

폐기물 매립지 지반내에서의 지하수오염제어
GROUNDWATER POLLUTION CONTROL IN UNCONTROLLED WASTE LANDFILLS

이 광 열. KWANG-YEOL LEE
선경건설주식회사 기술연구소 차장.
Manager, Geotechnical and Geo-Environmental Engineering Div.,Sunkyong Engineering & Construction Co.Ltd.,Seoul.

장 연 수. YEON-SOO JANG
동국대학교 토목공학과 조교수.
Assistant Professor,Department of Civil Engineering,Dongguk University,Seoul

한 일 영. IL-YEONG HAN
선경건설주식회사 기술연구소 과장.
Manager, Geotechnical and Geo-Environmental Engineering Div.,Sunkyong Engineering & Construction Co.Ltd.,Seoul.

Abstract

Groundwater in waste landfills can be contaminated by leachates produced from wastes and flow down toward rivers. These accidents are easily discovered in uncontrolled landfill sites. In this study, applications for controlling groundwater pollution and protecting river pollution were studied using installation of cut-off walls around the waste landfill. Analyses for the efficiency and applicability of the cut-off wall were made under environmental,economical and technical considerations. Cut-off walls were installed at the upgradient and the downgradient. Prediction analyses for the hydraulic head distribution over the site were made for concerning with the final cover and without the final cover. Also, the hydraulic head distribution was predicted with well-pumping on both cases,upgradient cut-off wall and downgradient cut-off wall.

1. 서론

지하수 및 주변지반의 오염방지시설을 갖추지 않은 폐기물매립지는 전국에 650개소 이상에 달하고 있는 것으로 보고된 바 있다. 이들 불량매립지로부터 발생하는 침출수는 주변의 지하수 및 농경지를 오염시키고 있을 뿐 아니라, 이들의 상수원의 상류에 위치하고 있는 경우에는 지속적으로 상수원을 오염시키는 상수원 오염의 주범이 될 수 있다. 전국에 산재하여 있는 이들 매립지로부터 발생하는 침출수에 유해성 물질이 포함되어 있다면 문제는 더욱 심각해 지고 반드시 해결해야 할 과제이다. 이미 우리나라 환경처에서도 이러한 문제에 대한 심각성을 인식하고 현황조사에 착수하였다.

불량매립지를 교정하는데 있어서 선행되어야 할 일은 침출수의 발생량을 줄이고 침출수에 의한 지하수 오염과 주변오염확산을 차단하는 일이다. 침출수의 발생을 억제하기 위한 방법으로는 매립지의 매립을 종료한 후 차수층, 배수층 그리고 식생복토층 등으로 구성된 최종덮개시설을 한다. 주변오염확산을 방지하기 위한 수단으로 흔히 지하수오염제어기술을 적용하는 방법중의 하나인 Cut Off Wall(차단벽)을 설치하는 방법을 사용한다. 차단벽을 매립지 외곽주변에 설치할 경우는 완전히 주변을 차단하는 방법과 부분적으로 지하수의 유입(Recharge)과 유출(Discharge)을 통제하는 방법이 있다. 매립지의 폐기물이 유해성 물질로 구성되어 있는 경우는 완전차단하는 지하수제어체계를 적용하여야 하나, 그렇지 않을 경우에는 지하수흐름방향, 지반의 투수성 지하수의 분포 등을 감안하여 제한적 지하수오염 제어체계를 적용하는 편이 경제적인 측면에서 유리하다.

이 연구에서는 매립이 종료된 폐기물 매립지에서 수리지질조건과 수문학적 조건들을 가정하여 불량폐기물매립지에서 지하수 오염제어기술의 적용상에 문제점과 경제적 그리고 환경오염방지측면에서의 적합성을 두가지의 지하수오염제어기법을 실제에 적용함으로써 비교분석하였다. 이 연구에서 Simulation에 사용된 Computer Model은 MODFLOW 이다.

2. 매립지의 지형 및 수리지질

연구대상으로 선정된 폐기물매립지는 큰강(S강)과 작은 냇강(N강)사이에서 위치하고 있으며, 매립장 하부지반은 하상 퇴적모래층과 자갈층 그리고 풍화기반암층으로 이루어져 있다. 매립지 주변에서 시추하여 얻은 지질조사자료를 근거로 하여 분석한 지형은 북쪽(상류측)에 노년기 지형의 구릉성 산계가 북북동 방향으로 발달하였으며, 북쪽의 산계사이를 따라 지천들이 남향으로 흐르다가 합류하여 S강 분류로 유입되며 서쪽으로는 N강으로 유입된 후, 폐기물매립지 북쪽 경계선을 따라 S강으로 유입된다. 수리지질을 광역적으로 해석하기 위하여 Fig.1. 과 같이 두수계수의 분포에 근거 A(매립지), B(북쪽 구릉지대), C(충격충지대), D(S강변지역)으로 구분하였다.

