

## 지질학적 특성을 고려한 해안연약지반의 토질특성 Soil Property of Coastal Soft Ground Considering Geological Property

송 무 영 (Song, Moo-Yong)  
김 팔 규 (Kim, Pal-Kyu)  
김 연 천 (Kim, Yeon-Cheon)  
류 권 일 (Ryu, Kwon-II)

충남대학교 지질학과  
충남대학교 토목공학과  
(주)SK 건설  
충남대학교 토목공학과

### 요약 / ABSTRACT

본 연구의 목적은 해안 연약지반 토질특성의 연관성을 분석하는 것이다. 이 연구를 위하여 해안 연약지반을 포함하는 몇 개의 지역이 선정되었다. 많은 대규모의 건설공사가 연약지반에서 수행되고 있으며, 앞으로도 꾸준히 증가할 것이다. 따라서, 이러한 연약지반에서의 토질특성은 매우 중요하다.

해안 지역을 구성하고 있는 지반은 해수의 운동에 의해 영향을 받는다. 따라서, 이들 지역의 대부분은 층적토층으로 구성되어 있다. 그러므로, 동·서부 연안지역의 토질특성은 매우 복잡하다.

많은 실험이 불교란시료 및 교란시료를 가지고 실시되었다. 불교란시료는 thin walled tube를 사용해 채취하였고, 시료가 교란되지 않도록 조심스럽게 실험실로 운반되었다.

이러한 지역의 세립분 함유량의 구성 비율은 90%가 넘는다. 또한 이들 지역은 높은 함수량과 점토를 포함하고 있다. 따라서, 이러한 지역의 토질특성을 파악으로서 구조물의 안전설계와 시공이 가능할 것이다.

The purpose of this study is to analyze the correlation of soil properties in coastal soft ground. For the purpose of this study, several coastal soft ground areas were selected. Many large scale construction works are being executed and will increase continuously in these soft ground areas. So, soil property in these areas is very important.

The grounds forming coastal areas are affected by seawater movement. So, most of these areas consist of alluvium stratum. Therefore, soil properties of eastern and southern coastal areas are very complex.

Many laboratory tests were executed with disturbed and undisturbed soil samples. Undisturbed samples were taken by using thin walled tubes and transported into the laboratory with caution, so as

not to disturb the sample.

The consistent rate of fine-grained content in these areas is over 90%. Also, these areas contain higher water content and clay content. Therefore, knowing these soil properties, it is possible to safely design fabrics and constructions.

## 서 론

지반을 구성하고 있는 흙은 그 생성과정과 응력 이력에 따라서 매우 다양한 지반특성을 형성하면서 변화한다. 이러한 지반에 구조물을 축조할 때에는 흙의 가장 기본적 특성인 토성을 정확하게 파악해야 지반에 대한 구조물의 안전설계와 시공이 가능하며 차후의 변동예측도 가능하다.

지반은 외력하중이 가해지기 전까지는 거동변화의 폭이 매우 적다고 할 수 있으나 구조물 축조나 지반개량 등으로 인한 상재하중이 발생할 때에는 갑작스러운 하중변화로 인하여 흙 내부에 많은 변화가 발생된다. 그러나 흙은 실제적으로 균등·균질하지 않고 구성성분 또한 매우 다양하기 때문에 외력으로 인한 지반내부의 변화 형태는 복잡한 거동특성을 보인다.

흙은 형성단계에서의 외적환경이나 응력조건 등이 다르고 다양한 변화에 적응하면서 제각각 생성되었다. 따라서, 토질특성은 지질학적 생성요인에 의해 크게 영향을 받을 뿐만 아니라, 그 흙이 생성된 이후의 경과된 시간에 따라라도 영향을 받게된다. 이는 토성이 흙의 구성성분 뿐만이 아니라 형성조건 그리고 지반이 형성될 때 받았던 응력의 크기에 따라 달라지기 때문이다.

이러한 이유로 토질특성 파악에 대한 신뢰성있는 고찰을 유도하기 위하여, 최근에 이용이 증가되고 있는 해안 연약지반을 선정하여 지질학적인 특성을 알아보고 토질특성을 조사하여 토질정수들 상호간의 상관성 분석을 하고자 하였다.

조사대상 지역은 대부분 서·남해안을 대상으로 하였다. 이 지역은 최근에 국토의 효율적인 개발 측면에서 건설공사가 많이 증가되고있는 지역일 뿐만 아니라 앞으로 개발 가능성이 높은 지역이다. 연구지역은 Fig. 1에 나타내었다.

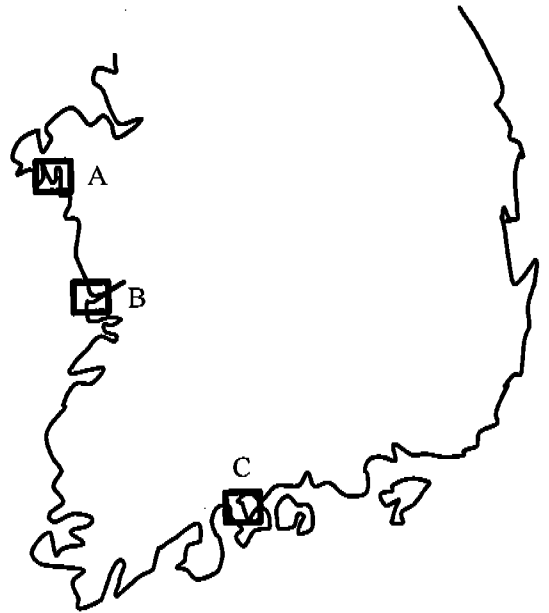


Fig. 1. Study area (rectangular zone, A: Seosan area, B: Gunsan-Janghang area, C: Yeochun area)

