

# 김포매립지의 수문지질학적 특성에 관한 연구\*

유근배\*\* 서종철\*\*\* 박선엽\*\*\*\* 박의준\*\*\*\*\*

< 차례 >

I. 序 論	III. 지층구조와 지하수위
1. 연구목적	1. 지층구조
2. 연구지역	2. 지하수위
3. 연구내용 및 방법	IV. 퇴적물의 특성
II. 기후와 수문 특성	1. 물리적 특성
1. 기후	2. 화학적 특성
2. Thornthwaite Method에 의한 수문특성	V. 結 論

主要語 : Thornthwaite method, 수문특성, 간척지 퇴적물, 투수도, 지층구조

## I. 序 論

### 1. 연구목적

간척지가 인위적인 간척에 의해 해상환경에서 육상환경으로 변화되면, 퇴적물의 토양화가 빠르게 진행된다. 지금까지 간척지에 대한 연구는 간척 후 탈염과정, 간척에 따른 주민생활의 변화, 간척지에서의 작물생육 연구 등에 치중해 왔으며, 간척지 퇴적물의 토양화에 대한 연구와 간척지 퇴적물의 수문지질학적 특성에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

본 연구에서는 김포매립지의 ① 기후 및 수문 특성과 ② 지층구조 및 지하수위를 파악하고, ③ 퇴적물의 물리화학적 특성과 ④ 투수도를 측정하여, 간척지 퇴적물의 수문지질학적 특성을 밝히고자 하였다.

### 2. 연구지역

김포매립지는 1984년부터 매립이 진행되어 간척 후 약 10년이 경과된 지역이다. 매립이후 이 지역은 특정한 용도로의 이용이 되지 않은 상태로 방치되어 왔으며, 1994년에 수도권 매립부지로 선정된 이후 1단계 매립이 진행되고 있다.

김포매립지는 동쪽으로 학운산(112m), 필봉산, 가련산(215m), 계양산(392m), 철마산(226m) 등에 의해 둘러싸여 있는 분지상의 지형이다. 매립장은 동서쪽으로 2% 이내의 경사를 갖는 저평한 지형으로 구성되며, 인근 지역인 오류리, 왕길리, 백석동, 금암면 길무도 등지에는 해발 50m 내외의 구릉성 산지가 발달해 있다.

수로연장이 4km 이내인 1,2차수의 소하천이 조사지역 북쪽과 서쪽에 발달되어 있다. 조사지역 수계 중에서 유로연장이 가장 긴 하천은 계양산 북서쪽에서 발원하여 북북서류하다가 시천천 동서부에서 조사지역의 간척지로 유입된다.

조사지역 하천은 육상하천과 간척지에서 나타

\* 본 논문은 수도권 매립지 종합환경조사 연구보고서의 내용을 보완한 것임.

\*\* 서울대학교 사회과학대학 지리학과 부교수

\*\*\* 서울대학교 사회과학대학 지리학과 박사과정

\*\*\*\* 서울대학교 사회과학대학 지리학과 석사졸업

\*\*\*\*\* 서울대학교 사회과학대학 지리학과 박사과정

김포 매립지의 수문지질학적 특성에 관한 연구

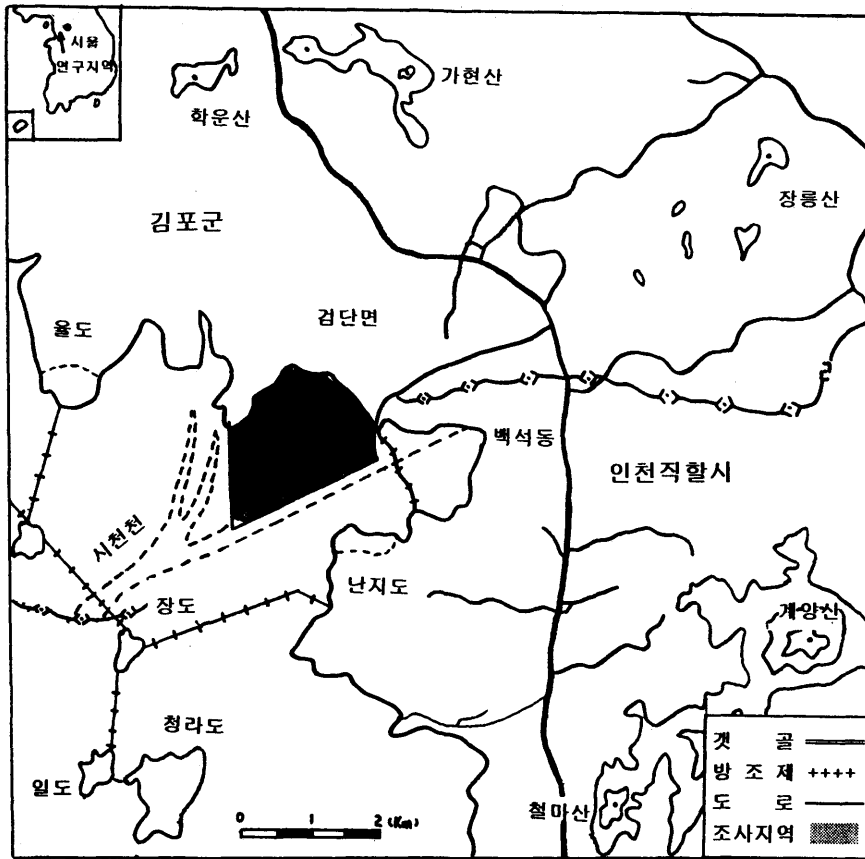


그림 1. 연구지역도

표 1. Thornthwaite 방법에 의한 수문 특성 분석

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
기온(℃)	-3.4	-1.6	4.2	10.4	15.5	20.6	23.6	24.7	18.3	14.4	7.0	1.9
강수량(mm)	18.5	15.3	40.1	64.3	86.2	108.6	266.6	250.6	117.1	59.4	49.2	25.5
열지수	0	0	0.77	3.03	5.55	8.53	10.48	11.23	7.13	4.96	1.66	0.23
잠재증발산량	0	0	12.4	46.2	80.5	118.1	146.3	143.9	86.5	58.2	20.4	5.0
강수량-잠재증발산량	18.5	15.3	27.7	18.1	5.7	-9.5	119.7	106.7	30.6	1.2	28.8	20.5
잠재수분결핍량(mm)						-9.5						
저류량(mm)	143.5	158.8	125.0	125.0	125.0	115.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0
토양수분변화량	0	0	0	0	0	-10.0	+10.0	0	0	0	0	0
실제증발산량	0	0	12.4	46.2	80.5	118.6	146.3	143.9	86.5	58.2	20.4	5.0
수분결핍량	0	0	0	0	0	-0.5	0	0	0	0	0	0
수분잉여량	0	0	27.7	46.2	5.7	0	109.7	106.7	30.6	1.2	28.8	20.5

나는 갯골(tidal creek)의 특징을 함께 갖추고 있으며, 하상구배는 약 1.9%, 유역면적은 약 23.4km<sup>2</sup>이다(그림 1).

지질은 선캠브리아기의 경기편마암복합체에 속한다. 조사지역의 하부는 변성암류의 화강편마암, 호상편마암과 후에 이를 관입한 각섬석화강암을 기반암으로 하며, 그 상부에는 제 4기의 충적층, 붕적층(colluvium) 및 해성퇴적층 등으로 피복되어 있다. 충적층은 하상 퇴적층으로 舊河道를 따라 분포하는 사력층이고, 붕적층은 사면에 쌓여 있던 非固화(unconsolidated)상태의 잔류토가 홍수가 일어날 때 하류구간으로 흘러 내려 하천의 연변에 쌓인 육성퇴적층이다. 해성퇴적층은 본 조사지역에서 지질층서상 가장 상위층을 이루고 있다. 구성물질은 주로 실트질 점토이며, 모래성분과 유기물, 운모, 조개껍질(shell) 등을 함유하고 있다.

