

연약지반(VI)

김 수 삼*1
안 상 로*2

6. 우리나라 연약지반의 실태

6.1 서언

연약지반을 처리하는데 있어서 가장 기본적으로 다루어야 하는 부분중의 하나가 대상 연약지반의 공학적 특성을 규명하는 일이다.

이는 설계 및 시공에 앞서 지반에 대한 필요한 정보를 현장 및 실내시험을 통하여 도출하게 되는데 우리나라의 경우 주로 내륙과 해안에 분포되어 있는 연약지반인 충적점토층은 지형적인 특성과 함께 지질학적 측면에서 모암의 종류 및 분포에 따라 다양한 특성을 나타낸다. 특히 서남해안의 6대하구 및 해안을 중심으로 한 해성연약지반은 퇴적토의 성분, 입도분포, 토립자의 형상, 흡착이온의 성질, 간극수질, 조류의 특성, 온도 등과 같은 퇴적환경에 크게 영향을 받을 뿐만 아니라 퇴적후에도 응력이력, 간극수질변화, 용탈작용, 가스발생 등에 의하여 복잡한 토질특성을 나타내고 있다. 또한 내륙에서의 연약지반중 매립지반은 개발구역마다 분포, 심도와 함께 토성도 각각 다른 특성을 가지고 있다. 따라서 본 실태조사에서는 이들의 특성을 파악하고자 기존의 각종 연약지반 관련문헌과 자료를 수집·분석하여 우리나라 연약지반의 형성환경과 분포 그리고 공학적

인 특성을 기술하고자 하였으며 자료 작성중 국내 연약지반에 대한 통계 또는 분석자료의 미흡과 산재되어 있는 조사자료의 수집에 어려움이 있어 관계기관 및 관련 전문가가 제시한 자료를 토대로 가능한 범위내에서 정리한 것으로 포괄적인 측면과 신뢰도 측면 등에서 미흡한 점이 많이 있다고 보며 다만 여기에 대하여는 독자의 판단이 요구된다는 점을 첨언하고 싶다.

6.2 연약지반형성 환경

우리나라의 연약지반은 대하천과 만을 중심으로 한 하구와 지역에 따라 다른 공학적 특성을 나타내는데 지역별 연약지반의 형성 환경에 대하여 기술하면 아래와 같다.

서울지역에는 한강을 중심으로 많은 샐강이 있는데 충적층은 대개 한강변이나 샐강 주변에 분포하고 있다. 강북의 충적층은 노원구를 가로지르는 한천과 동대문구, 성동구를 가로지르는 중랑천을 중심으로 넓게 퍼져있다. 또한 은평구의 장릉천과 불광천 주변에도 비교적 넓게 충적층이 분포해 있다. 이 외의 지역은 거의 화강암 풍화토나 편마암 풍화토가 분포하고 있는

*1 정희원, 중앙대학교 공과대학 토목공학과 교수

*2 정희원, 시설안전기술공단 수리구조진단본부 부장

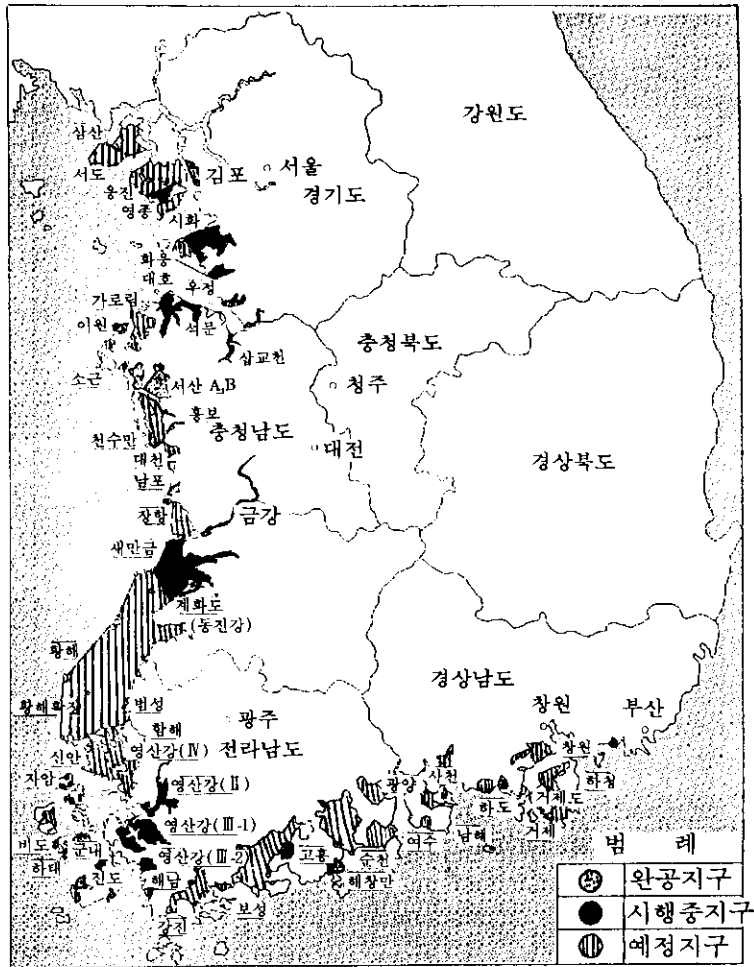


그림 1. 우리나라 서남해안 개발도

대 중랑천과 한강이 만나는 성동구 자양동과 성수동, 그리고 구의동 일대에는 홍적기에 형성된 홍적층(diluvium)이 넓게 분포하고 있다.