## 지 질 특 성

해안에 형성되는 지반이 받는 영향은 여러 가지가 있으나, 그 중 지반의 형성단계 전후에 있어서 해수에 접하기 때문에 받는 영향이 크다. 따라서, 해수의 성분과 밀도는 흙의 형성단계와 지반구성에 중요한 역할을 한다. 해수의 이동 또한 흙 입자 퇴적시 물리·화학적 성질의 변화에 영향을 미치는데 수평방향의 해수 움직임보다는 수직방향의 이동에 대하여 더 큰 영향을 받는다. 이러한 해안 부근에 형성된 연약지반은 대부분이 최근 1만년 정도에 지층구성이 이루어진 하성퇴적에 의한 충적층이다. 충적층은 대부분이 하천 등지에서 이동된 세립자나 침식작용 등으로 생성된 세사 등의 퇴적작용에 의해 형성되며 특히, 우리나라 서해와 남해는 매우

광범위한 조류대이기 때문에 토질 특성이 해수에 의해 크게 영향을 받는 지역이다.

해성 연약지반의 주성분은 대부분이 점성토로 구성되어 있다. 이러한 점성토는 퇴적할때 토립자 계면의 물리화학적 조건에 큰 영향을 받으며, 토립자의 기본물성도 침강·퇴적의 메카니즘에 영향을 받는다. 또한 해성점토는 일반적으로 높은 함수비를 보이는데 고 함수비의 점토에서는 침강, 퇴적 및 자중압밀등이 설계에 있어서 중요한 변수로 작용한다. 이러한 점토입자가 침강·퇴적시에는 입자 상호간의 균형을 유지하기 위하여 Ped에 전기·화학적 힘이 작용한다. 이러한 점토입자간에 영향을 미치는 요소로는 첫째로, 입자의 형태나 조직 등에 의한 점토입자의 성질이며 둘째로, 물과의 상호작용으로 인한 응집·분산작용과 셋째로, 산화물, 유기

물 등의 비결정질 작용으로 인한 결합작용이며 넷째로, 점토입자간 접촉과 배열, 간극배열 등에 의한 입자의 기하학적 관계 등을 들 수 있다.

서산 간척지 AB지구가 조성되기전 해안 연약지반의 생성조건을 고려한다면, 서산지역 사장포 중앙에는 조하대에 속하는 주조류가 남북방향으로 뻗어있고, 이 주조류로는 매우 급한 경사를 갖는 골로 구성되어있었다. 또한 외만에서 사장포로 들어가는 조류로는 2~3m 정도로서 창리와 간월도 사이에 발달하고 있었다. 이 지역은 선캠브리아기의 변성퇴적암류 및 창리와 간월도 사이에 소규모 분포되는 중생대 화산암류 및 북동부로부터 넓게 분포하는 관입암류로 구성된다. 여천지역은 성인적으로 침강에 연유된 습곡해안으로 볼 수 있으며 전반적으로 보아 노년기 초의 지형이다. 지질은 선캠브

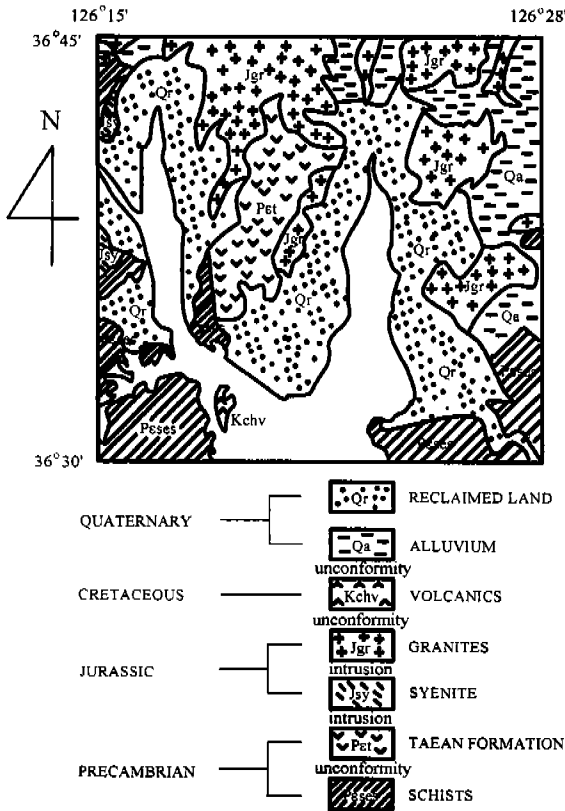


Fig. 2. Geological map of the study area (Seosan area)

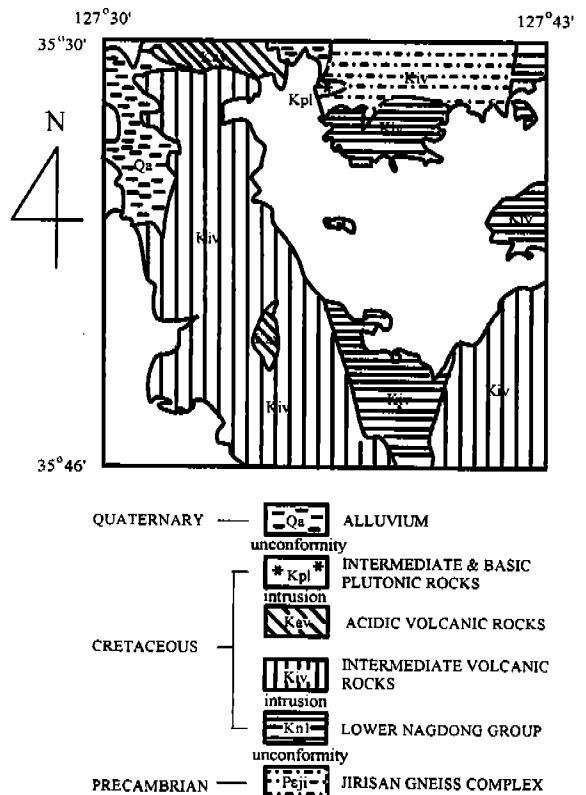


Fig. 3. Geological map of the study area (Yeochun area)

