기술기사

현장인발시험을 통한 흙-네일의 하중 전이특성에 대한 연구

Load transfer between soil and nail using in-situ pull-out tests

김종수[*1], 이장덕[*2], 이 송[*3]

1. 서론

soil nailing 공법은 NATM공법의 rock bolt 기본 개념 및 보강토 이론을 배경으로 연구되었으며 최초의 현장적용은 지반 보강의 목적으로 1973년에 프랑스의 철도사면보강에 적용되었다. 그 이후 주로 프랑스, 독일 중심으로 사면보강목적으로 사용해오다 유럽과 북미지역을 중심으로 사면보강 및 지반굴착 공법으로 널리 쓰이고 있다. 특히 홍콩이나 일본 등에서는 협소한 국토 면적을 효율적으로 사용하기 위하여 soil nailing 공법을 많이 적용하고 있으며 국내에서도 사면보강 및 지반굴착 등에 적용이 차츰 확대되어 가고 있는 실정이다. 이러한 soil nailing 설계 방법은 사면 안정해석 방법에다 nailing에 작용하는 인장력, 전단력 등을 고려한 한계 평형해석법(limit equilibrium method)이 주로 사용되어오고 있으며 이러한 해석방법들에서 흙-nail의 상호작용을 이해하고 효과적으로 설계에 반영하는 것이 중요한 관심사가 되어 많은 현장 및 실내시험들이 이러한 흙-nail의 상호작용 규명 뿐 아니라 전체적인 soil nailing의 거동분석에 집중되어 오고 있다. Guilloux 등(1979)은 실내 인발시험을 통해 흙과 nail 사이의 마찰계수를 측정하였고 Cartier and Gigan(1983)도 nail의 인발시험을 통하여 nail과 흙 사이의 상대변위를 측정하여 단위 주면 마찰력과 상재하중과의 상관관계를 규명하기도 하였다. 1986년에 프랑스 교통국에서 4백만 달러를 투자하여 4년동안 수행한 Clouterre 연구는 기존설계 개념의 개선과 soil nailing의 거동을 이해하려고 450회 현장 인발시험의 수행을 통해 흙과 보강재 사이의 상호작용을 규명하고자 하였다. Schlosser, Elias(1978)은 nail의 인발 중 지반의 dilatancy가 흙과 nail의 마찰특성에 미치는 영향을 분석하기도 하였다.

이러한 흙과 nail의 마찰특성에 대한 연구들은 대부분 흙에서만 이루어져 인발중 지반의 dilatancy의 영향이 nail의 마찰특성에 큰 영향을 미치는 것이 사실이다. 하지만 국내지반에서 지반굴착이나 사면보강목적으로 soil nailing공법이 적용되는 경우 풍화토 및 풍화암 지반에서 많은 시공이 이루어지는 현실을 감안할 때 풍화암에서의 지반과 nail의 거동특성에 대한 연구가 국내에서 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 현장시험에서 풍화암에서 수행했던 nail의 인발시험을 분석하여 지반과 네일의 마찰특성을 파악하고 하중전이 특성을 분석하고자 하였다.

2. Soil Nailing의 설계

soil nailing은 일반 보강토의 기본 개념과 마찬가지로 흙이 받을 수 없는 인장력을 nail이 받게 함으로 흙 구조물의 안정성을 증가시켜주는 개념이다. 이러한 구조물의 설계는 흙 구조물의 안정성을 평가 할 수 있는 한계평형법(limit equilibrium

*1: 정회원 (주)현대산업개발 엔지니어링 팀장
*2: 정회원 (주)B&G건설엔지니어링 연구소 소장
*3: 정회원 서울시립대학교 토목공학과 교수

method)이 널리 사용되고 있다. 이 해석 방법은 우선 soil nailing 구조물의 파괴면을 가정하고 파괴면위의 nail로 보강된 흙구조체의 평형을 고려하여 안전율을 계산하는 작업을 반복하여 최소 안전률을 구한다. 그림 1에서 보는바와 같은 soil nailing으로 보강된 사면에서 nail에 작용하는 최대 인장력이 작용하는 점을 연결하면 가상파괴면을 얻을 수 있다.

