

生活쓰레기 埋立地에서의 建設 및 環境 安全問題

權 五 錫

건설안전
토목시공 기술사

(사) 한국기술사회 부회장

(사) 한국건설안전기술협회 회장

목 차

I. 서론

1. 조사연구의 목적
2. 조사연구의 시설
3. 조사기간
4. 조사연구장비 및 기기
5. 조사연구의 방법

II. 구의 매립지의 지형 및 지질개요

1. 지형개요
2. 지질개요

III. 침출지하수 흐름분석

1. 지하수위 관측
2. 지하수위 흐름분석용 격자망
3. 조사연구 기간동안의 기상 및 수문 특성
4. 강우량과 지하수위의 변동관계

5. 침출지하수 흐름분석

6. 양수에 의한 지하수흐름 변동 및 그효과

IV. 침출지하수의 성분분석

1. 고형폐기물의 분해
2. 침출수
3. 오염물질의 제거
4. 구의 매립지의 침출지하수성분
5. 수질성분의 경년변화

V. 발생가스

1. 분해로 인한 발생가스
2. 발생가스의 관측
3. 가스배출정의 영향원 추정

VI. 종합분석 및 결론

참고문헌

요 약

本 研究는 都市의 固形 生活쓰레기 埋立地를 生活空間으로 轉換하는데 따라 發生可能한 建設 및 環境 安全問題를 分析하여, 그 對備策을 講究하도록 하는데 必要한 基本資料를 提供하는데 目的을 둔 것이다.

都市 쓰레기 埋立地의 한 곳인 서울특별시 성동구 구의동 埋立地(현재는 서울시 지하철 2호선 강변역이 位置한 곳으로 역의 서쪽은 中部 高速道路 터미널이 位置하고 있으며 역의

동쪽은 (株)現代建設 소유의 私有地로 아파트 단지가 造成되고 있는 중이다)의 쓰레기 埋立層과 그 하부의 基盤岩層, 그리고 埋立地 周邊의 地下水文學的 調查分析和 埋立쓰레기의 分解에 따른 發生가스 問題를 精密하게 分析하여 施設物의 건설과 相關한 諸般 安全問題와 住居環境과 相關한 諸般 安全問題를 精密하게 分析하여, 예측되는 問題들에 대한 對策樹立에 必要한 基礎資料를 安定的으로 究明하였다.

I. 서 론

1. 조사연구의 목적

본 조사연구는 서울특별시 성동구 구의동에 위치한 현대 아파트 신축예정지의 기반안정과 안전시공에 관한 조사연구 중 생활쓰레기 매립으로 조성된 대수층에서의 지하수흐름과 매립쓰레기로부터 발생하는 침출수로 인한 오염물질의 확산정도와 인접한 대수층으로부터 유입되는 오염되지 않은 지하수 및 지표로부터 침투하는 침투우수에 의한 세척효과를 분석하여, 도시 고형쓰레기 매립지의 생활공간으로의 이용에 따른 환경문제를 분석하여 그 해결방법을 강구하기 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 조사연구의 시설

본 조사연구는 1/1200과 1/2400 축적의 평면도에 의한 도상계획과 현장조사를 통해서 위치를 선정하여 시설한 지하수위 관측정 및 양수정을 이용하여 지하수 수질을 검사하며, 관측정에 설치한 급수시설 등을 이용하여 지하수 흐름을 분석하고 매립쓰레기로부터 배출되는 침출수의 수질변화 및 세척효과를 분석하기 위하여, (1) 지하수 관측 및 수질검사용 표본 채취용 관측정 10개공, (2) 세척효과 분석을 위한 물공급 시설을 관측정에 인접해서 10개소, (3) 한강수위 관측시설 1개소, (4) 양수용 관정 3개공을 시설하여 운용하였다. 또 지하수의 흐름 및 오염물질의 이동을 분석하기 위해서 2차원 지하수 흐름분석 모형인 모형 GFLOW와 지하에서의 오염물질 이동(확산) 모형인 모형 GSOLUTE를 이용하여 분석하였다. 이들 두 모형은 유한요소법(Finite Element Method)을 이용한 컴퓨터 모형으로, 개별적

으로도 사용할 수 있으며 둘을 연립하여 사용할 수도 있다.

3. 조사기간

1987년 11월 19일부터 1988년 11월 18일까지 대상지역을 조사하였다.

4. 조사연구 장비 및 관측기기

- * 지하수위 관측기기-전기 감응식-5조
- * 지하수 표본 채취기-5조
- * 지하수 표본 수질분석기-1식
- * 자료분석 및 시뮬레이션 컴퓨터 1식
- * 공기흐름 속도 및 온도 측정기:
Anemometer-1식

5. 조사연구의 방법

1. 관측정의 설치-선정한 10개소에 직경 3 inch(=76mm)의 PVC관을 10m~20m 깊이로 설치하며 지하수의 유입이 원활하도록 PVC관의 하단에 스트레너를 가공 설치하였다.

2. 지하수위 관측-전기감응식 지하수위 관측기를 이용하여 주 1회씩 일정시간 간격으로 지하수위 변동을 관측하였다.

3. 지하수 흐름분석-2차원 유한요소 지하수 흐름모형 GFLOW을 이용하여 본 매립지내의 지하수 이동상태를 분석하였다.

4. 침출수 수질검사-양수정 및 관측정으로부터 채취한 지하수 표본을 한국공업표준(KS) 분석방법을 이용하여 분석하였다.

5. 대수층의 세척효과 분석-관측정을 통해서 공급한 맑은 물로 인해서 대수층의 침출수가 희석되는 세척효과를 분석한다. 공급된 물의 양에 따른 희석된 침출수의 각종 성분의 농도변화를 분석하였다. 또 관련된 과거의 관측자료를 수집하여 각종 수질성분의 경년변

화를 동시에 분석하였다.

6. 관측정을 통하여 매립 대수층으로부터 발생하는 가스의 누출 여부를 검사하기 위하여 공기흐름의 속도 및 온도를 측정할 수 있는 Anemometer를 사용하였다.

기타 본 조사연구의 목적을 수행하기 위한 관련자료와 분석기법을 이용하여 조사연구의 목적을 수행하였다.

II. 구의 매립지의 지형 및 지질개요

1. 지형개요

본 조사지역은 행정구역상 서울특별시 성동구 구의동 일원으로 본래는 한강 본류의 流心部였던 곳이다. 1970년대 초반에 이르러 한강개발 계획의 일환으로 수로정비를 할 때 유로의 직선화를 위한 제방의 증축으로 인해서 본류 유심부가 제내지로 들게되어 생성되었으며 주로 서울시내에서 발생하는 각종 고품 쓰레기로 매립한 지역이다.

구의 매립지는 전체적으로 그 면적이 약 13만평(=4.3×10⁶m²)이며 약 49만톤의 고품 쓰레기를 1976년부터 매립하여 1980년 12월에 지하철 공사 등에서 발생한 버력으로 복토하여 매립을 1차 완료하였다. 남쪽 경계로는 한강의 우안제방을 겸하고 있는 강북 강변로와 접하고 있으며 매립지의 중심부는 전철 2호선이 동서로 지나고 있으며 전철 강변역이 위치하고 있다.

