values and comparative analysis were performed using the ten settlement measurement data actually measured in the field experiment. For the design prediction value, Terzaghi's one-dimensional consolidation settlement analysis was used. In the experiment, the surface subsidence plate was used for field measurement. **Result:** The settlement behavior of the predicted value and the actual value was generally similar, but in the settlement value, the actual settlement value showed a settlement behavior of 30% or less compared to the predicted settlement value. The rate of consolidation settlement in this study area was in the range of 9.6% to 27.0%, and the average value was 18.21%. It is analyzed that the prediction of the settlement amount of the silty soils distributed in the inland plains of the central region of Korea can be relatively overestimated. **Conclusion:** It is judged that precise ground investigation and detailed prediction are necessary because there is a possibility of over-design in the design for predicting the amount of settlement of the silty soils distributed in the inland plains of the central region of Korea.

Keywords: Soft Ground, Consolidation, Settlement, Hyperbolic Analysis Method, Subsidence Plate

요약

연구목적: 본 연구에서는 우리나라 중부 내륙지역의 연약지반 침하특성을 분석하여 실무에 활용할 수 있도록 하기 위하여 현장실험연구를 실시하였다. **연구방법:** 현장실험에서 실측한 10개의 침하계측 자료를 이용하여 설계예측값과 비교분석을 실시하였다. 설계예측값은 Terzaghi의 일차원 압밀침하량분석을 사용하였다. 실험에서 현장계측은 지표침하판을 이용하였다. **연구결과:** 예측값과 실제값의 침하거동은 대체로 유사하였으나 침하량 값에서는 실제 침하량 값이 예측 침하량 값에 비하여 30%이하의 침하거동을 보였다. 본 연구지역의 압밀침하율은 9.6%~27.0% 범위를 나타내었으며 평균값은 18.21%로서 우리나라 중부지역 내륙의 평야지대에 분포된 실트질 연약지반의 침하량 예측은 비교적 매우 과다하게 예측될 수 있는 것으로 분석되었다. **결론:** 우리나라 중부지역 내륙의 평야지대에 분포된 실트질 연약지반의 침하량 예측 설계에서는 과다설계 가능성이 있으므로 정밀한 지반조사와 세밀한 예측이 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어: 연약지반, 압밀, 침하, 쌍곡선분석법, 지표침하판

Received | 29 August, 2022

Revised | 26 September, 2022

Accepted | 27 September, 2022

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

우리나라 중부지역은 수도권 개발과 함께 가장 활발히 발전하는 지역 중 하나이다. 최근 주택 부족문제로 인하여 대규모 택지의 개발과 함께 각종 도시시설을 위한 개발행위가 집중적으로 진행되는 지역이기도 하다. 그러나, 이러한 토지조성을 위한 개발은 시간적 제약이 따르는 경우가 많으며, 시간적 제약의 요인에서 연약지반의 문제는 중요한 요소로 인식되고 있다. 연약지반은 상부구조물의 지지력 부족 문제를 일으킬 뿐 아니라 장기적인 침하를 발생시키므로 비용과 시간의 문제에서 어려움에 직면하는 경우가 많은 것이 현실이다. 또한, 연약지반의 공학적 특성은 지역의 지반에 따라 큰 차이를 보이는 특징이 있으므로 일반적인 이론에 의한 예측과 상당한 차이를 보이게 된다. 따라서, 이론에 의한 예측침하량과 실제 침하량의 차이를 예측할 수 있도록 하기 위하여 최대한 많은 지역적 자료를 분석하여 실무와 연구에 활용할 수 있도록 하는 연구가 지속적으로 필요하다. 우리나라에서도 전국적으로 많은 연구가 실시되었으며 중부 서해안 지역에 대한 연약지반의 연구도 활발히 실시되었다. Kim(2021)은 서해안 지역 연약점토지반의 침하특성에 대하여 현장계측 침하량이 Terzaghi의 예측값에 비하여 53.4~89.9%의 비교적 작은 침하를 보이는 연구를 분석하여 제시하였다. 그러나, Kim의 연구는 중부 서해안 지역의 해양성 연약점토지반의 침하 특성에 대한 연구로서 중부내륙지역의 지반 특성을 포함하지는 않는다. 중부내륙지역 중 평택부근의 넓은 평야지대에 대한 연구는 최근 수도권 토지의 공급부족으로 인하여 개발이 확대되면서 실무적으로 적용할 수 있는 연구의 필요성이 증대되고 있는 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 우리나라의 중부권인 평택의 내륙 평야지대의 연약점토지반에 대한 침하특성을 현장계측자료를 활용하여 분석하고자 하였다. 또한 연약지반의 침하문제는 최근 발전하고 있는 인공지능형 도로망 구축을 위하여 정밀 인공지능 계측 시스템의 활용을 위해서도 중요하게 인식되고 있다(Yoon, 2016). Terzaghi(1943)의 일차원 압밀침하이론의 제시 이후에 Barron(1948)의 방사형 배수문제 도입이론, Hansbo(1981)와 Onoue(1988)의 Smear effect와 Well resistance 고려, Asaoka(1978)의 편미분방정식 유도 해석 등의 연구 등이 제시되었으나, Hoshino(1962)와 Tan(1991)의 실측 침하량 분석기법이 실무적으로 활용성이 비교적 큰 것으로 사료된다. 본 연구에서는 우리나라 중부 내륙지역의 연약지반 침하특성을 분석하여 실무에 활용할 수 있도록 하기 위하여 현장에서 실측한 10개의 침하계측 자료를 이용하여 설계 예측 값과 비교분석을 실시하였다.