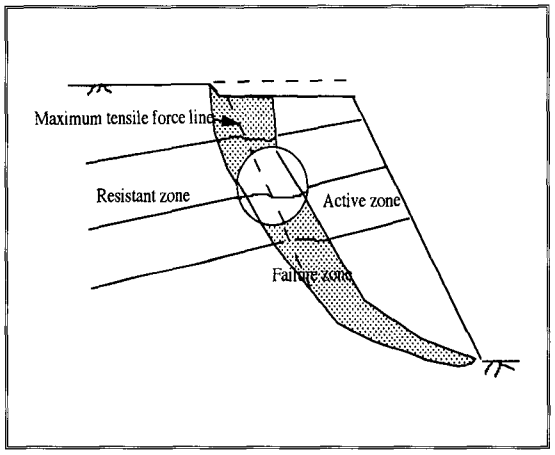

그림 1. soil nailing 사면의 파괴영역

이러한 파괴면이 soil nailing 구조물을 주동영역(active zone)과 저항영역(resistant zone)으로 나누며 soil nailing 구조물에 변형이 발생하면, 이러한 변형에 대한 저항력은 저항영역까지 설치된 nail에 인발력을 발생시키다가 주동영역의 변형이 커지면서 확대된 파괴영역에서 nail에 휨(bending)과 전단력이 작용하게 된다. 그러므로 nail로 보강된 흙구조물에서 초기 미소변형 상태에서 nail에는 인장력만 작용하게 되나 어느정도 변형이 발생하여 파괴상태에 가까워지면 휨 모멘트와 전단력도 nail에 작용하게 된다.(Schlosser and Unterreiner, 1991) 그러므로 nail에 작용하는 힘은, soil nail구조물이 변위에 대한 함수로 soil nail 구조물이 공용중인 상태에서는 soil nail에 작용하는 힘은 인장력만 작용하게 된다. 하지만 변위가 커지면서 파괴상태에 이르게 되면 nail에 작용하는 힘은 전단력과 모멘트 및 인장력이 작용하게 된다. soil nailing 설계시 이러한 전단력과 모멘트를 설계에 반영하는 프랑스 설계 방법이 있는 반면 nail에 작용하는 인장력만 고려하는 독일, 미국식 설계방법이 있다. 지반과 nail의 상호작용중 인장력이 작용하는 nail의 마찰특성은 대단히 중요하다. 이러한 마찰특성은 soil nailing 설계시 중요한 설계 인자로써 정확한 마찰특성은 인발시험 및 전단시험으로 평가할 수 있다. 국내에서는 이런 인발시험이 soil nailing 시공 중 설계 인자를 확인하는 차원에서 현장시험으로 행하여지고 있는 실정이며 다음 설계에 반영은 제한적으로 이루어지고 있다. 아직까지 국내에서는 풍화암층과 Nail의 상호작용을 규명하기 위한 연구가 미흡한 실정으로 본 기술자료에서는 풍화암층에 사면보강용으로 시공되고 있는 soil nailing 현장에서 수행한 인발시험을 분석하여 풍화암-nail의 하중전이특성에 대해 설명하고자 한다.

3. 인발 시험

3.1 현장개요

현장 사면은 도로의 절토구간에 위치하며 사면의 수직고는 35.7m이고 연장은 180m로써 사면경사는 1:1을 이루고 있는 7단의 사면이다. 호우시 사면우측 2~3단 사이에 원호형태의 사면붕괴가 발생하여 soil nailing으로 보강하였다. nail은 Ø29mm 이형철근을 10m길이로 Ø100mm로 천공된 지반에 삽입하고 grouting 하였으며 1.5m간격으로 그림 2와 같이 사면과 30°의 각도로 nail을 시공하였다.

사면의 지반은 풍화가 심하게 진행된 화강암질 편마암으로 밝은 회색을 띤 풍화암으로 코아는 회수되지 않고 슬라임만 회수될 정도로 풍화가 진행되어 있으며, 풍화암의 심도가 사면바닥까지 연장되어 있는 N치 50 이상인 지반으로 천공시 공벽이 붕괴되지 않고 유지되었으며 그라우팅시 압력없이 중력에 의해 주입되도록 하였다. 그림 3은 현장 시공조건과 같게 현장에서