### 3. 연구내용 및 방법

#### 1) 문헌조사

1985년에 촬영된 항공사진과 1:25,000 지형도를 통하여 매립되기 이전의 지형과 매립 이후의 지형을 비교하여 시료 채취지점을 선정하였으며,

시추가 어려운 6m 이하의 지층에 관한 자료와 지하수 관련 자료는 김포지구 토질조사보고서(환경청, 1988)를 참조하였다.

#### 2) 야외조사

지형, 토양 및 지하수위의 특성을 파악하기 위하여 2차에 걸친 현장 야외 조사를 실시하였다. 1차는 1992. 10. 1일부터 4주일간, 2차 조사는 1993년 9월 15일부터 2주간 실시하였다.

퇴적물 시료를 채취하는 데에는 진동시추 장비(Vibracorer)를 이용하였다. Vibracorer는 시료를 교란시키지 않고 수직 6m까지의 퇴적층을 채취할 수 있는 장비이다. 따라서 시료의 퇴적 특성이나 구조를 잘 보존할 수 있는 특징을 가지고 있다. 1단계 매립지와 2단계 매립지의 6지점에서 시추작업을 실시하였는데, 각 지점마다 2개의 core를 채취하였다. 각 조사지점은 『그림 2』와 같다.

#### 3) 실내실험

##### (1) 물리적 특성 조사

##### ① 입도분석

시추작업을 통해 채취한 5m의 퇴적 단면에서

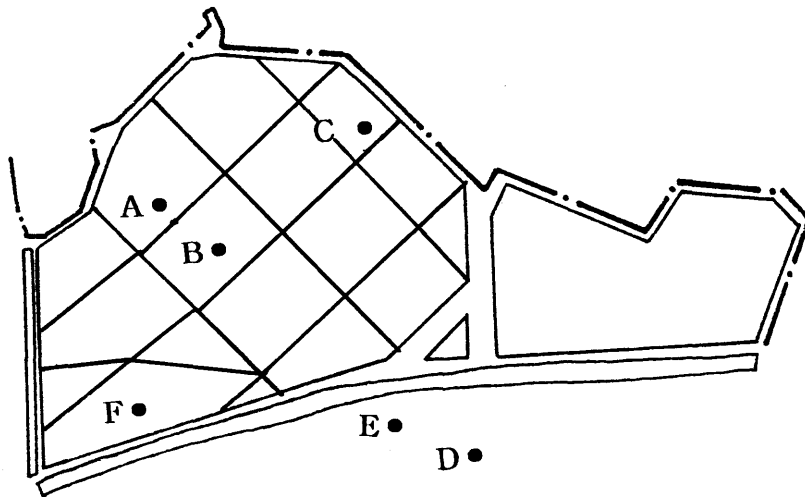


그림 2. 조사지점의 위치

20cm마다 표품을 채취하여 입도분석을 실시하였다. 이러한 작업을 통하여 퇴적물의 입도가 수직상으로 어떻게 변하는가를 파악하였다.

음건시료 약 10g을 비이커에 담아 과산화수소를 가하여 유기물을 제거하고 곧바로 염분을 제거하였다. 이 시료를 4 $\phi$ 체에 통과시켜 4 $\phi$ 이하 입자를 1,000mm 실린더에 분리하고, 4 $\phi$ 이상의 모래는 오븐에 넣어 105 $^{\circ}$ C에서 건조시킨 후 정밀저울로 무게를 측정하였다. 4 $\phi$ 이하의 입자는 확산제를 가하여 확산시킨 후 침전법에 따라 피펫을 이용하여 입자크기별로 추출하여 건조시킨 후 건조중량을 측정하였다.

② 투수도 측정 실험

진동시추법을 통하여 얻은 非교란(undisturbed) 시료를 20cm의 길이로 절단하여, 이것을 그대로 투수도 측정장치(permeameter)에 장착하여 투수계수를 측정하였다. permeameter는 상수두형(constant head)형과 수위낙차식(falling head)에 모두 충족될 수 있는 것으로 설계하였다(그림 3). 이 장비에는 20cm 크기의 시료를 그대로 장착할 수 있기 때문에 시료의 퇴적구조가 반영된 투수계수를 측정할 수 있다는 특징이 있다. 연구 지역의 시료는 대부분 점토질로 점착성이 매우 커서 투수계수가 매우 작을 것으로 예상되었기 때문에 수위낙차식 방법을 사용하였다.

(2) 화학적 특성 조사

① 유기물 함량

음건시킨 시료를 2mm체에 통과시킨후 식물뿌리를 제거였다. 이 시료를 세라믹 도가니에 넣고 105 $^{\circ}$ C 건조로에서 4시간 동안 작열 시킨 후 데시케이터에서 식히고 무게를 측정하였다. 이 때 소실된 중량을 유기물 함량으로 하였다.

② 산도(pH)와 전기전도도

산도는 2mm체를 통과시킨 음건토양에 증류수를 1:5의 비율로 가하여 30분간 진탕한 후 여과액을 Fisher社의 이온/산도측정기로 측정하였다. 전기전도도는 같은 방법으로 여과액을 추출하여 YSI 33 전기전도도 측정장치를 사용하여 측정하였다.

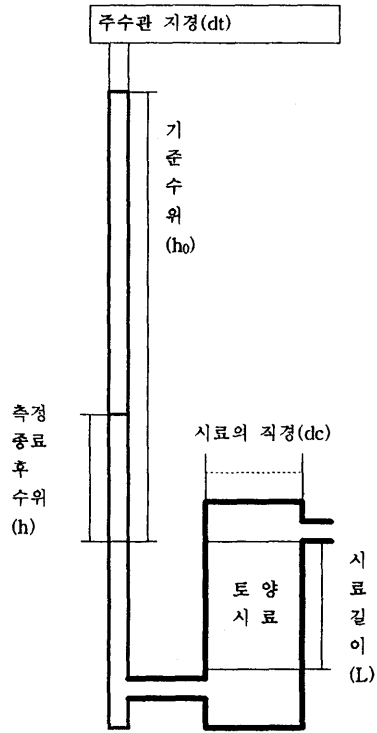


그림 3. Falling-head permeameter

③ 치환성 양이온

K, Ca, Na, Mg 등의 치환성 양이온은 2mm체를 통과시킨 4g의 음건토양에 20ml의 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>(초산 암모니아 용액)을 가하고 1시간 동안 진탕하여 Whatmann 44번 여과지로 여과한 후, 그 여과액을 Shimadzu社의 발광분광계(ICP Q-1000)를 이용하여 측정하였다.

