

식품저장용 소규모 인력터널의 안정성 향상을 위한 방안 연구

A Study on the Improvement of the Stability of Small-Scale Manpower Tunnels for Food Storage

윤병조¹ · 박성윤^{2*} · 김령환³Byung Jo Yoon¹, Sung Yun Park^{2*}, Ryung Hwan Kim³¹Professor, Department of Urban Transportation Engineering, Incheon National University, Incheon, Republic of Korea²Team Leader, Construction Business Department, Shin Tae-jin Construction Co., Ltd, Incheon, Republic of Korea³Assistant Manager, Geologies The Ground Part, Incheon, Republic of Korea

*Corresponding author: Sung Yun Park, psy4697@naver.com

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to review the safety of small tunnels for food storage excavation in the 1960s~1970s and to improve the stability of small tunnels. **Method:** A visual inspection and a hammer test were used to conduct safety tests, and the visual inspection is one of the tests conducted for non-destructive testing, and the hammer test is one of the types of hitting methods of rebound hardness. **Result:** According to the integrated analysis of the survey area data, there are generally good appearance, but there are many small cracks and complex geological conditions, requiring continuous observation and attention. Seven of the 23 tunnels require safety diagnosis, one collapse, one safe, and 14 require continuous observation and attention. **Conclusion:** All parts of small tunnels should be checked and recorded from time to time, and stability is expected to be improved when reinforcing small tunnels proposed in this study.

Keywords: Small Tunnels, Safety Diagnosis, Reinforcement, Weathering Stations

요약

연구목적: 본 연구에서는 1960~70년대에 굴착한 식품 저장용 소규모 터널에 대한 안전성 검토와 소규모 터널의 안정성 향상을 위한 방안을 연구목적으로 한다. **연구방법:** 안전성 시험을 진행하고자 육안검사와 해머테스트를 이용하였으며, 육안검사는 비파괴검사에 실시되는 시험 중 하나이며, 해머테스트는 반발경도법의 타격법 종류 중의 하나이다. **연구결과:** 조사지역 자료를 통합 분석한 결과 대체로 외관상 양호한 상태를 보이나 파쇄대와 균열된 풍화대가 많으며 또한 작은 균열이 많고 지질 상태가 복잡하여 지속적인 관찰과 주의가 요구되며, 23개의 터널 중 7개는 안전진단이 필요하며, 1개는 붕괴상태, 1개는 안전하며, 14개는 지속적인 관찰과 주의가 필요하다. **결론:** 수시로 소규모 터널의 모든 부분을 점검하고 기록으로 남겨야 하며, 본 연구에서 제안한 소규모 터널의 보강 진행시 안정성이 향상될 것으로 기대한다.

핵심용어: 소규모 터널, 안전진단, 보강, 풍화대Received | 18 October, 2022
Revised | 8 December 2022
Accepted | 9 December, 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

연구목적 및 필요성

최근 국내의 급속적인 산업의 발달과 도시의 인구집중현상으로 발생하는 경제와 사회적인 문제를 해결하기 위해서 도심지를 중심으로 고속철도, 고속도로등 대규모 건설을 지속적으로 추진하고 있는 상황으로 2021년 12월 도로 교량 및 터널 현황 정보 시스템 자료 기준에 의하면 국내의 터널은 2,755 개소가 준공되어 이용 중에 있다. 국내의 터널공사 기술력은 이미 상당한 수준까지 도달한 상태이며, 첨단기술과 터널굴착기술이 접목되어 터널굴착은 보다 더 안전하고 경제적인 방법으로 진화하고 있다.

그러나 1960~70년대에 식품저장을 위해 굴착한 소규모 터널은 굴착한지 어느 덧 몇 십년이라는 긴 시간이 지나면서 연약한 지질층과 파쇄된 암반, 그리고 복잡한 지반의 지표침하로 인하여 터널내부에는 풍화가 진행되어 있다. 터널 굴착 기술이 발전하지 못한 시기에 인력으로 건설된 소규모 터널은 시공여건과 지반조건을 고려하지 않고 불리한 지형인 나지막한 산을 굴착하여 만든 결과 최근에는 몇 개의 소규모 터널이 무너지는 현상까지 발생되면서 소규모 터널에 대한 안전성 검토의 필요성이 높아졌다.

