한국지반환경공학회 논문집
제12권 제2호 2011년 2월 pp. 45~53

쏘일네일 보강벽체의 수평변위와 안전율과의 관계 분석연구

An Analytical Study on the Relationship between Factor of Safety and Horizontal Displacement of Soil Nailed Walls

김 홍 택[1)] · 이 인[†]
Kim, Hongtaek · Lee, In

ABSTRACT : Soil nailing method was often designed by the slope stability analysis based on limit equilibrium. However, in the case of shorten length of nails, although the calculated factor of safety is within the design factor of safety, the horizontal displacement of soil nailed walls occurred above the allowable limit. In this study, relationship between the load and factor of safety, and relationship between the load and displacement ratio based on the test results were analysed. From the analysed results, the relationship between factor of safety and displacement ratio was estimated. For the mobilized horizontal displacement of the walls within the serviceability limit corresponding to the displacement of less than 0.3% displacement ratio, the calculated factor of safety by limit equilibrium analysis had to satisfy above 1.35. Also, although the minimum factor of safety is estimated above 1.35, the maximum horizontal displacement is often mobilized above 0.3% of excavation height. Therefore, it is necessary to perform the numerical analysis of soil nailed walls in the case of low shear strength or high excavation.

Keywords : Soil nail, Horizontal displacement, Factor of safety, Numerical analysis

요 지 : 쏘일네일 공법은 일반적으로 한계평형해석법을 토대로 검토한 사면안정해석결과를 이용하여 설계기준안전율 이상을 만족하면 안정한 것으로 판단하여 설계하고 있다. 그러나 쏘일네일의 길이가 짧은 경우 설계기준안전율을 만족하고도 발생변위가 과다하여 사용상에 문제가 발생하는 경우가 있다. 본 연구는 대형파괴재하시험결과에 의한 재하하중-안전율 및 재하하중-발생변위비와의 관계를 분석하여 쏘일네일 보강벽체의 안전율-발생변위비와의 상관관계를 분석하였으며, 분석결과 쏘일네일 보강벽체의 사용한계상태에 해당하는 발생 변위비 0.3% 이내를 만족하기 위해서는 한계평형해석에 의한 안전율이 최소 1.35 이상을 확보하여야 할 것으로 평가되었다. 또한 한계평형해석결과 최소 안전율 1.35 이상을 만족하여도 지반의 전단강도가 작거나 벽체높이가 높을 경우 사용한계상태에 해당하는 발생 변위비 0.3% 이내를 만족하지 못하는 경우가 있어 수치해석을 통한 발생변위 검토가 필요할 것으로 판단된다.

주요어 : 쏘일네일, 수평변위, 안전율, 수치해석

1. 서 론

쏘일네일 공법은 국내의 경우 1993년 가시설 흙막이 벽체에 처음으로 적용된 이후 주로 지하굴착분야 및 사면보강 등에 보편적으로 사용되고 있는 공법으로 최근에는 영구 사면보강 등에도 많이 적용되고 있는 공법이다. 쏘일네일 공법은 일반적으로 한계평형해석법을 토대로 검토한 사면안정해석결과를 이용하여 설계기준안전율 이상을 만족하면 안정한 것으로 판단하여 설계하고 있다. 그러나 쏘일네일의 길이가 짧은 경우 설계기준안전율을 만족하고도 발생변위가 과다하여 사용상에 문제가 발생하는 경우가 있다. 본 연구는 강인규 등(2008)이 수행한 쏘일네일 보강벽체에 대한 대형파괴재하시험 사례를 분석하여 쏘일네일 보강벽체의 한계평형해석에 의한 사면안전율과 발생변위와의 상관성과 사용상에 문제가 없는 최소 설계기준안전율을 제시하였다. 또한 최소 설계기준안전율 이상을 만족하는 쏘일네일 보강벽체를 한계평형해석을 실시하여 설계 검토한 후 이를 수치해석을 통해 발생변위를 분석하였다.

2. 기존의 간편 설계 방법

2.1 해석방법

쏘일네일 보강벽체에 대한 안정해석법은 한계평형해석(Limit Equilibrium Analysis)적인 접근방법과 운동학(Kinematic Limit Analysis)적인 접근방법으로 크게 구분할 수 있다. 한계평형

1) 정회원, 홍익대학교 토목공학과 교수
† 정회원, 홍익대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : leein10@hotmail.com)

해석적 접근방법은 고전적인 사면안정해석법을 기초로 하여 활동면을 원호나 직선으로 가정한 후, 활동에 저항하는 보강재의 인발 마찰저항력과 휨 및 전단저항력 등을 고려하여 안정성을 평가한다. 이 방법은 각 보강재의 최대인장력이 발휘되는 위치와 크기는 계산할 수 없지만 보강재 또는 지반의 파괴에 대한 전체적인 안전율을 구할 수 있다. 또한 지반이 비균질한 경우, 기하학적으로 지반이 비균질한 경우나 기하학적으로 복잡한 구조물의 내적 및 외적 안정을 포함한 파괴형태와 사면의 유출수와 관련된 공학적 문제를 해결하는 데에는 효과가 있다. 또한 운동학적인 접근방법은 보강재의 최대인장력이 발휘되는 면을 따라 파괴가 일어난다는 가정하에 주동영역내의 국부적인 평형조건으로부터 안정해석을 수행한다. 이때 파괴면은 대수나선(logarithmic spiral)이나 원호로 가정하여 파괴면을 따라 흙의 전단강도가 완전히 발휘된다고 간주하며, 파괴 시의 보강재는 연성파괴를 하는 것으로 생각한다. 이러한 해석법은 각 보강재에 발휘되는 최대인장력의 크기와 위치를 계산할수 있으나 기하학적 조건이 단순한 경우와 지반이 균질한 경우에 한해서 해석이 가능한 단점이 있다.