실험내용 및 방법

본 논문의 실험은 우리나라 중부지역인 평택지방의 안성천과 팽성읍 인근의 평야지대 약 10만 평을 택지개발하기 위하여 실시된 연약지반 개량 침하자료를 중심으로 분석하였다. 본 연구대상지역은 한 개의 큰 권역(약 10만 평)을 연약지반 깊이와 성토 높이가 다른 10개의 소구역으로 나누어 진행하였다. 지반의 공학적 특성은 대표값을 적용하였으며 각각의 소구역은 압성토(pre loading)를 위한 성토고와 연약지반의 두께가 다르다. Fig. 1의 입도그래프는 연구 대상 지반의 입도분포도이며 연약지반의 공학적 특성은 Table 1에 정리하였다. 본 연구 대상의 연약지반 단면도는 Fig. 2에 표시된 것과 같이 연약지반 아래에 모래층이 있으므로 양면배수조건이 가능하며 소구역별로 연약지반의 깊이와 성토높이의 차이가 있다. 연직하중 재하를 위한 성토는 신속히 이루어 졌으며 각각의 소구역별 성토높이는 Table 2에 표시하였다. 현장에서 연약지반의 침하량 계측은 현재의 기술수준에서 신뢰성이 높은 지표침하판을 이용하였다(Fig. 3). 현장은 광활한 평지로서 Terzaghi의 일차원압밀조건을 적용하는 것이 일반적인 설계에서 사용하는 적절한 분석방법이므로 본 논문에서도 예측값으로서 Terzaghi의 일차원압밀침하량을 기준값으로 설정하였다. Table 2에 소구간 별로 Terzaghi예상침하량값을 표시하였다. Chang(1991)이 제시한

정규압밀점토의 특성이반으로 연구를 진행하였다.

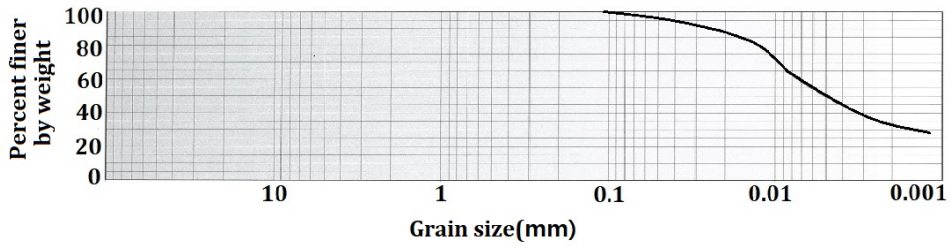


Fig. 1. Particle diameter curve of soil

Table 1. Engineering properties of soft ground

지층구분	$\gamma t(\text{kn/m}^3)$	e_0	OCR	C_c	$C_v(\text{cm}^2/\text{sec})$
점토(CL)	17.8	1.14	1	0.30	1.6×10^{-3}