따라서, 본 연구에서는 1960~70년대에 굴착한 식품 저장을 위한 23개의 소규모 터널에 대한 안전성 검토와 소규모 터널의 안정성 향상을 위한 방안을 연구목적으로 한다.

연구내용 및 범위

본 연구에서는 소규모 터널에 안전성 검토를 위해 23개의 소규모 터널 현장을 방문하여 터널내부를 육안검사와 해머테스트를 실시하여 위치 및 특징과 특이사항을 조사 분석한다.

본 논문을 통하여 터널 관리주체에게 소규모 터널 유지관리를 위해 필요한 기초자료를 제공하고, 소규모 터널의 안전성 검토를 통하여 현재 진행되는 현상과 결함, 그리고 훗날 발생되기 쉬운 결함적인 현상을 미리 파악하고 문제점을 도출하여 향후 터널내부의 안정성을 유지하기 위한 방안을 제시한다.

이론적 배경

문헌 Lee(2013)에 의해 저술된 얇은 터널의 판정 기준은 첫 번째, 터널의 크기에서 토피고가 직경에 비해 별로 크지 않는 터널 즉, 토피고와 직경의 비가 3보다 작은 터널을 얇은 터널(Duddeck et al., 1985)이라고 한다. 두 번째, 터널의 거동에서 천단과 바닥에서 변형의 크기와 양상이 다른 터널을 얇은 터널(Einstein et al., 1979) 이라 한다. 세 번째, 터널 굴착에 의하여 영향 받는 범위가 얇은 곳에 설치된 터널을 얇은 터널이라고 한다. 다시 요약하면 터널 굴착에 따라 응력이 변하는 깊이 즉, 터널의 직경의 약 1.5배까지 얇은 터널로 정의한다.

본 연구에서는 이론적 배경으로 기존의 연구사례인 주변 지반의 아칭현상, 터널이완하중, 터널의 굴진면 파괴, 터널의 함몰파괴, 터널의 측면부 파괴 등의 연구자료를 참조 하였다.

주변 지반의 아칭현상

터널 굴착이 진행되면 굴진면은 변형이 발생이 되나 주변지반은 변형이 발생되지 않을 때 원지반 응력이 변위가 일어나지 않는 주변지반으로 전이되는 현상을 아칭현상(Terzaghi, 1936) 이라 한다. 터널 굴착을 진행하면서 아칭현상에 의한 연직응력이 굴진면의 종방향과 횡방향으로 전이되는 현상을 종방향 아칭 또는 횡방향 아칭이라 하며, 굴착에서의 하중전이와 변위의 변화를 Fig. 1로 나타낼(Gnilsen, 1989) 수 있다.

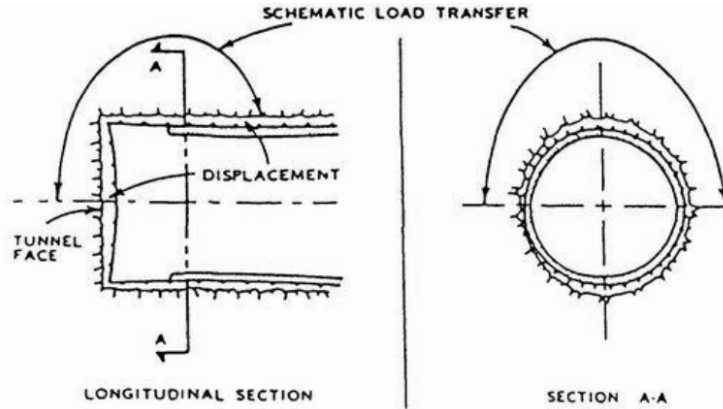


Fig. 1. Load transfer and displacement at the tunnel face

터널 이완 하중

터널 굴착 중 라이닝에 작용되는 외력 이완하중을 산정방법중 대표적인 방법으로 Terzaghi(1936)의 암반하중방법, Barton et al.(1974) Q 시스템, Bieniawski(1973) 중 RMR의 방법 등을 이용되거나, 수치해석과 발파손상의 영역에 의한 산정방법이 있다. 토피고에 따른 이완하중의 변화를 Fig. 2를 통하여 분석하였다. Fig. 2에서 지반상태는 불량하며, 토피고가 증가할수록 이완하중도 점차 증가하는 부분을 분석을 통하여 도출하였다.