현재까지 개발되어 있는 대표적인 안정해석법으로는 독일의 Stocker 등(1979)에 의해 개발된 독일 방법(German method)과 미국의 Shen 등(1981)에 의해 개발된 데이비스 방법(Davis method), 프랑스의 Schlosser 등(1991)에 의해 개발된 프랑스 방법(French method), Juran 등(1990)에 의해 개발된 운동학적 방법(Kinematical Limit Analysis Method) 등이 있다. 이를 정리하면 표 1과 같으며, 표 1에서 혼합파괴는 각각의 네일에 발생하는 인장력은 한계인장력에 안전율이 고려된 인발저항 또는 네일의 항복응력 중 작은 값에 의해 지배되며, 인발파괴는 모든 네일의 한계인장력에 안전율이 고려된 인발저항력에 의해 지배되는 경우를 의미한다.

2.2 경험적인 방법

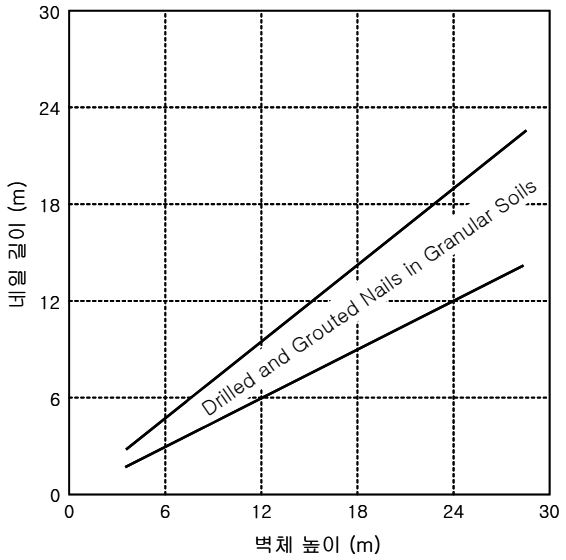
쏘일네일 공법 설계 시에는 네일의 길이, 간격 및 삽입각

표 1. 쏘일네일 보강벽체의 해석방법별 가정사항 및 해석조건

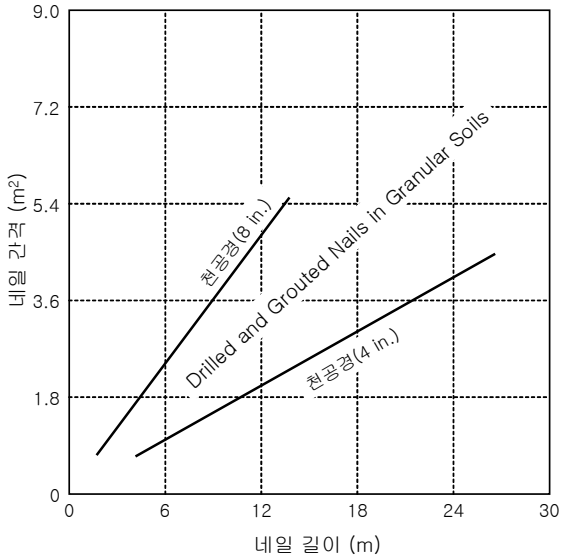
구분	프랑스 방법 (Schlosser 등, 1991)	독일 방법 (Stoker 등, 1979)	데이비스 방법 (Shen 등, 1981)	수정 데이비스 방법 (Elias & Juran, 1991)	운동학적 방법 (Juran 등, 19908)
해석 개념	한계모멘트평형 전체안정	한계 힘평형 전체안정	한계 힘평형 전체안정	한계 힘평형 전체안정	허용응력 해석법 국부안정
입력치	지반의 강도정수 nail의 한계력 휜강성	지반의 강도정수 한계마찰력	지반의 강도정수 nail의 한계력 마찰력	지반의 강도정수 nail의 한계력 마찰력	지반의 강도정수 무차원 휨저항계수
고려된 nail력	인장력 전단력 휨모멘트	인장력	인장력	인장력	인장력 전단력 휨모멘트
파괴면 형상	원호 임의의 형태	두 직선	포물선	포물선	대수나선
파괴 메카니즘	혼합파괴	인발파괴	혼합파괴	혼합파괴	-
인장, 휨저항	항복응력 소성모멘트	항복응력	항복응력	항복응력	항복응력 소성모멘트
지하수	고려 가능	고려 불가능	고려 불가능	고려 불가능	고려 가능
다층 지반	고려 가능	고려 불가능	고려 불가능	고려 불가능	고려 가능
구조물 형태	임의의 형상	경사진 전면 연직 전면	연직 전면	경사진 전면 연직 전면	경사진 전면 연직 전면
안 전 율					
지반의 강도정수	1.5	1.0 (잔류전단강도)	1.5	1.0	1.0
인발 저항	1.5	1.5～2.0	1.5	2.0	2.0