강남에는 대개 편마암 풍화토가 많이 분포하고 관악산 주변에는 화강 풍화토가 존재하며 샛강 주변에는 강복과 마찬가지로 충적층이 넓게 분포하고 있다. 구로동과 가리봉동을 가로지르는 안양천변, 그리고 신림동에서 대방동 쪽으로 흘러가는 도림천변과 이 두 샛강의 교차점인 강서지역에 아주 넓은 충적층이 분포되어 있다. 특히 강서지역에는 공항동 서쪽으로 상당히 넓게 충적층이 형성되어 있다.

서해지역에는 연안지역과 함께 한강하구지역, 아산만지역, 금강하구지역, 영산강하구지역으로 형성되어 있으며 해안지역인 경우 충적대 빙하기시대부터의 해수면 상승과 습곡지대가 침식하여 육원성 쇄설물(陸源性 碎屑物)과 해양성 퇴적물(海洋性 堆積物)이 집적된 분지로 형성되어 있다.

대륙붕(면적 약 30만 km²)은 북쪽으로는 선캠브리아기의 화성암과 변성암 기반의 일부가 산동-요동 반도를 따라 융기하여 능(陵)을 이루고 있으며 남쪽은 중생대 지각변동에 의하여 중국 상해-한반도 남서부 방향의 습곡대가 형

성되어 동지나해와 접하여 있다.

이러한 지형적 여건과 함께 우리나라 서해안에는 중국대륙의 황하강과 양자강을 통해서 연간 약 16억톤의 쇄설물이 그리고 한반도의 압록강, 대동강, 한강, 금강 영산강을 통해서도 상당량의 퇴적물이 연안류, 해류 및 파랑에 의하여 운반, 침적되고 있다.

한편 한강은 남한강과 북한강의 양대 수계를 이루며 연장 514km, 유역면적 26,279km²인 대하천으로 말단부에서 임진강 및 예성강과 합류하는데 지질학적으로 이 지역은 화성암류와 변성암류가 주류를 이루는 복잡한 지층분포로 형성되어 있다.

아산만은 안성천과 삼교천 등의 하천수가 유입되는 곳으로 지질학적으로는 화성암류와 변성암류가 분포되어 있으며, 금강하구는 금강, 만경강, 동진강이 서해로 연결된 지역으로 김제평야가 위치한 곳으로 화성암류와 변성암류를 이루고 있다. 또한 영산강하구는 강의 길이 115.8km, 유역면적 2,800km²인 호남평야가 위치하고 있으며 이 지역은 화성암류와 퇴적암류로 형성되어 있다.

남해안지역은 연안지역과 섬진강하구지역, 낙동강지역으로 형성되어 있으며, 남해안은 선캄브리아기의 변성암, 퇴적암, 관입화강암으로 구성된 중한지괴 위에 놓여져 있고 수차례의 조산운동 결과 초기 신생대의 불규칙한 지형을 이루고 있다.

해안선은 다수의 만으로 연결되어 있어 매우

복잡한 리아스식 해안(직선거리의 8.8배)으로 2,240여개의 크고 작은 섬들이 산재하여 한국 총도서 중 60% 이상을 차지한다. 섬은 육지의 구릉 및 산맥이 침강한 것으로 그 배열은 육지의 구조선(構造線)에 일치하고 있다.

한편 섬진강은 연장 212km, 유역면적 4,896km²로 하천수는 남해안의 광양만으로 유입되며 이 지역은 퇴적암류가 주류를 이루고 있고 낙동강은 연장 526km², 유역면적 23,860km²로 퇴적암류와 화성암류로 이루어져 있는데 특히 이 지역의 지반특성은 해수의 영향보다는 하천수의 영향에 의해 형성된 퇴적지반으로 형성되어 있는 것으로 보고되고 있다.

동해안은 신생대 제4기 초에 대단층운동(運動)으로 함몰하여 생성된 바다 분지로 해저지형은 한반도쪽에 접한 해저가 복잡하며, 또한 급경사를 이루어 대륙붕의 면적은 극히 좁다.

동해지역에서의 연약지반은 강릉과 속초지역에 위치한 일부 분지내의 지반이 연약한 퇴적토층을 형성하고 있는데, 강원도내의 대표적인 침식분지는 춘천분지, 양구분지, 원주분지, 홍천분지, 해안분지 등이 있으며 이들의 저지대는 쥬라기의 대보 화강암으로 그의 외곽은 선캄브리아기의 변성암류로 형성되어 있다.

동해안지역의 해안지형에는 연안류에 의한 사주의 발달로 청초호, 경포호, 영랑호, 화진포 등의 석호가 형성되어 있으며 해안선을 따라 사빈과 그의 배후지에 해안사구가 분포하고 있다. 암석해안으로 정동진-옥계 구간의 해안

표 1. 우리나라 연안의 조석특징

구 분 \ 위 치	동 해 안	남 해 안	서 해 안
대조차	0.3m	1.2~3.0m	3.2~8.2m
평균해면의 변동	3월에 낮고 7월에 높음(차 0.3m)	3, 4월에 낮고 7, 8월에 높음	2월에 낮고 8월에 높음(차 0.5m)
일조(日照)부등	대단히 현저함	적 음	적 음
조고(潮高)부등	저조에 큼	양저조시는 거의 같고 양고조시에 차가 있음	고조시에 큼
1일회조(回潮)	1일 1회조가 많음	1일 2회조	1일 2회조

