

한국 서해안의 연약한 해성 퇴적층에 관한 지질공학적 고찰 Engineering Geology of Soft Marine Sediments along the Western Coastal Area of Korea

송병무(Song, Byongmu)

도우 엔지니어즈

요약/Abstract

산업의 발달과 인구의 증가는 연약한 해성 퇴적층에서 여러가지 형태의 토목공사를 요구하고 있다. 이와같은 연약층은 침하와 안전성 이외에도 많은 시공상의 문제를 주고 따라서,공사비의 상승과 공사의 지연을 초래한다. 여러가지 사정에 기인한 문제 자체의 근본적인 이해 부족은 시공중에 대규모 파괴도 유발하곤 한다.

이와같은 문제의 해결은 여러분야의 전문지식이 필요한데, 이 논문은, 주로 고기상학, 퇴적학 및 토질 역학등 학문의 부분을 응용하여 주어진 과제를 정립하고 기본적인 해석방법과 방향을 제시하려는 초보적인 시도이다.

Development of industries and increasing population demand civil engineering projects of various types and sizes to be located along the coastal areas where extremely soft marine sediments are encountered. These sediments present settlement and stability problems, among others, and consequently, cost increase and schedule delay are resulted. Insufficient understanding of the basic nature of the soft formations during design and construction phases result in catastrophic failures all too often.

In order to provide safe and economic solutions to these problems, utilization of various related disciplines should be made for analyses. However, this paper will primarily rely in portions of paleoclimatology, sedimentology, and soil mechanics to define the problems and to provide basic understanding of the sediment, and the directions and methodology for the analyses.

서론

고기상학

인간의 역사, 현재의 동물과 식물 그리고 지형의 변천등은 제4기와 밀접한 관계가 있을뿐만 아니라 현재 40억을 넘는 인간의 생활은 대부분 비교적 낮은 제4기층 위에서 이루어지고 있기때문에 우리는 제4기에 관한 연구활동을 하는 것이다.

제4기학이라 함은 국제 제4기학 연합(INQUA)이 보여주는 것같이 역사학으로 부터 토질역학을 포함하는 극히 광범위한 분야를 가진 학문이다.

이 논문은 연약한 해성 퇴적층 위에 토목 공사의 성공적인 완료를 위한 조사, 설계 및 시공에 반드시 필요한 과정을 직접적으로 관계가 있는 몇분야 학문의 부분을 이용하는 방향제시이다.

제4기는 극심한 온도변화를 경험했다. 온도의 극심한 변화는 해수면의 변화를 초래했는데 온도의 하강은 바다에서 증발된 수분을 빙하로 변위했으니 평균해수면의 하강을 동반했고 그후에 온도의 상승은 해수면의 상승을 가져 왔다. 빙하의 체적의 증가와 감소가 유발한 해수면의 변화는 Glacio-Eustatic sea level changes 라 한다. 제4기에 있었던 빙하기와 간빙기 그리고 이것에 상응하는 온도의 변화 (West,1968)는 그림 1에 주어졌다. 빙하의 면적과 시간관계 (Bernard,et al, 1962)는 그림 2에 주어졌다.