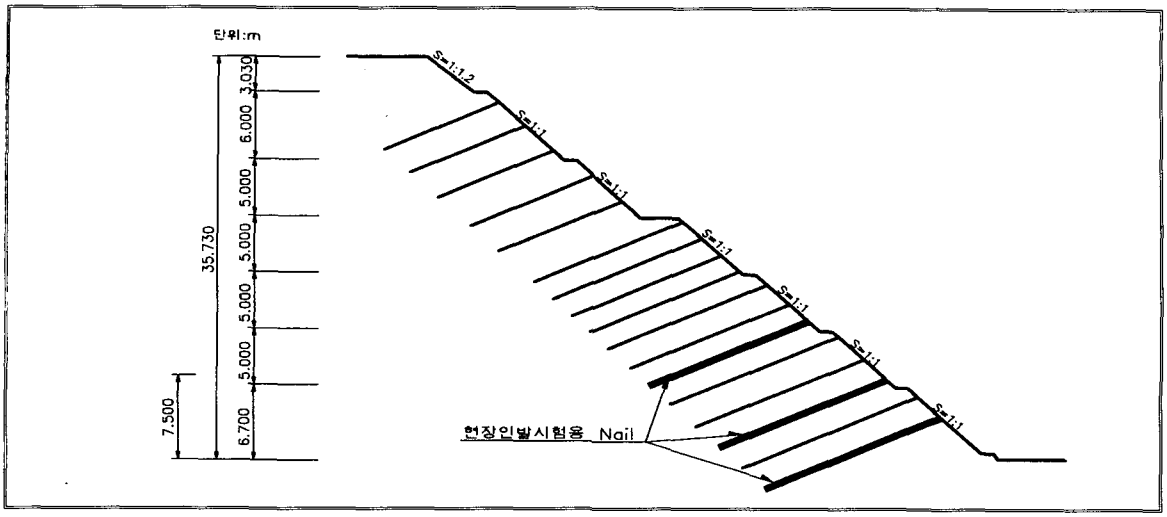

그림 2. 사면보강 단면

그림 3. 양생 후 시멘트 그라우팅된 철근의 형상

nail 시공후 2주 양생 한 다음 굴착기로 주위를 굴착하여 회수한 그라우팅된 철근을 보인 것이다.

그림3에서 보는 바와 같이 철근주위로 천공직경과 같은 그라우팅 구체가 형성되었으며 그라우팅 구체는 불규칙한면을 보이고 있다.

3.2 현장인발시험

시공된 soil nailing의 마찰계수 및 하중전이 특성을 파악하기 위하여 9회의 현장인발 시험을 계획하였다. 이론적으로 마찰계수는 상재하중과 직접적인 관계가 있으므로 이러한 마찰특성을 파악하기 위하여 사면높이를 다르게 하면서 3회씩 인발시험을 수행하였다. soil nail을 시공한 지반이 풍화암이므로 인해 상당한 마찰력이 발생할 것으로 예상되므로 사용한 10m 철근전체 길이에 그라우팅을 할 경우 그라우팅된 철근이 인발되지 않아 soil nailing의 하중전이 특성을 파악할 수 없으므로 시험 철근에 대해서는 천공 후 0.8, 2.8, 5.5m 깊이까지만 그라우팅 하도록 하였다. 이렇게 일정한 깊이까지의 그라우팅은 soil nail 시공 중 그라우팅 속도, 그라우팅 양 등을 조절해 가면서 시행 착오를 통해 그라우팅 깊이를 조절 할 수 있으며 막대자를 그라우팅 후 천공된 홀(hole)에 삽입하여 최종 그라우팅 깊이를 확인하였다. 이렇게 천공한 홀의 앞부분을 그라우팅 하지 않고 인발시험을 수행하는 것은 사면 전면부까지 그라우팅 했을 경우 단효과(end effect)로 인해 사면 전면부에서는 상재하중이 제대로 nail에 전달되지 않기 때문이다. 그러므로 그림 2와 같이 사면의 높이가 다른 3장소에서 3가지 경우의 그라우팅 깊이로 총 9개의 인장시험을 수행하였다. 하지만 0.8m 깊이 그라우팅의 경우 인발시험 중 그라우팅 된 철근이 인발되었고 5.5m 깊이 그라우팅의 경우는 철근이 파단(rupture)되어 2.8m 깊이까지 그라우팅한 철근의 인발시험 결과

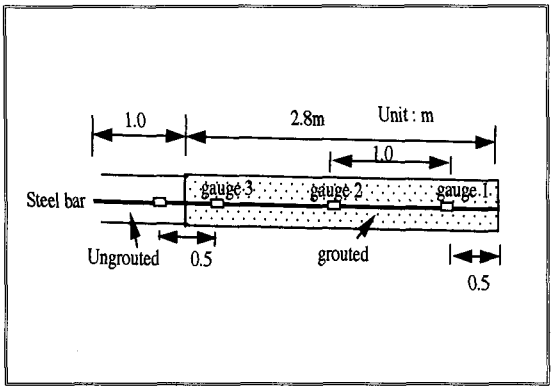

그림 4. 시험 nail에 설치한 변형률게이지의 위치

만 분석하기로 하였다. 인발시험 중 하중전이 현상을 효과적으로 이해하기 위하여 철근에 변형률게이지(strain gauge)를 부착하였다. 철근에 사용된 변형률게이지는 철근 양쪽면에 철근과 나란하게 2개씩 부착하여 보다 정확한 변형을 측정하도록 하였으며 철근위치에 따른 하중전이 특성파악을 위해 그림 4와 같은 간격으로 변형률게이지를 설치하였다. 또한 인발시험시 철근만의 변형특성을 파악하기 위해 그라우팅되지 않은 부분에도 변형률게이지를 설치하였다.