표 2. 평균표면수은

(단위: °C)

구 분	월별 지역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	관측 년수
		서해안	인 천	1.47	1.15	3.77	8.66	14.30	19.00	22.89	25.34	22.90	18.05	
	군산항	1.34	2.26	5.88	11.75	17.20	22.14	24.63	26.39	22.88	18.01	11.18	4.75	5
	목 포	4.99	4.37	6.63	11.36	11.13	19.84	23.32	25.45	23.16	18.35	13.36	8.29	29
남해안	완 도	7.39	7.31	8.83	12.37	16.30	19.31	21.58	24.79	22.95	18.99	14.01	9.07	12
	여 수	5.69	5.19	8.14	12.21	16.53	20.00	23.02	25.07	23.65	20.01	15.18	9.56	59
	부 산	10.40	10.19	11.12	13.01	15.34	17.86	19.53	23.41	22.73	19.34	15.83	12.10	25
동해안	속 초	5.40	4.11	5.72	8.94	12.62	16.74	20.60	22.59	20.62	16.97	12.25	8.19	13
	주분진	7.65	6.11	8.83	9.35	12.47	16.41	20.07	22.65	21.12	17.84	13.98	10.50	26
	울 산	12.00	11.30	11.89	12.98	14.81	16.73	18.35	21.43	22.20	19.56	16.16	13.74	34

자료: 국립수산진흥원, 해양조사년보, 1996~1987.

단구의 형성은 동해안이 용기해안의 특성을 나타내기도 한다.

표 1과 표 2는 우리나라 해안연약지반의 특성에 큰 영향을 미치는 연안의 조석특징과 평균표면수은을 나타낸 것이다.

6.3 연약지반의 분포

서울지역에서 연약지반인 충적층을 형성하고 있는 토질은 굵은 모래자갈부터 점토까지 매우 다양한데 하천을 중심으로한 노원구 지역의 충적층은 상계동의 경우에 7m 정도의 두께를 가지며 가는 모래 또는 굵은 모래로 구성되어 있다. 이 층은 남쪽으로 내려올수록 두꺼워져서 10m 이상으로 증가하며 구성 토질도 가는 모래나 점토질 실트로 변한다. 그러나, 중랑천에 해당하는 성동구 능동과 송정동의 충적층은 주로 가는 모래나 굵은 모래로 구성되어 있고 능동의 경우 층두께가 3m 정도밖에 되지 않으며 송정동의 경우에도 9m 정도밖에 되지 않는다. 한편, 마포구 성산대교 강북쪽에는 실트질 모래로 된 충적층이 심도 10m까지 분포하며 그 하부에도 13m 정도의 두께로 굵은 모래질 충적층이 분포하고 있어 전체적으로 매우 두꺼운 충적층을 형성하고 있다.

강동구 충적층의 경우에 둔촌동에는 지반심도 3m에서부터 층두께 3m의 실트질 충적층이

비교적 얇게 분포하지만 한강에 가까운 풍납동과 고덕동에는 지반심도 1~3m에서부터 12~13m까지 굵은 모래질의 충적층이 비교적 두껍게 분포하고 있다.

강남구의 충적층은 거의 대부분 층두께가 2m 내외인 것이 특징이며, 포이동~내곡동 사이의 표층에 붕적기에 형성된 두께 2m의 붕적층(colluvium)이 발견되기도 한다. 강남구의 충적층은 송파구 석촌동과 가락동 주변까지 연결되어 있으며 한강에 가까워 질수록 두꺼워지는 경향을 나타낸다.

한편 서울지역의 표층은 풍화잔류토나 매립층으로 이루어져 있는데 매립층의 경우에는 자연표고에 따라 매립심도가 다르게 나타난다. 표층이 풍화잔류토인 지역은 관악산과 북한산 일대의 비교적 자연표고가 높은 곳이며 이외의 지역은 대부분 매립층으로 덮혀 있다.

특수한 목적으로 매립한 지역을 제외하면 매립층은 주로 하천부근의 충적층 상부에 있게 되는데 매립심도는 대체로 5m 이하이다(김, 1994).

서해안의 경우 서해 중앙부, 중국대륙 연안부에서 동지나해에 이르는 해역과 한반도 서·남해연안에 세립질 퇴적물이 넓게 발달, 분포한다. 표층 1cm의 퇴적물의 경우 한반도의 서·남해연안과 외해쪽에는 각각 실트질 점토와

모래가 넓게 분포되어 있으며, 북부의 사질토와 남부 및 중국대륙에 가까운 서부의 세립질 퇴적물이 뚜렷이 구분되어 이에 따라 함수비, 간극비, 유기물 함유량 등의 성질들도 뚜렷이 달라진다.

깊이 150cm 내외의 퇴적물의 경우 남쪽으로 갈수록 실트보다 점토함유량이 증가(50% 이상)하며, 점토질 실트에서 실트질 점토로 변하고 전반적으로 실트의 입경이 크며, 비교적 토질역학적으로 안정된 상태를 보이고 있다.

수심은 매우 얇아서(평균수심 55m) 대부분 100m 이내의 평탄한 해저면을 이루고 있으며, 연해는 조석간만의 차가 커서 인천에서는 간만의 차가 8m에 이르기기도 한다.