Fig. 2. ground section



Fig. 3. Ground subsidence plate installation

Table 2. Thickness of soft clay layer and height of fill

구역	점토층 두께(m)	성토높이(m)	예상압밀침하량(cm)
1	7.5	3.70	34.00
2	9.0	2.65	32.03
3	5.5	2.65	28.90
4	4.5	2.20	25.96
5	6.5	1.60	25.42
6	6.0	2.40	28.43
7	8.0	3.00	32.24
8	10.0	3.05	33.97
9	6.0	1.95	26.45
10	9.0	3.8	35.29

실험결과 분석

침하특성분석

10개의 소구역에 대한 침하특성은 소구역별 성토와 함께 시간에 따른 침하거동을 비교할 수 있도록 Fig. 4에 제시하였다. 각각의 위치별 조건의 변화는 Table 2에 제시된 연약지반의 두께와 성토높이에 따라 서로 상이하므로 침하거동의 형태도 각각 차이가 있는 것으로 확인된다. 그러나, 전반적으로 예측된 침하량에 비하여 실제 침하량은 비교적 큰 차이가 있는 것을 확인할 수 있으며, 침하발생에 있어서도 성토즉시 침하거동이 비교적 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 현장에 설치된 지표 침하판에서 측정된 침하량을 최종계측침하량으로 하였으며 실험기간에 계측된 침하 변화량 자료를 이용하여 쌍곡선법(hyperbolic method)에 의한 잔류침하량 분석을 수행하였다. 따라서, 최종침하량은 최종계측침하량과 쌍곡선법으로부터 분석된 잔류침하량의 합으로 산정하였다.