II. 氣候 및 水文特性

1. 기후

이 지역은 해양성기후와 대륙성기후의 영향을 동시에 받기 때문에 동계에는 한랭하고 하계에 다습한 특징을 나타내고 있다. 따라서 주변지역

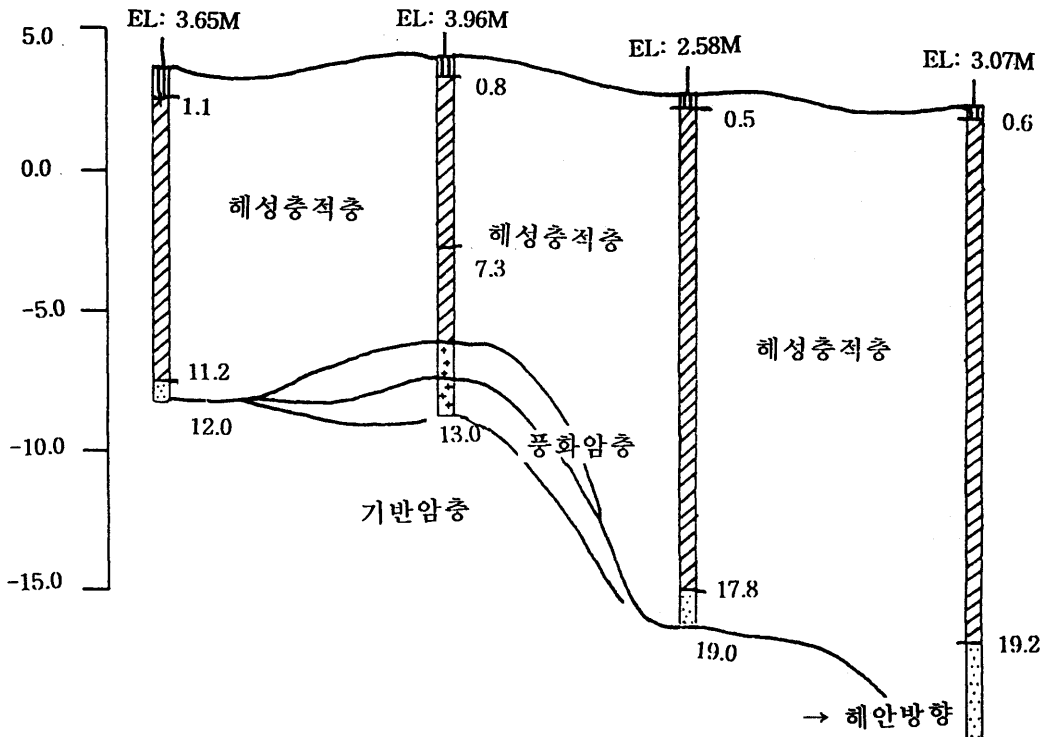


그림 4. 매립지의 지층구조

인 서울, 수원, 청주 등의 내륙지역과 비교해 볼 때, 최한월 평균기온은 높고 최난월 평균기온은 낮게 나타난다. 이 지역의 연평균 기온은 10.95℃로서 전국평균인 12.6℃보다 약간 낮다. 평균 최고기온은 15.6℃, 평균 최저기온은 8.0℃이다. 인천축후소에서 관측된 과거 10년간(1982-1991)의 연평균강수량은 1,352mm이며, 월평균 최다강수량은 7월의 266.6mm이다.

이 지역의 과거 10년간 천기일수에 따르면, 맑은날이 102일, 흐린날이 102일, 강수일이 102일로 나타났으며, 풍속이 13.9m/sec 이상인 폭풍은 동절기(11월-2월)에 많이 발생하는 것으로 나타났다. 특히 안개일수는 환경오염의 확산문제와 밀접한 관련이 있는데, 이 지역의 안개일수는 총 56일로서 4월에서 8월에 걸쳐 발생하고 있다.

인천축후소의 과거 10년간 관측자료에 따르면, 이 지역의 풍향은 하계에는 남서계열, 동계에는

북서계열에 속하며, 연평균 주풍향은 북서계열이 우세하다. 과거 10년간의 연평균 풍속은 3.72 m/sec이며, 주풍향은 동계에는 서풍-북서풍이고 하계에는 남풍으로 조사되었다. 따라서, 오염시설이 입지하였을 경우 오염물질이 내륙쪽인 동쪽이나 동남쪽으로 운반될 가능성이 높으므로, 이러한 시설의 입지는 주 풍향을 고려하여 이루어져야 한다.

## 2. Thornthwaite Method에 의한 수문특성

Thornthwaite와 Penman은 1948년에 “잠재 증발산(Potential Evapotranspiration)”이란 개념을 소개하였다. 이 개념은 지리적으로 상이하게 분포하는 세계의 기후나 일반적인 수문학 연구에 지대한 영향을 주었다. Thornthwaite는 기후인자와 같은 물리적 조건과 생물적 조건의 중요성을 반영하여 증발산량을 산정하였다.

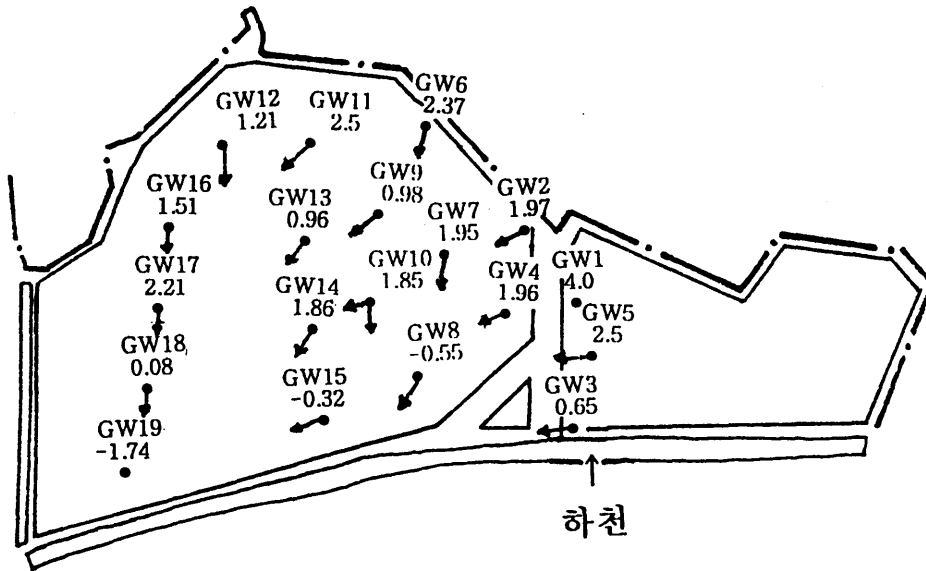


그림 5. 조사지점의 지하수 흐름방향

이러한 기후인자와의 관련성을 이용한 계산방법에는 Thornthwaite방법 외에도 Blaney-Criddle 방법, Penman방법 등이 있다. 전자는 미국 서부 지역을 중심으로 하여 만들어진 것이기 때문에 다양한 지역에 광범위하게 적용시킬 수 없다는 단점이 있고, 후자는 비교적 정확성이 높지만 많은 기후자료가 필요하다는 점에서 한계를 가지고 있다.

Thornthwaite방법은 해당 조사지역의 위도, 강수, 기온 등의 자료를 기초로 해서 그 지역의 수문특성을 파악해내는 것인데, 각 지역환경의 특수성이나 입력자료의 한계 등에도 불구하고 상당한 타당성을 갖는 것으로 평가되고 있다.

본 연구에서는 김포매립지의 수문학적 특성을 파악하기 위하여 C.W.Thornthwaite의 방법을 사용하여 지표 토양수분의 연중 변동을 파악하였다(표 1). 이 방법에 의해서 계산된 잉여수분은 지표유출량과 같은 의미로 받아들일 수 있으므로, 그 값은 침출수 및 지표수 관리에 있어서 중요한 의미를 갖는다.

인천 지역 10년 동안의 기온과 강수량 자료를 이용하여 분석한 결과에 의하면, 하계에 해당되는 6월에서 9월 사이의 강수량이 연강수량의

67.5%이고, 특히 7, 8월 두 달의 강수량이 47%로 강수의 하계집중도가 큰 편이었다. 또한 7월과 8월 두 달의 지표 유출량이 전체 유출의 57.4%를 차지하여, 강수에 의한 유출의 하계집중도가 상당히 높은 것으로 나타났다.

지표 유출량이 0으로 나타나는 기간은 1, 2월과 6월이었으며, 특히 수분 결핍이 나타나는 기간은 1년 중 6월 한 달에 불과하였다. 이러한 결과를 통해 볼 때, 이 지역은 전체적으로 수분 잉여 지역에 해당된다고 볼 수 있다.

### Ⅲ. 지층구조와 지하수위

#### 1. 지층구조

본 연구지역은 대부분 해성퇴적층, 풍화층, 풍화암층, 그리고 기반암층 등으로 구성되어 있다. <그림 4>는 Vibracorer를 이용한 본 조사결과와 Rotary Wash Type 시추기를 이용한 환경청 조사자료를 참고하여 지층단면도를 그린 것이다.