표 2. 쏘일네일 무차원 설계변수의 일반적인 적용범위

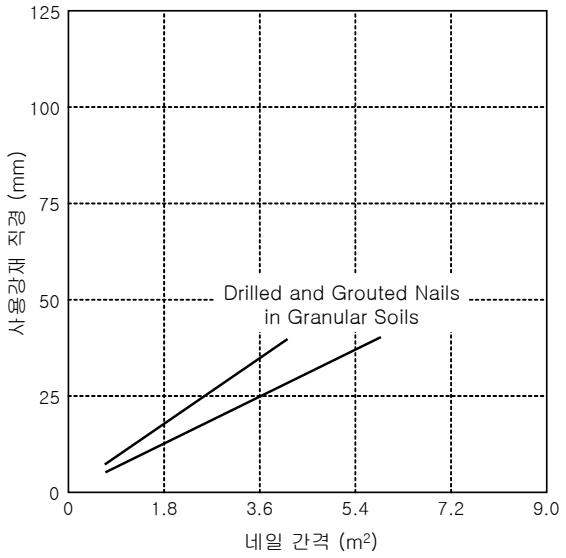
구 분	길이비(R_L)	정착비(R_B)	강도비(R_S)
조립토에 천공 그라우트한 네일	0.5 - 0.8	0.5 - 0.6	0.0004 - 0.0008
조립토에 타격 시공된 네일	0.5 - 0.6	0.6 - 1.1	0.0013 - 0.0019
빙퇴석과 이회토	0.5 - 1.0	0.15 - 0.2	0.0001 - 0.00025



(a) 길이비의 결정



(b) 정착비의 결정



(c) 강도비의 결정

그림 1. 경험적인 방법에 의한 설계도표

도, 사용강재의 제원, 전면판의 두께 및 강도 등을 고려해야 한다. 특히 네일의 길이, 간격 및 사용강재 등의 설계는 전체 활동에 대한 안정성과 내적 안정성을 검토하여 결정한다. Bruce와 Jewell(1987)는 쏘일네일 보강벽체의 시공사례를 바탕으로 식 (1)~(3)과 같은 쏘일네일 보강벽체의 무차원 설계변수들에 대한 일반적인 적용범위를 표 2 및 그림 1과 같이 제시하였다.

길이비(length ratio) : $R_L = \dfrac{L}{H}$ (1)

정착비(bond ratio) : $R_B = \dfrac{D_{hole} \cdot L}{S_h \cdot S_v}$ (2)

강도비(strength ratio) : $R_S = \dfrac{d_{bar}^2}{S_h \cdot S_v}$ (3)

여기서, L : 쏘일 네일의 길이
H : 벽체의 높이
D_{hole} : 쏘일네일의 천공직경
d_{bar} : 쏘일네일 사용강재의 직경
S_h : 쏘일네일의 횡방향 설치간격
S_v : 쏘일네일의 연직방향 설치간격

2.3 수정 데이비스 방법

수정 데이비스 방법은 한계평형해석방법을 기초로 제시된 안정해석방법으로 이에 대한 설계도표는 그림 2와 같다 (Elias 등, 1988).

2.4 운동학적인 방법

Juran 등(1988)은 운동학적인 방법을 통한 쏘일네일 보강벽체의 안정해석방법을 제시하였으며 지반조건에 따른 설계도표는 그림 3과 같다.

3. 대형파괴재하시험에 의한 안전율과 발생변위와의 관계

3.1 대형파괴재하시험결과

기존의 연구결과로 강인규 등(2008)이 수행한 대형파괴재하시험에 의한 쏘일네일 벽체의 하중-침하 곡선은 그림 4와 같다. 또한 하중비(P/P_y)-발생 변위비($\delta_{h_{max}}/H$) 관계 곡선을 단순화시켜 하중-발생변위 관계곡선을 도시하면 그림 5와 같다. 그림 5에서 알 수 있듯이 사용한계상태(=벽체높이의 0.3% 이내의 발생변위) 이내의 범위에서는 작용하중