남해안의 경우 해수면 하강시 퇴적된 잔류 사질 퇴적물로 덮혀 있고 퇴적물이 조류가 강한 섬 주변의 암반 노출지역에서 떨어진 곳에 두껍게 퇴적되어 있다(최대 30~60m). 세립질 퇴적물은 중국대륙의 황하가 주공급원이며, 연안해류에 의해서 제주도 남서쪽까지 운반되어 잔류 사질 퇴적물로 피복되어 있다. 표층 1cm의 퇴적물은 섬들 주변과 수로내의 일부지역을 제외하고는 거의가 점성토 및 사질토로 구성되어 있고, 상부 퇴적층은 서해안에서 남해안을 따라 흐르는 연안류에 의한 세립 퇴적물 유입, 조류에 의한 공급, 중국 양자강에서 흘러온 부유 퇴적물 및 섬진강 등의 하천에서 유출된 퇴적물의 유입 등에 의해 퇴적된 것으로 알려져

있다.

해저면은 제주(평균수심 120m)에 대한해협(평균수심 200m)의 남쪽 및 남동방향으로 점차 깊어지고 나머지 해역은 대부분 수심 100m 이하이다.

한편 전남의 영산강, 섬진강, 탐진강 등 주요 하천을 중심으로 한 평야부와 남해 및 서해안의 연안 등에 신생대 제4기(약 1만년전)부터 충적층이 기반암위에 퇴적되어 왔고 표면에서부터 토사, 점토, 실트, 세사, 중사 순으로 발달되어 있다. 충적층의 주요 분포지역은 영산강의 극락강(광산구 서설평야), 지석4강(광산구 대초면일대), 황룡강(광산구, 장성), 대초천(나주평야, 영암), 고막천(나주서쪽, 무안, 함평)으로 대체로 중생대 중기에서 말기에 관입된 화강암류가 기반지질을 이루고 있다. 또한 화순천 일대의 화순평야부, 강진과 장흥의 탐진강 일대, 강진의 병영, 보성강 일대의 보성, 승주, 곡성일대, 월등천의 승주일원, 서시천의 구례, 별교천과 이사천의 구례, 승주, 순천일대의 기반은 선캄브리아기의 변성암류인 편마암류로 이루어져 있다. 이들 충적층의 발달상은 다음 표 3과 같다. 다만 이 표에서 각토층의 두께는 지질학적판단에 의한 것이므로 지반공학적으로는 문제가 있다(박, 1994)

우리나라 해안연약지반의 분포를 정리하면 일반적으로 서해안의 경우 9~18m, 남해안은 9~25m인 것으로 보고되고 있으며(김, 1975),

표 3. 충적층의 발달상태

구 분	지 역	영산강	섬진강	서시천	탐진강	별교천	극락강	황룡강	
	청수천석곡천(광산, 담양, 장성)	구례	구례	강진군	장흥군 보성 별교	담양	장성	광주	
土砂, 粘土, 실트	1.93m	0.9m	1.34m	1.48m	1.82m	0.7m	2.9m		
細砂	0.16	-	-	0.21	0.25	-	-		
中砂	0.17	0.36	0.72	0.05	0.10	0.3	0.3		
* 砂	0.43	-	-	-	0.67	-	-		
砂 * 石	2.26	2.36	3.02	1.69	1.69	1.7	0.42		
轉	2.17	3.55	2.79	1.17	3.17	1.0	-		
총 두께	7.12	7.17	7.87	4.6	7.69	3.7	7.4		

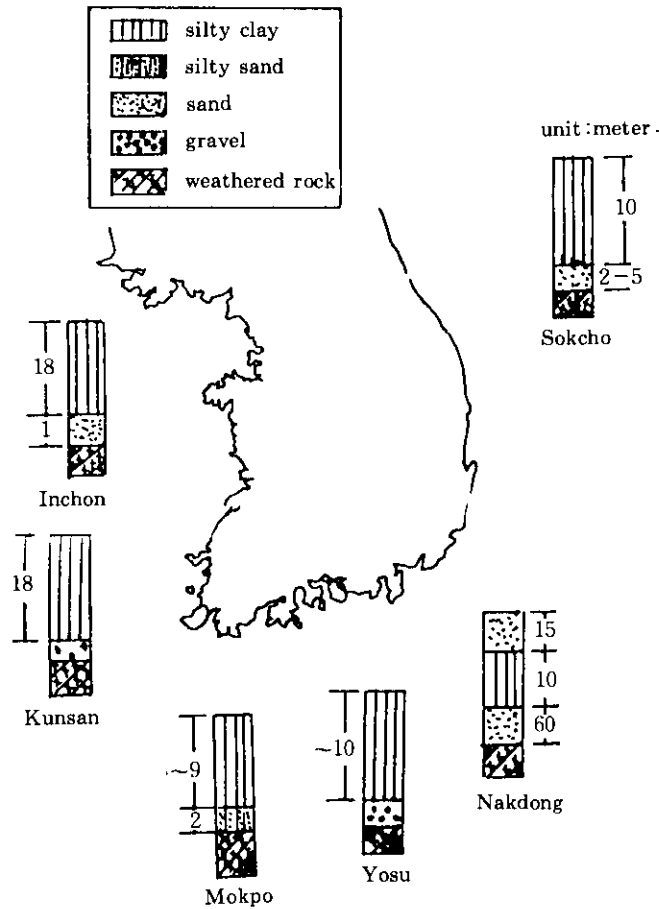


그림 2. 우리나라 해안부근의 대표적인 지층구조(김, 1975)

최근에 일부 지역에서는 약 40m까지 분포되어 있는 것으로 조사되고 있으며 이러한 연약지반은 약 5,000년전인 제4기에서부터 형성된 것으로 우리나라 연근해의 대표적인 지층구조는 그림 2와 같다.