해성퇴적층은 해수의 작용을 받아 퇴적된 층으로 제 4기에 형성된 것이다. 대체로 바다쪽으

로 갈수록 두께가 두꺼워지는 경향을 보인다. 퇴적물의 구조는 지표 수 cm까지의 표층부에서는 입상구조를 보였으며, 입단의 크기는 1mm 이하로 매우 작으며 단립구조에 가깝다. 이와 같이 입단이 잘 형성되지 않는 이유는  $Na^+$ 의 농도가 높기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 입상구조를 보이는 표층의 아래부터 5-6m까지는 대부분 판상구조를 보인다. 판상구조는 비교적 최근에 퇴적된 퇴적물에서 일반적으로 나타나므로, 본 연구지역에서는 이전의 조건대 퇴적구조를 그대로 반영하고 있는 것으로 사료된다.

풍화층은 기반암의 풍화로 생성된 것으로 화학적 조성이 크게 변화한 층이다. 지질이나 구성물질의 차이로 인해 풍화정도는 지점별로 상이하게 나타난다. 상부의 물질은 거의 토양모재로 풍화된 상태며, 하부는 암석의 조직이 어느정도 남아있어서 상대적으로 밀도가 치밀하다.

풍화암층은 기반암인 화강편마암이 풍화된 것으로 일부는 완전한 암석조직으로 남아있는 층이다. 김포지구 해안매립지 토질조사 보고서(환경청, 1988)에 의하면 풍화암층은 대략 5.8-19.3m 에서부터 나타나는 것으로 조사되었다.

기반암은 화강편마암, 호상편마암, 각섬석 화강암 등으로 이루어져 있으며, 일부는 풍화된 상태로 존재한다. 기반암층은 지표로부터 약 17m 정도 하부에 분포한다.

### 3. 지하수위

P.V.C. Pipe를 통한 지하수위 계측결과가 <표 2>에 나타나 있다. 표고가 낮은 해안 지역의 지하수위는 낮고, 매립지 내부의 고도가 비교적 높은 곳과 매립지 바깥부분은 높은 지하수위를 보이고 있다. <그림 5>는 지하수위 계측 결과에 따라 지하수의 흐름 방향을 나타낸 것이다.

지하수는 일반적으로 표고가 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르기 때문에 본 연구지역의 지하수 흐름 방향은 <그림 5>와 같이 중앙부분과 외부 거주지역에서부터 표고가 낮은 해수로 방향을 따라 해안을 향해 흐르고 있다. 대체적인 지하수

표 2. 조사지역의 지하수위

조사지점	지하수위 (EL.m)	조사지점	지하수위 (EL.m)
GW1	4.00	GW11	2.50
GW2	1.97	GW12	1.21
GW3	0.65	GW13	0.96
GW4	1.96	GW14	1.86
GW5	2.50	GW15	-0.32
GW6	2.37	GW16	1.51
GW7	1.95	GW17	2.12
GW8	-0.55	GW18	0.08
GW9	0.98	GW19	-1.74
GW10	1.85		

위는 지표 하부 약 1-3m 깊이에 나타난다.

## IV. 퇴적물의 특성

### 1. 퇴적물 물리적 특성

#### 1) 토성

조사지역에서 채취한 시료들을 수직 층서에 따라서 20cm 간격으로 표품을 다시 채취한 후 피펫팅 방법을 통하여 입도를 분석하였다. 입도 분석 결과를 요약하면 <표 3>과 <그림 6>과 같다.

전체적인 시료의 특성은 대부분의 시료에서 실트의 함량이 60%-80% 정도로 가장 점유율이 높고, 점토가 10%-20% 정도를 차지하는 전형적인 해성퇴적물의 특징을 보인다. 모래는 대체로 10%-20%를 차지한다. 지점과 층서에 따라 모래의 함량이 크게 차이가 나타나는데, 작게는 1% 내외, 많게는 60% 이상을 차지하는 경우도 있다.

입도의 분포를 보면, 평균입경이 5-6 $\phi$ 로 실트에 해당되고, 미국 농무성 기준에 의해 이 시료들을 분류하면 대부분이 사질실트와 실트에 해당된다. 시료들의 분급도는 2.1-3.0으로 분급의 상태가 양호하며, 입도는 정규분포를 나타낸다. 왜도(skewness)는 일부의 시료를 제외하면 양의 값을 가지는데, 이는 모래에 비해 실트나 점토의 비율이 더 우세하기 때문이다.

각 입도별로 토성을 살펴보면 다음과 같다.

<지점 A>

평균입도는 대체로 5.5 $\phi$  내외의 실트크기이며, 실트의 함량이 55%에서 79%까지 차지한다. 점토의 함량은 1.5m 깊이를 중심으로 20%까지 나타나고, 3m 깊이에서는 10%까지 낮아진다. 모래는 2m 이하에서 27%까지 높게 나타난다. 분급은 2.5 내외로 양호하며 왜도는 양의 값을 나타내 점토함량이 우세하다는 것을 시사한다.

표 3-1. 입도분석 결과 (A 지점)

시료 번호	깊이 (m)	중량비(%)			mean ( $\phi$ )	sort ( $\phi$ )	skewness
		sand	silt	clay			
A-1	30	15.4	69.4	14.8	5.90	2.90	0.34
2	50	12.3	71.2	12.5	5.70	2.50	0.48
3	70	5.2	78.2	14.6	5.80	2.20	0.36
4	90	6.7	77.6	14.6	5.60	2.20	0.41
5	110	4.3	76.8	18.7	5.60	2.16	0.29
6	130	2.4	65.3	24.9	6.35	2.55	0.14
7	150	9.2	75.4	14.9	5.60	2.30	0.35
8	170	8.2	74.0	14.9	5.80	2.40	0.33
9	190	30.8	55.2	11.5	5.25	2.55	0.45
10	210	18.9	59.4	13.1	5.80	2.90	0.28
11	230	18.5	56.5	19.6	5.55	2.65	0.36
12	250	19.8	59.2	11.6	5.80	2.80	0.46
13	270	23.4	62.9	10.4	5.15	2.35	0.40
14	290	27.6	60.0	10.0	5.05	2.35	0.36
15	310	15.3	67.9	16.6	5.10	2.19	0.38
16	330	23.4	61.8	12.5	5.30	2.50	0.36
17	350	2.3	79.3	17.7	6.45	1.75	0.20
18	370	14.0	68.1	14.4	5.65	2.55	0.33

<지점 B>

평균입도는 5.5 $\phi$  내외의 실트크기이며, 실트가 63%에서 78%까지 차지한다. 지표에서 2.5m 깊이까지는 점토가 10%에서 20%까지 차지하고 모래의 함량이 대부분의 시료에서 10% 이하를 나타낸다. 반면에 3m 깊이 내외에서는 모래의 함량이 35%까지 나타나고 점토의 함량이 10% 이하로 나타난다. 분급은 1.8에서 3.4로 양호하며 왜도는 양으로 나타난다.