현재 한국 서해안 표면에 있는 극히 연약한 해성 퇴적층은 Late Wisconsin 빙하기후의 온도 상승에 따른 퇴적층이다. 과거 13만년

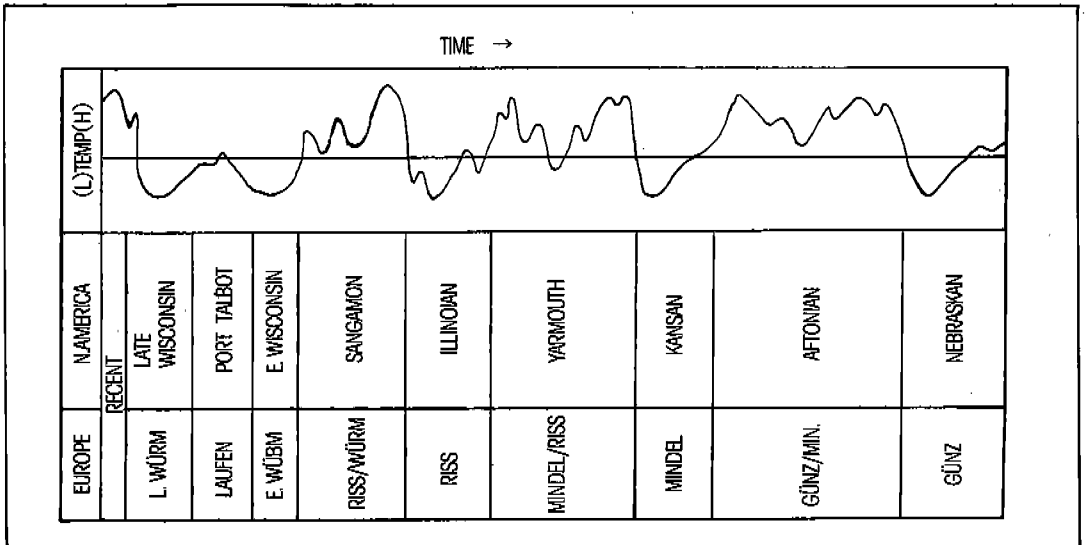


그림 1. 빙하기의 온도 변화

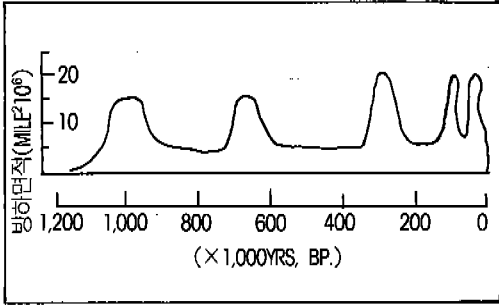


그림 2. 빙하의 면적

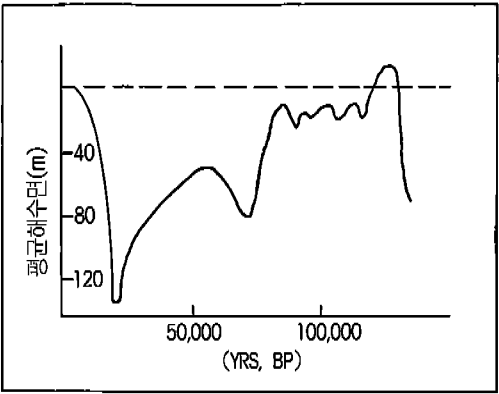


그림 3. 해수면 변화

간의 해수면의 온도에 의한 변화는(Shackleton, et al, 1973) 그림 3에 주어졌다. 그리고 현재로 부터 20만년 전의 해수면의 변화(凌, 1980)는 그림 4에 주어졌다. 제3기와 제4기의 경계를 어디에 두는가 또는, 왜 온도의 극심한 변화가 발생 하였는가 등은 이 논문의 범위 밖으로 고려하여 언급을 않겠다. 러시아의 지질학자는 제4기를 인류기(人類紀)라고도 기술 한다(웨레시차겐, 1979) 奏注

그림 5는 중국 산둥반도 지역에서 측정한 과거 12,000년 이후의 해수면의 변화곡선이다 (Geng, et al, 1987). 현재 문제가 되는 한국 서해안 표층에 존재하는 극히 연약한 해성 퇴적층이 이기간에 형성되었다. 후기 위스칸 신 빙하기인 약2만년전 부터 온도는 계속 상승하여 현재에 이르렀다. 그림 5는 과거 7천년 동안 해수면이 현재보다 높은 기간이 상당히 있었다는 것을 보여준다.