본 조사연구의 대상지역은 구의매립지 중 전철 2호선과 강변역으로 구분되는 서쪽 구역과 동쪽 구역 중, 동쪽에 위치한 (주)현대건설 소유의 5만8천여평의 면적구역이다.

쓰레기 매립완료 후의 복토층의 두께는 약 2.5m정도 이었으며, 1982년말까지 다시 1.0~1.5m정도로 추가 복토되었다. 그러나 2차 복토

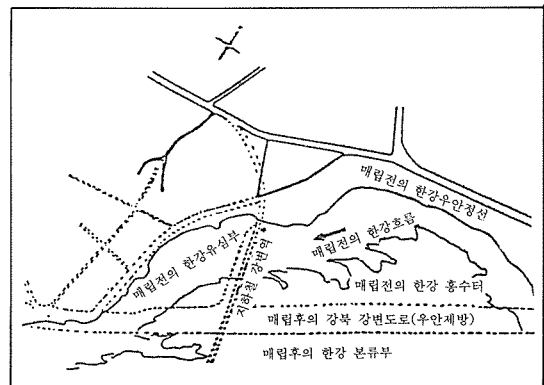
후에는 지표면이 평탄하지 않아서 지표수가 고이는 곳이 많았으며, 이러한 평탄치 못한 지표면과 관리의 부실로 건설자재(버럭) 등, 불법 폐기물이 계속 반입되어 매립된 실정이었으며, 본 조사연구 기간동안에도 지표면 처리 및 건설환경 개선을 목적으로, 많은 양의 마사토를 이용하여 복토두께를 더하였다.

본래의 한강 본류우안(본 조사지역의 북서쪽단)은 비교적 안정된 낮은 자연제방이 형성되었으며 좌안은 하천토사의 퇴적지역으로 홍수시에는 한강의 흐름이 통과하는 홍수터로 형성되어 있던 지역이다.(그림 2-1 참조)

본 지역은 비교적 평탄한 지표면을 형성하고 있으나 매립전에는 북쪽에서 한강쪽으로 경사를 이루고 있으며, 북쪽에 위치한 용마봉(해발 348m)으로 부터 형성된 수계로부터 유출되는 지표수 및 지하수가 한강쪽으로 유출되는 지형을 이루고 있다.

2. 지질개요

앞절에서 언급했듯이 본조사 대상구역은 본래 한강본류의 유심부였기 때문에 유심부를 가로지르는 제방설치후 본지역이 제내지로 편입되어 표층매립토는 표토(복토) 부분과 그 밑의 쓰레기 매립부, 그 밑에는 본래하천의 모래질과 자갈질 그리고 풍화암과 연암으로



〈그림 2-1〉 지형 개략도(매립전후)

구성된 지반암층의 순서로 구성되어 있다.(그림 2-2 <1>).

가) 표토층(복토층)

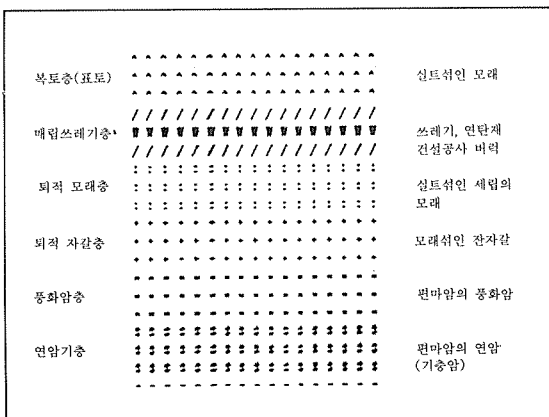
본 조사연구 지역의 최상부 층으로 매립에 의한 배수가 양호한 실트섞인 모래, 자갈, 전석 등이 등재되어 있으며 0.9~5.7m의 두께로 층을 이루고 있다.

나) 고행쓰레기매립층

본 쓰레기 매립층은 5.0~12.0m의 두께로 분포되어 있으며 도시 고행쓰레기 및 건설공사의 버력을 주성분으로 하는 매립토층으로서 느슨하거나 보통 조밀한 상태로 구성되어 있으며 폐기물의 분해로 인해 발생하는 가스가 누적 또는 이동하며 침출수가 발생하여 이동하는 층이다. 특히 쓰레기에 포함된 비닐성분으로 인해서 다짐이 극히 불량한 상태를 보이고 있다.

다) 퇴적 모래층

쓰레기 매립층 하부에 위치한 층으로 본래의 한강유로의 하천 퇴적모래층으로 약간의 자갈이 섞인 세립모래로 구성되어 0.7~6.2m의 두께로 분포되어 있다. 구조는 매우 느슨한 부분과 매우 다져진 상태로 분포되어 있으며



<그림 2-2> 지층구조 개략도 <1>

갈색 내지는 흑회색의 색조를 나타내고 있다.

라) 퇴적 자갈층

모래층의 하부에 위치한 층으로서 세립의 모래가 섞인 자갈층으로 자갈의 크기는 직경 10m/m~50m/m로 보통 자갈층이 전 구역에 분포되어 있으며 부분적으로 전석이 혼재되어 있다.

마) 풍화암층

기반암인 편마암류가 풍화된 것으로 풍화암층의 내부까지 진행되어 암의 역학적 성질은 극히 불량한 상태이다.

바) 연암기층

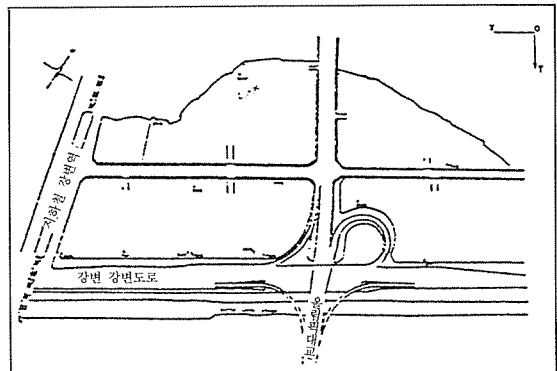
기반암인 편마암이 연암으로 균열 및 절리가 발달하여 균열을 따라서 풍화가 진행되어 조암광물의 색채가 변색된 상태이다.

III. 침출지하수 흐름 분석

1. 지하수위 관측

1) 관측정 및 양수정의 위치

지하수 관측을 위한 관측정(Observation Well : OW)은 도상계획과 현장조사를 통해서 <그림 3-1>에서와 같이 그 위치를 정하였으며 설치당시의 지하수위를 고려하여 그 깊이를



<그림 3-1> 관측정 및 양수정의 위치도

조절하여 시설하였다. 또 양수정(Pumping Well : PW)은 시설한 3개공을 이용하였다.