6.4 연약지반의 공학적 특성

연약지반은 내륙지방의 충적연약점토와 연약해성점토지반으로 크게 나눌 수 있으며 실트질, 모래질의 일부도 포함된다. 특히 점토지반은 자연함수비가 액성한계와 비슷하고 대부분 100% 이하이나 지역에 따라서는 120~230%

의 높은 값을 나타내는 경우도 있다. 이들은 대부분 유기질을 함유하고 있어 통일분류법으로는 OH에 속하는 경우가 많다.

우리나라 해안의 기반암의 깊이는 지역에 따라 매우 상이한 특성을 갖고 있으나 평균적으로 서해안 최대 27m, 남해안 34m, 동해안 20m 정도로 알려져 있는데, 이러한 기반암 상부에 분포하는 해안연약지반의 전반적인 특성을 파악하는 것은 매우 어려운 일이다.

통일분류법에 의한 분류결과 전반적으로 CL, CH, ML, OH 등의 토질이 불규칙하게 분포되어 있는 것으로 나타났으며 분석대상지역

중 유기질점토는 마산귀고리, 부산항, 여수, 명주와 속초 등의 일부 지역에 분포하는 것으로 분석되었다.

이러한 연약지반은 서해지역에서 남해지역으로 내려갈수록 점토함량은 증가하는 반면 실트함량은 감소하고 모래함량은 대부분 10% 내외로 나타났으며 유기질의 함유량은 대부분 약 1.1% 이하인 무기질점토인 것으로 보고되고 있다(박, 1994).

함수비와 간극비는 서해안에서 남해안으로 갈수록 증가하는 경향을 나타내며 습윤밀도와 건조밀도는 반대로 나타나는데, 서남해안에 위치한 충적점토는 대부분 활성도가 작은 보통점토 혹은 비활성점토에 속하는 것으로 소성한계 및 흙의 비중은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 한편 압밀특성을 점토해본 결과에 따르면 초기 간극비는 한강하구, 아산만, 금강하구 및 낙동강지역에서는 1.0내외로 나타나는 반면 영산강하구 및 섬진강하구 지역은 초기 간극비가 1.2~2.2 정도로 크게 나타나고 이들의 변화폭도 큰 것으로 지적되고 있으며 선행 압밀하중은 0.30~0.96kg/cm²로 지역적인 편차가 크며 같은 지역내에서도 변화폭이 큰 것으로 나타났다.

지역별로는 금강하구 및 낙동강지역은 0.6내외, 영산강하구 및 섬진강하구지역은 0.4내외로 나타나고 있다.

해성점토의 특성은 입경 2 μ 이하의 점토함유율에 의해 좌우되는데 우리나라의 경우 점토함유율은 0~62.6%의 다양한 범위내에 있으며, 남해안으로 갈수록 점토 함유율이 증가하는 경향을 보여준다.

비중은 지역에 관계없이 2.56~2.80의 범위로 대체적으로 비슷한 크기다.

남서해안일대의 충적점토에 대한 압축지수는 0.4~0.8사이가 대부분이며 압밀계수는 10⁻³~10⁻⁴(cm²/sec)로 큰 침하와 느린속도의 압밀이 예상된다(박, 1994).

압축특성은 대부분 정규압밀점토에 속하나, 지표면은 여러가지 작용으로 과압밀 상태를 나

타내는 경우도 있으며, 지하 4m 이하에서는 과압밀계수(OCR)가 1보다 작은 未壓密(under-consolidation)인 경우도 많다.

동남임해지역의 총적층은 과압밀비인 OCR이 1.1~1.2로서 약간의 관입성을 띠는 연약점토지반이다.

그리고 점토의¹ 심도가 깊어지더라도 대부분 점토의 강도증가는 거의 나타나지 않는데 이는 앞에서 기술한 미압밀의 영향과 관계되는 것으로 판단된다(박, 1994).

이밖에 실트질이나 사질연약지반은 대부분 진동이나 반복하중을 받을 경우 액상화의 발생 우려가 있는 N치 10이하의 지지력을 가지고 있는 경우가 많다.

우리나라 해안연약지반의 자연함수비는 14.6~226%의 범위로 서해안 14.6~11%, 남해안 18.0~148%, 동해안 64.0~226%의 넓은 범위로 분포되어 있다. 평균적으로 서해안 40% 전후, 남해안 67% 전후의 함수비를 보여주고 있으나 동해안의 경우 평균 함수비를 규정하기에는 분산성이 매우 크다. 각 해안별 함수비의 상이는 점토함유량, 입도특성 등이 상이하고 연약지반의 조성 토질이 상이하기 때문인 것으로 판단된다.

액성한계의 경우 서해안 NP~97%, 남해안 25~130%, 동해안 62~150%의 범위로 나타났고, 소성지수도 서해안 NP~65%, 남해안 8.6~82%, 동해안 29~95%의 범위로 서해안, 남해안, 동해안으로 갈수록 증가하였다. 소성지수와 액성한계에 의하면 소성도상에서 서해안은 중 또는 저소성 무기질 점토, 남해안은 중 또는 고소성 무기질 점토에 속하고 있다.