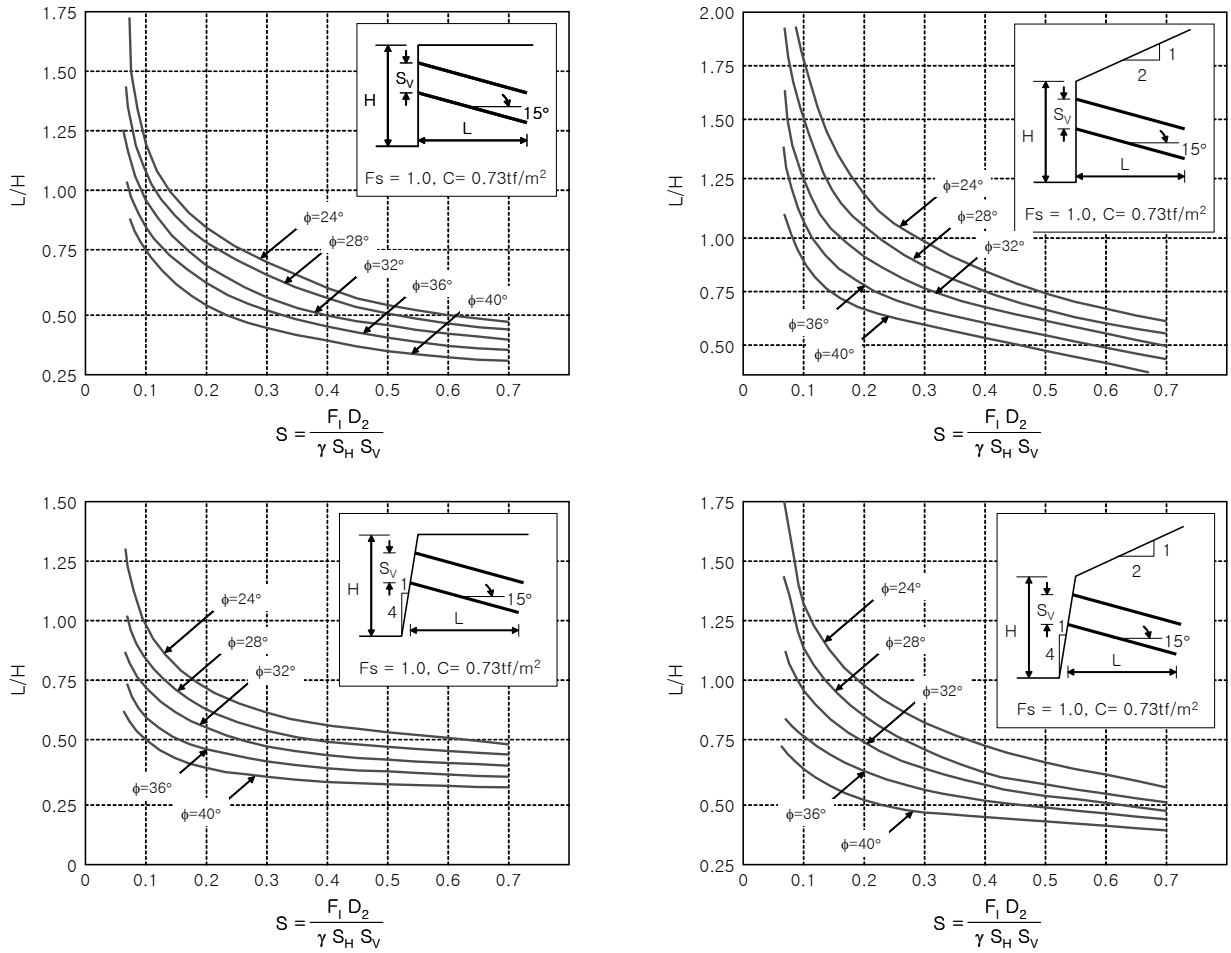
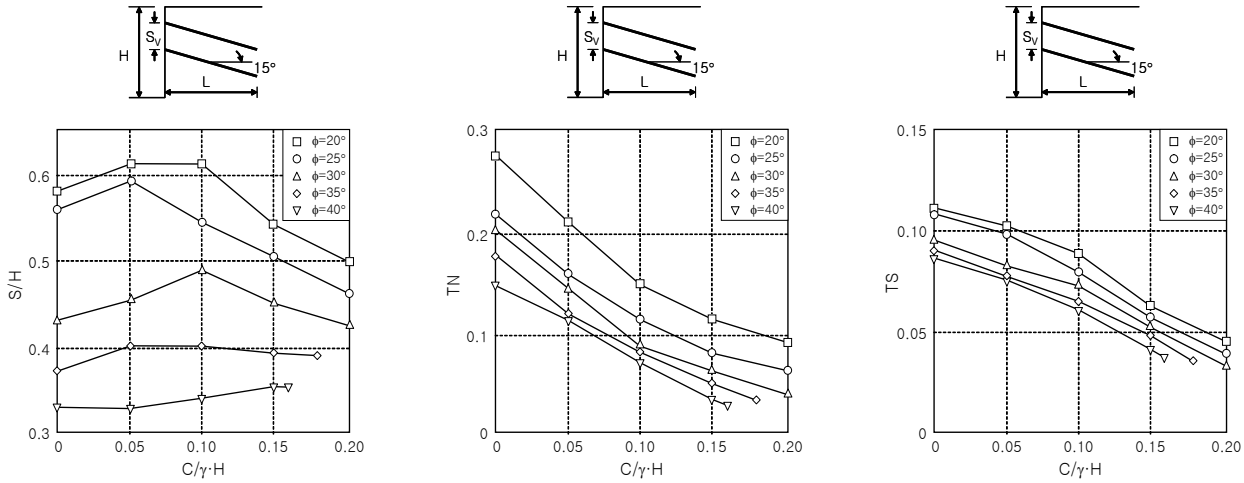


그림 2. 수정 데이비스 방법에 의한 설계도표



(a) 네일간격의 결정 (b) 인장비의 결정 (b) 전단비의 결정

그림 3. 운동학적 방법에 의한 설계도표

의 증가에 대해 발생변위가 적은 상태로 대형파괴재하시험 결과 외관상 미세한 균열이 발생하는 등 사용상에 문제가 없는 상태로 확인되었다. 또한 벽체높이의 0.3% 이상으로 수평변위가 발생될 경우에는 작용하중의 증가에 비해 발생변위가 점차 증가하는 경향을 보이며 대형파괴재하시험 결과 외관적으로 균열이 점점 확대되었고 휨 및 전단파괴로 인한 인장균열도 일부 관찰되었다. 한편 한계상태(=벽체높이의 1.0% 발생변위) 이상으로 수평변위가 발생될 경우에는 적은 하중 증가량에 대해 수평변위가 급격히 증가하여 파괴상태에 도달하는 경향을 보이는 것을 알 수 있었다.