여기서 우리는 한가지 가정을 해야하는데 이것은 과거 7천년 동안에 지각변동 작용으로

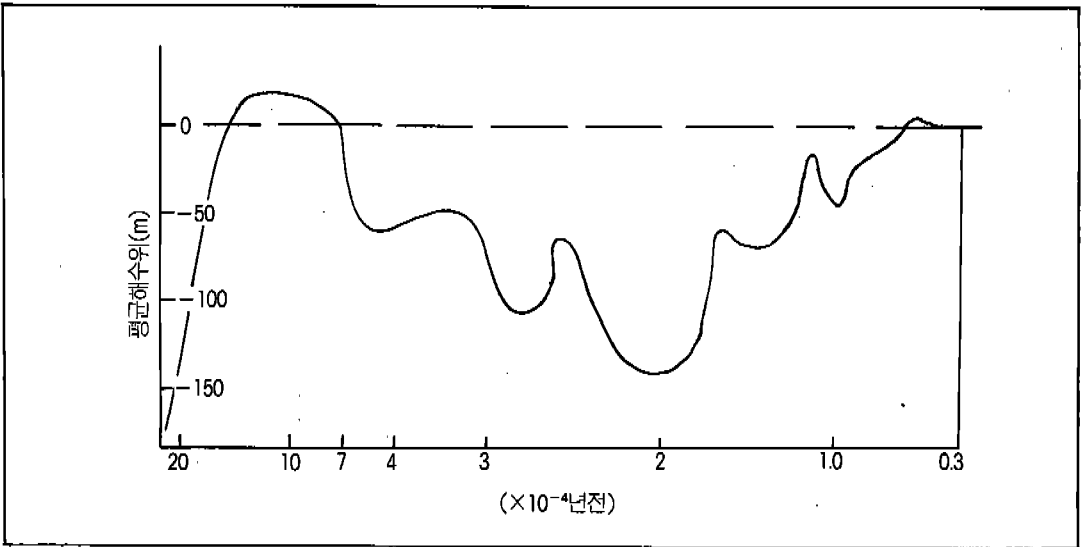


그림 4. GLAC10-EUSTATIC SEA LEVEL 변화

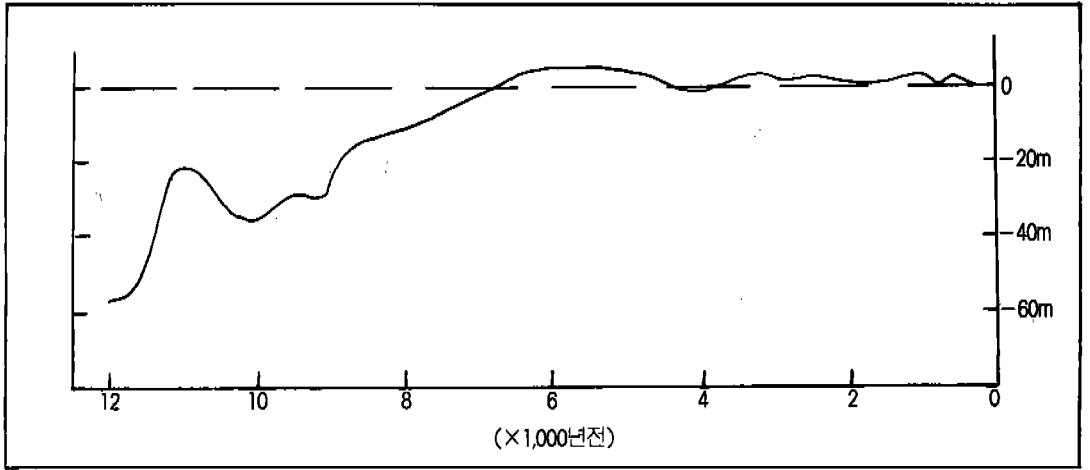


그림 5. 중국 산둥반도의 해수면 변화

해안 지대의 표면의 상승 또는 침강이 없었다는 것이다. 이것이 과연 옳은지 아닌지는 현재로서는 필자는 판단할 수 없다. 경남 울산의 학생 공원내에 이순신 장군이 선박을 묶어 놓았던 장비가 현재는 상당히 내륙지방에 위치했다고 한다. 동해안이 상승하고 서해안이 침강하는 것 같다는 설도 있으나 확인은 하지 못한 상태이다. 논문의 진행상 한국 서해안의 지각변동에 기인한 해저의 변동은 없었다는 가정하에 분석한다.

퇴적학

한국 서해안, 특히 인천항의 서편에 있는 극히 연약한 해성 퇴적층의 하부는 일반적으로, 현재의 평균해수면 밑 약 10m 내외이다. 그렇다면 그림 5는 서해안에 있는 극히 연약한 해성 퇴적층은 약 8,000년전부터 퇴적작용이 시작되었다는 것을 보여준다(해저의 지각변동 작용에 의한 변화가 없었다는 가정을 한 것이다). 또한 그림 5의 해수면 변화곡선은

이 해성 퇴적층은 퇴적후 해수면 상부로 노출을 경험하지 않았다는 것도 보여준다.

그림 6(Chough, 1983)은 황해와 동중국해 부근의 수심도이다. 후기 위스칸신 빙하 전성기의 수심은 약 120m 에서 150m 정도 었

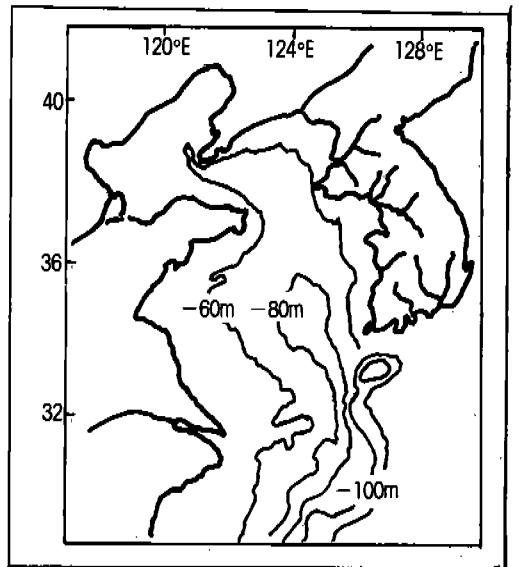


그림 6. 황해수심도

음으로 해침(Transgression)의 방향은 제주도를 중심으로 동북 방향임을 알수있다. 이와 같은 해침이 시작하기 전의 황해 바닥은 대기에 노출되었고, 따라서, 건조(Desiccation) 되었을 것이다. 토질 역학적인 견지에서 보면 이와같은 건조를 받은 층은 상당히 높은 강도를 가지고 있을 것이다. 왜냐하면 이 건조 현상은 토질 내부의공극수에 장력(Surface tension)을 주어 과압밀상태(다음에 설명)로 만들었기 때문이다.

상승하는 해수면은 과압밀 상태의 바다의 바닥의 표면의 토질을 유동화 시켰고 또, 미립자들은 현탁(Suspension) 상태로 갔을 것이다. 이 당시도 조수의 간만의 차가 있었으니 이와같은 침식 작용은 매우 활발했다고 생각할 수 있다. 또한 후기 위스칸신 빙하기에도 황하와 양자강은 존재했고 따라서 이 두강은 노출된 대륙붕에 유로를 유지했을 것이다. 이와 같은 강의 유로는 그림 7에서 볼수 있다(汪, 1990). 여기서 유의할 것은 후기 위스칸신 빙하기 때의 황하의 유로는 제주도 북쪽을 지나 대륙붕 밑으로 갔다는 것이다.