건조밀도는 서해안 0.93~1.86t/m³, 남해안 0.85~1.45t/m³, 동해안 0.53~0.54t/m³으로 동-남-서해안 순으로 커지고 있다.

간극비는 서해안 0.13~2.99, 남해안 0.58~3.48, 동해안 2.88~3.89의 범위로서 서해안, 남해안, 동해안 순으로 커지며, 이는 함수비에서도 예측되듯이 동해안의 간극비가 가장 크다.

압축지수를 지역별로 살펴보면 한강하구, 아

산만, 금강하구 및 낙동강지역은 0.12~0.33으로 나타나고 영산강하구지역은 0.30~0.63으로 섬진강하구지역은 0.44~0.81로 나타나 지역적으로 큰 차이를 보여주고 있으며 이러한 경향은 압축지수의 지역별 특성이 초기간극비와 유사한 경향을 나타내는 것으로 보아 초기간극비에 의한 압축지수 추정이 매우 유용하리라 예측케한다.

한편 연약지반의 토질조사에 매우 유용한 콘관입시험 결과를 점토한 결과에 따르면 영산강하구와 섬진강하구지역은 2~4kg/cm²로 매우 연약한 충적점토지반으로 나타났으며 그 이외에는 2~10kg/cm²로 나타나 심도별 변화폭이 큰 것으로 지적되고 있다(류, 1988).

지반상수에 대한 상관성에 대하여(변, 1965)는 마산항의 충적점토에 대한 지수적특성시험에서 점토의 함량이 증가함에 따라 액성한계는 증가하며 PI=0.78(LL-20)인 고소성점토임을 제시하였고(류, 1988)는 섬진강하구의 충적점토에서 PI=0.761(LL-17.0)의 관계식을 비롯하여 우리나라의 주요 하구지역의 관계식을 제시한 바 있다.

특히 경기지역에서는 유기질 함유율이 1.1% 이하로 이루어져 있는데 대부분의 한국 해안연약지반에서와 마찬가지로 카오리나이트가 주류를 이루고 있다.

또한 심도 약 5m를 경계로 이질인 층상을 이루는 경우가 많이 있는데 이와 관련하여 과

표 4. 우리나라 해안연약지반의 공학적 특성

지역		점토함유율(<2 μ)		건조밀도(t/m ³)		간극비	
한강	김포	- 15	5.7-62.5(평균:17.5)	1.37 - 1.41	1.16-2.20(평균:1.37)	0.931-1.286	0.16-1.97(평균:0.93)
	반월	10 - 20		1.16 - 1.19		1.277-1.842	
	한강하구	- 25		1.27 - 1.48		0.8 - 1.0	
	인천항	- 15		-		0.815-1.21	
	영종도	12 - 33		1.51 - 1.55		0.745-1.401	
	남양지구	5.7 - 62.5		1.64 - 1.79		0.565-1.831	
	계화도	- 34		1.66 - 1.73		0.575-1.070	
	송산지구	24 - 59		1.43 - 1.46		0.809-1.233	
	경인 운하	-		1.50 - 1.73		0.66 - 1.97	
	굴포천	-		1.52 - 1.56		0.73 - 1.45	
시화5	-	2.24 - 2.30	0.16 - 0.40				
아산만	서산	-	12-33(평균:21.6)	1.54 - 1.56	1.21-1.56(평균:1.32)	0.76 - 1.333	0.76-1.333(평균:1.01)
	아산만	12 - 33	1.21 - 1.42	0.85 - 1.2			
금강	금강하구	12 - 35	12-35(평균:23.5)	1.21 - 1.45	1.21-1.45(평균:1.34)	0.8 - 1.15	0.8-1.15(평균:1.0)
영산강	영산강하구	25 - 50	15-50(평균:38.1)	0.93 - 1.22	1.00-1.86(평균:1.08)	1.448-2.283	0.13-2.99(평균:1.45)
	군산	- 15		1.00 - 1.40		0.93 - 1.57	
	대불	-		1.00 - 1.58		0.13 - 0.4	
	진도	-		1.66 - 1.86		0.43 - 0.64	
섬진강	여수	15 - 30	-	-	-	2.47 - 2.99	-
	여천	-	5-50(평균:34.6)	0.96 - 0.98	0.85-1.72(평균:0.99)	1.75 - 2.97	0.583-3.015(평균:1.72)
섬진강	광양	5 - 39	-	1.67 - 1.72	-	0.583-3.015	-
	섬진강하구	20 - 50	-	0.85 - 1.19	-	1.28 - 2.09	-

표 4. 우리나라 해안연약지반의 공학적 특성(계속)