표 3-2. 입도분석 결과 (B 지점)

시료 번호	깊이 (m)	중량비(%)			mean ( $\phi$ )	sort ( $\phi$ )	skewness
		sand	silt	clay			
B-1	30	9.8	71.2	14.4	5.90	2.50	0.36
2	50	13.6	69.7	10.9	5.55	2.45	0.02
3	70	5.3	76.2	18.5	5.55	2.26	0.23
4	90	16.4	62.9	13.1	5.80	2.90	0.38
5	110	8.8	72.9	14.0	6.15	2.75	0.67
6	130	10.9	74.7	13.3	5.45	2.15	0.35
7	150	6.8	78.3	14.1	5.55	2.05	0.37
8	170	3.4	77.0	19.4	5.54	2.19	0.31
9	190	8.2	75.7	13.4	5.65	2.35	0.40
10	210	12.0	74.1	12.5	5.40	2.20	0.45
11	230	8.5	77.3	13.1	5.50	2.20	0.36
12	250	8.9	74.7	14.7	5.75	2.35	0.40
13	270	13.0	75.6	9.7	5.00	1.80	0.44
14	290	34.7	44.0	9.3	5.70	3.40	0.53
15	310	35.0	50.9	10.2	5.15	2.55	0.53
16	330	7.3	63.9	26.3	5.90	2.40	0.25
17	350	10.3	68.6	21.0	5.44	2.41	0.44
19	390	12.1	70.1	13.8	5.70	2.50	0.36

<지점 C>

평균입도는 5.9 $\phi$  내외의 실트크기이며, 실트가 45%에서 82%까지 차지한다. 점토는 대부분 13-17%의 함량을 보이나, 90cm 깊이에서 47%, 190cm 깊이에서 28%, 350cm 깊이에서 27%로 높게 나타난다. 표층 1m를 제외하고는 모래의 함량은 10% 이하이다. 분급은 2.1에서 2.6으로 양호하며, 왜도는 90cm 깊이를 제외하고는 양으로 나타난다.

<지점 D>

평균입도는 5.9 $\phi$  내외의 실트크기이며, 실트가 58%에서 82%까지 차지한다. 점토의 함량은 대체로 15% 내외를 보이나 70cm 깊이에서는 20%, 270cm 깊이에서는 23%로 높게 나타난다. 모래는 270cm 깊이를 기준으로, 윗부분에서는 7% 이하, 아랫부분에서는 12% 이상을 나타낸다. 분급은 2.1에서 2.7로 양호하며, 왜도는 양으로 나타난다.



표 3-3. 입도분석 결과 (C 지점)

시료 번호	깊이 (m)	중량비(%)			mean (φ)	sort (φ)	skew -ness
		sand	silt	clay			
C-1	30	12.5	72.9	13.6	5.50	2.30	0.39
2	50	7.2	76.8	14.5	5.60	2.20	0.36
3	70	11.6	69.0	13.2	5.75	2.55	0.37
4	90	5.9	45.8	45.8	6.55	2.85	-0.40
5	110	6.4	75.5	17.2	5.90	2.40	0.42
6	130	8.0	71.8	13.2	6.10	2.60	0.46
7	150	1.1	82.0	15.8	5.95	2.15	0.40
8	170	6.8	78.3	14.1	5.55	2.05	0.37
9	190	6.3	61.9	28.7	6.10	2.50	0.12
10	210	7.4	74.1	16.3	5.90	2.40	0.29
11	230	7.4	74.0	15.0	5.90	2.40	0.42
12	250	7.2	72.0	15.7	5.95	2.45	0.22
13	270	9.5	71.1	13.0	5.90	2.50	0.40
14	290	8.4	74.1	15.8	5.75	2.35	0.36
15	310	9.0	73.2	15.0	5.80	2.40	.037
16	330	5.7	77.5	16.0	7.15	2.55	0.37
17	350	0.5	72.5	27.0	6.23	2.36	0.31
18	370	6.3	75.0	16.6	5.90	2.30	0.30
19	390	6.7	76.5	14.4	5.85	2.35	0.32

표 3-5. 입도분석 결과 (E 지점)

시료 번호	깊이 (m)	중량비(m)			mean (φ)	sort (φ)	skew -ness
		sand	silt	clay			
E- 1	30	5.2	77.5	16.5	5.90	2.30	0.26
2	50	1.1	81.1	17.1	5.95	2.15	0.30
3	70	6.6	78.8	13.6	5.70	2.20	0.36
4	90	5.97	78.9	14.6	5.60	2.10	0.33
5	110	30.2	49.0	20.4	5.05	2.68	0.34
6	130	5.8	78.9	14.2	5.70	2.20	0.36
7	150	10.0	64.5	13.1	5.40	2.10	0.29
8	170	2.2	35.8	64.2	7.55	2.05	-0.76
9	190	5.9	77.2	14.7	5.80	2.30	0.39
10	210	4.7	78.6	14.6	5.80	2.30	0.43
11	230	3.4	91.8	4.3	5.20	0.70	-0.29
12	260	12.0	58.2	29.5	6.15	2.72	0.07
13	280	25.0	44.8	29.1	5.60	2.80	-0.57
14	300	29.4	56.4	12.3	5.10	2.50	0.36
15	320	20.7	65.2	12.0	5.85	2.95	0.39
16	340	2.4	79.9	16.1	5.91	2.21	0.28
17	360	36.8	48.0	10.7	5.10	2.50	0.56
18	380	38.7	49.7	10.3	4.90	2.30	0.48
19	410	9.3	66.7	24.3	5.70	2.48	0.42
20	430	13.3	69.3	16.5	5.60	2.40	0.33
21	450	14.8	69.7	14.8	5.55	2.35	0.45
22	470	11.6	73.4	14.3	6.05	2.75	0.16

표 3-4. 입도분석 결과 (D 지점)

시료 번호	깊이 (m)	중량비(m)			mean (φ)	sort (φ)	ske w - ness
		sand	silt	clay			
D-0	50	4.0	79.8	13.9	5.90	2.30	0.48
1	70	3.6	76.3	20.1	5.75	2.23	0.40
2	90	3.9	79.8	14.0	5.85	2.25	0.42
3	110	4.4	77.6	15.7	5.95	2.25	0.33
4	130	4.0	82.0	10.0	5.75	2.25	0.78
5	150	3.1	80.5	15.4	5.90	2.20	0.36
6	170	3.0	81.0	15.3	5.90	2.12	0.40
7	190	4.8	76.2	17.8	5.95	2.35	0.40
8	210	5.3	77.8	15.1	5.90	2.30	0.43
9	230	5.4	71.3	23.1	5.65	2.46	0.37
10	250	7.2	75.4	15.1	5.75	2.35	0.36
11	270	12.3	64.6	15.7	6.15	2.75	0.35
12	290	16.1	69.7	12.8	5.25	2.35	0.36
13	310	13.8	70.9	14.9	5.55	2.35	0.32
14	330	11.5	72.1	13.9	5.65	2.35	0.32
15	350	14.2	62.3	18.0	5.80	2.70	0.41
17	390	28.5	58.4	9.8	5.15	2.35	0.49
18	410	14.3	60.3	13.2	5.75	2.55	0.41
19	430	3.6	81.9	13.5	5.60	2.10	0.43
20	450	15.9	67.8	13.1	5.70	2.60	0.42

<지점 E>

평균입도는 5.6φ 내외의 실트크기이며, 실트의 함량은 다른 지점에 비해 35%에서 81%까지 다양하게 나타난다. 모래의 함량도 깊이에 따라 1%에서 39%까지 다양하게 나타난다. 특히 1m, 3m, 3.8m 깊이에서 높게 나타나며, 지표부근과 1.3m-2.3m 깊이에서는 함량이 낮게 나타난다. 점토의 함량도 깊이에 따라 크게 차이가 나는데, 2.3m 깊이에서 4%, 1.7m 깊이에서 64%까지 나타난다. 분급은 2.3 내외로 양호하며 왜도는 1.7m, 2.3m, 2.8m 깊이에서 음의 값을 나타낸다.

<지점 F>

평균입도는 4.8φ에서 6.2φ에 포함되는 실트 크기이지만, 470cm 깊이에서는 1.55φ로 모래크기가 나타나기도 한다. 분급은 1.65에서 2.7로 대체로 양호한 편이지만, 일부 시료에서는 3 이상의 값이 나타나기도 한다. 왜도는 1.3m 지점에서 음의 값을 나타낸다.