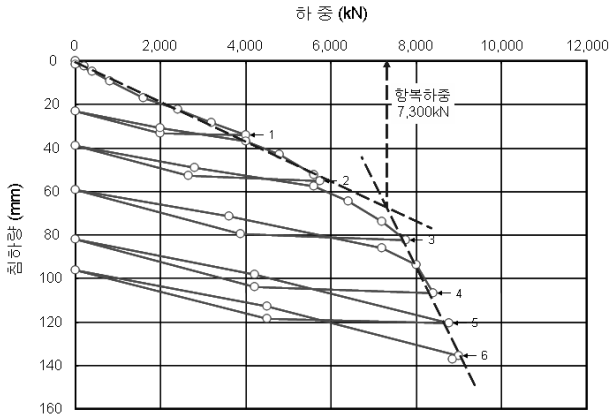


그림 4. 대형파괴재하시험에 의한 하중-침하 곡선(강인규 등, 2008)

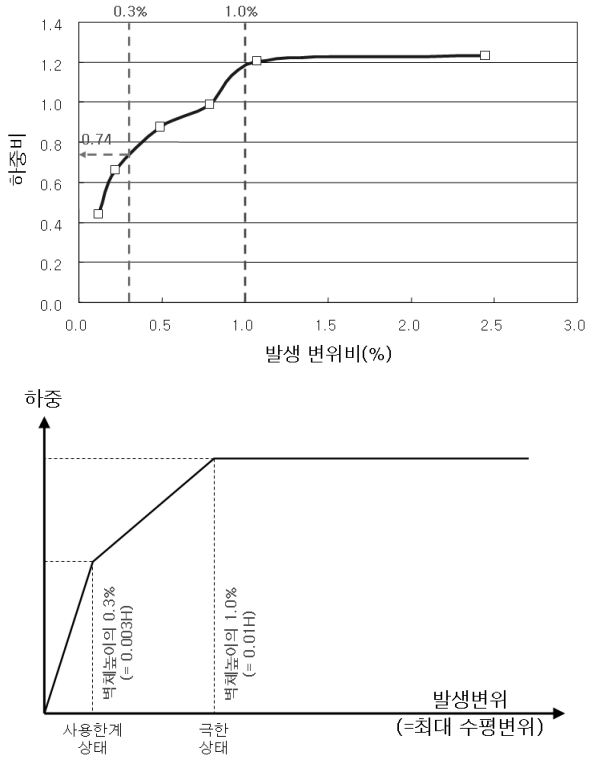


그림 5. 쏘일네일 벽체의 하중-변위 관계 곡선(강인규 등, 2008)

3.2 역해석에 의한 지반특성치의 결정

대형파괴재하시험에 의한 하중-침하량 특성곡선을 이용하여 지반의 특성치를 변화시켜 가면서 FLAC-3D 프로그램을 이용하여 역해석을 시도하였으며, FLAC-3D 프로그램에 의한 변위분포도를 도시하면 그림 6과 같다. 또한 이상의 역해석 결과를 정리하여 도시하면 그림 7과 같으며, 역해석 결과에 의해 추정된 지반 특성치는 표 3과 같다.

표 3. 역해석에 의해 추정된 지반 특성치

구 분	단위중량 (tf/m^3)	내부마찰각 (°)	점착력 (tf/m^2)	탄성계수 (tf/m^2)	포아슨비
풍화토	1.9	30	6.5	2,200	0.35