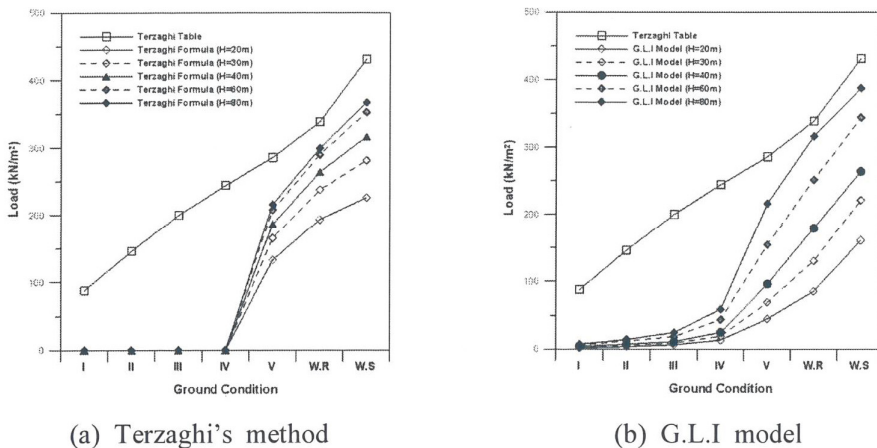


Fig. 2. Comparison of tunnel loads by analysis methods and tunnel depth

터널의 굴진면 파괴

얕은 터널은 천단상부면에 지반아치가 깊은 터널과 달리 상부지반에 형성되지 않으므로 연직 활동면에 따라 파괴가 상시 일어날 수 있다. 굴진면 파괴에 관련된 여러 가지 연구사례 중 몇 가지의 내용을 추려볼 수 있다. 원심모형의 시험결과 중 굴진면 파괴현상은 극한하중과 터널 직경에 비례하여 증가하는 반면, 파괴시의 압력은 지반조건, 토피고에 별다른 큰 영향을 받지 않으며, 굴진면 파괴시 전방부의 파괴현상 도출하는 등 굴진면의 파괴 매커니즘에 관하여 제안(Chambon et al., 1994) 하였다. 3차원 모형시험을 통해 굴진면 파괴현상을 분석토대로 Fig. 3와 같이 매커니즘에 관련된 결과를 알 수 있다.

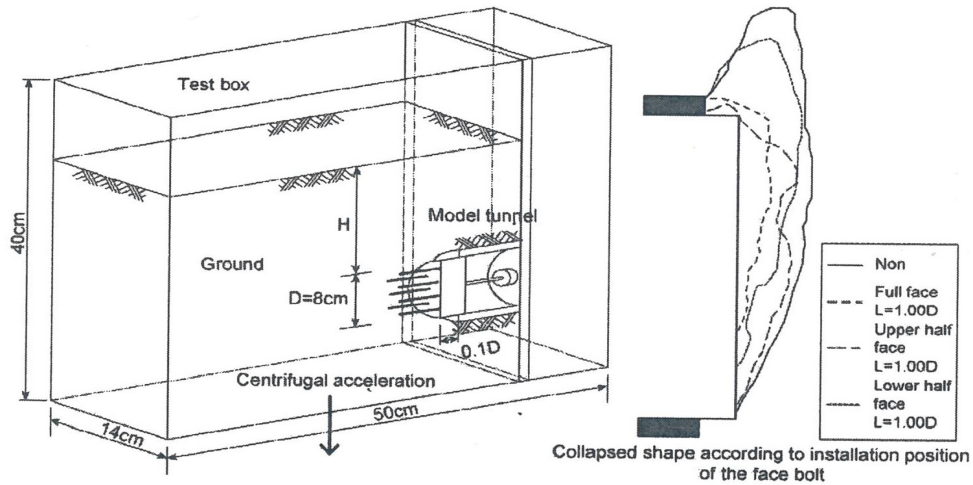


Fig. 3. The effect of face bolt on face stability

터널의 함몰 파괴

얕은 터널의 상부지반에서 지지력의 부족이나 큰 외력에 의한 전단파괴가 발생하면 연직활동면이 형성되어 지반이 Fig. 4와 같이 굴뚝형으로 함몰(Park et al., 2017) 되면서 파괴된다.