김포 매립지의 수문지질학적 특성에 관한 연구

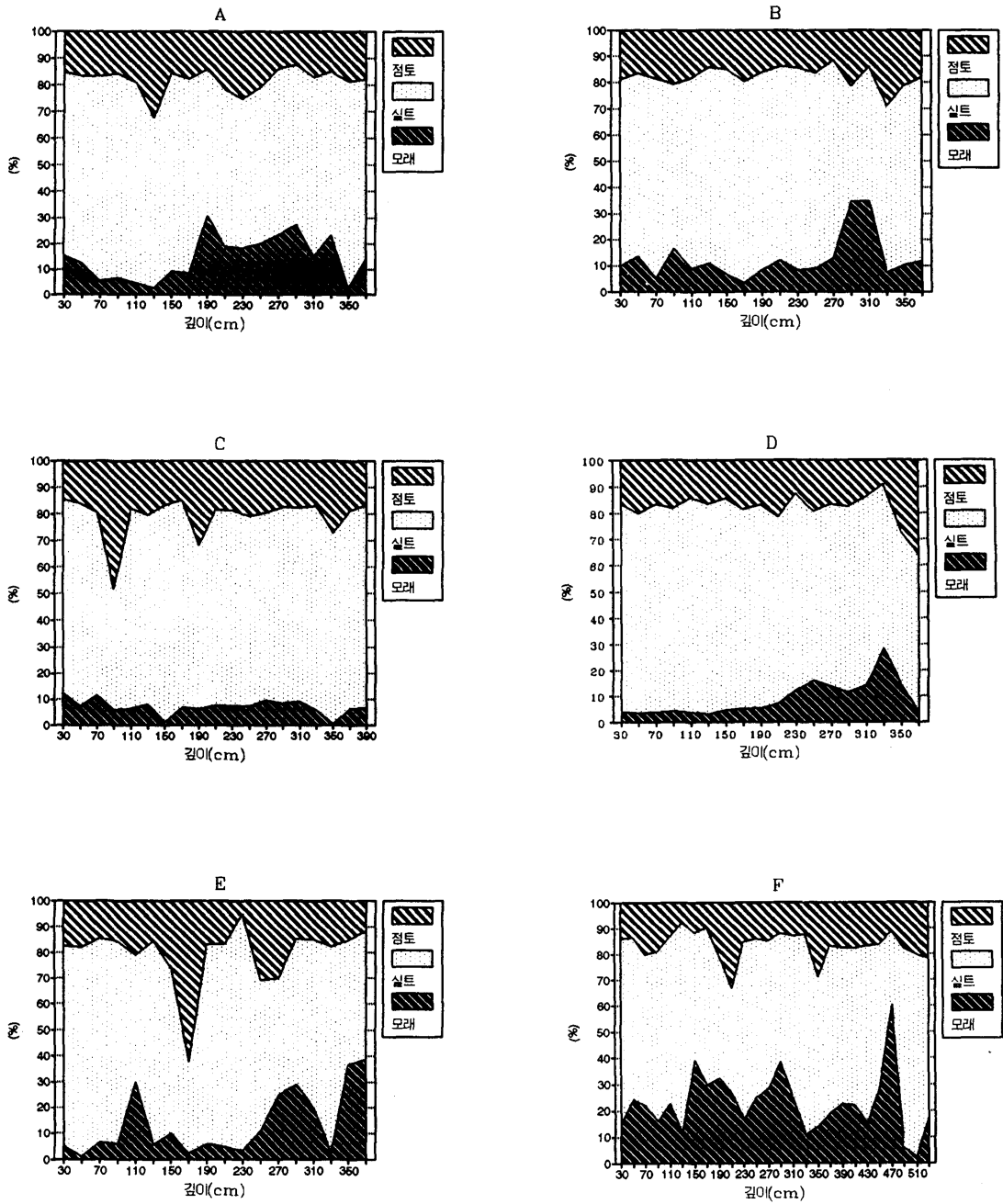


그림 6. 조사지점별 모래, 실트, 점토의 구성비

표 3-6. 입도분석 결과 (F 지점)

시료 번호	깊이 (m)	중량비(m)			mean (φ)	sort (φ)	skew -ness
		sand	silt	clay			
F- 1	30	15.3	70.6	13.0	5.25	2.25	0.29
2	50	24.4	62.1	12.2	6.20	2.40	0.42
3	70	22.0	57.9	13.6	5.75	2.95	0.39
4	90	16.1	65.2	14.9	5.65	2.65	0.28
5	110	22.7	64.1	11.3	5.30	2.50	0.44
6	130	11.4	80.9	6.9	5.15	1.65	-0.64
7	150	39.2	49.4	8.5	4.85	2.15	0.53
8	170	29.7	82.5	9.6	5.00	2.40	0.42
9	190	32.5	46.9	9.3	5.10	2.60	0.38
10	210	26.7	40.1	30.6	6.05	3.25	0.35
11	230	16.4	68.3	15.4	4.95	1.95	0.46
12	250	25.1	61.0	10.1	5.20	2.50	0.44
13	270	28.6	56.7	12.1	5.30	2.60	0.50
14	290	38.6	49.4	8.9	4.85	2.55	0.49
15	310	24.7	62.5	17.7	5.15	2.35	0.32
16	330	11.0	76.5	16.0	5.85	2.45	0.27
17	350	14.0	57.0	26.1	5.85	2.65	0.17
18	370	19.1	64.1	12.3	5.50	2.30	0.38
19	390	22.4	60.3	10.8	5.55	2.75	0.45
20	410	21.9	60.5	14.3	5.55	2.75	0.31
21	430	15.0	68.2	13.9	5.60	2.50	0.36
22	450	28.3	55.6	12.6	5.05	3.05	0.34
23	470	60.40	28.5	10.8	1.55	3.70	0.39
24	490	5.6	76.8	16.9	5.95	2.35	0.23
25	510	2.2	77.7	19.1	6.05	2.25	0.16
26	530	17.4	61.1	17.0	5.85	2.95	0.36

2) 투수계수 측정

실험실에서 측정한 투수계수는 <표 4>와 같다. 투수도 실험은 시료당 2-3회 실시했는데, 층서에 따라 투수계수는 커다란 차이를 보인다. 각

지점의 평균 투수계수는  $K_a = \frac{d}{\sum_{i=1}^d d_i / K_i}$  이다.

이때  $K_a$ 는 평균투수계수,  $d$ 는 퇴적물의 총두께,  $d_i$ 는 각층의 퇴적물두께,  $K_i$ 는 각층의 투수계수이다.

<지점 A>의 평균투수계수는  $8.33 \times 10^{-8}$ cm/sec로 나타난다. 깊이 1.4m 깊이에서  $7 \times 10^{-9}$ cm/sec로 가장 낮고, 1.2m깊이에서  $5.6 \times 10^{-5}$ cm/sec로 가장 높게 나타난다.

<지점 B>의 평균투수계수는  $1.18 \times 10^{-6}$ cm/sec로 나타난다. 2.2m 깊이에서  $1.2 \times 10^{-5}$ cm/sec로 가장 높게 나타나고, 1m 깊이에서  $4 \times 10^{-7}$ cm/sec로 가장 낮게 나타난다.