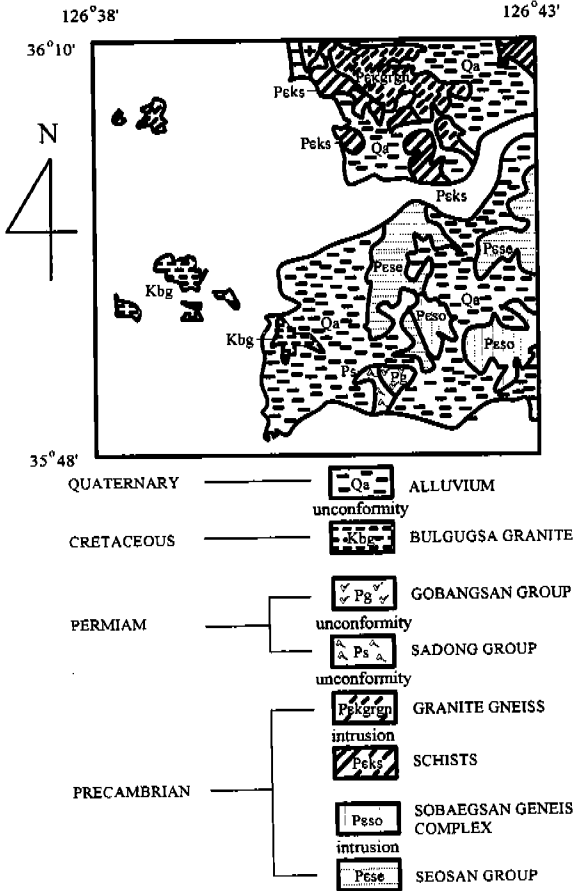


Fig. 4. Geological map of the study area (Gunsan-Janghang area)

리아기에 속하는 변성암류 및 이를 부정합으로 덮는 경상누층군에 속하는 유천층군과 이를 백악기 후기에 관입한 불국사 화성암류로 구성되어있다. 군산-장항지역의 해안지역은 금강의 최하단 지역으로서 금강의 영향을 직접적으로 받는 곳이다. 따라서 금강의 흐름 및 퇴적환경을 파악하는 것이 중요하다. 이지역의 지질은 주로 백악기 이전의 화강암, 화강편마암, 결정편암등으로 구성되어있다.

### 분석 및 고찰

#### 물리적 특성

흙의 물리적 특성을 파악하기 위해 교란시료 및

불교란 시료를 대상으로하여 실내시험을 하였다. 비교란 시료는 Thin Walled Tube를 이용하여 채취하였다. 채취된 시료는 Paraffin으로 양단을 밀봉한 뒤 교란이 되지 않도록 최대한 주의를 하면서 시험실로 운반하였다. 그러나, 본 지역 지반의 대부분이 세립 함유율이 90%이상을 함유한 높은 함수비의 점성토이기 때문에 시료의 채취과정과 이동에 따른 흔들림 등으로 인한 미소한 변화로 발생하는 오차는 불가피하다.

함수비는 흙에 포함되는 물의 양을 나타내는 척도로서 시료를 오븐 건조시켜 그 중량비를 나타내는 것이다. 이때 함수비  $w$ 는  $W_w/W_s$ 로 나타낼수 있다. 이 시험은 흙의 기본적 성질에 매우 중요한 함수량을 측정하기 위한 것이다. 흙의 구성을 보면, 기본 요소로 크게 흙입자, 물, 공기의 3요소로 되어 있기 때문에, 물의 많고 적음은 흙의 성질에 큰 영향을 준다. 시험 결과를 보면 서산지구가 15~37% 이고, 군산-장항지역이 17~43%, 반면에, 여천지역은 53~100% 정도로 높은 함수상태를 보이고 있다.

consistency란 흙을 변형시킬 경우의 난이도를 나타내는 지표이다. 이중 액성한계, 소성한계는 흙의 판별 분류와 공학적 성질의 추정등에 이용된다. 액성한계 시험은 시험기의 황동접시에 경사 60° 높이가 1cm의 인공사면을 조성한 후, 시료를 넣은 접시를 1cm의 높이에서 1초에 2회의 비율로 25회 낙하시킨다. 이때 들로 나뉜 부분의 흙이 1.5cm의 길이로 함유했을 때의 함수비를 말한다. 소성한계시험은 흙덩어리를 손으로 밀어 직경 3mm의 국수모양으로 만들어 부슬부슬해질 때의 함수비를 말한다.

액성한계는 서산지역이 27.3~37.2%, 여천지역이 66.3~73.6%, 군산-장항지역이 34.9~41.5%의 분포를 보여주고 있다. 소성한계는 서산지역이 18.6~23.2%, 여천지역이 37.2~49.8%, 군산-장항지역이 21.3~28.7%의 분포를 보여주고 있다. 소성지수의 범위는 서산지역이 7.3~15.8%, 여천지역이 21.3~30.5%, 군산-장항지구가 11.4~16.3%의 분포를 보여주고 있다.