2) 관측자료

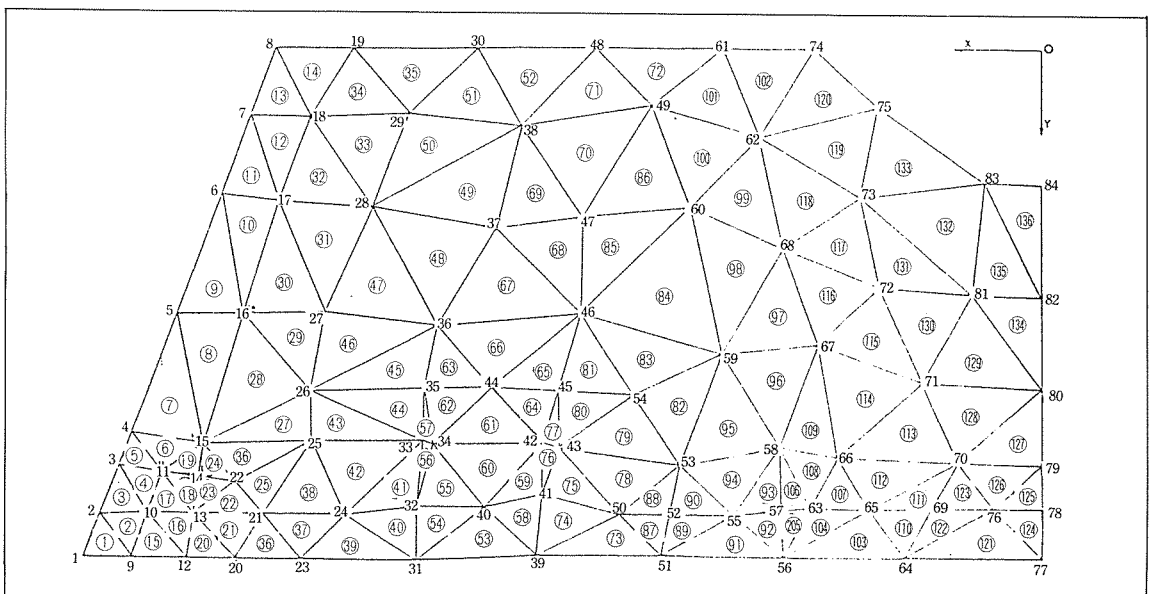
지하수위 관측은 관측시설이 완료된 1988년 2월 22일부터 1주일 간격으로 관측정의 상단으로부터 지하수면까지의 깊이를 전기감응식 측정기를 이용하여 관측한 후 그것을 다시 해발표고로 환산하였다(20). 관측기간 중에 관측정 내부가 진흙으로 가득차서 지하수위 관측이 불가능한 경우도 있었고 주변 공사 여건등에 의해서 관측정의 지하수위가 낮아져서 관측이 불가능하였던 경우도 있었으며, 기타의 사정에 의해서 관측이 이루어지지 않았던 미관측의 경우도 있었다.

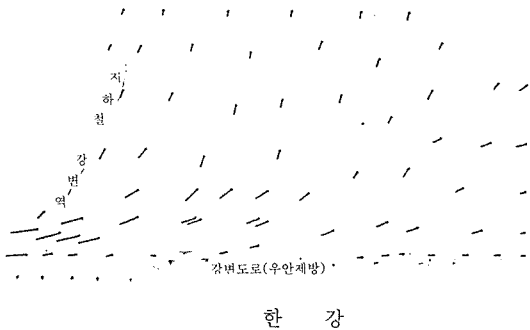
2. 지하수 흐름 분석용 격자망

지하수 흐름상태를 분석하기 위해 컴퓨터 모형 GFLOW(2)를 이용하는데 필요한 격자망은 3각형 요소를 기본으로 하여 <그림 3-2>

와 같이 구성하였다. Neumann형 경계조건을 적용할 때의 편리를 위해서 본 조사안을 따라서는 보다 조밀한 격자망을 형성하여 흐름의 형태를 자세히 볼 수 있도록 하였다.

각 요소별 해당 격자점의 관계는 <그림 3-2>와 같다. 각 격자점의 좌표는 <그림 3-2>의 0점을 기준으로 하는 좌표축에 대해서 0점으로부터 meter 단위로 측정된 실제거리를 사용하였으며, 지층구조 시험자료 (1)를 이용하여 추정된 격자법 별의 대수층의 두께(=복토층의 두께+매립쓰레기층의 두께+퇴적 모래 및 자갈층의 두께)를 사용하였다. 특히 관측정과 양수정을 격자점에 위치시킴으로써 관측정에서의 관측자료(수위)를 계산(모의 발생)의 검정자료로 이용하도록 하였으며, 이를 이용해서 대수층 전체에 대한 평균적인 수리전도율, K를 구할 수 있으며, 또 양수정의 위치를 격자점에 위치시킴으로써 양수시험에 의한 지하수위 자료를 이용하여 양수정 부근





〈그림 3-3〉 격점별 유향 및 유속의 크기

흐름방향을 그림으로 나타내면 〈그림 3-3〉과 같다.

6. 양수에 의한 지하수 흐름변동 및 그 효과

양수정으로부터 임의량의 양수에 의하여 지하수의 흐름이 바뀌는 것을 알 수 있다. 이러한 양수는 침출지하수를 빨리 배제하여 매립 쓰레기의 안정화를 촉진시킬 뿐만 아니라 지하수면의 저하로, 발생한 가스의 유동공간을 증가시켜주므로 발생한 가스의 누적을 막아 주는 효과를 기대할 수 있다. 양수로 인한 매립 쓰레기층의 세척은 언급한 두가지, 즉 침출수 제거와 발생가스의 제거를 위한 중요한 기능을 할 것으로 기대된다.

따라서 일정한 양을 계속 양수하여 안정수위를 이룬다는 가정하의 지하수 흐름의 유속 및 유향을 분석하기 위하여서는 양수량을 달리하여 각각의 일정 양수량에 대한 안정수위를 구하여야 할 것이다. 이때 과도한 양수로 인해서 한강으로부터의 역류가 발생할 수 있기 때문에 양수시험을 통해서 한강수위의 변동에 따른 적정 양수조건을 규명할 필요가 있다.

IV. 침출지하수의 성분분석

1. 고형 폐기물의 분해

위생처리장의 위치를 적절히 선택하고 설계하는 데 있어서, 또 사후의 적절한 관리, 특히 지반의 조기안정화를 위한 대책수립과 매립 공간의 전용에 따른 제반 안정문제의 해결을 위해서는 고형 폐기물의 분해과정과 그에 따른 영향에 대한 지식이 필요하다. 처리장에 모여지는 고형폐기물은 화학적, 생물학적으로 분해되어 고체, 액체 그리고 기체 상태의 물질을 생성한다. 분해에 영향을 미치는 요인에는 폐기물의 비균질성, 물리적, 화학적, 그리고 생물학적 성질, 산소와 습도 상태, 온도, 세균수, 합성형태 등이 있다. 고형 폐기물은 불규칙한 크기의 비균질 물질을 형성하며, 다루는 데 여러 변수가 작용하기 때문에 오염물의 양과 생성비율을 정확히 예측하는 데 어려움이 많다.