3.3 실내인장시험

사용한 철근 SD40은 일반적으로 항복응력이 4,000kg/㎠인 것으로 알려져 있다. 하지만 soil nailing의 하중전이 특성을 이해하기 위하여 SD40 철근에 대한 인장시험을 수행하며 철근의 응력-변형관계를 파악하였다. 만능시험기(UTM)를 이용하여 철근 중앙에 변형률게이지를 양쪽으로 부착하고 인장시험을 수행하였다. 또한 그림 3에서와 같이 현장에서 회수한 그라우팅된 철근에 변형률게이지를 부착하고 철근 주위의 시멘트 몰탈 그라우팅도 그라인더로 대칭되게 편편하게 갈아 2개의 콘크리트용 변형률게이지를 설치하여 철근인장시 철근과 콘크리트의 변형을 동시에 측정하였다.

4. 실험 결과 및 분석

사면보강용 soil nailing에 사용한 ø29mm SD40 철근의 응력-변형 관계는 그림 5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 철근의 항복응력은 3950kg/cm^{2}로 측정되었고 그때의 변형률은 2450μ이었다. 항복응력이 도달하기까지 응력-변형거동은 탄성을 보였으며 이후의 거동은 소성거동으로 응력의 증가없이 변형만 증가하다가 변형경화(strain hardening)현상을 보이며 총 하중이 36.1ton까지 증가하면서 철근이 파단(rupture)이 일어났다. 하지만 사용한 변형률계의 한계가 초과되어 항복응력 이후 극한응력 5450kg/cm^2 발생시 변형은 측정하지 못했다.

그림 6는 그라우팅된 철근과 그라우팅되지 않은 철근의 하중-변형관계를 비교한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 그라우팅된 철근이 그라우팅되지 않은 철근보다 탄성영역이 확대된 것으로 확인되었는데, 그라우팅된 철근이 1.2ton 정도 탄성영역이 확대된 것으로 조사되었다. 하지만 항복응력에 도달하기까지 응력-변형관계는 변화가 없었다.