비중시험은 시료를 최소 12시간이상 노건조하여 실온으로 냉각시키고 비중병에 시료와 증류수를 넣고 12시간이상 방치시킨 후 비중병 속의 기포가 나오지 않을 때까지 10분이상 조용히 끓여서 시험을 한다. 흙 입자의 비중은 흙덩어리의 골조를 이루고

있는 흙 입자군의 평균적인 비중을 말한다. 흙 입자의 비중은 흙의 기본적 성질인 간극비와 포화도를 아는데 필요할 뿐만 아니라, 흙의 견고한 정도나 유기질토에 있어서는 유기물 함유량을 구하는 데에 이용된다. 일반적으로 섬유질이 다량 함유된 유기질토를 제외하면 흙 입자의 비중은 거의 모든 흙에 대하여 2.60~2.90의 범위 사이에 들어 있다. 비중의 범위는 서산지역이 2.67~2.71, 여천지역이 2.68~2.71, 군산-장항지역이 2.66~2.70의 분포를 보여주고 있다.

체분석 시험은 체눈금이 다른 체를 체눈금 크기의 순서로 포갠 다음에 흙을 부어 흔들어 체를 통과한 흙의 중량을 구하여 체분석을 하게 된다. 이때 No. 200(0.074mm)체를 통과한 흙을 Stokes 법칙에 따른 비중계분석을 통하여 입도 분포곡선을 작성한 후 흙의 입도시험을 하게 된다. 연구지역에서 채취된 시료를 가지고 체분석 및 비중계시험(입도시험)을 통한 입경가적곡선의 입경 범위 중량 백분율의 결과는 다음과 같다. 입도 분포곡선을 통한 흙의 역학적 특성을 판정하기는 곤란하나 보통 연약지반의 성질은  $74\mu$  (Sand/Silt 기준) 이하의 미세립자 함량에 의해서 크게 지배된다고 할 수 있겠다. 각 지역별 입도분포를 분석해 보면 점토함량은 전 지역에서 대략 50~60%정도의 범위에 들어 있으며, 세립토가 가장 많이 분포하고 있는 여천지역에서 점토함량이 30~40%정도의 평균값을 보이고 있다. 실트함량의 분포를 보면 대부분의 지역에서 많은 분포로 구성되고 있음을 볼 수 있는데, 이러한 현상은 이 지역의 지반형태가 매우 복잡하게 변하고 있음을 알 수 있으며, 전반적으로 50% 이상의 높은 평균값을 보이고 있다. 연구지역 전체에서 나타난 입도분포 현상을 보면 부분적으로 가는모래나 조개껍질 등이 채취되어 시료에 포함된 경우에는 #200 체 통과량이 50% 미만인 경우도 있었으나, 대부분의 지역에서 10% 이내의 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 이상과 같은 입도분포를 통해 볼 때, 연구지역 전체의 지반구성은 점성토가 주종을 이루는 연약한 지반을 형성하고 있음을 알 수 있다.

단위중량은 서해안에서 남해안 쪽으로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있는데, 습윤단위중량은 서산지역이  $1.75\sim 1.91t/m^3$ , 여천지역  $1.55\sim 1.76t/m^3$ , 군산-장항지역이  $1.78\sim 1.89t/m^3$ 의 분포를 보여주고

있고, 건조단위중량은 서산  $1.27\sim 1.51t/m^3$ , 여천  $0.79\sim 1.09t/m^3$ , 군산-장항지역이  $1.25\sim 1.45t/m^3$ 으로 나타났다.

포화도는 대부분의 지역이 90% 이상으로 거의 포화되어 있는 상태이다. 포화도의 변동폭이 가장 작은것은 여천지역이며 상대적으로 서산지역이 크게 나타났다.

### 역학적 특성

점토층에서 채취한 불교란 시료에 대해서 지반의 거동을 파악하고 구조물의 안정 해석에 필요한 전단강도정수 및 압밀 특성을 알기 위한 역학시험을 실시하였다. 현장에서 채취한 불교란 시료에 대하여, 흙의 역학적 강도를 시험하기 위한 시료의 성형에는 지반 자체의 연약성과 채취 및 운반 도중에 발생한 교란 등으로 인해 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 각별한 주의를 기울였다. 전단강도 시험으로는 일축압축강도시험 및 삼축압축시험을 실시하였고 또한 압밀시험도 병행하였다.

우선, 일축압축강도시험은 점성토의 일축압축강도와 예민비를 구하기 위하여 행해지는 시험이다. 흙의 일축압축강도라 함은 축압을 받지 않는 공시체의 최대의 압축용력을 말하며, 예민비라 함은 교란되지 않은 흙의 일축압축강도와 함수량을 변화시키지 않고 반죽하여 교란시킨 같은 흙의 일축압축강도와의 비를 말한다. 일축압축시험은 점착력이 있는 시료를 원추형 공시체로 만들어 축압을 받지 않는 상태로 축하중을 가하여 전단파괴시켜 시료의 전단강도를 결정하는 방법이다. 이때 점착력이 없는 흙은 성형이 되지 않으므로 일축압축시험을 실시할 수 없다. 이 시험의 압축 방식에는 변형을 제어방식과 응력 제어방식의 두 가지가 있으나 보통 널리 이용되는 것은 변형을 제어방식이다. 본 연구에서 사용된 변형을 제어방법(Strain controlled method)은 매분 변형율을 1%정도의 속도로 압축시켜 공시체가 15%의 변형이 일어나기 전의 최대응력으로 측정하였으며, 변형이 15%를 넘어서도 최대응력이 나타나지 않을 때는 15%이전 응력을 최대응력으로 하였다. 일축압축시험은 원래 자연지반에서 채취된 호트러지지 않은 점토에 적용되던 시험으로 삼축압축시험을 비압밀 비배수(UU-Test)의 조건하에서 행해진 결과를 이용하여 Mohr circle을

그러 파괴 포락선이 수평선이 되는(즉,  $\varphi_u=0$ ) 흙에 적용되는 것이다.