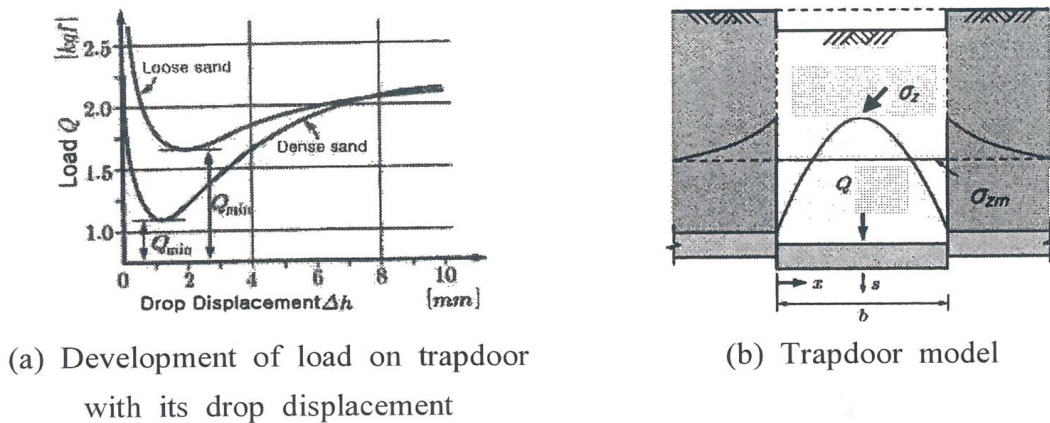


Fig. 4. Terzaghi's trapdoor model test

터널의 측면부 파괴

터널을 굴착하면 굴착단면에 해당하는 원지반에 작용하던 응력이 주변지반으로 전이되며, 터널 양측벽에 작용하는 연직 응력은 토피압보다 커지게 된다. 얇은 터널 중 양측벽에 연직응력이 증가되어 내부의 측벽 중 일부가 파괴시에는 굴진면의 파괴현상과 비슷한 현상이 발생 될 수 있으나, 얇은 터널의 종단면, 횡단면의 응력상태가 서로 다르기 때문에 하중전이 등 여러 차이 현상이 나타날 수 있다. Fig. 5를 통하여 알 수 있는 것은 토피가 작을수록 터널의 외측주변으로 이동하는 부분을 발견함과 동시에 최대침하의 위치, 침하량이 좌측벽에 근접한 구간에서 크게 발생되었다.

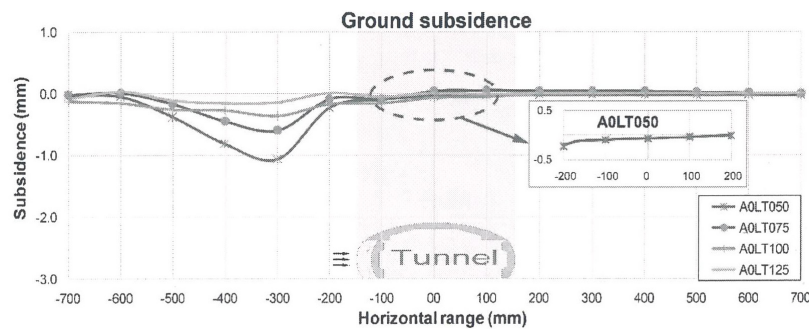


Fig. 5. Ground subsidence and horizontal range

시험방법 및 위치

소규모 터널 안전성 시험은 육안검사와 해머테스트를 이용하였다. 먼저 육안검사는 비파괴검사에 실시되는 시험 중 하나로, 사람의 육안을 이용하여 대상의 표면이 변질되거나 표면의 거칠기 등 이상유무를 분석하여 결함 및 등급을 판별하는 기초적인 시험이다. 해머테스트는 반발경도법 중 하나로, 표면을 해머로 타격하여 표면의 손상정도 또는 반발정도를 측정하여 진행하는 검사 방법 중 하나이다. 육안검사와 해머테스트 시험방법을 통해 Table 1 위치의 소규모 터널 23개소의 시험을 실시하였다.