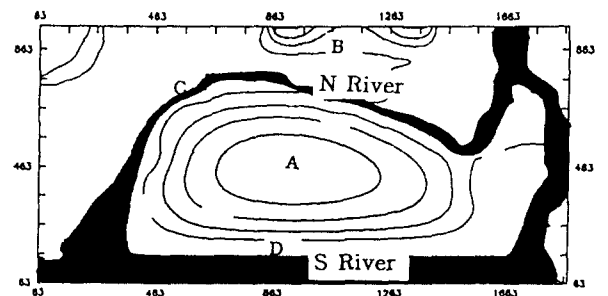


Fig.1. Geologic information of the waste landfill site

연구대상지역의 전반적인 지하수의 흐름은 북쪽의 구릉지에서 큰강쪽으로 흐르나, 지역적으로는 매립지에서 수위가 주변의 수위보다 높기 때문에 수두차에 의해 매립지로부터 주변으로 향해 0.03~0.04의 수리경사를 가지고 흐르고 있다. 한편 매립지 북쪽의 구릉지에서 흐르는 지하수도 N강으로 유입된 후 S강으로 유입되고 있다. 매립지 주변의 예상수위분포는 Table 1., Fig. 2.와

같다.

Table 1. Hydraulic Head Distribution

지역	위치	지하수위(M.S.L)
B	상류지역	+ 4.5 ~ 6.6 m
A	매립지 중앙	15 ~ 20 m
D	S 강변	3.4 ~ 4 m
S	River	2.5 m
N	River	6 ~ 5 m

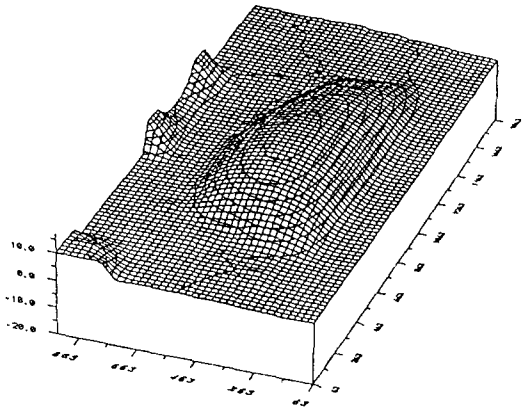


Fig.2. The hydraulic head distribution of the landfill site

3. Model Simulation

3.1 입력계수 결정

해석영역의 경계는 지하수의 흐름방향을 광역적으로 관찰하기 위하여 매립지를 중심으로 북쪽과 서쪽의 구릉지와 동쪽의 지천 수계 그리고 남쪽의 S강 수계로 하였다. Simulation을 위한 Grid는 X방향 49, Y방향 23 총 1,127개의 Cell을 구성하였으며, Cell의 크기는 최대 125m 최소 31.25m로 하였다. 매립지내에서의 지하 수위 변동을 Simulation 하기 위한 경계조건은 작은 강 수위(6m~2.5m)와 큰강 수위(2.5m)를 Constant Head 경계조건으로 하고 나머지 영역은 Active Cell로 지정하였다(Fig.3.). 또한, 기반암중(EL -20.0m)은 불투수층으로 경계조건을 지정하였다.

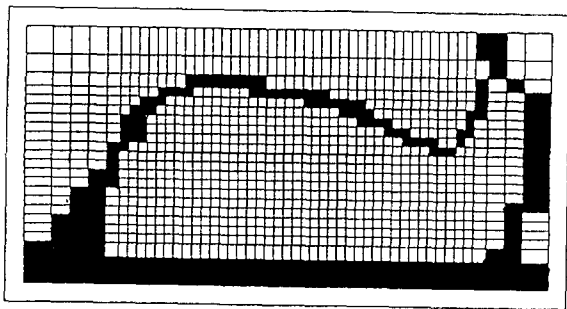


Fig. 3. Finite element meshes and boundaries

광역적 지하수흐름은 평면적 지형의 투수계수 분포에 의해 구분되므로 토질조사보고서(대우Eng.토질조사보고서)를 참고하여 Fig.1.에서와 같이 매립지, 구릉지대, 충적층지대, 한강변으로 구분하고 Table 2.와 같이 각지역에 대한 투수계수를 적용하였다.

Table 2. Distribution of Hydraulic Conductivity

지역	지질	투수계수(m/sec)	비고
A	매립지	1.97E-6	연직방향으로는 균질함
B	북쪽구릉지대	1.0E-8	
C	충적층 지대	8.5E-4	
D	한강변	1.29E-3	

이 해석을 수행하는데 있어서의 조사자료의 부족으로 인하여 다음과 같은 사항에 대하여는 가정하였다.