처리장 내에서의 생물학적 활동은 일반적으로 일정한 형태를 취한다. 즉 고형 폐기물은 초기에 호기성 상태에서 분해되지만, 산소가 소모되면서 혐기성 미생물이 증가하게 되고, 무색무취의 메탄가스를 생성하게 된다. 온도는 미생물의 활동으로 인해서 높은 mesophilic에서 낮은 thermophilic 범위(15°C ~ 65°C)로 상승하게 된다.

호기성 분해의 특성 물질로는 CO₂, H₂O 그리고 질산염 등이 있다. 또 혐기성 분해의 특성물질로는 메탄, CO₂, H₂O, 유기산, 질소, 암모니아, 황화철, 망간 그리고 수소 등이다.

2. 침출수

고형 폐기물 사이를 지하수나 침투 지표수가 흐를 때, 용해된 미세 고형부유물질과 미생물에 의한 부산물을 포함하는 용해물인 침출수가 생긴다. 침출수는 샘의 형태로 지표에 유출되거나 아니면 그 대수층의 하부나 주변에 위

에서의 수리전도율, K를 쉽게 구할 수 있도록 하였다. 뿐만 아니라, 양수율에 따라 지하수위 변동과 침출 지하수의 수질을 분석하여 적정 양수율에 따른 수질관리 및 지하수위 관리를 할 수 있도록 하였다.

3. 조사연구 기간동안의 기상 및 수문특징

본 조사연구 기간 동안에는 연평균치 이하로 강우량이 적었으며 건조한 날씨가 계속되어서 대상 대수층의 지하수위가 예년보다 상당히 하강된 결과를 보이고 있다(4). 그러나 앞의 지형 개요에서 설명하였듯이 본 지역이 매립되기 전에는 한강 본류의 유심부이었음과 주변 지세를 고려하여 판단하면 북서쪽 경계지역과 북쪽 경계지역으로부터는 인접한 대수층으로부터 본 대수층으로 유입하여 남서쪽의 강변역 기초지반을 따라서 한강쪽으로 흘러 내려가 일부(17%)는 한강 제방속으로 흘러들어 한강으로 유출되며 나머지는 한강제방과 강변역사이의 공간을 통과해서 인접한 하류 대수층(고속버스 터미널쪽)으로 유출되는 지하수위가 한강수위보다는 항상 높은 “유입-유출형” 대수층임을 알 수 있다. 특히 한강에 홍수가 발생하지 않았던 관계로 본 대수층에서의 지하수 흐름은 서북단에서 유입하여 한강 제방에 이를 때까지는 한강 제방에 거의 수직한 방향으로 흐르다가 제방부근에 이르러서는 제방을 따라서 남단으로 흘러서 한강제방과 강변역사이의 공간을 통해서 우수지로 흘러내려감을 알 수 있다. 특히 지하철 강변역의 건설시 기초지질의 다짐을 양호하게 시공한 결과로 강변역을 가로지르는 흐름은 아주 미약하게 나타남을 보이고 있다. 또한 한강제방을 시공할 때 다짐을 실시하였으며 완공 후에도 통과하는 차량에 의한 다짐을 통해서 투수율이 매우 낮은 값을 가지게 되어 제방을 통해서 한강으로 유입되는 지하수 흐름 역시 매우

작음(약 17%)을 알 수 있다. 즉, 한강의 우측 제방 자체의 투수율은 비교적 낮은 편이나 본 조사연구 대상인 매립지와 제방의 위치가 본래의 한강본류 유심부이었기 때문에 본래하상의 퇴적 모래층과 그 아래의 자갈층을 통하여 이동하는 흐름층이 형성되어 있어 한강 수위의 변동에 따라서는 본 매립대수층의 수위변동이 상당한 영향을 받을 것으로 분석판단된다.

4. 강우량과 지하수위의 변동관계

조사연구 기간동안의 서울지방의 강우량과 지하수위 변동간의 관계를 조사해 보기 위하여 시계열 분석을 하였다. 이는 강우로 인한 지표 침투량의 증가는 물론 인접 대수층으로부터의 유입류가 증가됨에 따라 침출수의 증가 및 세척(희석) 효과, 그리고 침출수로 인한 지열의 일시적인 감소로 인하여 매립 쓰레기의 분해도가 지연되는 정도를 분석하기 위해서는 절대 필요한 것이다. 또한 지하수위의 상승은 매립 쓰레기의 분해로 발생하는 발생가스의 유동공간을 줄이는 효과를 초래하게 되어 발생가스의 배출에 영향을 준다. 특히 계획된 건축물이 완성된 후에는 더욱 그 공간이 줄어들어서 발생 가스의 집적 현상이 발생할 수 있다. 특히 기초구조물 및 지하공간 시설물 주변에 그러한 가스의 집적현상이 두드러지게 발생할 것으로 예측된다. 뿐만 아니라 침출수의 이동 유향이 변하게 되며 그에 따른 정체 현상도 일어날 수 있다.

5. 침출지하수 흐름분석(유속 및 유향분석)

매립 쓰레기층 내에서 침출 지하수의 흐름을 분석하기 위하여 지하수 흐름모형 GFLOW를 이용한 결과, 조사연구 기간 동안의 침출지하수의 평균적인 유속성분을 벡터로 표시하여

치한 토양이나 암반으로 침투한다. 침출수의 성분은 주위의 지표수나 지하수의 수질에 미치는 잠재적인 영향을 결정하는데 매우 중요하다.

침출수에 의해서 운반되는 오염물질은 고형 폐기물의 성분과 매립지 내부에서 동시에 발생하는 물리적, 화학적 및 생물학적인 활동에 의한다. 침출수의 성분에 대한 규명은 실험실에서 Lysimeter를 이용한 연구와 현장에서의 연구로 이루어져 왔다(5). 침출수의 화학적, 생물학적 특성은 일정시간 간격으로 매립장 내의 여러 관측점에서 관측, 분석한 것으로 동일 매립장의 각 지점에서 시간별로, 또 지점간에 다양하게 변화함을 보여주고 있다(표

4-1). 폐기물의 처리가 완료된 처리장에서의 침출수의 오염물의 양은 시간에 따라 감소될 것으로 기대된다.

침출수의 장기간에 걸친 양적, 질적 변화에 대한 연구는 국내외를 막론하고 극소수에 지나지 않아서 침출수의 양적, 질적 변화를 시간적으로 예측한다는 것은 극히 힘들 것이다(5). 특히 폐기물의 특성에 따라서 그 경향이 특성 지워지는 점을 고려할 때 더욱 그러하다. 작은 양의 자료이기는 하지만 분해가 매우 활발한 단계에서 상당한 양의 오염물질이 제거되는 것으로 볼 수 있다. 또한 처리장이 안정화되면서 제거율은 줄어들게 된다(그림 4-1과 그림 4-2).