Table 1. Small-scale tunnels test location

No.	시험위치	No.	시험위치
1	충남 홍성군 광천읍 웅암리 산 58-2	13	미사용 중인 소규모 터널
2	충남 홍성군 광천읍 웅암리 543-3	14	충남 홍성군 광천읍 웅암리 473-1
3	충남 홍성군 광천읍 웅암리 542-1	15	충남 홍성군 광천읍 웅암리 641-6
4	충남 홍성군 광천읍 웅암리 542-1	16	충남 홍성군 광천읍 웅암리 641-6
5	충남 홍성군 광천읍 웅암리 542-1	17	충남 홍성군 광천읍 웅암리 411
6	매립된 콘크리트 창고	18	충남 홍성군 광천읍 웅암리 419-3
7	충남 홍성군 광천읍 웅암리 511-1	19	충남 홍성군 광천읍 웅암리 420-1
8	충남 홍성군 광천읍 웅암리 510-1	20	충남 홍성군 광천읍 웅암리 421-3
9	미사용 중인 소규모 터널	21	충남 홍성군 광천읍 웅암리 425-1
10	충남 홍성군 광천읍 웅암리 507	22	충남 홍성군 광천읍 웅암리 431
11	미사용 중인 소규모 터널	23	충남 홍성군 광천읍 웅암리 392
12	11번 소규모 터널 옆에 위치함		

시험결과 및 안정성 향상 방안

시험결과

시험결과는 앞에서 진행되었던 소규모 터널의 안전성 시험인 터널의 내부 육안검사와 해머테스트 시험을 기준으로 분석하였다. 내부는 대체로 외관상으로는 양호한 상태를 보였으나 파쇄대와 균열 풍화대가 많았으며, 또한 작은 균열이 많았고, 복잡한 지질 상태를 보이고 있으므로 지속적인 관찰과 주의가 요망된다. 각각의 소규모 터널에 대한 특징 및 평가내용에 대한 종합적인 시험결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Small-scale tunnels test results

No.	시험결과	No.	시험결과
1	지속적 관찰과 주의가 요망됨	13	안전진단을 받아야 할 것으로 판단됨
2	지속적 관찰과 주의가 요망됨	14	안전진단을 받아야 할 것으로 판단됨
3	지속적 관찰과 주의가 요망됨	15	안전진단을 받아야 할 것으로 판단됨
4	지속적 관찰과 주의가 요망됨	16	지속적 관찰과 주의가 요망됨
5	지속적 관찰과 주의가 요망됨	17	지속적 관찰과 주의가 요망됨
6	안전성에 문제 없음.	18	지속적 관찰과 주의가 요망됨
7	지속적 관찰과 주의가 요망됨	19	지속적 관찰과 주의가 요망됨
8	지속적 관찰과 주의가 요망됨	20	붕괴상태(사용불가)
9	지속적 관찰과 주의가 요망됨	21	지속적 관찰과 주의가 요망됨
10	안전진단을 받아야 할 것으로 판단됨	22	안전진단을 받아야 할 것으로 판단됨
11	안전진단을 받아야 할 것으로 판단됨	23	안전진단을 받아야 할 것으로 판단됨
12	지속적 관찰과 주의가 요망됨		

안정성 향상 방안

소규모 터널의 노출면에 대한 라이닝 추가 설치

기존 소규모 터널의 입구 부분에 설치되어 있는 콘크리트 보강(라이닝)을 Fig. 6 상단부 전체에 설치하는 것이 안전에 도움이 되지만 풍화가 많이 진행된 곳에 부분적으로 설치하는 것도 안전에 도움이 된다. 라이닝은 일반적으로 콘크리트 라이닝이 사용되지만 경우에 따라 철제 라이닝도 사용할 수 있다.



Fig. 6. Additional lining installation inside small-scale tunnels

인버트 설치

소규모 터널의 입구부에 설치된 콘크리트 보강(라이닝)의 바닥면을 콘크리트로 두껍게 바닥면(인버트)을 설치하여 보강할 필요가 있다. Fig. 7과 같이 인버트를 설치하면 소규모 터널의 벽체가 안쪽으로 밀려들어오는 것에 대하여 저항함으로써 소규모 터널의 안정성을 높일 수 있다.

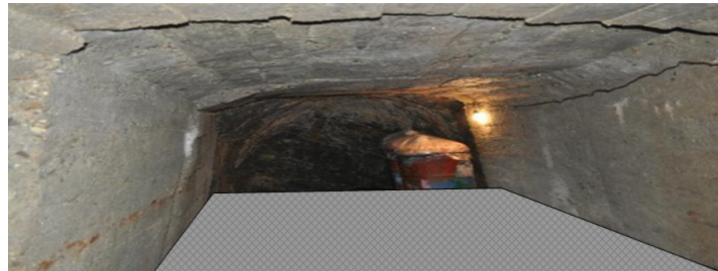


Fig. 7. Invert installation inside small-scale tunnels

지하수 배출

지하수가 원활히 배출될 수 있도록 Fig. 8부위에 배수로를 설치하여야 한다. 지하수가 원활히 배출되지 않을 경우 소규모 터널의 내부에 과도한 습도에 의해 소규모 터널에서의 풍화가 급속도로 진행될 가능성이 높다.