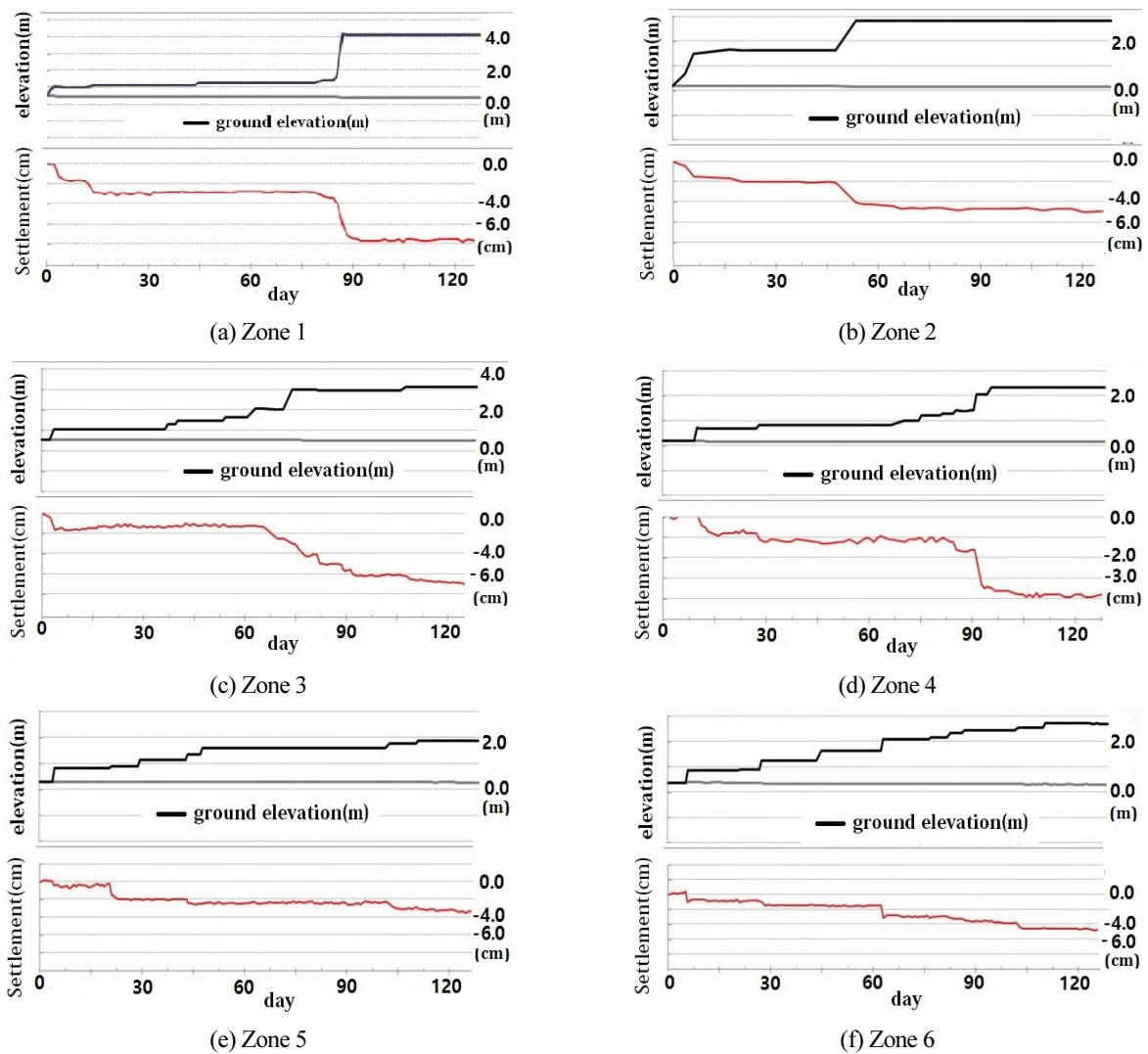


Fig. 4. Filling and settlement behavior

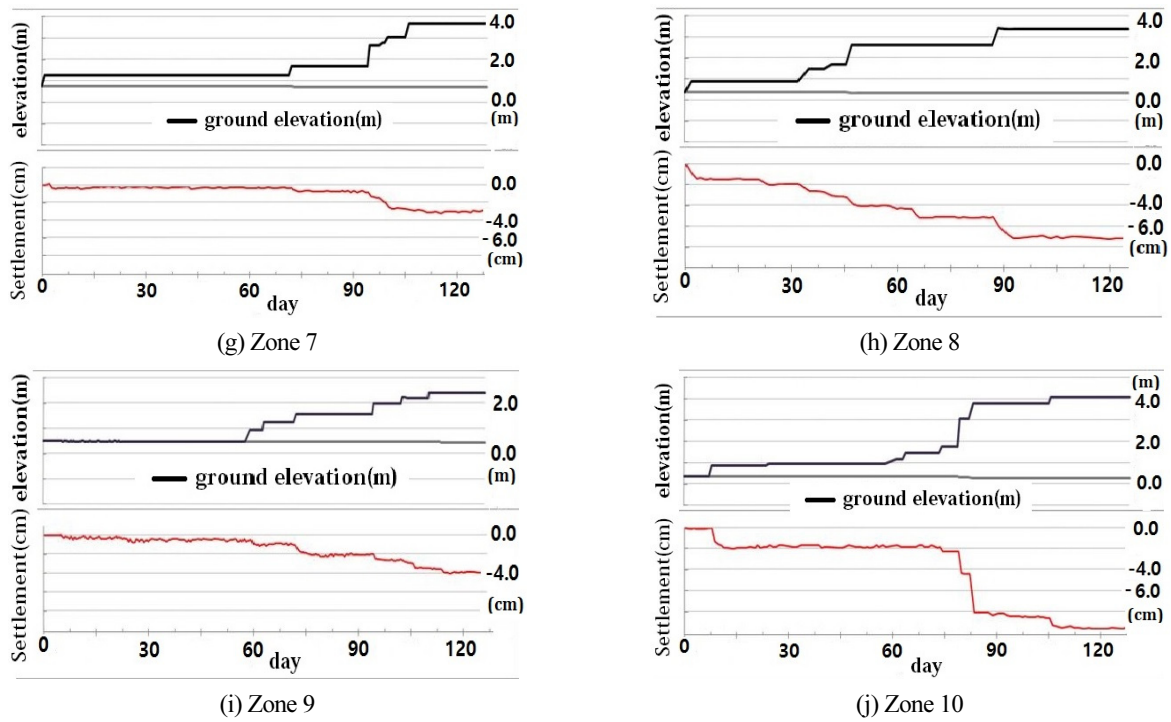


Fig. 4. Filling and settlement behavior(Continue)