표 4-1. 투수계수 실험결과표(A, B 지점)

샘플	깊이	투수계수(cm/s)	샘플	깊이	투수계수(cm/s)
A3	60	$2.278788 \times 10^{-7}$	B1	20	$2.653450 \times 10^{-5}$
A4	80	$6.302476 \times 10^{-7}$	B3	60	$6.402282 \times 10^{-6}$
A5	100	$5.243109 \times 10^{-7}$	B5	100	$3.990699 \times 10^{-7}$
A6	120	$5.581069 \times 10^{-6}$	B6	120	$4.191085 \times 10^{-7}$
A7	140	$6.996197 \times 10^{-9}$	B8	160	$1.218185 \times 10^{-6}$
A8	160	$7.245428 \times 10^{-7}$	B10	200	$2.825554 \times 10^{-6}$
A9	180	$4.632162 \times 10^{-6}$	B11	220	$1.178705 \times 10^{-5}$
A12	240	$1.345458 \times 10^{-6}$	B13	260	$8.363522 \times 10^{-7}$
A14	280	$1.808264 \times 10^{-6}$	B14	280	$1.771659 \times 10^{-6}$
A15	300	$2.750690 \times 10^{-5}$	B15	300	$8.207523 \times 10^{-7}$
A16	320	$6.333830 \times 10^{-7}$	B17	340	$1.629756 \times 10^{-6}$
A18	340	$1.065730 \times 10^{-5}$	B19	380	$4.751454 \times 10^{-6}$
A19	360	$1.412854 \times 10^{-6}$			
평균		$8.33 \times 10^{-8}$	평균		$1.18 \times 10^{-6}$

표 4-2. 투수계수 실험결과표(C, D 지점)

샘플	깊이	투수계수(cm/s)	샘플	깊이	투수계수(cm/s)
C3	60	$5.352354 \times 10^{-6}$	D1	60	$3.697468 \times 10^{-6}$
C4	80	$2.722188 \times 10^{-7}$	D4	120	$1.402984 \times 10^{-6}$
C5	100	$6.448603 \times 10^{-7}$	D7	180	$6.672463 \times 10^{-5}$
C6	120	$2.039130 \times 10^{-7}$	D9	220	$4.040676 \times 10^{-7}$
C9	180	$5.935071 \times 10^{-6}$	D10	240	$2.455829 \times 10^{-6}$
C11	220	$3.649621 \times 10^{-6}$	D11	260	$5.354864 \times 10^{-6}$
C13	260	$1.474018 \times 10^{-6}$	D13	300	$9.641220 \times 10^{-7}$
C14	280	$3.084983 \times 10^{-7}$	D14	320	$1.075106 \times 10^{-6}$
C15	300	$3.008538 \times 10^{-6}$	D15	340	$1.516444 \times 10^{-6}$
C16	320	$2.291652 \times 10^{-7}$	D18	400	$8.554674 \times 10^{-6}$
C18	360	$8.939032 \times 10^{-7}$	D19	420	$1.195359 \times 10^{-6}$
C19	380	$9.904668 \times 10^{-7}$			
평균		$5.81 \times 10^{-7}$	평균		$1.44 \times 10^{-6}$

<지점 C>의 평균투수계수는  $5.81 \times 10^{-7}$ cm/sec로 나타난다. 1.8m 깊이에서  $6 \times 10^{-6}$ cm/sec로 가장 높게 나타나고 3.2m 깊이에서  $2.3 \times 10^{-7}$ cm/sec로 가장 낮게 나타난다.

<지점 D>의 평균투수계수는  $1.44 \times 10^{-6}$ cm/sec로 나타난다. 1.8m 깊이에서  $6.7 \times 10^{-5}$ cm/sec로

표 4-3. 투수계수 실험결과표(E, F 지점)

샘플	깊이	투수계수(cm/s)	샘플	깊이	투수계수(cm/s)
E4	80	$6.323014 \times 10^{-7}$	F3	60	$1.517389 \times 10^{-5}$
E6	120	$1.088633 \times 10^{-5}$	F4	80	$3.621897 \times 10^{-6}$
E8	140	$5.897287 \times 10^{-6}$	F5	100	$1.594194 \times 10^{-6}$
E9	160	$9.924983 \times 10^{-6}$	F6	120	$7.332047 \times 10^{-7}$
E11	220	$7.604636 \times 10^{-6}$	F7	140	$1.114938 \times 10^{-6}$
E14	290	$7.265732 \times 10^{-7}$	F8	160	$1.312729 \times 10^{-6}$
E15	310	$4.687216 \times 10^{-7}$	F9	180	$1.475702 \times 10^{-6}$
E17	350	$2.334127 \times 10^{-6}$	F10	200	$1.934058 \times 10^{-6}$
E18	370	$6.161424 \times 10^{-7}$	F14	280	$1.167317 \times 10^{-4}$
E19	400	$3.142529 \times 10^{-7}$	F17	340	$9.570120 \times 10^{-7}$
E21	440	$5.529934 \times 10^{-7}$	F18	360	$1.187912 \times 10^{-6}$
E22	460	$3.032285 \times 10^{-7}$	F19	380	$1.615005 \times 10^{-6}$
E23	480	$3.064816 \times 10^{-6}$	F20	400	$1.225485 \times 10^{-6}$
E24	500	$1.135100 \times 10^{-6}$	F21	420	$2.368446 \times 10^{-6}$
			F22	440	$6.262710 \times 10^{-7}$
			F23	460	$7.940285 \times 10^{-7}$
			F25	480	$1.931393 \times 10^{-5}$
평균		$8.17 \times 10^{-7}$	평균		$1.43 \times 10^{-6}$

가장 높게 나타나고, 2.2m 깊이에서  $4.0 \times 10^{-7}$  cm/sec로 가장 낮게 나타난다.

<지점 E>의 평균투수계수는  $8.17 \times 10^{-7}$  cm/sec로 나타난다. 1.2m 깊이에서  $1.1 \times 10^{-5}$  cm/sec로 가장 높게 나타나고 4.6m 깊이에서  $3.0 \times 10^{-7}$  cm/sec로 가장 낮게 나타난다.

<지점 F>의 평균투수계수는  $1.43 \times 10^{-6}$  cm/sec로 나타난다. 2.8m 깊이에서  $1.2 \times 10^{-4}$  cm/sec로 가장 높게 나타나고 4.4m 깊이에서  $6.3 \times 10^{-7}$  cm/sec로 가장 낮게 나타난다.

## 2. 화학적 특성

### 1) 유기물 함량

두 지점의 core에서 분석한 시료의 유기물 함량과 함수비는 다음과 같다(표 5). 시료를 통해 얻어진 함수비는 35-55%로 기존의 보고서에서 발표되었던 결과들과 거의 일치한다. 또한 유기물의 함량은 대체로 1-7% 정도로 나타났다.

두 곳 모두에서 4m 지점은 그 윗부분보다 유기물의 함량이 더 높다. 이 결과는 표층 1m 부분에서 1.8-2.3%였고, 조간대에서 평균 5.88%로

표 5. 시료의 함수비와 유기물 함량

시료 구분	깊이 (Cm)	시료량 (wet)	시료량 (dry)	유기물 처리후	함수비 (%)	유기물 량(%)
B	100	7.904	5.811	5.756	36.02	0.96
	200	8.108	5.273	5.156	53.76	2.27
	300	8.075	5.939	5.747	35.97	3.34
	400	7.109	5.150	4.826	38.04	6.71
D	0	6.160	3.995	3.883	54.19	2.88
	100	9.618	6.467	6.426	48.72	0.64
	200	7.273	4.971	4.903	46.31	1.39
	300	7.438	5.560	5.470	33.78	1.65
	400	9.602	6.640	6.213	44.61	6.87

나타났던 서종철(1994)의 조사 결과와 대체로 일치한다. 표층에서 유기물의 함량이 낮은 것은 조간대 퇴적물이 간척된 후 급격하게 분해되었기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 하층에서 유기물의 함량이 높은 것은 아직까지는 간척시 퇴적물의 성질을 반영하고 있다는 것을 의미한다고 사료된다.

### 2) 산도 및 전기전도도

조사지점에서 측정된 pH는 6.78-7.16으로 일반적으로 조간대에서 나타나는 pH값과 큰 차이가 나타나지 않았다. 이것은 매립지의 퇴적물 내의 가용성 염류들이 pH가 안정될 만큼 용탈되지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

전기전도도는 가용염의 총량을 나타내주는 지표로 많이 이용되는 것으로, 조사지역에서는 2.14에서 4.29(mmhos/cm)의 범위로 나타났다. 층위별로 보면, 표층에서는 작으나 심층으로 갈수록 높아져 1m 이하에서는 현생 조간대 퇴적물에서 나타나는 값의 절반 수준에 이른다. 조사지점별로는 갯골에 가까운 지점에서는 표층에서 전기전도도가 매우 낮게 나타났으나, 갯골과 먼 지점에서는 표층과 하층의 차가 크지 않았다. 이 결과는 갯골과 가까운 지점에서 염의 용탈이 활발하게 일어난다는 것을 의미한다.