이와같은 흙에서는 축압  $\sigma_3$ 을 변화시켜 압축시험을 해도 축차응력의 최대치( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) $_f$ 는 변하지 않으며 전단강도 ( $\tau_f$ )는

$$\tau_f = c_u = \frac{1}{2} \sigma_{1f} = \frac{1}{2} q_u$$

가 된다. 일축압축강도는 지역별 평균값이 0.07~0.38kg/cm<sup>2</sup> 범위이고, 전체 평균치는 0.135kg/cm<sup>2</sup> 정도로 나타났다. 일축압축강도는 심도가 깊어짐에 따라 증가하는 경향을 보이지만, 일부 반대현상을 보이는 것은(강도의 감소) 시료교란의 영향으로 보인다.

삼축압축시험은 흙의 전단강도 정수를 구하기 위한 시험이다. 이 시험은 직접 전단 시험에 비하여 시험 때의 공시체 내부의 응력이나 변형률의 분포가 일정하며, 또한 배수조건을 제어 할 수 있다는 점 등의 많은 장점이 있다. 이 시험방법은 배수 조건에 따라 UU - Test (비압밀 비배수시험), CU - Test (압밀 비배수시험), CD - Test (압밀 배수시험)로 분류한다. 본 연구에서는 비압밀 비배수 (Undrained Unconsolidation Test)시험을 수행 하였다. UU시험은 공시체를 설치하고 축압을 가한 상태에서 비배수 조건으로 시료를 전단시킨다. CU 시험은 공시체를 먼저 압밀시킨 후 비배수 상태에서 축재하여 수행한다. CD시험은 압밀과 배수를 같이 실시하는 방법이다. 이 시험으로부터 구한 점착력( $c_u$ )은 0.065~0.278kg/cm<sup>2</sup>로 나타나고 있다. 시험 결과에서 보여주듯 여천지역의 강도가 작으면서 변동폭이 적은 것은 이지역의 지반이 상대적으로 균질하다는 것을 알 수 있다.

압밀이란 물로 포화된 점성토에 하중을 가했을때 과잉간극수압이 발생하여 서서히 간극수가 배출되기 때문에 생기는 흙의 체적감소를 말한다. 흙은 실제 완전 탄성체가 아니며 하중과 변형관계가 비선형인 탄-소성체이다. 특히, 점성토는 과거에 작용했던 하중이력에 따라 거동특성이 달라진다. 점성토 하중-변형곡선은 과거에 받았던 하중을 받을 때까지는 곡선의 경사가 완만하나, 이 압력을 넘으면 경사가 갑작스럽게 변화하며 경사변화의 경계가 되는

압력을 선행압밀하중(Preconsolidation load,  $P_c$ )이라고 하고, 현재 작용하고 있는 하중을 유효상재하중( $P_o$ )이라고 한다. 선행압밀하중이 현재 흙이 받고 있는 유효상재하중과 같으면 정규압밀점토(Normally consolidated clay), 유효상재하중보다 작으면 압밀 진행중인 점토(Underconsolidated clay), 유효상재하중보다 크면 과압밀 점토(Overconsolidated clay)라 하며,  $P_c$ 에 대한  $P_o$ 의 비를 과압밀비(Overconsolidation ratio, OCR)라 한다.

초기 간극비는 점성토 지반의 압밀 특성에 주요한 인자로 작용하는데 서산지역과 군산-장항지역의 초기 간극비는 1.5정도이며 변동폭이 작지만, 여천지역의 초기 간극비는 0.9~ 2.5정도로 큰 값이며 변동폭도 크다. 선행압밀하중( $P_c$ )은 0.2~0.9kg/cm<sup>2</sup>로 나타났으며, 지역적인 편차도 클 뿐만 아니라 변동폭도 크게 나타나는데, 이러한 것은 퇴적환경이 다르고, 퇴적후 응력이력 정도가 위치에 따라 다르기 때문으로 사료된다. 압축 지수는 서산지역과 군산-장항지역에서는 0.1~0.6 정도이지만, 여천지역은 0.3~0.9 정도로 다른 지역에 비하여 상당히 큰 값을 보였다. 즉 압축지수의 지역별 특성은 초기 간극비의 변화와 유사한 경향을 보이기 때문에 이들 상호간의 관련성은 매우 높으며 실제로 여러 학자에 의하여 이들의 관계식이 발표된 바도 있다.