<표 4-1>

도시고형쓰레기의 초기침출수의 성분⁺

(단위 : mg/l)

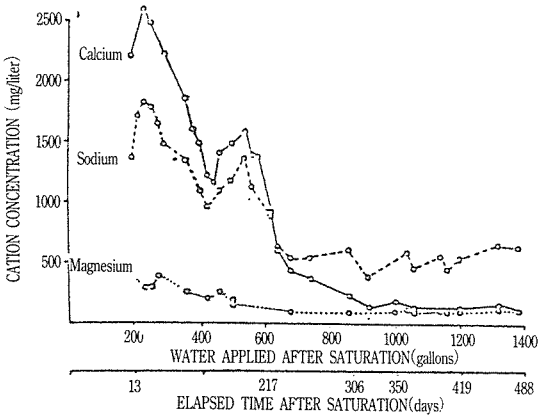
Component	Study A (5)		Study B (6)	
	Low	High	Low	High
Hardness, CaCO ₃	890	7,600	200	550
PH	6.0	6.5	3.7	8.5
Alkalinity, CaCO ₃	730	9,500		
Ca	240	2,330		
Mg	64	410		
Na	85	1,700	127	3,800
K	28	1,700		
Fe(total)	6.5	220	0.12	1,640
Ferrous iron	8.7*	8.7*		
Chloride	96	2,350	47	2,340
Sulfate	84	730	20	375
Phosphate	0.3	29	2.0	130
Organic-N	2.4	465	8.0	482
BOD	21,700	30,300		
COD	0.22		809	50,715
NH ₄ -N		480	2.1	177
Zn			0.03	129
Ni			0.15	0.81
Suspended solids			13	26,500

+ 잘 다져진 도시 쓰레기 1ft³ 당의 초기 발생 침출수 1.3 liter에 포함된 평균적인 조성 성분

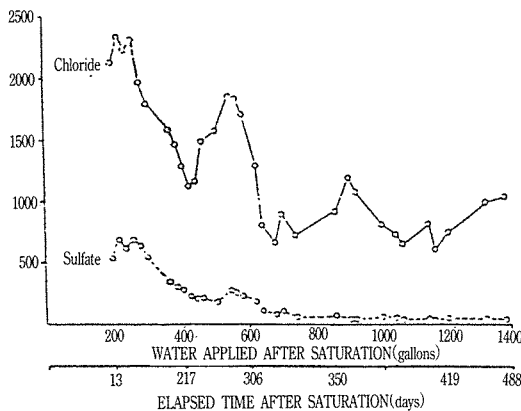
* 1회 측정 결과

하천으로 유입되는 오염물의 형태와 양, 그리고 하천수가 이 오염물을 흡수하는 정도에 따라, 필요한 침출수 제어의 정도가 결정된다. 어떤 경우에는 침출수가 하천으로 유입되더라도 하천상태나 그 하천수의 상태를 변화시키지 않는 경우도 있다. 하천에서의 희석이나 산소요구량 정도에 대해 자세히 조사하는 것은, 그 하천이 침출수를 흡수할 수 있는 정도를 보여주는 좋은 지표가 된다.

위생 처리장에서는 침출수의 발생이 피할 수 없는 것이며, 침출수의 일부는 결국 지표수나 지하수로 유입된다고 믿어진다. 그러나 이러한 현상 모두가 증명된 것은 아니다. 다만 현재의 단계로서는 위생 처리장을 잘 계획하고



〈그림 4-1〉 침출수 속의 cation농도(5)



〈그림 4-2〉 침출수 속의 anion농도(5)

설계하고 시공·관리함으로써 침출수의 생성과 이동이 막아질 수도 있으며, 혹은 수질오염 문제를 일으키지 않을 정도로 최소화시킬 수도 있다는 것이다.

침출수 생성이나 이동을 제어하는 가장 확실한 방법은 물이 처리장으로 유입되는 것을 최대한으로 방지하는 것이다.

3. 오염물질의 제거

토양을 통해 고형 폐기물 주변이나 그 하부층으로 스며드는 침출수는 이온교환, 침투, 흡착, 착화(complexing), 침강, 그리고 생물분해 과정 등에 의해 오염물질을 정화시키게 된다. 흐름은 토립자 사이의 공극을 가득채워 흐르는 포화 흐름 또는 그 일부만 채워서 흐르는 불포화 흐름이 있으며, 이러한 흐름의 형태는 토양의 입자, 크기나 형상 그리고 토립자의 구성 등과 마찬가지로 정화기구 등에 영향을 끼친다.

불포화 지역을 흐르는 경우가 포화지역에서보다 오염물 정화가 잘 되며, 이는 호기성 분해, 흡착, 착화, 유기물 및 무기물의 이온교환과 세균활동이 더욱 원활하기 때문이다. 유기물은 호기성 분해가 혐기성 분해보다 더욱 빨리 진행된다. 포화 흐름에서는 산소의 공급이 극히 제한되기 때문에 혐기성 분해가 우세하다. 흡착과 이온교환은 액체와 고체 사이의 접촉면적에 크게 영향을 받는다. 유량에 대한 접촉면적의 비율은 포화흐름 보다는 불포화흐름에서 훨씬 크다. 포화지역을 흐르는 침출수는 기본적으로 토양의 고유투수성과 동수경사에 영향을 받으며, 제한된 모세관에 의한 분자확산현상도 제한적으로 받는다. 침출수는 자연적인 지질학적 혼합구역이 존재하지 않는 한 지하수에서 희석이 되지 않으며, 그 이동은 지하수 흐름의 유선(streamlines)에 거의 근접해서 이동한다. 불포화 지역을 흐르는 침출수

에 대한 정보는 아직 부족하다. 다만 불포화 지역에서의 생활폐수 및 산업폐수의 이동에 관한 대부분의 연구 결과들이 유기물 및 미생물 제거수준이 매우 양호하다는 것을 보여주고 있다.

예로써 감귤류의 액상폐기물을 지표에 폐기하였을 때는 표토하 0.9m에 폐기하였을 때보다 COD가 5000mg/ℓ 에서 100mg/ℓ 이하로 감소함을 보고하고 있다(7) 결국 액상 폐기물의 폐기율과 빈도, 그리고 토양의 형태 등이 정화효율에 절대적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 불포화 토양지역의 경우, 질산화작용(Nitrification)이 발생 가능하며, 이에 따라서 ammonia-nitrogen으로부터 질산염과 아질산염

을 생성하게 된다. 포화지역에서의 침출수 이동은 여러 조사연구가들에 의해서 이루어졌지만(6), 보다 명확한 규명을 위해서는 보다 많은 연구가 필요하다.