그림 7은 그라우팅된 철근의 인장실험시 시멘트 몰탈의 하중-변형관계를 나란히 부착된 콘크리트용 변형률계에서 측정한 결과를 보인 것이다. 그림에서

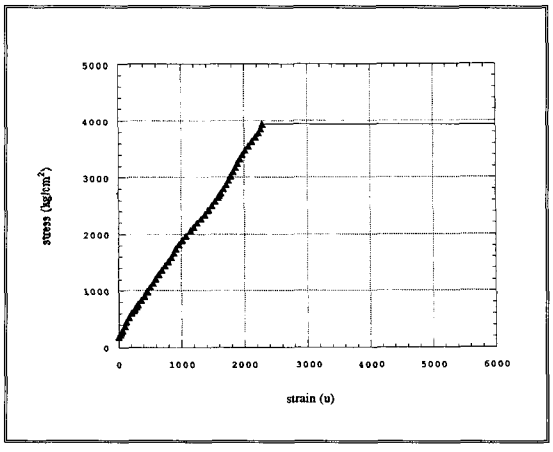

그림 5. 철근의 응력- 변형관계

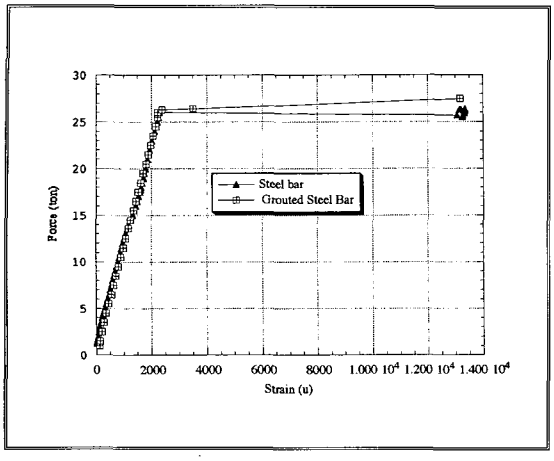

그림 6. 그라우팅된 철근과 그라우팅 되지 않은 철근의 하중-변형관계

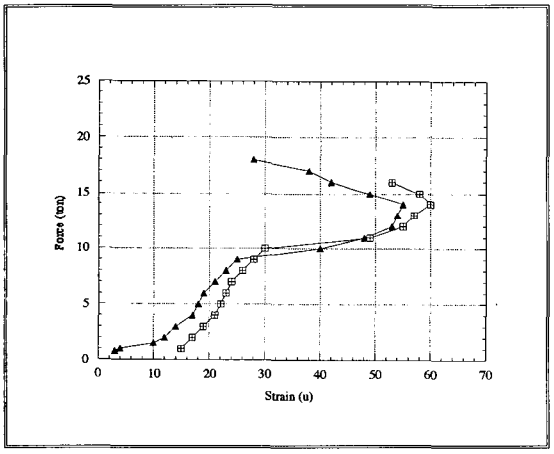

그림 7. 그라우팅 시멘트의 응력-변형관계

보는 바와 같이 낮은 변형률 범위에서는 하중-변형률관계가 선형을 보이다가 변형률이 30μ에서 50μ까지 범위에서는 작은 하중에서도 변형이 크게 증가하는 양상을 보이고 있다. 이러한 양상은 시멘트재료의 취성파괴(brittle failure)특성으로 인해 철근에 비해 작은 변형률에서 시멘트 몰탈부가 파괴에 이르는 것으로 조사되었다. 이러한 시멘트 몰탈부의 파괴는 취약부에 미세균열이 발달하면서 작은 하중증가에도 변형률이 크게 증가하게 되고 미세균열이 발달함에 따라 하중-변형거동이 비선형 거동으로 바뀌게 된다. 하지만 시멘트 몰탈부가 비선형 거동을 보이는 하중단계에서도 철근의 거동은 여전히 탄성을 보이다가 변형률이 2460μ 정도로 철근이 항복응력에 도달하면 시멘트 몰탈부에 발생했던 인장균열은 폭이 3mm 이상으로 그림 8과 같이 확대되다가 항복응력 이후에는 철근에서 시멘트 몰탈이 탈락하였으며 이러한 현상은 본 지반과 같이 풍화암층에 nail이 설치될 경우 지반의 구속 응력하에서도 nail에 항복인장응력이 작용하게 되면 시멘트 몰탈이 철근에서 탈락하면서 nail이 인발되는 파괴형태를 보일 것으로 추정되며, 실제로 현장인발시험 결과 대부분의 파괴 형태가 철근의 항복응력 전후에서 그림 9와 같이 철근이 시멘트 몰탈부와 분리되면서 철근만 인발되는 파괴형태로 현장인발시험이 종료되었다.

인장력이 작용하는 nail의 인발파괴 형태는 시멘트 몰탈부와 철근사이에서 발생하는 부착력과 지반

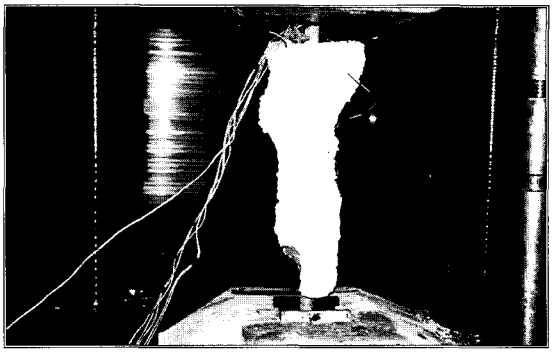

그림 8. 철근의 인장력에 의한 시멘트 그라우팅의 균열발생

그림 9. 현장 인발시험시 철근의 인발파괴형태

과 시멘트 몰탈 사이의 전단저항력 중 적은쪽에서 파괴가 발생하게 된다. Chang and Morris(1997)와 같이 모래나 점토지반에서 수행한 현장인발시험의 경우 지반과 시멘트 몰탈 사이에서 전단파괴가 대부분 발생하므로 지반과 시멘트 몰탈 사이의 전단특성을 파악하는 것은 nailing의 하중전이 특성을 파악하는데 중요한 요소이다. Schlosser and Elias(1978)에 의하면 토사지반에서 수행한 현장인발시험의 경우 콘크리트 몰탈과 지반사이의 마찰계수(coefficient friction)는 nail 인발시 주변지반이 전단에 의한 체적팽창으로 인해 상재하중의 크기에 관계없이 일정한 것으로 알려져 있다. 그러나, 풍화암에서 nail 시공시 nail의 하중전이 특성은 토사지반과는 차이가 있을 것이다. 즉 그림 9와 같이 풍화암에서 시멘트 몰탈과 지반사이의 전단강도가 시멘트 몰탈과 철근사이의 부착력보다 크므로 nail의 인발파괴는 시멘트 몰탈이 철근에서부터 분리되면서 파괴가 발생하게 된다. 또한 토사지반과 같이 전단에 의한 체적팽창의 영향도 없어 지반과 nail의 전단특성이 토사지반과는 다를 것으로 판단된다. 현장인발시험시 시멘트 몰탈 그라우팅이 되지 않은 부분에 그림 3과 같이 변형률계를 설치하여 인발시험시 하중과 변형률의 관계를 파악하고자 하였다. 지중에 설치된 시멘트 몰탈 그라우팅 부분에서 변위가 발생하