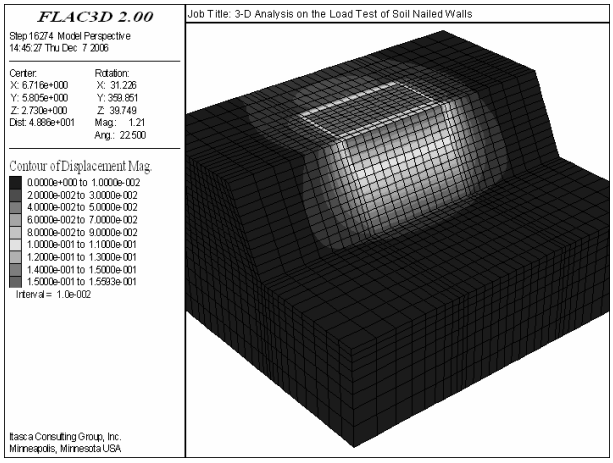
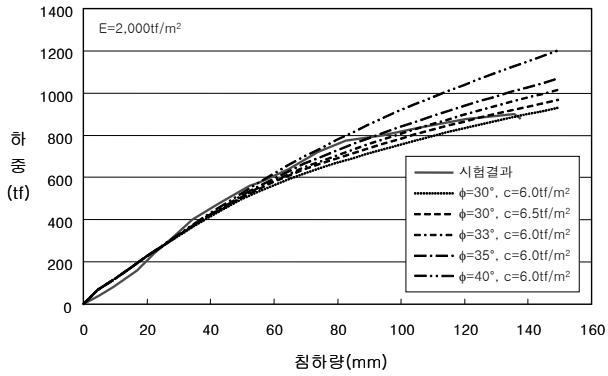
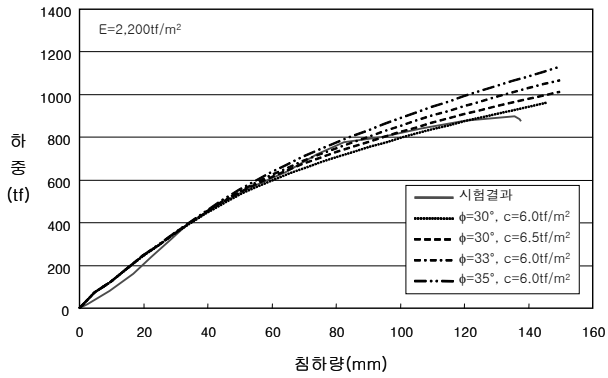


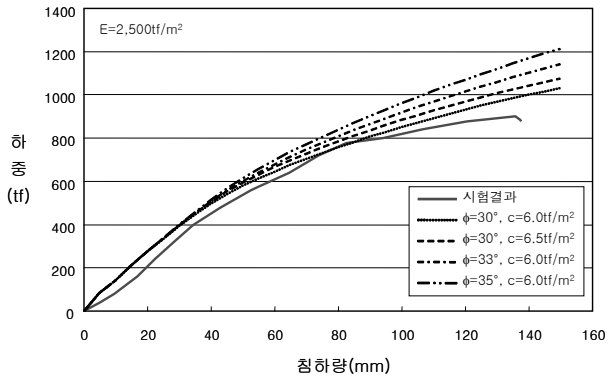
그림 6. FLAC-3D 프로그램 해석결과(변위분포도)



(a) E=2,000tf/m^2의 경우



(b) E=2,200tf/m^2의 경우



(c) E=2,500tf/m^2의 경우

그림 7. FLAC-3D 프로그램에 의한 해석결과

3.3 한계평형해석에 의한 안전율과 발생변위와의 관계

대형파괴재하시험결과 및 FLAC-3D 프로그램에 의한 역해석 결과를 이용하여 한계평형해석을 수행한 결과를 정리하면 표 4와 같다. 표 4에서 한계평형해석은 쏘일네일 보강벽체의 안정해석에 일반적으로 사용하고 있는 TALREN 프로그램을 사용하였으며, 발생변위비는 그림 5의 하중비-발생 변위비의 관계 곡선에서 재하하중에 해당하는 발생 변위비를 보간법으로 계산하여 정리하였다. 또한 대형파괴재하시험결과에 의한 재하하중-안전율 및 재하하중-발생변위비와의 관계를 분석하여 정리하면 그림 8 및 9와 같다.

표 4. 한계평형해석에 의한 안전율과 발생 변위비와의 관계 분석

재하하중 (tf)	한계평형해석에 의한 안전율	발생 변위비	비 고
200	2.35	0.07	
400	1.49	0.16	
540	1.26	0.3	
600	1.19	0.41	
730	1.08	0.68	
800	1.04	0.79	
900	0.97	2.45	
1,000	0.92	10.00	