침하결과 비교분석

10개의 소구역에 대한 침하결과에 대하여 설계에서 사용빈도가 높은 Terzaghi 의 일차원 침하량 예측값과 계층분석된 최종침하량과의 비교분석을 수행하였다. Table 3에서 압밀침하율(consolidation settlement ratio)이라는 새로운 용어를 제시하였다. 본 논문에서 압밀침하율은 예측침하량 값에 대한 실제로 발생된 최종침하량값으로 정의하였다. 압밀침하율은 본 논문에서 연구대상으로 하는 평택의 내륙 평야지대에 대한 실질적인 압밀침하특성을 나타내는 중요한 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 예측침하량과 실제로 발생된 최종침하량의 분석결과 연구지역의 압밀침하율은 9.6%~27.0% 범위를 나타

Table 3. Consolidation settlement behavior by location

위치	예상압밀 침하량(cm)	최종계측 침하량(cm)	잔류예상 침하량(cm)	최종 발생 침하량(cm)	압밀침하율(%)
1	34.00	7.6	0.07	7.67	22.6
2	32.03	4.9	0.02	4.92	15.4
3	28.90	6.9	0.18	7.08	24.5
4	25.96	3.9	0.01	3.91	15.1
5	25.42	3.4	0.07	3.47	13.7
6	28.43	4.8	0.27	5.07	17.8
7	32.24	2.98	0.11	3.09	9.6
8	33.97	7.1	0.30	7.40	21.8
9	26.45	3.8	0.07	3.87	14.6
10	35.29	9.5	0.04	9.54	27.0

내었으며 평균값은 18.21%로서 예측값에 비하여 실질적인 침하는 비교적 상당히 작게 발생하는 것으로 분석되었으며 Table 3에 정리하였다. 소구역별 예측침하량과 실질침하량의 비교 그래프를 Fig. 5에 표시하였으며 침하량에서 큰 차이가 있으나 전체적인 경향은 두개의 값이 유사한 거동을 보이는 것으로 판단된다. 소구역별 압밀침하율은 Fig. 6에 나타내었으며 평균값은 점선으로 표시하였다.

예상침하량과 실측침하량이 큰 차이를 보이는 것은 예측에 사용된 공학적 특성 값과 점토층의 두께가 과다하게 평가되었을 가능성이 큰 것으로 판단된다.