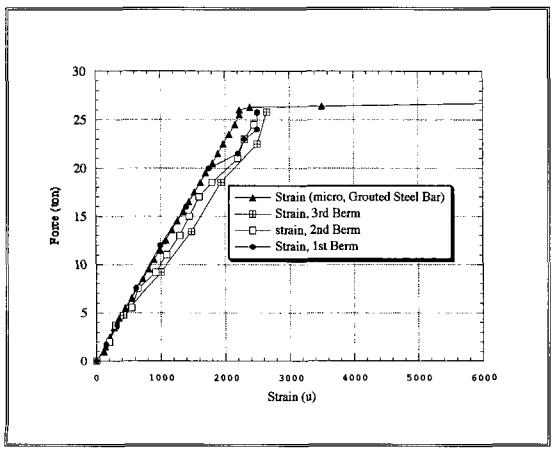

그림 10. 현장인발시험시 nail의 하중-변형률 관계비교

기 전까지는 실내 인장실험에서와 같은 하중-변형률 관계를 얻을 수 있다. 이러한 실내인장시험과 현장인발시험의 결과를 비교한 것이 그림 10이다.

그림에서 보는 바와 같이 초기하중하에서는 인발시험과 인장시험의 결과가 일치하는데 이는 지반중의 시멘트 몰탈 그라우팅체의 변위가 발생하지 않은 것을 의미한다. 그러나 인발하중이 커지면서 두 시험 결과가 차이를 보이기 시작하는데 이는 지반중의 시멘트 몰탈 그라우팅체에 변위가 발생하기 시작했다는 것을 의미한다. 그림에서와 같이 소단이 높아질수록 즉 nail에 작용하는 상재하중이 클수록 두 시험의 차이가 시작되는 하중이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 상재하중이 클수록 시멘트 몰탈 그라우팅체와 지반에 작용하는 전단저항력이 증가하여 변위가 발생하는데 보다 많은 인발력이 필요하게 된다. 하지만 이러한 변위의 발생은 시멘트 몰탈 그라우팅체가 인발파괴에 즉시 도달하지 않고 시멘트 그라우팅체와 지반사이에 발생하는 전단변형이 최대 전단강도(peak shear strength)에 도달할 때까지 인발저항력은 계속 증가할 것이다. 하지만 이러한 인발저항력이 커지면 시멘트 그라우팅체에 과도한 인장균열이 발생하면서 부착응력을 초과하고 계속적인 철근의 변위는 결국 그라우팅체가 철근에서 탈락되면서 철근만 인발되는 파괴양상을 보이게 된다. 하지만 시멘트 몰탈 그라우팅체와 지반과의 전단 변위는 아직도 항복응력상태에 도달하지 않으므로 결국 현장지반과 같은 풍화암반에서 nailing의 하중전이는 시멘트 몰탈 그라우팅체와 철근의 부착응력에 지배되는 것임을 알 수 있다. 또한 풍화암지반에서 토사지반에서와 같은 전단시 체적팽창(dilatancy)의 영향이 무시됨으로 상재하중이 nail의 인발저항력에 영향을 미치는 것임을 알 수 있다. 이러한 상재하중에 대한 nail의 인발력에 대한 영향은 그림 11에서도 알 수 있다.

그림 11은 현장인발시험시 nail에 작용하는 인발력과 변위의 관계를 그린 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 상재하중이 커지면서 즉, 사면하단으로 내려

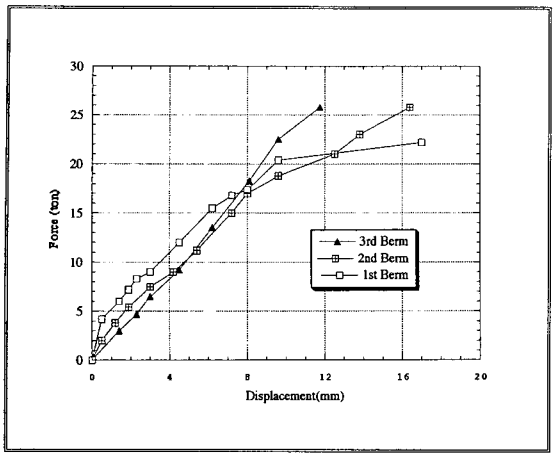

그림 11. 인발시험시 인발력-변위관계

갈수록 인발력이 증가하는 경향을 초기변위상태에서 볼 수 있으며 철근의 항복하중에 가까워지면서는 그러한 경향을 볼 수 없는데, 이는 철근에 변위가 어느 정도 발생하면 결국 철근과 시멘트 몰탈 그라우팅의 부착력이 인발저항력을 지배하기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 철근과 콘크리트 몰탈 그라우팅의 부착력을 현장인발시험의 결과로부터 계산한 것이 표 1이다.