Fig. 8. Discharge of ground water inside small-scale tunnels

변형 센서 설치

소규모 터널 내부에서 벽체부분의 변형 여부를 정밀하게 측정하여 알 수 있는 방법 중에 가장 과학적인 방법은 변형센서를 설치하여 주기적으로 측정하는 것이다. 중요 위치에 Fig. 9와 같은 센서를 설치하여 측정함으로써 정확한 자료를 얻을 수 있다. 단, 비용이 고가인 점이 문제이지만 상황에 따라 선택할 필요가 있다.



Fig. 9. Install a strain sensor inside a small-scale tunnels

수시로 육안 점검 실시

각각의 소규모 터널에 대하여 소규모 터널 전체(1~23개의 소규모 터널)를 지속적으로 점검하는 일을 수시로 실시하여야 한다. 이때 점검일지를 작성하여 기록으로 남겨야 하고, 필요시에는 사진을 촬영하여 기록으로 남겨야 한다. 소규모 터널의 내부에는 외부로 통하는 통신시설을 설치할 필요가 있으며, 터널 내부에 비상용 식수와 식량을 비치할 필요가 있다. 또한 취약한 부분에는 임시로 버팀대와 락장재를 설치할 필요가 있다.

결론

본 연구에서는 인력 굴착 소규모 터널에 대한 안전관리 연구를 실시하였으며, 대체로 외관상 양호한 상태를 보이나 파쇄대와 균열된 풍화대가 많으며 또한 작은 균열이 많고 지질 상태는 복잡한 구조로 보이고 있으므로 지속적인 관찰과 주의가 요망된다. 조사결과는 23개의 소규모 터널 중 7개의 소규모 터널에서 안전진단을 받을 필요가 있으며, 1개는 붕괴상태, 1개는 안전하며, 14개는 지속적인 관찰과 주의가 요망되고 소규모 터널을 안전하게 관리할 수 있도록 수시로 터널의 모든 부분을 점검하고 기록으로 남겨야 한다. 또한 소규모 터널의 점검에서 이상 징후 발견 시 즉시 관련기관에 비상연락을 취하여 적절한 조치를 실행하고 소규모 터널을 지속적으로 안전하게 사용하기 위해서는 본 연구에서 제안한 소규모 터널의 안정성 향상 방안에 대한 부분을 참고하여 보강조치를 진행할 필요가 있다.

References

- [1] Barton, N., Lien, R., Lunde, J. (1974). "Engineering classification of rock mass for tunnel support design." *Rock Mechanics*, Vol. 6, pp. 189-236.
- [2] Bieniawski, Z.T. (1973). "Engineering classification of joint lock mass." *Transactions by South African Civil Engineering Agency*, Vol. 15, pp. 355-344.
- [3] Chambon, P., Corte, J.F. (1994). "Shallow tunnels in cohesionless soil: stability of tunnel face." *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 120, No. 7, pp. 1148-1165.
- [4] Duddeck, H., Erdmann, J. (1985). "On structural design model for tunnels in soft soil." *Underground Space*, Vol. 9, No. 5-6.
- [5] Einstein, H.H., Schwartz, C.W. (1979). "Simplified analysis for tunnel supports." *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol. 105, No. 4, pp. 499-518.
- [6] Gnisen, R. (1989). *Numerical Methods, Developments in Geotechnical Engineering*. 59A, *Underground Structures Design and Instrumentation*, Elsevier, New York, pp. 84-128.
- [7] Lee, S.D. (2013). *Tunnel Mechanics*. CIR Publication, Seoul, pp. 253-360.
- [8] Park, C.H., Lee, S.D. (2017). "Experimental study on the behavior of the adjacent ground due to the sidewall failure in a shallow Tunnel." *Journal of Kprean Tunnelling and Underground Space Association*, pp. 871-885.
- [9] Terzaghi, K. (1936). "Stress distribution in dry and in saturated sand above a yielding trap-door." *Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Cambridge, Vol. 1, pp. 307-311.