### 3) 치환성 양이온(exchangeable cation)

본 연구에서는 K, Ca, Na, Mg의 4가지 양이온을 측정하였다. 조사지역은 해수의 영향을 받은 간척지에 해당되므로 다른지역보다 치환성 양이온의 농도가 높다. 이온별 농도는 Na 이온

이 가장 높고, K, Mg, Ca의 순으로 농도가 낮아진다.

층위별로는 하층보다 표층에서 농도가 낮게 나타나며, 지점별로는 갯골과 가까운 지점에서 농도가 더 낮게 나타난다. 이것은 가용성 염의 용탈이 갯골과 가까운 지점에서, 특히 표층부분에서 빠르게 일어나고 있음을 의미한다.

- 4.29의 측정값을 보였으며, 양자 모두 표층이 하층보다 낮은 값을 나타내 표층에서 가용성 염의 용탈이 활발히 진행되고 있음을 보여준다.

또한, 치환성 양이온의 농도도 pH나 전기전도도의 결과와 같은 경향을 가지며, 특히 갯골에서 가까운 지점에서 용탈이 빠르게 일어나고 있음을 시사해준다.

## V. 결론

이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 이 지역의 과거 10년 기상자료와 Thornthwaite법에 의한 수문특성 분석자료에 따르면, 7, 8월에 각각 47%와 57%로 강수의 하계 집중도와 유출의 하계 집중도가 높게 나타났다.

둘째, 본 연구지역의 지층구조는 크게 해안층적층, 풍화토층, 풍화암층, 그리고 기반암층으로 구분된다. 최상위층을 이루고 있는 해안층적층은 해안으로 갈수록 두꺼워지는 경향을 보였으며, 이전의 조간대 퇴적구조를 반영하고 있다.

셋째, 연구지역의 지하수위는 지표하부 약 1-3m 높이에 위치하고 있으며, 지하수 흐름방향은 비교적 표고가 높은 매립지 내부와 외곽의 거주지역에서부터 표고가 낮은 해수로를 따라 흐른다.

넷째, 김포매립지의 퇴적물은 실트와 점토의 함량이 각각 60%-80%, 10%-20%를 나타내고, 평균입도는 5-6 $\phi$ (silt 크기)로 전형적인 해안퇴적물의 특징을 보인다. 지점과 층서에 따라 퇴적물의 입경분포는 크게 차이가 난다. 특히, 0.0625-2mm크기의 모래는 층서에 따라 작게는 1%에서 크게는 60%까지 나타난다.

다섯째, 투수계수는  $1.0 \times 10^{-5}$ cm/sec에서  $9.0 \times 10^{-7}$ cm/sec 사이로, 대부분의 시료에서 폐기물 매립장 기준인  $1 \times 10^{-7}$ cm/sec 보다 약간 높게 나타났다.

여섯째, 유기물의 함량은 1-7%로 비교적 낮았으나, 표층보다 하층에서 높았다. 이것은 퇴적물의 표층이 산화환경에 노출됨에 따라 유기물이 빠르게 분해되었기 때문인 사료된다.

일곱째, pH는 6.78 - 7.16, 전기전도도는 2.14

## 〈 參考文獻 〉

- 박용안, 1983, 해양지질학 및 퇴적학실험, 집문당.
- 서종철, 1994, 간척지 퇴적물의 물리화학적 특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문.
- 선진엔지니어링, 1992, 수도권매립지 시험매립 및 부대공사 계획관리보고서.
- 환경청, 1988, 환경영향평가서.
- 환경처, 1991, 수도권매립지(1단계) 매립작업 기본설계보고서.
- 환경청, 1988, 김포지구 수도권 해안매립지 조성사업 토질조사보고서.
- ASA, 1965, *Method of Soil Anaysis Part I: Physical and Mineralogical Properties*, American Society of Agronomy, Inc. Publisher, pp.545-567.
- Canter, L.W., R.C. Knox, and D.M. Fairchild, 1988, *Ground Water - Quality Protection*, Lewis Publishes, INC.
- C.W. Thornthwaite and J.R. Mather, 1957, *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*, Centerton, N.J.
- Davis, R.A.Jr.(ed.), 1985, *Coastal Sedimentary Environments*, Springer-Verlag, New York.
- EPA, 1990, *Use of a Geographic Information System to Assess Risk To Ground-Water Quality at Public-Supply Wells*, Cape Cod, Massachusetts.
- EPA, 1989, *Hydrogeology and Simulation of*

- Ground-Water Flow at Superfund-Site Wells*, G and H, Woburn, Massachusetts.
- EPA, 1989, *Hydrogeology of a Hazardous-Waste Disposal Site near Brentwood*, Williamson County, Tennessee.
- Norman J. Rosenberg, 1974, *Microrclimate* :
- The Biological Environment*, John Wiley & Sons.
- Yu, K.B., 1986, *The Hydrology of the Okefenokee swamp Watershed Emphasis on Groundwater Flow*, Ph.D., University of Georgia.
- Miller, R. W. & R. N. Donahue, 1990, *Soils*, Prentice-Hall, Inc.

## The Study of Hydrogeologic Characteristics in Kimpo Landfill Site

Keun Bae Yu\*, Jong Cheol Seo\*\*, Sun-Yurp Park\*\*\*, Eui-Joon Park\*\*\*\*

### Summary

Kimpo landfill site was reclaimed 10 years ago. After the reclamation, the land has not been used for any purpose. The land was selected for the waste-fill site of Seoul Metropolitan Area in 1994. The Land reclaimed from tidal flats has not been studied enough in hydrogeologic aspect.

This study was aimed to provide the information of environmental properties at Kimpo landfill site: the climatic and hydrologic characteristics, physical and chemical properties of the sediments, the geologic structures, and the elevation of the underground water. Samples were obtained using the vibracorer into the depth of 6m without disturbance.

The results are as follows.

1. Summer season's concentration rate of precipitation and surface runoff are 47% and 57%, respectively.

2. The mean diameter of sediments in Kimpo landfill site is silt size(5-6 $\phi$ ). The contents of silt and clay are 60-80% and 10-20%, respectively. But the content of the sand(0.0625-2mm) is different from site to site.

---

\* Professor, Department of Geography, Seoul National University

\*\* Candidate for Ph. D., Seoul National University

\*\*\* Graduate Student, Seoul National University

\*\*\*\* Candidate for Ph. D., Seoul National University

3. The permeability of the sediments is in the range of  $1.0 \times 10^{-5}$  cm/sec  $\sim$   $9.0 \times 10^{-7}$  cm/sec. The permeability of most of the samples exceeds the exclusion criteria for the landfill site ( $1.0 \times 10^{-7}$  cm/sec).

4. The organic matter contents are relatively low (1-7%). The O.M. contents of the upper layer are higher than those of the lower layer. This means that the O.M. of the upper part was oxidized through the contact with the air.

5. pH and the electric conductivity (E. C.) are higher in upper part than the lower part. This result shows that the soluble solute is leaching out rapidly.

6. The geology in this study area is composed of coastal sediment layer, weathered soil layer, weathered rock layer and bedrock layer. The upper sediments have the characteristic of the tidal flat, and get thicker in depth toward the coast.

7. The underground water level is between 1-3m below the surface. The flowing direction is towards the lower tidal creek or coastal side.

**Keywords** : Thornthwaite method, hydrologic characteristics, reclaimed land sediment, permeability, geologic structure