표 1에서와 같이 soil nail의 최대 인발력으로부터 계산한 시멘트 몰탈과 철근의 부착응력은 9~10kg/cm^{2}로 계산되었으며 이때의 항복인발력,

표 1. 철근과 시멘트 몰탈 그라우팅의 부착력

구 분	그라우팅 길이 (m)	Soil Nail의 최대 인발력 (ton)	극한부착력 (kg/cm^2)
소단 1단	2.8	23.0	9.0
소단 2단	2.8	25.5	10
소단 3단	2.8	25.5	10

25.5ton은 철근의 항복응력인 3950kg/cm^{2}보다 적은 3860kg/cm^{2}으로 철근이 인발될때 철근은 항복응력에 도달하기 전이었다. 그러므로 nail의 시멘트 몰탈과 지반의 마찰저항은 본 현장 지반의 경우 최소 10kg/cm^2 이상인 것으로 평가할 수 있겠다.

그림 12는 현장인발 시험중 인발력이 가해졌을 경우 변형률의 분포를 보인 것이다.

그림 13은 인발시험중 철근의 전면부와 후면부에 설치된 변형률계에서 측정한 변형률의 분포를 보인 것이다.

그림 12,13에서 보는 바와 같이 인발하중이 증가함에 따라 철근 전면부에서부터 점차적으로 하중을 분담하다가 점진적으로 철근 후반부로 전이되는 양

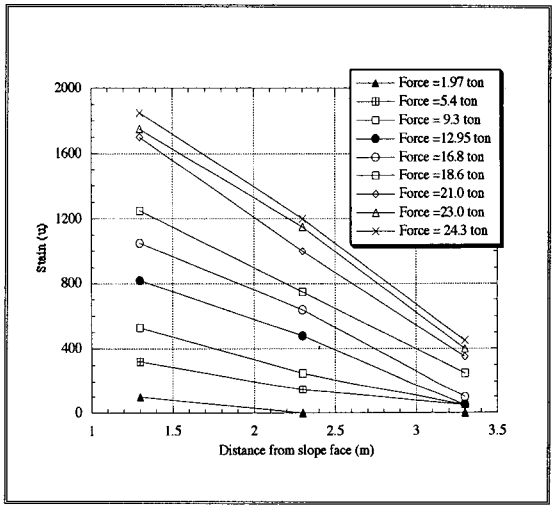

그림 12. 인발하중에 따른 철근 길이에 따른 변형률의 분포

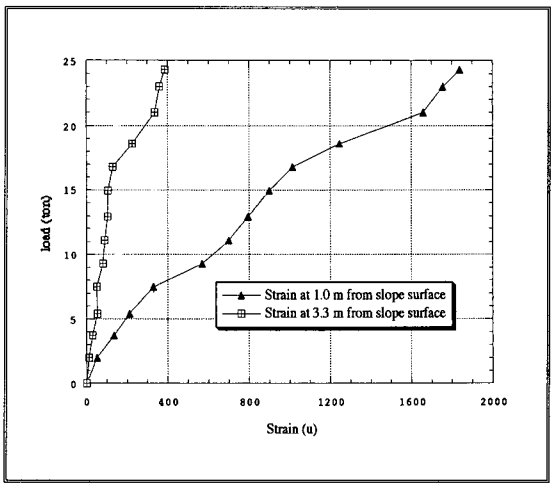

그림 13. 인발시 철근전면부와 후면부에 발생한 변형률 분포

상을 보이는데 이는 인발하중이 작용함에 따라 지반과 시멘트 몰탈사이에 전단변위가 점진적으로 철근 후반부로 전달되는 점진파괴(progressive failure) 형태를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 하중전이 특성은 말뚝기초에서 주변마찰력이 말뚝을 따라 전달되는 것과 비슷한 거동을 보인다. 이렇게 지반과 시멘트 몰탈 사이에 발생한 전단강도가 점차 잔류강도(residual shear strength)에 이르고 점진적으로 철근의 하단부까지 잔류강도에 이르면 nail 전체가 강체운동(rigid body motion)을 하게 된다. 하지만 본 현장의 인발시험은 지반의 전단강도 보다는 철근과 시멘트 몰탈 그라우팅체 사이의 부착력이 먼저 항복에 이르러 철근에 강체운동이 발생하였다.