이 단계에서 인천 서쪽의 해성연약층의 퇴적물이 어디서 어떻게 왔는가 하는것이 문제가 될 수도 있는데 이것은 이 논문의 범위외에 있다. 상상하건대 여러곳에서 왔을 가능성이 있으나 굵은 입자를 가진 퇴적물은 거리상으로 볼때 한강의 영향을 제일 많이 받은 것으로 판단된다. 앞으로 연구를 해야 할 분야라고 생각된다.

후기 위스칸신 빙하기의 전성기에 황하와 양자강이 대륙붕을 침식해서 유로를 만들었다는 것은 그림 7에서 보는 바와 같다. 그 빙하기 녹음으로 형성되는 해침은 침식된 유로와 기타 지역에 연약한 퇴적층을 형성

한다. 따라서 그와 같은 유로내부의 연약층의 깊이는 유로 양쪽보다 두껍다. 울산 지역의 연약층에서 이와같은 과정으로 형성된 연약층 두께의 극심한 차이를 당면하였다. 조사 지역에 하천이 존재할 때 빙하기가 형성한 침식된 유역에 인근보다 훨씬 깊은 연약층의 가능성을 고려해야 한다.

토 질 역 학

토질역학은 토목공학의 일부분인데 구조물의 기초설계, 사면의 안정성 검토, 기타 현재 있는 지표면에 어떤 변화를 줄 때의 영향등을 취급하는 일종의 이론적인 학문이다. 따라서 토질역학은 지질학과 밀접한 관계가 있고 더 나아가서 응용지질학이라 할 수도 있을 것이다. 그러나 토질역학을 학교에서 공부할 때 그들은 지질학을 공부할 기회가 거의 없는 것으로 알고 있다. 이것은 근본적으로 시정 되는 것이 좋을 것이다.

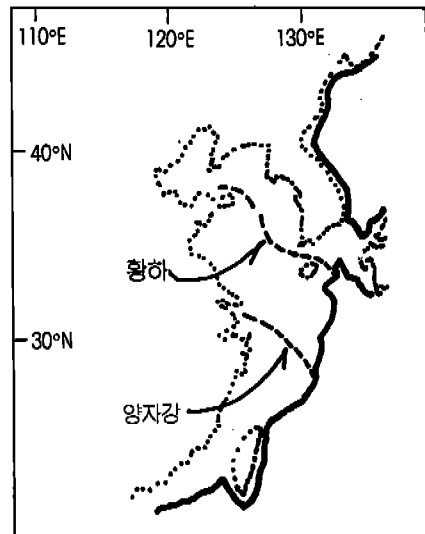


그림 7. LATE WISCONSIN 때의 황하와 양자강

토질역학이란 학문은 1920년대에 지질학자 (Karl von Terzaghi)에 의해서 그 근본적인 체계가 갖추어 졌고 또 그의 생애에 눈부신 발전을 하였고, 현재에도 그분이 창립한 개념과 방법에 근본적인 변화없이 사용되고 있다. 그러나 다른 학문에 비해서 토질역학은 그 형성과정의 비교적 짧고 또 사용하는 기본적인 이론인 탄성론(Theory of Elasticity)이 자연상태나 인공적인 변화를 경험한 흙이라는 물질의 근본적인 공학적 성격과 모순없이 양립하지 못하는 이유로 토질역학의 이용에는 Engineering Judgement가 반드시 필요하다.

토목공학의 구조역학과 토질공학은 탄성론에 근거한 학문이라 할수있다. 그러나 구조역학이 취급하는 자재는 철이나 콘크리트가 대부분인데 예를들어, 철은 yield point 밑에서는 거의 완벽한 탄성체라 할수 있는데 토질역학이 취급하는 흙은 완전 탄성체와는 거리가 멀다. 따라서 구조역학은 그 학문이 취급하는 자재가 하중을 받았을 때의 변형을 높은 확률로 예측할 수있다. 그러나 흙은 그렇지 못하다. 그 이유는 흙의 탄성 성격에 있어서 Isotropy와 Homogeneity라 하는것은 "Identical elastic properties throughout the solid and every direction through any point of it, and homogeneity means identical elastic properties at every point of the solid in identical directions" (Terzaghi, 1942)인데 실제로 그렇지 못하기 때문이다. 여기서 elastic properties를 permeability properties로 대처할 수도 있다. 자연상태의 토질은 Isotropic 하지 않다. 압밀이론이 성립하기 위한 가정(Terzaghi, 1942와 Taylor,1948)의 대부분은 실질적인 흙의 성격과 다르다.

흔히 과오를 범하는 용어와 정의는 isot-

ropy와 homogeneity다. 예를들면, 점토질과 모래질의 흙이 교차로 퇴적된 층은 투수계수라는 견지에서 볼때 수평 방향으로 homogeneous 하다고 할수 있으나 수직 방향으로는 그렇지 못하다. 따라서 이 층은 수평 방향으로 Homogeneous한 층이라고 한다. 다시 말해서 homogeneity 는 방향성이 있고 isotropy는 모든 방향으로 같은 성격을 갖었다는 것을 뜻한다.

퇴적암의 형성은 일반적으로 다음과 같은 과정을 밟는다고 볼수 있다. 모암의 풍화→물질의 가동화→물질의 이동/운반→부분적 침전→비침전물의 최종퇴적 분지에 운반/침전→침전물의 암석으로의 전화 여기서 최종 침전 과정은 토질 역학의 극히 중요한 부분의 시작이기도 하다.