지역		자연함수비(%)		액성한계(%)		소성지수(%)	
낙동강	녹산	-	12-45(평균:32.9)	1.43 - 1.53	1.20-1.53(평균:1.35)	0.8 -1.85	0.66-3.48(평균:0.97)
	낙동강하구	25 - 35		1.20 - 1.45		0.75 -4.45	
	마산항	- 15		-		1.36 -1.82	
	창원	-		0.91 - 1.70		0.66 -1.97	
	마산귀고리	12 - 45		-		2.81 -3.48	
	부산항	- 45		-		0.76 -2.85	
동해안	명주	-	-37	0.53 - 0.54	0.53-0.54	3.8 -5.64	2.88-5.64
	속초	- 37		-		2.88 -3.89	
한강	김포	21.6 -57.1	14.6-69.4(평균:17)	27.1 - 40.1	N.P-64.6(평균:31.5)	2.5 -18.2	N.P-45.8(평균:9.2)
	반월	24.1 -56.4		27.2 - 45.2		11.0 -25.7	
	한강하구	20.1 -38.0		28 - 34		6 -12	
	인천항	24.3 -48.5		35.9 - 62.6		12.8 -24.6	
	영종도	26.5 -50.1		26.2 - 51.7		10.9 -21.8	
	남양지구	14.6 -65.9		26.4 - 64.6		N.P -45.8	
	계화도	18.9 -42.4		28.6 - 49.4		N.P -27.1	
	송산지구	29.87-47.66		32.8 - 52.6		9.73-30.86	
	경인 운하	29.7 -69.4		N.P - 45.7		13.8 -23.8	
	갈포천	30.2 -54.6		25.9 - 44.2		N.P -27.6	
	시화5	28.8 -49.9		N.P - 45.7		N.P -24.3	
아산만	서산	32.0 -47.0	30.0-47.0(평균:22)	26.0 - 47	26.0-47(평균:30.8)	8.0 -21.0	7-21.0(평균:12.1)
	아산만	30 -45		27 - 36		7 -17	
금강	금강하구	28 -40	28.0-40.0(평균:24.1)	30 - 41	30-41(평균:34.2)	8 -20	8-20(평균:14.0)
영산강	영산강하구	47.1 -98.7	15.3-111(평균:39.0)	32.4 - 55.6	N.P-97(평균:38.5)	16.0 -36.1	N.P-65(평균:19.5)
	군산	35 -60		34.2 - 42.9		8.9 -16.9	
	대불	26.5 -60		N.P - 42.9		N.P -16.9	
	진도	15.3 -65.5		29.1 - 59		10.0 -37.1	
섬진강	여수	84 -111	18.0-105.1(평균:36.7)	74 - 97	22.3-111(평균:46.2)	31.0 -65	8.6-73.3(평균:23.2)
	여천	64.8 -105.1		50.9 - 111		21.1 -73.3	
	광양	18.0 -92.2		22.3 - 87.8		8.6 -63.6	
	섬진강하구	43 -78		35 - 53		15 -28	
낙동강	녹산	30 -70	27.0-148.0(평균:33.3)	25 - 80	25-130(평균:37.2)	10 -40	8.8-82(평균:14.8)
	낙동강하구	27 -55		32 - 53		19 -27	
	마산항	42 -76		31 - 52		11 -25	
	창원	30 -55		30 - 65		8.8 -35.6	
	마산귀고리	101 -148		107 - 130		58 -82	
	부산항	58 -81		58 - 84		10 -54	

표 4. 우리나라 해안연약지반의 공학적 특성(계속)

지역		내부마찰각(ϕ')		점착력(c' , kg/cm ²)		일축압축강도(kg/cm ²)	
동해안	명주	64 - 226	64.0-226	114 - 150	62-150	92 - 93	29-95
	속초	83 - 155		62 - 145		29 - 95	
한강	김포	0 - 34	0-35(평균:6.4)	0 - 0.65	0-0.65(평균:0.21)	0.07 - 1.037	0.13-1.037(평균:0.42)
	반월	3 - 17		0.13 - 0.3		-	
	한강하구	-		-		0.27 - 0.61	
	인천항	-		-		-	
	영종도	-		0.09 - 0.24		0.15 - 0.40	
	남양지구	0 - 27		0.04 - 0.48		0.04 - 0.37	
	계화도	1.5 - 35		0 - 0.42		0.09 - 0.38	
	송산지구	6 - 17		0.10 - 0.43		0.28 - 0.60	
	경인 운하	-		-		0.37 - 0.93	
	굴포천	-		-		0.13 - 0.85	
	시화 5	-		-		0.063-0.601	
	아산만	서산		-		2-6(평균:3.25)	
아산만		2 -	0.1 - 0.22	0.16 - 0.41			
금강	금강하구	2 - 14	2-14(평균:6.34)	0.13 - 0.29	0.13-0.29(평균:0.18)	0.14 - 0.40	0.14-0.40(평균:0.27)
영산강	영산강하구	0 - 3	0-35(평균:1.78)	0.08 - 0.13	0-2.4(평균:0.12)	0.1 - 0.25	0.1-0.57(평균:1.5)
	군산	24 - 25.4		0.65 - 2.4		-	
	대불	26 - 35		0.65 - 2.4		-	
	진도	6.5 - 10.4		0.11 - 0.34		-	
섬진강	여수	14 - 21	0-10.4(평균:2.23)	0 - 0.11	0.08-0.34(평균:0.13)	-	0.1-0.57(평균:1.6)
	여천	6.5 - 10.4		0.11 - 0.34		-	
	광양	-		-		0.13 - 0.57	
낙동강	섬진강하구	0 - 4	17-21(평균:6.37)	0.08 - 0.15	0.08-0.35(평균:0.24)	0.1 - 0.18	0.07-0.85(평균:0.52)
	녹산	-		0.1 - 0.5		0.15 - 0.85	
	낙동강하구	-		0.14 - 0.35		-	
	마산항	-		-		-	
	창원	-		-		0.07 - 0.25	
	마산귀고리	-		-		-	
동해안	부산항	17 - 21		0.08 - 0.30		-	
	명주	-		-		-	
	속초	-		-		-	

압밀비(OCR)의 심도분포인 경우도 지표로부터 약 5m 심도까지 OCR=1.0~5.0의 범위의 과압밀상태로 나타나고 5m 이하인 심도에서는

정규압밀분포를 나타낸다. 이 원인으로서는 조위차가 약 8m에 달하는 간만의 작용으로 반복된 하중의 영향, 상부층의 전조작용, 그리고 지하

수위의 저하의 영향 등에 기인된 것으로 볼 수 있다. 이 지역의 실트(ML)는 비소성, 중소성 및 저소성으로 구분되는데 비소성은 석영성분이 많은 유역으로부터 운반된 토사가 있고 중, 저소성은 화강암지역으로부터 유출된 성분이 주로 포함된 결과로 볼 수 있다.