### 토질정수의 상관성 분석

토질시험을 통한 흙의 물리적 성질을 파악하는 것은 토성의 기본적인 성질을 구하는 작업으로서 중요한 부분이다. 심도별 함수비의 분포를 보면 전 지역에 걸쳐 지반은 지하수위가 거의 지표면과 일치하므로 대부분 포화되어 있기에 액성한계는 자연 함수비와 거의 일치하거나 일부 여천지역에서는 액성한계보다 크므로, 이 지역의 지반상태는 정규압밀 내지 미압밀상태에 있다고 볼 수 있다. 심도에 따르는 함수비, 액성한계, 소성한계 및 소성지수와 관계의 회귀분석 결과는 Table 1, 2, 3, 4와 같다. 단위중량은 흙의 강도 및 압축성과 밀접한 관계가 있고 자중에 의한 하중등을 계산하는데 이용되며, 흙의 비중, 자연함수비, 간극비 등을 계산하는 포화도의 함수로 표시된다. 본 지역의 지반 대부분이 포화되어 있기에 자연함수비 만으로도 단위

중량의 추정이 가능하다. 또한, 심도에 따른 건조단 높은 상관성이 확인되었는데 회귀관계식은 Table 5 위 중량의 관계를 회귀분석한 결과를 보면 비교적 와 같다.

Table 1. Simple linear regression equations between natural water content( $W_n$ ) and depth( $D$ )

Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$W_n = -1.6640D + 38.800$	0.9353
Gunsan-Janghang	$W_n = -1.5741D + 42.833$	0.8753
Yeochun	$W_n = -3.0593D + 99.533$	0.9053

Table 2. Simple linear regression equations between liquid limit(LL) and depth( $D$ )

Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$LL = -0.6807D + 39.986$	0.8737
Gunsan-Janghang	$LL = -0.4663D + 41.760$	0.9266
Yeochun	$LL = -0.4593D + 73.489$	0.8951

Table 3. Simple linear regression equations between plastic limit(PL) and depth( $D$ )

Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$PL = -0.2774D + 23.289$	0.7351
Gunsan-Janghang	$PL = -0.4193D + 27.696$	0.7625
Yeochun	$PL = -0.8574D + 50.724$	0.8320

Table 4. Simple linear regression equations between plastic index(PI) and depth( $D$ )

Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$PI = -0.5444D + 15.526$	0.9042
Gunsan-Janghang	$PI = -0.3048D + 16.166$	0.8362
Yeochun	$PI = -0.7070D + 31.756$	0.9016

Table 5. Simple linear regression equations between dry unit weight( $\gamma_d$ ) and depth( $D$ )

Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$\gamma_d = 0.0184D + 1.2355$	0.9064
Gunsan-Janghang	$\gamma_d = 0.0125D + 1.2603$	0.8809
Yeochun	$\gamma_d = 0.0024D + 0.7387$	0.8610

흙의 역학적 강도 및 특성을 파악하기 위하여 불교란 시료를 통하여 여러가지 시험을 수행하였다. 간극비는 흙의 비중과 단위중량의 함수로 표시되고 지반의 압밀침하량과 투수계수 등의 계산에 이용되는데, 서해안에서 남해안으로 갈수록 분산성이 크게 나타남을 보인다. 이들의 상관성을 회귀관계식으로 Table 6에 나타내었다. 선행압밀하중은 심도에 따라 증가하는 경향을 보이지만 Table 7의 상관분석을 보면 분산성이 크게 나타나는데, 이는 퇴적환경에 따르는 응력이력등 복잡한 퇴적요인으로 보인다. 압축지수는 간극비의 영향을 직접적으로 받는다고 할 수 있는데 Table 8의 상관결과와 같이 분산이 다소 크게 보임을 알 수 있다.

Atterberg한계는 흙이 함수량의 변화에 따라 소성체로서의 성질을 보이는 범위를 구분지을 수 있는 시험으로서, 시험결과에 의해서 토성파악이 어느정도 가능하게 된다. 소성한계, 소성지수와 액성한계간의 상호지수간에는 전부 비례관계를 보이고 있으며 회귀관계식은 Table 9, 10와 같다.

자연 함수비의 함수비 측정에 의해서도 어느정도 흙의 개략적 성질 파악이 가능하다고 볼 수 있는데, 일반적으로 퇴적 환경에 따라 분포하는 흙의 성질추정은 함수비만으로도 어느정도 예측이 가능하다. 서산지역과 군산-장항지역의 액성한계는 자연 함수비와 거의 일치하는 분포를 보이는 반면, 여천지역의 자연 함수비는 액성한계보다 크게( $LL > 1$ ) 나타나는 것으로 보아서 이 지역의 지반구성은 매우 불안정한 상태로 추정할 수 있다. 이들의 상관성을 나타낸것이 Table 11과 같다. 단위중량은 흙의 강도, 비중, 함수비, 간극비, 포화도 및 압축성과 밀접한 관계가 있는데 이와 관련된 함수로도 표시할 수 있다. 본 연구지역의 지반은 대부분 포화되어 있는 상태이기에 자연 함수비만으로도 단위중량을 산정할 수 있다. 시험을 통해서 자연 함수비와 건조밀도와의 관계를 보면 자연 함수비가 증가함에 따라 건조밀도는 감소하였는데, 결과를 분석해 보면 밀도와 함수비의 관계에서 포화도가 중요 변수로 작용하여 상관성의 신뢰도에 영향을 주는 것으로 보인다. 이 관계는 Table 12에 나타내었다.

간극비는 지반구성 물질인 흙의 한 요소로서 압밀침하, 투수, 단위중량등 여러부분에 영향을 미친다. 액성한계가 커짐에 따라 초기 간극비가 증가하

는 경향을 보이는데 분산성은 서해안에서 남해안으로 갈수록 크게 나타났다. 소성지수는 증가함에 따라 초기 간극비가 커지는 경향을 보였는데 이러한 현상은 남해에서 서해안지역으로 갈수록 더욱 뚜렷한 상관성을 나타냈다. 초기 간극비와 자연 함수비와의 관계는 서해안으로 갈수록 분산성이 적어 상관성이 높게 나타났다. 초기 간극비와 건조 단위중량과의 관계는 단위중량이 증가함에 따라 초기 간극비가 감소하는 반비례의 관계로 나타났다. 초기 간극비와 선행압밀하중과의 관계는 초기 간극비가 증가할수록 선행압밀하중은 감소하는 경향을 보이고 있다.