지금까지의 연구 정리에 의하면, 침출수의 이동거리는 흙의 구조, 투수성 그리고 오염물질의 종류에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 분해가 가능한 유기물은 멀리까지 이동하지 못하지만 무기이온과 내성유기물(refractive organics)은 상당한 거리까지 이동한다. 어떤 무기물 오염물은 폐기된 장소에서부터 상당한 거리까지 이동한 것을 발견할 적도 있다. 또 다른 연구에서는 토양에 따라서는 오염물의 이동비율이 너무 느려서, 여러해 동안 인식되

〈표 4-2〉 쓰레기 매립장 부근에서의 지하수 수질(6) (단위 : mg/ℓ)

Characteristics	Background	Fill*	Monitor well*
Total dissolved solids	636	6,712	1,506
pH	7.2	6.7	7.3
COD	20	1,863	71
Total hardness	570	4,960	820
Sodium	30	806	316
Chloride	18	1,710	248

* 모래와 점토가 섞인 실트질 토양을 가진 매립장의 하류부 45m지점에 위치한 관측점에서와 매립장 내부점의 지표하 3.3m 깊이에서의 수질

〈표 4-3-1〉 구 매립지의 침출 지하수 수질 성분(1988. 1) (단위 : ppm)

성분	위 치			
	PW-1	PW-2	OW-4	OW-7
수온(°C)	17.0	15.0	16.0	15.2
pH	6.54	6.68	6.23	7.68
Surfactant	1.13	0.13	10.2	6.0
Phenol	5.45	4.88	7.25	2.15
COD	15.0	14.5	36.0	32.0
탁도	304.0	298.0	292.0	125.0
BOD	14.5	14.0	29.0	27.0
SS	142.4	181.1	727.1	193.9
TP	0.9	1.4	0.7	0.6
DO	0.8	0.3	0.7	0.4

지 못한 채로 영향을 끼친다고 밝히고 있다. 만약 오염물의 이동이 것처럼 느리다면, 대수층으로의 오염물의 방출 또한 서서히 이루어질 것이다.

무기물은 거의 희석되지 않는다. 염화이온이 그 대표적인 것으로서 이러한 성질을 이용하여 침출수 이동의 지표로 사용하고 있다. 미국 일리노이주의 한 위생처리장 주위의 관측점으로부터 얻은 자료 <표 4-2>에서 보듯이 염화물과 TDS(Total Dissolved Solids)가 급격

히 증가함을 알 수 있다.

침출수의 영향을 받지 않은 지하수에서는 18mg/ℓ의 염화물농도를 보이고 있으나 위생처리장 내에서는 1,710mg/ℓ, 그리고 처리장의 하류부 150ft에 위치한 관측정에서는 248mg/ℓ의 고농도를 보이고 있다.

자연정화 과정에서는 제한적인 오염물 제거능력을 갖는데, 이는 흡착지의 수와 교환가능한 이온수가 유한하기 때문이다. 뿐만 아니라 그 과정은 시간의 함수, 즉 유량이 증가함에

<표 4-3-2> 구 매립지의 침출 지하수 수질 성분(1988. 3)

(단위 : ppm)

성분	위치				
	PW-1	PW-2	OW-4	OW-5	OW-7
수온(℃)	17.6	15.8	16.0	16.2	15.3
pH	6.8	7.0	6.5	6.3	7.8
Surfactant	0.91	0.41	11.3	8.2	3.3
Phenol	5.7	5.0	6.9	7.4	2.4
COD	18.0	27.0	17.0	29.0	14.0
탁도	320.0	310.0	287.0	327.0	138.0
BOD	25.6	18.7	29.0	30.0	18.0
SS	262.7	190.3	700.0	820.1	109.5
TP	0.95	1.50	0.90	0.80	0.75
DO	0.84	0.42	0.81	0.65	0.47

<표 4-3-3> 구 매립지의 침출 지하수 수질 성분(1988. 5)

(단위 : ppm)

성분	위치					
	PW-1	PW-2	OW-1	OW-4	OW-5	OW-7
수온(℃)	17.1	16.0	17.0	16.3	16.7	15.8
pH	6.9	7.0	7.2	6.1	6.2	7.5
Surfactant	1.1	0.5	11.4	10.7	6.1	4.9
Phenol	6.3	5.1	9.8	7.3	7.0	1.9
COD	31.0	29.0	37.0	32.0	23.0	31.0
탁도	431.2	403.1	457.9	330.0	360.0	147.5
BOD	15.7	18.4	49.0	33.0	34.6	27.7
SS	291.3	287.2	398.2	580.0	793.2	190.5
TP	1.0	1.3	1.8	0.9	0.8	1.1
DO	1.8	1.3	2.3	0.9	1.7	0.6

따라 체류시간이 단축된다. 처리장 부근의 토양을 통과하는 유량은 부유오염물의 여과나 침전에 의해 자연적으로 줄어든다. 따라서 토양의 공극이나 투수성도 줄어든다. 그리하여 오염물의 이동에 의한 추가적인 안전조치가 자연발생적으로 시간의 경과에 따라서 이루어진다.

4. 구 매립지의 침출지하수 성분

본 조사연구 구역내의 지하수 관측정 및

양수정에서 침출지하수를 1988년 1월 29일부터 시작하여 2개월 간격으로 표본을 채취하여 공해공정시험법에 의하여 그 중요 성분을 분석한 결과는 다음 <표 4-3-1>~<표 4-3-5>와 같다.

앞의 <표 4-3-1>~<표 4-3-5>로부터 침출 지하수는 대체로 중성으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 매립쓰레기로부터의 발생하는 침출수의 농도는 비교적 작음을 알 수 있다. 이는 북쪽에서 유입하여 매립지를 통과하는 지하수의 영향과 매립쓰레기 하단층의 모래·

<표 4-3-4> 구 매립지의 침출 지하수 수질 성분(1988. 7)

(단위 : ppm)

성분	위치						
	PW-1	PW-2	OW-1	OW-4	OW-5	OW-6	OW-7
수온(℃)	18.0	17.8	18.3	17.7	17.1	18.7	17.3
pH	6.2	6.5	6.9	6.3	6.3	7.1	7.2
Surfactant	1.05	0.95	13.7	14.0	9.8	3.2	4.3
Phenol	5.05	4.17	7.13	6.13	6.83	1.27	1.81
COD	23.0	31.0	35.0	27.5	39.0	40.7	34.0
탁도	370.0	306.0	320.5	172.5	192.7	98.1	80.5
BOD	30.1	19.3	32.5	12.3	21.4	11.6	19.7
SS	151.4	168.3	214.2	490.3	460.3	170.0	142.5
TP	0.8	1.1	1.8	0.9	0.7	0.3	0.4
DO	1.6	1.5	2.1	1.1	1.3	0.9	0.8

<표 4-3-5> 구 매립지의 침출 지하수 수질 성분(1988. 9)

(단위 : ppm)

성분	위치						
	PW-1	PW-2	OW-1	OW-4	OW-5	OW-6	OW-7
수온(℃)	17.3	17.8	17.4	17.8	17.6	17.9	17.7
pH	6.1	6.6	6.6	6.9	7.1	7.1	6.8
Surfactant	2.72	1.86	7.25	9.40	8.70	2.15	3.19
Phenol	4.10	3.65	6.72	6.25	5.30	2.98	3.17
COD	19.7	28.7	43.0	31.7	36.5	32.7	31.6
탁도	220.5	197.0	105.5	280.4	211.7	95.0	110.5
BOD	19.5	18.0	22.5	11.5	19.4	16.3	12.5
SS	149.5	178.5	207.2	307.5	390.3	120.0	101.3
TP	1.1	0.9	1.3	0.9	0.9	0.6	0.5
DO	1.5	1.3	1.9	0.7	0.4	0.6	0.5

자갈층을 흐르는 한강으로부터 유입하여 다시 한강으로 유출되는 지하수 흐름에 의한 희석 효과가 상당히 크게 작용한 것으로 판단된다. 특히 한강수위의 변동에 따라 본 조사 매립 대수층의 지하수위가 변하는 것을 감안할 때 본 구역의 상류부에 해당하는 북쪽지역은 수질상의 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다. 그러나 하류단인 강변역과 한강우안 제방 사이와 제내측을 따라서는 오염물질의 농도가 비교적 크게 나타남을 보이고 있어서 앞으로 이의 관리를 위해서는 현재의 양수정 3개소 이외에 추가로 하류단에 1개소를 더 설치하여 지하수를 양수하여 수질에 맞는 다른 용도로 사용한 후 처리하여 방류하도록 함이 좋겠다.