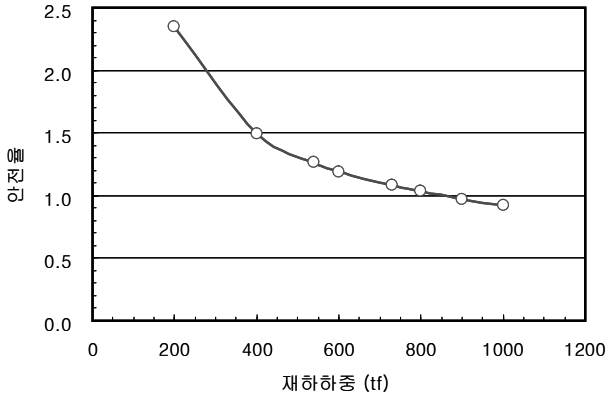


그림 8. 대형파괴재하시험에 의한 재하하중-안전율과의 관계곡선

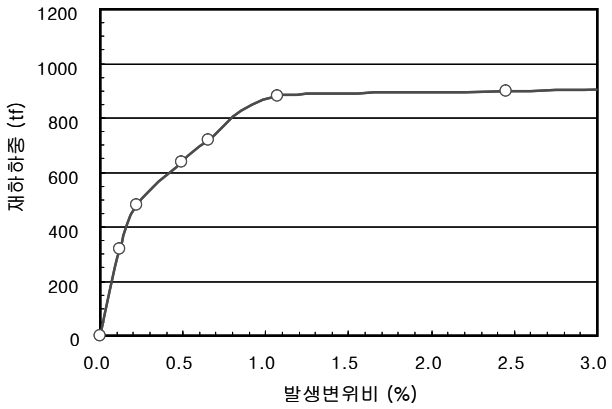


그림 9. 대형파괴재하시험에 의한 재하하중-발생변위비와의 관계곡선

대형파괴재하시험으로부터 결정된 항복하중은 쏘일네일 보강벽체의 형태를 유지하면서 급격한 변형이 발생되기 직전의 최대 저항력이 발휘된 재하하중으로 평가할 수 있으며, 사용한계하중은 쏘일네일 보강벽체가 사용성에 이상이 없는 정도의 허용변위 발생 상태에서의 재하하중으로 구분할 수 있다. 대형파괴재하시험결과 벽체높이의 0.3% 이하의 발생변위에 대해서는 외관상 미세한 균열이 발생하는 등 사용상에 문제가 없는 상태로 판단되어 벽체높이의 0.3%에 해당하는 재하하중을 사용한계하중으로 정의하였으며, 사용한계하중은 그림 5의 관계 곡선으로 부터 항복하중(P_y=7,300kN)의 74%에 해당하는 값으로 0.74×7,300=5,400kN으로 평가된다. 따라서 쏘일네일 보강벽체가 사용상 이상이 없는 상태가 되기 위해서 최소한으로 필요한 쏘일네일 보강벽체의 소요안전율은 식 (4)와 같이 항복하중에 대한 사용한계하중의 비로 계산할 수 있다.

$$\text{안전율} = \frac{\text{극한하중}}{\text{허용하중}} = \frac{\text{항복하중}}{\text{사용한계하중}}$$

$$= \frac{7{,}300\text{kN}}{5{,}400\text{kN}} = \frac{1}{0.74} = 1.35 \qquad (4)$$

본 연구를 통해 평가된 쏘일네일 보강벽체의 최소 안전율 1.35는 미국연방도로국(FHWA)에서 규정하고 있는 쏘일네일 벽체의 외적안정에 대한 최소 요구안전율 1.35(FHWA, 2003)와 동일한 것으로 평가되었다. 따라서 일반적인 쏘일

표 5. 쏘일네일 보강벽체의 안전율-발생변위비와의 상관관계

한계평형해석에 의한 안전율	발생 변위비 (%)	비 고
1.00	1.0 이상	파괴상태
1.20	0.4~0.5	
1.35	0.30	사용한계상태
1.50	0.15	
2.00	0.10	

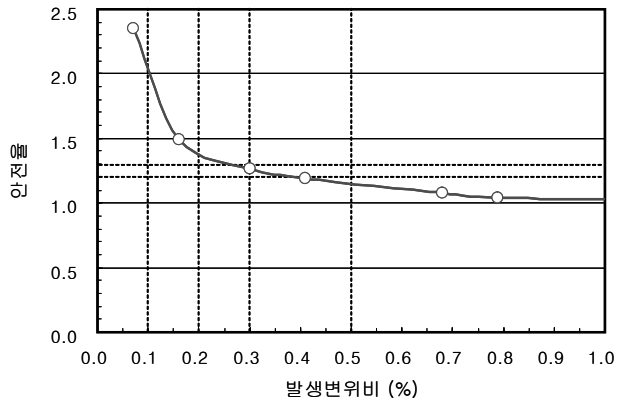


그림 10. 쏘일네일 보강벽체의 안전율-발생변위비와의 관계곡선

네일 보강벽체의 경우 사용성에 문제가 발생되기 않기 위해서는 쏘일네일 보강벽체에 대한 소요안전율이 최소 1.35 이상은 만족되어야 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 분석한 한계평형해석에 의한 안전율과 발생변위와의 상관성을 토대로 쏘일네일 보강벽체의 안전율-발생변위비와의 상관관계를 분석하여 정리하면 표 5 및 그림 10과 같다.

4. 한계평형해석에 의한 안전율과 발생변위와의 관계

4.1 한계평형해석결과

본 검토는 쏘일네일 보강벽체의 안정해석 및 설계 시 일반적으로 사용하고 있는 한계평형해석방법을 이용하여 3장에서 분석한 최소 설계기준안전율 1.35 이상을 만족하는 쏘일네일 보강벽체 단면을 분석하였다. 표 6과 7은 TALREN 프로그램을 사용하여 쏘일네일의 수평간격이 1.0m와 1.2m일 때 벽체높이(H)와 지반의 내부마찰각(ϕ)의 변화에 따른 쏘일네일의 길이비(R_L=L/H)를 나타낸 것이다. 또한 표 6과 7의 분석 시 지반의 단위중량은 1.8tf/m^3, 점착력은 0을 적용하였으며 쏘일네일의 연직방향 설치간격은 모두 1m이고, 삽입각도는 15°, 천공경은 105mm, 사용강재는 SD25를 사용하였다. 해석 시 쏘일네일의 길이비는 0.1단위로 변화시켜 최소 설계기준안전율 1.35 이상을 만족하는 최소 쏘일네일의 길이비를 표 6과 7에 정리하였다.

4.2 수치해석결과

본 분석은 한계평형해석으로부터 최소 설계기준안전율 1.35 이상을 만족하는 쏘일네일 보강벽체 단면에 대해 수치해석을 실시하여 쏘일네일 보강벽체에 발생하는 최대 수평변위를 검토하였다. 해석에 사용한 프로그램은 FLAC-2D 프로그램으로 해석에 사용된 지반특성치는 표 8과 같다.