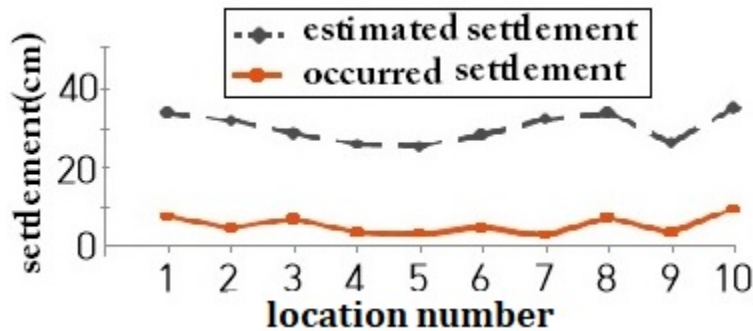


Fig. 5. Consolidation settlement rate according to location

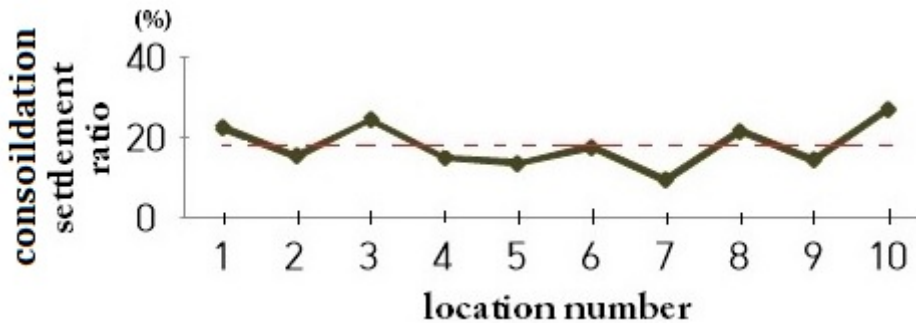


Fig. 6. Consolidation settlement rate by location

결론

연약지반의 공학적 특성은 지역에 따라 차이를 보이는 특징이 있으므로 일반적인 이론에 의한 예측과 상당한 차이를 보이게 된다. 따라서, 이론에 의한 예측침하량과 실제 침하량의 차이를 예측할 수 있도록 하기 위하여 최대한 많은 지역적 자료를 분석하여 실무와 연구에 활용할 수 있도록 하는 연구가 지속적으로 필요하다. 본 연구에서는 우리나라 중부지역인 안성천과 팽성읍 인근의 평야지대를 택지개발하기 위하여 실시된 연약지반 개량 침하자료를 중심으로 분석하였다. 본 연구대상지역은 한 개의 큰 권역을 연약지반의 두께와 성토 높이가 다른 10개의 소구역으로 나누어 진행하였다. 본 연구에서는 소구역별로 Terzaghi의 일차원 압밀침하량과 침하판 계측을 통한 실제침하량 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 10개의 소구역별 예측값과 실제값의 침하거동은 대체로 유사하였으나 침하량 값에서는 실제 침하량 값이 예측 침하량 값에 비하여 30%이하의 침하거동을 보였다.
- 2) 본 연구지역의 압밀침하율은 9.6%~27.0% 범위를 나타내었으며 평균값은 18.21%로서 우리나라 안성천 인근의 팽성 지역 부근 중부내륙 평야지대에 분포된 실트질 연약지반의 침하량 예측은 비교적 매우 과다하게 예측될 수 있는 것으로 분석되었다.
- 3) 우리나라 안성천 인근의 팽성 지역 부근 중부내륙 평야지대에 분포된 실트질 연약지반의 침하량 예측 설계에서는 과다 설계 가능성이 있으므로 정밀한 지반조사와 세밀한 예측이 필요한 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 2022년도 청운대학교 학술연구조성비의 지원에 의해 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

References

- [1] Asaoka, A. (1978). "Observational procedure of settlement prediction." *Soils and Foundations*, Vol. 18, No. 4, pp. 87-101.
- [2] Barron, R.A. (1948). "Consolidation of fine grained soils by drain wells transactions." *Transactions of American Society of Civil Engineers*, Vol. 113, pp. 718-754.
- [3] Chang, M.F. (1991). "Interpretation of over consolidation ratio from in_{su} tests in recent clay deposits in Singapore and Malaysia." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 28, No. 2, pp. 210-225.
- [4] Hansbo, S. (1981). "Consolidation by vertical drains." *Geotechnique*, Vol. 31, No. 1, pp. 45-66.
- [5] Hosino, S. (1962). "Problems of foundation in recent years." *Society of Civil Engineering*, Vol. 47, No. 7, pp. 124-131.
- [6] Kim, J.S. (2021). "An experimental study on the settlement characteristics of soft ground in the central west coast region." *Journal of Korea Society of Disaster Information*, Vol. 17, No. 4, pp.786-793.
- [7] Onoue, A. (1988). "Consolidationby taking well resistance and smear into consolidation." *Soils and Foundations*, Vol. 28, No. 4. pp. 165-174.
- [8] Tan, T.S., Inoque, T., Lee, S.L. (1991). "Hyperbolic method for contributions analys." *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 117, No. 11, pp. 1723-1737.
- [9] Terzaghi, K. (1943). "Theoretical soil mechanics." *Wohn Wiley & Sons, INc., NewYork, N.Y.*
- [10] Yoon, B.J. (2016). "ITS system architecture based upon object-oriented methodology." *Journal of Korea Society of Disaster Information*, Vol. 12, No. 1, pp. 105-115.