5. 수질성분의 경년변화

과거의 수질분석 자료들과 본 조사연구의 분석자료들을 종합하여 침출 지하수 성분들의 경년변화의 경향들을 분석하려고 하였으나 관련자료의 부족으로 그 실증성이 약하여 분석할 수 없었다. 다만 <표 4-3>과 과거의 관측자료들(8)을 비교하여 보면 7년이라는 시간의 경과에 따라 평균적으로 그 수질의 상당한 변화가 있음을 알 수 있으며, 매립지의 안정화가 빠른 속도로 진행되고 있음을 알 수 있다.

6. 세척 효과분석

매립 쓰레기의 분해로 발생하는 침출수의 배제를 위한 대수층의 세척실험은 기본시설은 갖추었으나, 물공급 및 기타 여건의 불충분으로 시행하지 못하였다. 그러나 매 2개월마다 시행한 수질 검사의 결과를 보면 침출수의 양과 농도가 문제될 만한 수준이 아님을 확인할 수 있었다. 매립 쓰레기층의 조기 안정화를 위해서는 호기성 분해가 활발하게 이루

어지도록 해야하며 이를 위해서는 지하수위의 적극적인 저하로 공기 공급이 용이하도록, 그리고 지중온도의 저하를 막으며 발생가스의 배기를 원활히 하도록 해야하겠다. 양수를 통해서 대수층에 있는 침출수를 배제함으로써 대수층의 세척효과를 기대할 수 있다.

V. 발생가스

1. 분해로 인한 발생가스

미생물에 의한 고형폐기물의 분해로 가스가 발생하며, 발생하는 가스의 양과 성분은 분해되는 고형 폐기물의 종류에 따라 좌우된다. 분해가 잘되는 유기질을 많이 포함하고 있는 쓰레기는 건설공사의 버럭 등을 많이 포함하고 있는 쓰레기에 비해서 보다 많은 양의 가스를 발생시킨다. 가스 발생률은 고형쓰레기 중에 발생하는 미생물학적인 분해의 수준에 전적으로 달려있다. 미생물에 의한 분해가 종결되면 가스발생도 역시 끝이 난다. 매립지에서 발생하는 가스의 주성분은 메탄과 이산화탄소이며 다른 성분도 발생할 수 있다. 어떤 성분은 심한 악취를 풍긴다. 예로써 황화수소와 같은 성분도 생성할 수 있으나, 특히 매립쓰레기 중에 깻섬보드(gypsum board)와 같은 황산염성분을 많이 포함하고 있는 버럭들이 포함되어 있는 경우와 염분이 있는 물이나 고형쓰레기속으로 침투할 때는 황화수소 성분이 조성된다. 메탄가스는 폭발할 수 있으며, CO₂가 지하수에 용해되어 탄산수를 만들 경우 지하수의 광화작용(mineralization)이 일어날 수 있기 때문이다. 메탄은 5~15%의 농도만으로도, 공기중에 노출될 때 폭발할 수 있다. 매립지내에서는 메탄농도가 이러한 위험 수준에 이르러도 산소공급이 없으므로 폭발하지 않는다. 그러나 메탄은 공기보다 비중이 작기

때문에 공기중으로 배출되어 매립지 근처의 건물이나 밀폐된 공간에 누적될 수 있다. 발생가스와 침출수의 이동문제는 위치 선정은 물론이고 매립지 관리 및 이용에 필요한 필수 요소 중의 하나이다. 특히 매립지 또는 그 부근에 어떤 밀폐공간이 있는 시설물을 설치할 때라던가 혹은 매립지가 기존의 산업지역, 상업지역 또는 주거지역에 인접해 있을 때는 발생가스와 침출수의 이동문제를 면밀하게 분석, 예측하여 대비할 수 있도록 해야한다.

매립지를 둘러싸고 있는 흙의 가스투과율(gas permeability)은 분해 가스의 이동에 상당한 영향을 준다. 건조한 흙은 가스의 흐름을 막지 못하지만 점토 같은 공극이 작은 흙은 가스의 흐름을 효과적으로 막을 수 있다. 배수가 잘된 흙은 가스흐름을 위한 통로의 역할을 한다. 매립지를 덮은 재료가 가스의 방출을 막으면 가스는 매립지 내부에서 수평으로 움직이게 된다. 매립지에서 발생하는 가스의 이동을 제어할 수 있는 방법에는 투과성 배출방법과 비투과성 격벽을 이용하는 방법이 있다(6).

2. 발생가스의 관측

지하수위 관측정으로 배출되는 발생 가스의 배출량은 관측정 입구에서의 흐름속도를 공기 유속계를 이용하여 추정하였다. 관측정 입구에서의 흐름속도는 0.07m/sec~0.46m/sec의 변동을 보였다.

매립층으로부터 관측정을 통해서 배출되는 가스의 성분 및 농도는 발생한 가스가 대수층의 공극속을 통해서 이동하여 배출할 때 흐름의 총량을 알아야 하기 때문이며, 배출된 가스는 소각 또는 고농도로의 농축을 필요로 하는 정도가 아니라고 판단되어 계획된 고층의 시설물을 이용하여 고공으로 배출하였을 때, 대기중으로 안전하게 확산할 것으로 판단되기

때문이다. 본 조사연구에서는 다만 그 배출량의 관측을 통해서 가스배출에 필요한 배출 시설의 계획 설계에 필요한 기본 자료를 제공하고자 한다.

미생물에 의한 매립쓰레기의 분해로 발생하는 가스는 자연적인, 또는 인위적인 배출로 인해서 매립층 내부의 메탄과 이산화탄소의 농도는 감소하는 반면, 질소와 산소의 농도는 증가하는 것이 일반적이다(6).

메탄과 이산화탄소가 비슷한 성향을 가지고 있기 때문에 매립쓰레기의 분해는 호기성 분해 상태로 되돌아 가지 않는다.