5. 결론

풍화암 사면보강 중에 실시한 현장 인발시험과 실험실에 실시한 철근 및 그라우팅된 철근의 인장시험 결과를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었으며 일반적인 결과를 얻기 위해서 많은 시험과 연구가 필요한 것으로 판단된다.

1) SD40 ø29mm 철근의 인장시험결과 항복 응력은 3950kg/cm²이었고 항복이후 계속적으로 변형이 발생하며 연성파괴(ductile failure) 형태를 보이다가 5450kg/cm²에서 파단(rupture)이 발생하여, soil nail의 파괴형태가 인발파괴보다는 철근의 파단이 일어나는 파괴형태인 경우의 인발저항력을 평가할 수 있었다.
2) 그라우팅된 철근의 인장시험결과 철근의 인장시험보다 탄성영역이 조금 확대되었으며 그라우팅된 시멘트 몰탈은 철근의 항복하중에서 3mm이상의 인장균열을 보이다가 하중이 증가하면서 철근에서 이탈되었다.
3) 2)와 같은 결과는 마찰저항이 큰 풍화암과 같은 지반에 soil nailing을 시공했을 경우 인장력이 작용하는 nail의 파괴는 nail의 파단(rupture) 보다는 nail 주위의 그라우팅재가 손상되면서 nail이 인발파괴(slippage)형태를 보였으며 이때 철근과 시멘트 몰탈 그라우팅의 부착응력은 9~10kg/㎠ 정도로 평가되었다.
4) 현장인발시험결과 인발저항력은 상재하중이 직접적인 영향이 있는 것으로 조사되었으며, 인발하중이 증가하면 그라우팅체에 미소변위가 발생하게되면서 그라우팅체와 지반사이에 최대전단응력이 발생할 때까지 인발하중이 증가하면 그라우팅체가 철근에서 분리되면서 결국 철근의 인발파괴가 발생한다.
5) 인발시 nail의 위치에 다른 응력 분포를 조사한 결과 nail의 전면부가 파괴가 발생하기 전에 이미 변위가 nail 후반부까지 전달된 형태로 nail 전체가 변형 분포는 다르지만 일체로 거동하는 양상을 보인다.

참고문헌

1. Chang, K.T. and Morris, J.D. (1997) "Pull-out resistance of soil nails in sand and clay", Proc. : Ground Improvement Geosystems, pp.414-421.
2. Cartier, G. and Gigan, J.P. (1983) "Experiments and observations on soil nailing structures", Proceeding of the 8th ECSMFE, Helsinki, Finland, pp.473-476.
3. Guilloux, A. Schloss, F., and Long, N.T.(1979) "Etude du frottement sablearmatueen labortories" , International Conference of Soil Reinforement., Paris France, pp 33-40
4. Michell, J.K. (1987), "Reinforad of earth slopes and embankments", NCHRP-290, Transportation Research Board, 323 p.
5. Schlosser, F. (1982)," Behavior and Design of Soil Nailing", International

Symposium on Recent Developmemt in Ground Improvement Techniques, Bangkok.
6. Schlosser, F. and Elias, V.(1978) "Friction in reinforced earth", Proc, symp : Earth Reinforcement, ASCE, pittsburgh, pp.735-763.
7. Recommendations CLOUTERRE (1991), "Soil Nailing Recommendations", French National Research Project, 302p.
8. Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations(1991) FHWA-RD-89-193, 210 p.

'99 정기 가을학술발표회 개최 및 논문집 광고 게재 안내

한국지반공학회에서는 1999년10월 30(토) '99 정기 가을학습발표회를 계최할 예정입니다. 이미 60여편이 넘는 눈문이 접수되어 각 구두발표와 포스터 발표로 진행할 계획입니다.

회원 여러분의 많은 호응에 감사드리며 다음과 같이 학술발표회 개최 및 논문집 광고 게재를 안내하오니 적극 참여해 주시기 바랍니다.

다 음

1. 일시: 1999년 10월 30일(토) 09:00~

2. 장소: 성균관대학교 자연과학캠퍼스 대강당

3. 회비: 정회원 30,000원 비회원 40,000원 학생회원 15,000원
(각 논문집 1부, 식사 · 음료 제공/논문집 별도 구입시 15,000원)

4. 논문집 광고 게재 안내

① 광고료: 흑백 전면 500,000원(A4) 칼라 전면 800,000원(A4)

② 신청마감: 1999년 9월 30일(목)
(게재할 광고 내용은 10월 2일(토)까지 사무국에 도착될 수 있도록 바랍니다. 단, 필름이나 교정이 필요없는 상태는 10월 9일(토)까지 도착가능하도록 협조 바랍니다.)

③ 입금처: 한국주택은행(예금주:한국지반공학회)
534637-94-100097