지질학에서 암석이 되는 과정의 물질을 unconsolidated와 consolidated된 물질로 크게 나누고 있는데 토질 역학에서 보면 이와같은 개념은 극히 불분명하고 "비과학적"이라고 까지 고려한다.그 이유는 토질역학에서는 모든 퇴적물은, 압밀이라는 입장에서 보아, 반드시 세가지의 압밀 상태중의 한가지에 속한다고 규정하는데 이것은 개념적인 근거에서 분리되는 것이 아니고 압밀 실험의 결과인 수치에 근거하고 있다.

경기도 인천시 서편에 있는 연약한 해성토층의 바닥의 표고는 평균해수면 밑 10미터 내외인 것으로 알려져 있다. 그림 5는 중국 산둥성의 산둥반도 인근에서 조사된 과거 12,000년 간의 평균해수면의 변화 곡선이다. 해저의 지각 변동이 없었다고 가정하면 인천 서편 해성 연약층은 약 8,000년 전부터 퇴적되기 시작했음을 알수 있다.

또한 이 곡선은 연약한 해성층은 퇴적이

시작한 후 대기에 노출된 경험이 없다는 것도 보여준다. 계속된 퇴적 작용에 의한 무게 이외의 하중을 받지 않았고 또 퇴적후 대기에 노출되지 않았으므로 이 퇴적층은 정규압밀(Normal Consolidation - 후에 설명이 있음) 상태에 있는것이 기대된다. 그러나 여러 곳에서 채취한 시료에 대한 압밀 실험 결과는 이 퇴적층의 상부는 과압밀 상태에 있다는 것을 나타낸다. 이 퇴적층이 퇴적 초기부터 해수면 밑에 있었기에 건조할 기회가 없었다. 따라서 과압밀 상태로 된 이유는 건조 현상이 아닌 다른데 있다는 것을 알수 있다.

홍콩에서 현재 건설중인 신공항 인근의 연약한 해성 퇴적층의 퇴적 연대는 8,000년 이후라고 보고 되었다(Mcfeat-Smith, et al, 1989). 또한 그 연약층도 과압밀 상태에 있는데 이것은 "건조"(Desiccation)가 아닌 "Aging"이라고 분류했다 (Koatsoftas, et al 1987).

토질은 비교적 작은 변형을 경험하는 영역에서 주어진 하중을 제거한후 압밀시험을 하면 수치적으로 제거한 하중의 크기를 나타낸다. 이것은 흙은 완전탄성체가 아니고 하중제거는 Permanent Strain을 반드시 가지게 되기 때문이다. 토질역학에서 자중에 의한 압밀(침하)이 완료되지않은 흙은 미압밀 상태 (state of under consolidation), 자중에 의한 압밀이 끝난것을 정규 압밀 상태 (normal consolidation), 그리고 자중보다 큰것에 의해 압밀된 것을 과압밀 상태 (over consolidation)에 있다고 한다. 그 퇴적층이 받은 최대하중 (Pc)은 압밀 실험에서 수치적으로 얻는다. 그리고 현재의 하중(Po)은 채취된 시료분석결과로 계산된다. 따라서 위의 퇴적층의 압밀 상태를 나타내는 세가지 경우를 수식으로, 아래와 같이 표현할수 있다.

$Po > Pc \rightarrow$ 미압밀상태(State of Under Consolidation-UC)

$Po = Pc \rightarrow$ 정규 압밀(Normal Consolidation-NC)

$Po < Pc \rightarrow$ 과압밀(Over Consolidation-OC)

여기서 문제가 발생한다. 예를들어 인천 서편의 해성 퇴적층은 지질학적인 자료에 의하면 당연히 NC 상태에 있어야 하는데 과압밀 상태에 있다고 압밀실험은 수치적으로 나타낸다. Pc/Po는 과압밀비(Over Consolidation Ratio-OCR)라고 하는데 인천 서편 연약 해성퇴적층 표면의 OCR는 1보다 크며 이것은 해수작용에 의한 건조라 했다. 해수면 밑의 퇴적물은 건조될 수 없다. 이와같은 예외적인 것은 홍콩 신공항 현장의 해성 연약층에도 있었다. 그곳에서의 OCR는 2 정도였는데 이것은 "Aging" 결과라고만 했다. 이와같은 예외적인 경우의 극단적인 사례는 1961년 Guadalupe Island (N 28° 59', W 117° 30' 수심 3,558m)인근에서 실시한 Mohole Project 시추에서 채취한 흙에 대한 압밀실험인데 이 흙의 OCR는 156이라는 것을 나타냈다. 그리고 해저에서 약 130m 이상 밑으로 함수비(Porosity라고도 볼수 있음)가 거의 변화하지 않았다는 것을 보여준다(Hamilton, 1964). 156이나 되는 OCR의 원인을 흙의 입자와 입자사이에서 발생하는 점토 광물학적인 요인이라고 설명했다. 지금 그 자료는 없으나 1936년에 있었던 제1차 국제토질역학 및 기초공학회의(ISSMFE)에서 Terzaghi는 스웨덴(Sweden) 근해의 해성 점토에서 깊이가 커지는데도 함수비의 감소가 없는층을 소개하고 이것을 점토의 Honeycomb 구조라고 설명했다.일반적인 경우에는 해성퇴적물의 함수비는 깊어

짐에 따라 감소하는데 이것은 하중이 깊이에 따라 증가하니 함수비가 감소하는 것이 당연하다. 그러나 예외가 있다는 것을 인지하고 있어야 할 것이다.