압축지수와 액성한계와의 관계는 액성한계가 증가함에 따라 압축지수가 증가하는 경향을 보이고 있다. Skempton이 불교란 상태의 점성토에서  $C_c = 0.009(LL-10)$ 의 경험식을 발표한 이후, 여러사람들에 의해 압축지수와 액성한계와의 회귀관계식이 발표되었다. 본 연구지역에서 상호관련성은 액성한계가 증가함에 따라 압축지수는 상대적으로 완만하게 증가하는 경향을 보이고 있고 분산성 또한 크게 보이는데, 이는 압밀특성에 관련되는 인자의 복잡성으로 인하여 상호 관련성 추정에 어려운 점이 많음을 의미한다.

압축지수와 소성지수와의 관계는 압축지수는 소성지수가 증가함에 따라 비례적으로 움직이는 것을 볼 수 있다. 이와같은 현상으로 볼때 두 지수간의 상호관련성은 매우 높을것으로 보이지만 분산성을 볼 때는 다소 주의를 해야 한다고 본다. 압축지수와 자연 함수비와의 상호 관계는 자연함수비의 증가에 따라 압축지수도 증가하는 경향을 보이고 있다. 본 결과로부터 두 지수간에는 비례 관계적 상호 관련성이 존재하는 것으로 보이며, 두 지수간 상관성과 관련하여 여러 학자들에 의하여 발표된적이 있다.

압축지수와 건조 단위중량과의 관계는 건조밀도가 증가함에 따라 압축지수가 감소하는 경향을 보이고 있는데, 압축지수가 작은 지역에서는 집중현상을 보이고 있고, 건조밀도가 비교적 작은 지역인 여천지역에서는 반비례 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다.

압축지수와 초기 간극비는 압밀과 관계있으며, 압밀은 공극이 줄어들어 생기는 것이기 때문에 이



들 상호간의 관련성은 매우 높다고 하겠다. 간극비 및 압축지수와 각 물성시험치와의 관계중 대표치로 볼 수있는 지역을 선정하여 그래프로 나타낸 것이 Fig 5이다.

Table 6. Simple linear regression equations between initial void ratio( $e_0$ ) and depth(D)

Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$e_0 = -0.0792D + 2.1438$	0.9181
Gunsan-Janghang	$e_0 = -0.0628D + 1.9094$	0.8972
Yeochun	$e_0 = -0.1176D + 2.7706$	0.8395

Table 7. Simple linear regression equations between preconsolidation load( $P_c$ ) and depth(D)

Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$P_c = 0.0256D + 0.3211$	0.8325
Gunsan-Janghang	$P_c = 0.0256D + 0.4912$	0.8572
Yeochun	$P_c = 0.0331D + 0.1783$	0.8532

Table 8. Simple linear regression equations between compression index( $C_c$ ) and depth(D)

Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$C_c = -0.0273D + 0.6549$	0.9027
Gunsan-Janghang	$C_c = -0.0286D + 0.5514$	0.8577
Yeochun	$C_c = -0.0377D + 0.9397$	0.8739

Table 9. Simple linear regression equations between plastic limit(PL) and liquid limit(LL)

Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$PL = 0.3778LL + 9.1345$	0.7473
Gunsan-Janghang	$PL = 0.8444LL - 7.7955$	0.7309
Yeochun	$PL = 1.6182LL - 6.9221$	0.7265

Table 10. Simple linear regression equations between plastic index(PI) and liquid limit(LL)

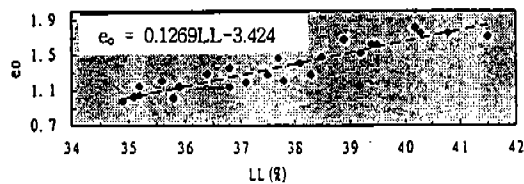
Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$PI = 0.7387LL - 12.17$	0.8351
Gunsan-Janghang	$PI = 0.5712LL - 8.0347$	0.7101
Yeochun	$PI = 1.4225LL - 73.266$	0.8682

Table 11. Simple linear regression equations between natural water content( $W_n$ ) and liquid limit(LL)

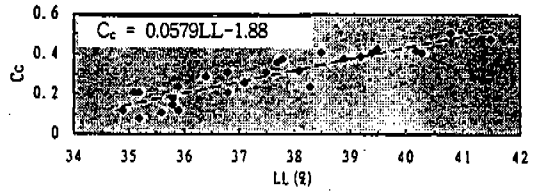
Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$LL=0.3972W_n + 21.326$	0.8629
Gunsan-Janghang	$LL=0.2529W_n + 30.312$	0.7649
Yeochun	$LL=10.1299W_n + 60.001$	0.7562

Table 12. Simple linear regression equations between dry unit weight( $\gamma_d$ ) and natural water content( $W_n$ )

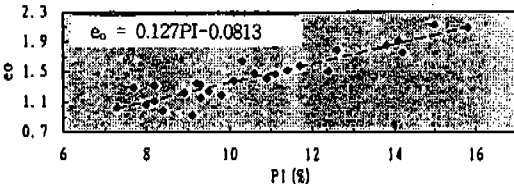
Area	Regression equation	Correlation coefficient
Seosan	$\gamma_d=-0.0104W_n + 1.6507$	0.8847
Gunsan-Janghang	$\gamma_d=-0.0066W_n + 1.5623$	0.6804
Yeochun	$\gamma_d=-1.0062W_n + 1.3871$	0.7399