호기성 상태에서는 이산화탄소는 상당히 증가하며, 메탄은 거의 0의 상태로까지 감소한다. 매립층으로의 공기유입은 다만 혐기성 분해를 지연시킬 뿐이다. 그 이유는 첫째로는 덮개 흙을 공기가 통과할 때 점토질의 덮개 흙이 충분한 양의 산소를 도모하여 버려서, 통과한 나머지의 산소가 혐기성 분해에 영향을 미치지 못할 정도로 되기 때문이다. 또 다른 한가지의 이유는 매립층 내의(최소한 덮개층 부근에서라도) 대부분의 유기체가 대기압의 변화에 따른, 공기와 발생가스의 연속적인 표토통과에 대해서 적응력이 강하기 때문인 것으로 판단된다.

3. 가스배출정의 영향원 추정

발생가스의 배출량에 따라서 배출정의 영향원의 크기가 변하지만 본 조사 연구에서는 관측정(혹은 배출정)을 통한 자연배출을 하기 때문에 “배출량-영향원 반경-압력강하”의 관계식 또는 도표(12)에 근거하면 본 조사연구지역에서는 영향원 반경이 약 40m로 산정된다. 그러나 배출정간의 간격은 하나의 배출정으로 모여드는 범위는 영향원이 서로 겹쳐야 한다는 안정 조건을 고려하면 약 60m간격으로 평가된다.

VI. 종합분석 및 결론

本 研究는 都市의 固形 生活쓰레기 埋立地를 生活空間으로 전환하는 데 따라 發生可能한 建設 및 環境 安全問題를 分析하여 그 대비책을 講究하도록 하는데 필요한 定性的인 基本資料를 제공하는 데 目的을 둔 것으로 都市쓰레기 埋立地의 한 곳인 서울특별시 성동구 구의동 埋立地의 쓰레기 埋立層과 그 하부의 基盤岩層, 그리고 埋立地 주변의 地下水文學의 調查分析과 埋立쓰레기의 分解에 따른 발생가스 問題를 정밀하게 分析하여 쓰레기 埋立地의 生活空間으로 전환에 必要한 施設物의 建設과 相關한 諸般 安全問題와 住居環境과 相關된 諸般 安全問題를 精密하게 分析하여, 豫測되는 問題들에 對策樹立에 必要한 基礎資料를 定性的으로 究明한 結果는 다음과 같이 要約, 整理할 수 있다.

1. 本 調査對象 帶水層에서의 地下水 흐름은 대체적으로 一定한 흐름 樣相흐름 方向 및 流速을 나타내고 있다.

2. 埋立 쓰레기의 分解로 發生되는 浸出地下水의 濃度 및 水質은 環境上의 問題를 일으킬 程度는 아니며, 定期的인 揚水를 통해서 “揚水-處理-排出”의 過程을 통해서 浸出水 問題를 解決할 수 있을 것으로 判斷된다.

3. 週間 降雨量이 60mm이상일 때와 漢江水位가 6.0m를 넘을 때는 地下水位의 상승을 막기 위해서 揚水가 必要하다.

4. 埋立 쓰레기의 分解時 發生하는 가스는 安定된 組成比를 이루고 있어서 필요한 施設 및 管理를 통해서 安全하게 排出 擴散할 수 있을 것으로 判斷된다.

5. 本 調査研究 期間 동안은 調査區域이 모두 大氣中에 露出되어 있으나 앞으로 計劃된 施設物이 設置 完工되었을 경우에는 地面의 상당 부분이 不透過性 構造物로 대체될 것으로 判

斷되는 바, 發生가스의 지표면을 통한 自然 排出 擴散 空間이 줄어들 것으로 보아 發生 가스의 人爲的인 排出施設이 필요할 것으로 判斷된다.

6. 埋立쓰레기의 好氣性分解를 促進시키기 위해서 揚水를 통하여 地下水位를 낮추는 過程이 必要하다.

참 고 문 헌

1. (주)동인 엔지니어링, 구의동 현대아파트 신축부지 지반조사, 1986. 8.
2. 조원철, 지하다공질 매체속에서의 지하수 흐름과 오염물질 이동에 관한 컴퓨터 모형개발, 한국과학재단 연구보고서, 1988. 4.
3. Freez R.A. and J.A.Cherry, Groundwater, Prentice-HALL, 1979.
4. 중앙기상대, 기상월보 : 1987. 10-1988. 9.
5. California State Water Pollution Control Board, Report of the Investigation of Leaching of a Sanitary Landfill, Publ. No.10, Sacramento, Ca, 1954.
6. Brunner D.R. and D.J.Keller, SANITARY LANDFILL DESIGN AND OPERATION, U.S. E.P.A., Nov. 1977.
7. Anderson, D.R., W.D.Bishop, and H.F.Ludwig, Percolation of citrus Wastes through Soil. In proceedings, 21st Industrial Wastes Conference, may, 1966, Lafayette, Ind., Purdue University, pp.892-901.
8. 이승무, 도시폐기물 매립지안전도 조사연구, 연세대학교 산업기술연구소, 1981. 10.
9. 이승무, 황병주, “도시폐기물 매립지역에서의 메탄분해 혼합가스 발생에 관한 연구” 제34회 환경기술 개발 국제심포지움, 1984. 10.
10. 이승무, 구의동 동마장 시외버스터미널 이

- 전예정지의 발생가스 및 안전도 조사연구,
한국폐기물학회, 1986. 11.
11. M.J.Blanchet, TREATMENT AND UTILIZATION OF LANDFILL GAS-Mountain View, Project Feasibility Study, U.S.E.P.A., 1977.
 12. J.A.Carlson, RECOVERY OF LANDFILL GAS AT MOUNTAIN VIEW, Engineering Site Study, U.S.E.P.A., 1977.
 13. Engineering-Science, Inc., INSITU Investigation of Movements of Gases Produced from Decomposing Refuse, 1965.
 14. W.L.Dunn, Settlement and Temperature of a Covered Refuse Dump Trend in Engineering(Univ. of Washington), 9 (1) pp.19-21, Jan., 1957.
 15. County of Los Angeles, Department of County Engineer and Engineering-Science, Inc.Development of Construction and Use Criteria for Sanitary Landfills : an Interim Report. Cincinnati, US Dept. of Health, Education and Welfare, 1969.
 16. "Refuse Volume Reduction in a Sanitary Landfill", J.of the Sanitary Engineering Division, Proc. ASCE, 85(SA6) : pp. 37-50, Nov. 1959.
 17. G.F.Sowers, "Foundation Problems in Sanitary Landfills", J. of the Sanitary Engineering Division, Proc. ASCE. 94(SA1), pp. 103-116, Fed. 1968.
 18. R.Eliassen, "Load-Bearing Characteristics of Landfills" Engineering News-Record, 129(11), pp. 103-105, Sept. 10, 1942.
 19. R.Eliassen, "Iron and Steel Corrosion Traced to Bacterial Action", Engineering News-Record, 129(11), p. 105, Sept. 10, 1942.
 20. 한국기술사회 건설안전전문분회, 서울특별시 성동구 구의동 현대아파트 신축예정지의 지반안정과 안정시공에 관한 조사연구, 1988. 11, pp. II-13-II-24. ㊦