압밀실험을 할때 그 퇴적물이 건조를 경험했다면 그 침하-하중곡선은 반드시 그림 8과 같아야 한다(Song, 1967,1984). 그리고 건조현상을 경험하지 않은 퇴적물의 침하-하중곡선은 그림 9와 같다.

토질역학에서 흙의 함수비가 그 흙의 액성한계(LL)와 같거나 크면 그 흙은 정의에 의해서 액체같은 성격으로 하중의 증가에 반응하고 또 그 함수비가 소성한계(PL)와 같거나 작으면 그 흙은 고체같이 변형한다고 본다. 흙의 액성한계 실험은 일종의 전단강도 실험이라고 볼수있다 (Burmister,1960 and Skempton, 1953). 어느 흙이 액성한계 상태에 있을때 그 흙의 전단강도는 0.02 kg/cm^2 (Burmister, Ibid)라 하고 Skempton은 0.007 kg/cm^2 이라 한다. 이것은 흙의 함수비가 액성한계와 같거나 크면 이 흙은 극히 약한 상태에 있고 또 그 함수비가 소성한계와 같거나 작으면 그 흙은 비교적 강하다는 것을 알려준다. 실내실험 성과표에서 함수비와 액성한계를 비교해서 그 흙이 비교적 약한가 강한가를 쉽게 분별할수 있다.

Skempton은 Activity (활성도)라는 개념을 소개했다. 활성도는 아래와 같이 정의 되었다.

$$\text{Activity} = \frac{\text{LL} - \text{PL}}{\text{Clay Fraction}}$$

여기서 Clay Fraction은 2microns 보다 작은 부분을 말한다. Plasticity index (LL-PL)와 Clay Fraction의 관계가 그림 10에 주어졌다.

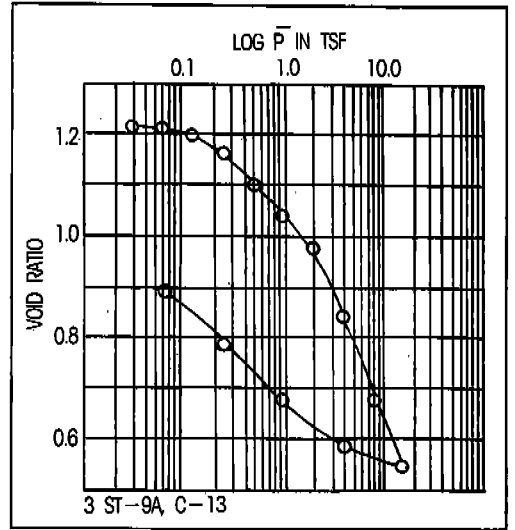


그림 8. DESICCATED MARINE SEDIMENT, GOLF OF MEXICO, TEXAS.

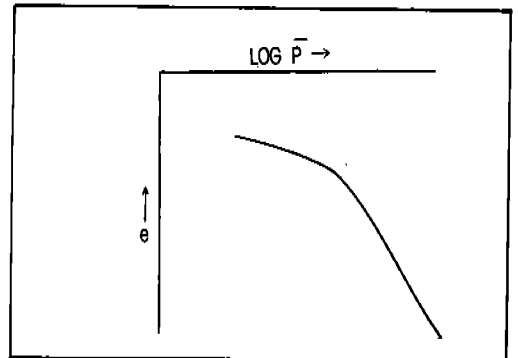


그림 9. e-LOG P-bar CURVE, NON-DESICCATED SAMPLE.

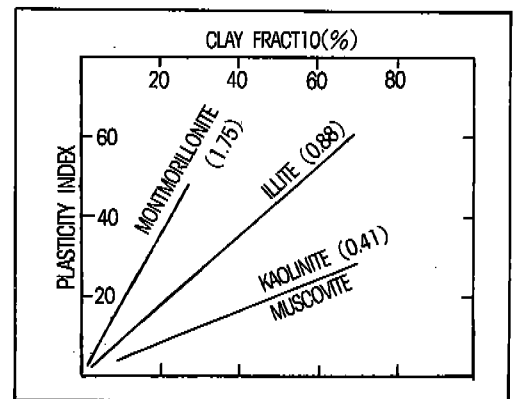


그림 10. PI VS CLAY FRAC.(NUMBER→ACTIVITY)

이 그림에서 보는것 같이 체분석과 LL/PL 실험 결과로 그 흙의 점토광물을 알수 있다. 정확한 점토광물 성격을 X-ray Diffraction 실험을 해야하나 그렇지 못할 경우에 점토 광물의 종류를 손쉽게 알수 있는 방법이다.