표 6과 7에서 검토된 최소 설계기준안전율 1.35 이상을 만족하는 쏘일네일 보강벽체 단면에 대해 수치해석을 실시한 결과를 요약하여 정리하면 표 9 및 10과 같다. 표 9 및 10에서 쏘일네일 보강벽체의 사용한계에 해당하는 발생변위(=굴착고(H)를 기준으로 0.003H) 이내로 최대 수평변위가 발생한 경우는 “O.K”로 표시하였으며, 사용한계 이상으로 최대 수평변위가 발생한 경우는 “N.G"로 표시하였다. 표 9 및 10에서 알 수 있듯이 최소 설계기준안전율 1.35 이상을 만족한 경우 대체적으로 벽체의 사용한계 이내에서 최대 수평변위가 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 벽체높이가 높고 지반의 강도정수가 작은 경우 최소 설계기준안전율 이상을 만족하여도 벽체의 사용한계를 초과하여 변위가 발생하여 수치해석을 통

표 6. 최소 기준안전율을 만족하는 쏘일네일의 길이비(수평간격 1.0m인 경우)

H(m) / ϕ(°)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
26	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
27	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
28	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
29	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
31	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
32	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
33	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
34	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6

표 7. 최소 기준안전율을 만족하는 쏘일네일의 길이비(수평간격 1.2m인 경우)

H(m) / ϕ(°)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
26	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
27	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
28	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
29	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
30	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
31	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
32	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
33	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
34	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7

표 8. 해석에 사용된 지반특성치

N값	내부마찰 (°)	탄성계수 (tf/m^2)	포와슨비
10～11	26	800	0.30
12～13	27	950	0.30
14～15	28	1100	0.30
16～17	29	1250	0.30
18～20	30	1450	0.30
21～22	31	1650	0.30
23～25	32	1850	0.30
26～28	33	2050	0.30
29～30	34	2250	0.30

표 9. 수치해석결과 발생변위에 대한 안정성 평가결과(수평간격 1.0m인 경우)

H(m) / ϕ(°)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
26	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G	N.G	N.G	N.G
27	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G	N.G	N.G
28	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G	N.G
29	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G	N.G
30	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G
31	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G
32	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G
33	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G
34	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G

표 10. 수치해석결과 발생변위에 대한 안정성 평가결과(수평간격 1.2m인 경우)

H(m) / ϕ(°)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
26	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G	N.G	N.G
27	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G	N.G
28	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G	N.G
29	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G	N.G
30	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G
31	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G	N.G
32	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G
33	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	N.G
34	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K

한 발생변위 검토가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 제언

본 연구는 쏘일네일 보강벽체의 수평변위와 안전율과의 관계를 분석한 것으로 쏘일네일 보강벽체에 대한 대형파괴재하시험 사례(강인규 등, 2008)를 분석하여 사용상에 문제가 없는 최소 설계기준안전율을 분석하였으며, 지반의 내부마찰각 및 벽체높이를 변화시켜 한계평형해석에 의한 최소 설계기준안전율 이상을 만족하는 쏘일네일 보강벽체 단면을 결정하여 이를 수치해석을 통해 최대 수평변위를 분석하였다. 분석결과 최소 설계기준안전율 1.35 이상을 만족한 경우 대체적으로 벽체의 사용한계 이내에서 최대 수평변위가 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 벽체높이가 높고 지반의 강도정수가 작은 경우 최소 설계기준안전율 이상을 만족하여도 벽체의 사용한계를 초과하여 변위가 발생하여 수치해석을 통한 발생변위 검토가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 홍익대학교 학술연구진흥비 지원으로 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 강인규, 권영호, 박신영, 이승현, 김홍택(2008), 대형파괴재하시험을 통한 쏘일네일 벽체의 거동분석, *한국지반환경공학회 논문집*, Vol. 9, No. 3, pp. 51～60.
2. Bruce, D. A. and Jewell, R. A.(1987), *Soil Nailing: Application and Practice - part 2*, Ground Engineering, Jan., pp. 2～38.
3. Elias, V. and Juran, I.(1991), *Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations*, United States Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-RD-89-193, June. pp. 11～25.
4. FHWA(2003), *Geotechnical Engineering Circular No.7 - Soil Nail Walls*, Publication No. FHWA-IF-03-017, p. 147.
5. Juran, I., Baudrand, G., Farrag, K. and Elias, V.(1990), Kinematical Limit Analysis for Design of Soil-Nailed Structures, *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 1, pp. 54～73.
6. Schlosser, F., Gigan, J. P. and Plumelle, C.(1991), *Recommendations Clouterre ; Soil Nailing Recommendations*, French National Rearch Project Report, Ponts et Chaussees.
7. Shen, C. K., Bang, S. and Herrmann, L. R.(1981), Ground Movement Analysis of an Earth Support System, *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 107, No. GT 12, pp. 1609～1624.
8. Stocker, M. F., Korber, G. W., Gässler, G. and Gudehus, G. (1979), Soil Nailing, *C. R. Coll. Int. Reinforcement Des Sois*. Paris, pp. 469～474.

(접수일: 2010. 11. 15 심사일: 2010. 11. 20 심사완료일: 2010. 12. 23)