본 지역에서 실트의 LL 및 PL의 측정으로부터 전체 약 43%가 비소성(NP)인 것으로 나타난다.

또한 초기간극비 e_0 와 압축지수 C_c 와의 관계에 대하여는 높은 상관관계를 나타내는데 이 관계식은 $C_c = 0.38 e_0 - 0.19$ 로 나타났다(박, 1992).

한편, 해성점토의 역학적특성을 종합, 분석하면 대부분의 토질이 무기질점토로 판단되며, 소성의 정도는 중간정도에 많이 속하여 있으나 저소성과 고소성에도 약간씩 속해 있는 것으로 분석된다. 따라서 국내 해성토를 물리적 특성만을 고려하여 역학적 특성을 추정하면 대체로 강도는 큰 편은 아니고 상대적으로 투수성이나 체적변화율은 작은 것으로 추정되고 결국에는 압밀계수가 작은 것으로 판단된다.

또한 점토광물은 서해안에서 카올리나이트가 많이 포함되어 있고, 남해안은 일라이트가, 그리고 동해안은 일라이트와 부분적으로 몬트모리노나이트성이 포함된 것으로 판단된다. 그리고 일축압축강도에 의하면 대체적으로 매우 연약하거나 연약한 토층이 대부분인 것으로 분석된다. 서해안 일부지역과 남해안 녹산지역의 일부에서는 중위 정도의 강도를 갖는 지반도 분포하고 있는 것으로 나타났다.

우리나라 해안연약지반의 물리적, 역학적 특성에 대하여 기존 조사자료를 기초로 정리하면 표 4와 같다.

6.5 결 언

지금까지 개괄적이거나 우리나라에 분포되어 있는 연약지반의 분포 및 연약지반에 미치는 지질학적 모암의 분류, 지역별 연약지반의

공학적 특성에 대하여 국내의 여러 자료를 통하여 관련 전문가가 제시한 내용을 인용하여 기술하였다.

기술된 내용중 연약지반의 공학적 특성 부분에 대하여는 해당 사업장별로 각각의 발주기관이 지반조사업체에 용역발주하여 이루어지는 관계로 관련 조사자료를 수집하는데 한계가 있었으며 산발적으로 검토, 분석된 관련 전문가가 검토, 제시한 자료를 토대로 작성한 관계로 독자의 판단사항이 많이 있으리라 본다. 또한 일부 학자들의 각종 학술재단의 연구비 지원을 받아 우리나라 연약지반의 분포와 관련된 연구를 수행중에 있기도 하지만 특히 본 원고작성을 통하여 지반조사와 관련된 몇가지 현존하는 문제점과 해결방안을 기술한다면 조사결과의 신뢰성 측면에서 검증할 수 있는 방법이 미약하다는 점과 아직까지도 연약지반을 평가할 수 있는 분석기술이 마련되어 있지 않아 어려움이 있으며 현장 조사장비 및 시험장비의 적용상의 한계로 인하여 조사 및 시험에 어려움이 있다는 점을 들 수 있다.

이러한 여러가지 문제점을 극복하기 위해서는 산학연 뿐만 아니라 국가적인 차원에서 깊은 관심과 의지를 가지고 가능한 한 모든 지원에 인색하지 말아야 할 것이며 무엇보다도 관계자인 우리가 이익만을 추구하는 자세에서 과감히 탈피하고 모든 이에게 신뢰받을 수 있는 지반조사 결과를 도출하는데 지혜를 모아야 할 시기임을 제언한다.

참 고 문 헌

1. 국토개발연구원(1982), 간척자원실태분석 및 활용방안연구
2. 김사한(1987), "한국해성점토의 분포 및 공학적 특성에 관한 연구", 동국대학교 대학원 공학석사학위 논문
3. 유연택(1988) "우리나라 서남해안에 분포하는 충적점토의 토질특성에 관한 연구", 강원대학교 대학원 농학박사 학위논문
4. 한국건설기술연구원(1994), 국내 해안연약지반

의 공학적 특성 평가

5. 농어촌진흥공사(1994), 한국의 간척
6. 중앙대학교 생산공학연구소(1994), 한국 점성토의 공학적 특성에 관한 연구
7. 한국지반공학회(1994) 창립10주년기념 한국지반공학 발자취
8. 朴永穆(1994), “低平地に堆積する海成粘土の土質特性と鉛直排水工法による地盤改良に関する研究”, 大學院博士學位論文
9. 朴永穆外 2人(1992), “京畿平野の土質とその地盤改良に関する考察”, Saga Univ., Reports of the Faculty of Science and Eng.
10. Yeong-Mog Park, Eun-Chul Shin, Sang-Ro Ahn (1996), “Geotechnical Properties of Soft Marine Clay in Korea”, The Sixth International Offshore and Polar Engineering Conference, USA.