Burmister(1958)는 Two-layer reinforcing system이란 개념을 소개했다. 이것은 주로 도로나 활주로 설계에 쓰이는데 일반성토의 경우에도 이용할수 있고 또 현재 많이 활용되고 있다. 그림 11은 그 개념을 도표로 표시한 것이다. 이 도면은 강한 층이 약한 층 위에 있으면 약한 층으로 전달되는 응력이 작아 진다는 것을 보여준다.

Burmister (1956)는 Two-layer Rigid Base System을 제시했다. 이것은 약한 층 밑에 강한 층이 있는 경우인데 약한 층과 강한 층의 경계에서 약한 층이 계속 있을 경우 Boussi-

nesq system보다 큰 응력을 준다는 것을 보여 준다. 이것은 침하계산을 할때 불리한 결과를 준다. 다시 말하면 강한층의 존재를 무시한 침하계산은 실제보다 작은 침하값을 준다. Boussinesq와 Burmister 이론에 근거한 계산을 도표로 나타낸 것이 그림 12에 주어졌다. 연약한 해성퇴적층에서 비교적 큰 규모의 주차장을 설계하는 예를 든다.다음과 같은 조건이 주어 졌다고 가정한다.

지 질 :

후기 위스칸신 빙하의 종료에 의해 발생한 해침 (Transgression)에 의해 형성된 극히 연약한 해성퇴적층. 퇴적 시작은 약 7,000년 전이고 퇴적후 계속적으로 해수면 밑에 있었음. 현재보다 큰 상재 하중은 없었음.

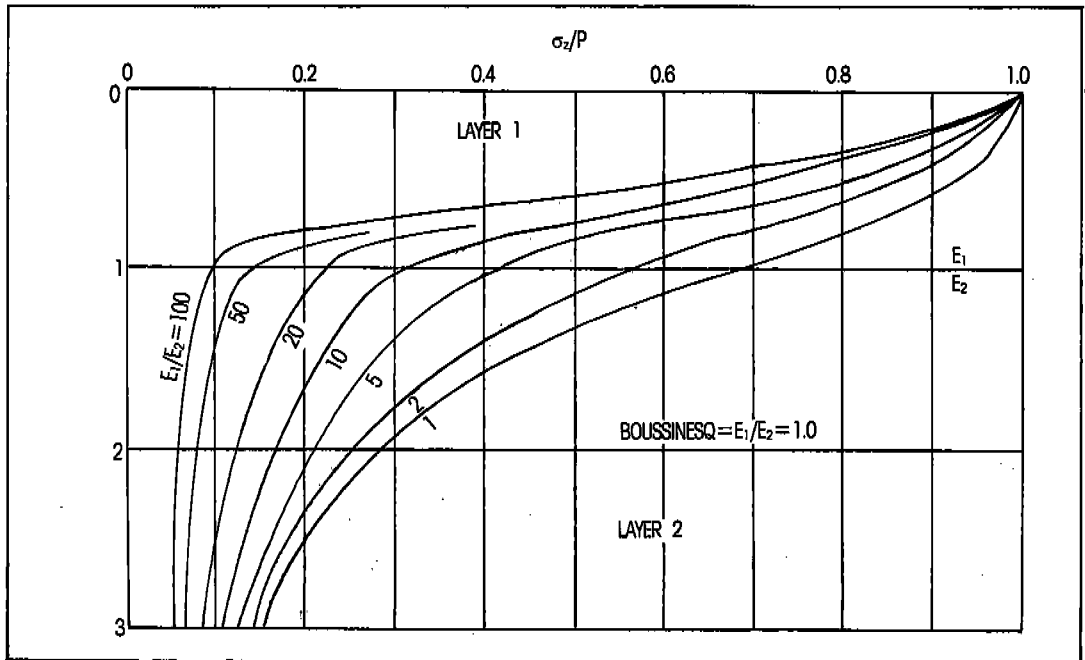


그림 11. BURMISTER TWO-LAYER REINFORCING SYSTEM

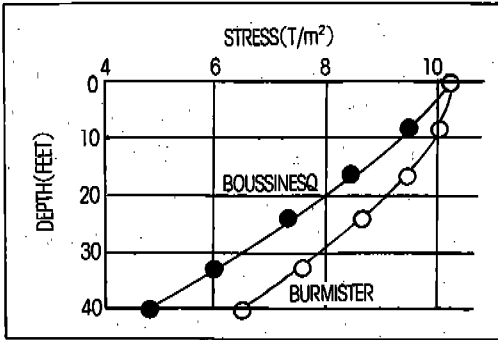


그림 12. BURMISTER TWO-LAYER RIGID BASE SYSTEM. RIGID BASE AT 40 FEET(=12.2 METERS).

평균 두께는 약 6 미터.

토 질 :

자연함수비=40%

액성 한계=35%

소성 한계=15%

초기간극비=1.1

일축압축강도=0.26kg/cm²

설계 조건 :

차량 중량=500톤을 초과

최종설계고=+6.5m

현재지표면=+3.5m

주차 시설=1,000m×500m

퇴적층의 연령은 약 7,000년 보다 작고 또 다른 지질학적인 고찰은 상재하중이 현재보다 크지 않다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 퇴적층은 UC 또는 NC 상태에 있다는 것도 알 수 있다. 그리고, 액성한계 보다 높은 자연 함수비는 이 층이 극히 연약하다는 것도 알 수 있다. 일축압축강도 (0.26kg/cm²)는 Burmister나 Skempton이 제시한 값보다 높다는 것도 알 수 있다.