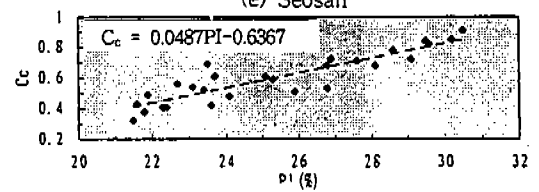
(a) Gunsan-Janghang



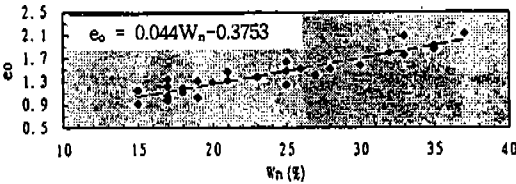
(e) Seosan



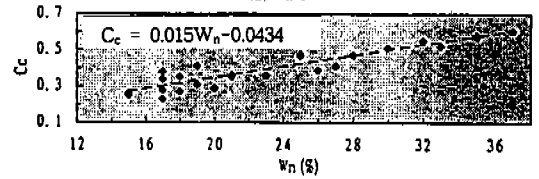
(b) Seosan



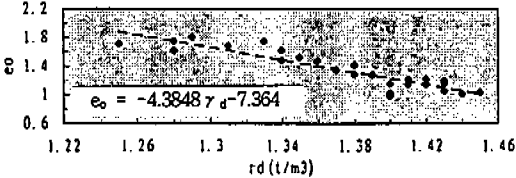
(f) Yeochun



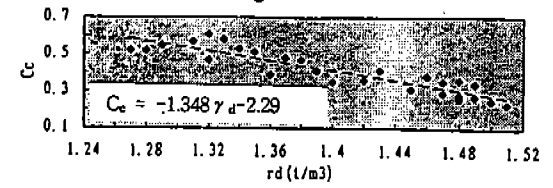
(c) Seosan



(g) Seosan



(d) Gunsan-Janghang



(h) Seosan

Fig. 5. Correlation Analysis for Coefficient of soil

## 결 론

연구대상 지역인 서산, 군산-장항, 여천지역의 대부분은 세립함유율이 90%이상 함유하고 있으며, 전체지역에서 지역적인 차이는 있지만 액성한계는 27.7%~73.6%이고 소성한계는 18.6%~49.8%인 점성토 지반으로 나타났다.

초기간극비는 서산지역과, 군산-장항지역이 1.5, 여천지역은 0.9~2.5로 여천지역이 다소 변동폭이 크게 나타났다. 또한, 압축지수는 서산 지역 및 군산지역에서 0.1~0.6, 여천지역이 0.3~0.9로 나타났다. 서해안 및 남해안 지역에서 초기간극비 및 압축지수의 차이가 나는 이유는 지리적 여건에 의한 퇴적환경등의 요인으로 사료된다. 또한, 압축지수와 초기간극비는 서로 상호 관련성이 있음을 알 수 있다.

그리고, 물리적특성과 지반심도, 초기간극비와 LL, PI,  $W_n$ ,  $\gamma_d$ , 그리고  $C_c$ 와 LL, PI,  $W_n$ ,  $\gamma_d$ 는 대체로 그 상호 관련성이 0.8~0.9 정도의 양호한 수치로 나타나고 있다. 따라서, 이러한 관계의 이용은 앞으로 지반 조사의 수행 및 구조물의 안전설계에 도움이 될 수 있으리라 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 김팔규, 1995, 대전 및 충남지역 지반특성, 한국지반공학발자취, 255-271.
- 송무영, 김팔규, 이은덕, 1992, 서산간척지 연약지반의 토질역학과 물리탐사 비교연구(I), 지구과학회지, 제13권 2호, 146-156.
- 송무영, 김팔규, 김연천, 1995, 서산간척지 연약지반의 토질역학과 물리탐사비교연구(II), 지구과학회지, 제16권 4호, 292-298.
- 염상호, 전희영, 1982, 한국의 지질, 한국동력자원연구소.
- 한국자원연구소, 1996, 대전지질도폭설명서(1:250,000).
- 한국지질광물연구소, 1973, 여수도폭(1:250,000).
- 한국지질광물연구소, 1973, 광주도폭(1:250,000).
- Casagrande, A., 1948, Classification and Identification of Soils, Transactions, ASCE, Vol. 113, 901.
- Poulos, H. G., 1988, Marine Geotechnics, Unwin Hyman Ltd. 473.
- Seed, H.B., Woodward, R.J., and Lundgren, R., 1964, Clay Mineralogical Aspects of Atterberg Limits, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 90, No. SM 4, 107-131.
- Skempton, A. W., 1948, A Study of the Geotechnical Properties of some post-glacial clays, Geotechnique, 7-22.

송무영

대전광역시 유성구 궁동 220

충남대학교 자연과학대학 지질학과

042) 821-6423

E-mail : mysong@168.188.1.3

김팔규

대전광역시 유성구 궁동 220

충남대학교 공과대학 토목공학과

042) 821-5673

김연천

서울 종로구 관훈동 192-18(SK건설 9층)

플랜트토목설계팀

02) 3700-7139

E-mail : yckim@comos.skec.co.kr

류권일

대전광역시 유성구 궁동 220

충남대학교 공과대학 토목공학과

042) 821-5680

E-mail : s\_baram@168.188.1.3