하중을 받는 면적(1,000m×500m)이 연약층의 평균 깊이에 비교해서 몹시 크다. 그리고 연약한 해성 퇴적층 밑에는 Stiff layer 가 있

으니 이것은 Boussinesq 보다 Burmister의 Two-layer rigid base problem으로 해석해야 한다.

이 시점에서 이것은 침하문제가 아니라는 것이 분명해진다. Burmister의 Two-layer rigid base에 의하면 연약층 하부에 작용하는 응력은 연약층의 상부 즉, 성토의 하부보다 약간 크다는 것을 알 수 있다. 다시 말하면 이 연약층의 허용 지내력보다 훨씬 큰 응력이 1,000 m×500m 면적에서 수직으로 작용하면(파괴가 발생하지 않는다는 가정하에서) 수평방향으로의 Plastic flow가 발생한다. 압밀이론이 말하는 압밀 현상의 정의는 이와 같은 flow가 아니다.

여기서 설계하는 사람은 어떤 방향으로 연약층을 개량해야 하는가 라는 것을 고려해야 한다. 도로를 설계할 때 기층의 탄성계수가 높으면 포장 두께가 얇아지고 그 탄성계수가 낮으면 포장 두께가 커진다. 여기서부터는 순전히 경제성과 시공의 난이도가 주역할을 하게 된다. 개량된 연약층의 실질적인 평균 탄성 계수의 수치가 얼마가 되는 것이 가장 경제적이고 현실적인가를 결정하는 것이다.

결론

이 글은 지질공학을 하는 사람들에게 토질역학과 기타 학문을 어떻게 이용하는가를 나타낸 초기적인 노력이다. 흔히 알려지지 않은 개념들이 주어졌다. 또한 토질역학은 정확한 공학이라기 보다는 Engineering judgment를 얻어진 시험 수치에 반영해야 하는 일종의 경험적 학문이라는 것도 알아야 한다. 그래서 토질공학은 공학이라기 보다 "예술"이라고 표현할 수도 있을 것이다.

참 고 문 헌

- Bernard, H.A., et al, 1962, "Recent and Pleistocene Geology of Southeast Texas," Geology of the Gulf Coast and Central Texas, Houston Geological Society p. 183.
- Burmister, D.M., 1962, Soil Mechanics, Columbia University Press, P. 95.
- 1956, "Stress and Displacement Characteristics of a Two-layer Rigid Base Soil System," Highway Research Board Proceedings, Vol. 35, pp. 773-814
- 1958, "Evaluation of Pavement Systems of the WASHO Road Test by Layered System Methods," Highway Research Board Bulletin 177.
- Chough, S. K., 1983, Marine Geology of Korean Seas, International Human Development Corporation, Boston, p. 16.
- Geng, X., et al, 1986, "Holocene Sea-Level Oscillations Around Shandong Peninsula." Late Quaternary Sea-Level Changes China Ocean Press, Beijing, p.94.
- Hamilton, E. L., 1964, "Consolidation Characteristics and Related Properties of Sediments from Experimental Mohole (Guadalupe site)," Journal of Geophysical Research, Vol.69, No.20, pp. 4257-4269.
- 漆正雄, 1980, 變動하는 海水面, 東海大學出版會, p. 107.
- Koutsoftas, D. C., et al, 1987, "Geotechnical Investigations Offshore Hong Kong, ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, No. 2, p. 95.
- McFeat-Smith, I., et al, 1989, "Geology of Hong Kong," Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol, XXVI, No. 1, p. 38.
- Shackleton, N. J., and Opdyke, N. D., 1973, "Oxygen Isotope and Palaeomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-238 : Oxygen Isotope Temperatures and Ice Volumes on a 105 years and 106 year Scale," Quaternary Research 3,39-55, p.45.
- Skempton, A.W., 1953, "Soil Mechanics in Relation to Geology," Proceedings of the Yorkshire Geological Society," Vol. 29, Part 1, No.3, pp.33-62.
- Song, B., 1967, "A Study of Fundamental Engineering Characteristics of Recent and Pleistocene Marine Sediments of Sabine Pass Area, Gulf of Mexico," A Thesis, Texas A&M University.
- 1984, "Geotechnical Characterization of Desiccated Clay," A Discussion, ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.110, No.2. pp. 303-305.
- Taylor, D.W., 1948, Fundamentals of Soil Mechanics John Wiley, New York p. 226.
- Terzaghi, K., 1925, Erdbaumechanik, F. Deuticke, Vienna.
- 1942, Theoretical Soil Mechanics, p. 368.
- 汪品先, 1990, "冰期時的 中國海," 第4紀研究, p. 118.
- West, R. G., 1968, Pleistocene Geology and Biology, Green & Co., London p. 205.
- 웨레시차긴, N. K., 1981, "맘모스(Mammoth)는 왜 絶滅하였나" 東海大學出版會, p. 4

송병무

도우 엔지니어즈

서울 송파구 석촌동 268, 138-190

TEL : (02) 414-1040

FAX : (02) 414-1890