- 매립지내에서의 침투량(Infiltration)은 0.229 cm/day이다. (이로 인한 매립지 중앙부의 최고수위는 16.8m)
- 차단벽(Slurry Wall)의 폭은 1m, 투수계수는 10^{-9} m/sec이며, 외력에 의한 변형이 없고 화학적 반응에 의한 손상이 없다.

3.2 Recharge 조건에서의 차단벽 효과

매립지의 상부로부터 침투하는 침투수는 내부에 형성된 지하수면에 도달하여 지하수위의 상승의 원인이 된다. 지하수흐름의 상류에서 하류방향으로의 단면을 고려하면 지하수의 흐름은 매립지 내부의 최고수위인 분기점을 중심으로 양측방향으로 분기되어 양쪽의 강으로 흘러간다. 이것은 높은 수두를 갖는 곳에서 낮은 수두를 갖는 쪽으로 물이 이동하는 원리와 일맥 상통한다.

만약에 매립지 주위에 차단벽을 기반암까지의 깊이로 설치한다면 매립지내부에서의 지하수위는 계속 상승하여 아주 높은 수두 분포를 이루게 되는데 이러한 경우의 분석은 아주 간단하며 이 연구에서는 제외하고 경제적인 측면과 매립지 주변지반의 수리지질조건들을 감안하여 차단벽을 매립지를 중심으로 지하수 흐름방향의 상류측에 설치했을 경우와 하류측에 설치했을 경우에 대하여 수두분포의 변화와 흐름방향을 분석하였다.

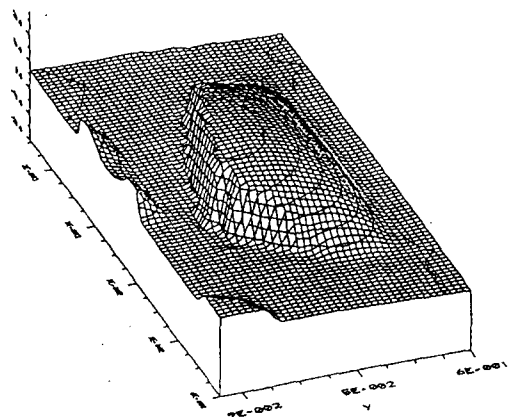


Fig.4. Hydraulic head distribution with the wall at the upgradient(No final cover)

차단벽을 상류측에 N강을 따라 기반암까지 설치하고 Simulation 한 결과, Fig.4.와 같은 수위분포를 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 차단벽 주변에서의 수위는 28m까지 상승하였는데 이는 원래의 수위보다 11.2m 상승한 것이며, 이 수위상승은 전반적으로 차단벽 주변으로 치우치고 있다. 이러한 현상의 이유는 지하수의 분기점이 본래 매립지 기반중앙에 있었으며, 침투수는 분기점을 중심으로 저수두 방향으로 분류되는데 상류측에 설치된 차단벽의 영향으로 배수가 되지 않고 지체되어 수위가 상승하는 결과에 의한 것이다.

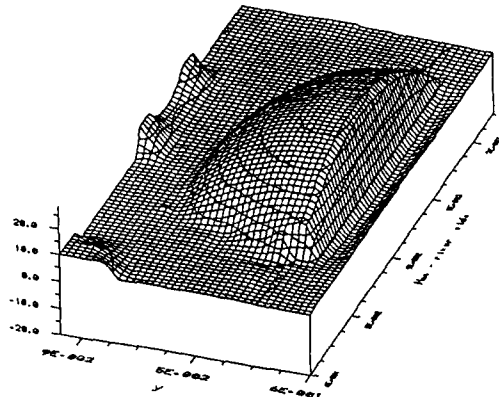


Fig.5. Hydraulic head distribution with the wall at the downgradient(No final cover)

하류측인 S강을 따라 매립지쪽에 차단벽을 설치하고 Simulation 했는데 Fig.5.에 보여진 수두분포와 같이 상류측에 차단벽을 설치했을 경우와 같은 현상을 보이고 있는데 이때의 최고수위는 역시 28m 에 달하고 있다. Fig.4.와 Fig.5.에서 알 수 있듯이 차단벽을 하류측인 S강쪽에 설치했을 경우가 상류측에 설치했을 때의 수위상승효과는 거의 같게 나타나지만, 매립지 내부에서의 전체적인 침출수량은 상류측에 설치(Fig.4) 했을 때 적게 발생한다.

3.3 최종덮개를 설치했을 때의 효과

매립지의 표면에 불투수층의 최종덮개를 설치하여 강우의 침투를 방지하고 침출수의 발생을 억제한 후 지하수의 유입을 차단하기 위하여 매립지를 중심으로 지하수흐름의 상류측과 하류측에 차단벽을 설치하였다. 따라서 침투수량(Recharge)이 없는 조건에 차단벽 규모 및 수리특성 매립지반주변 수리지질특성 등 다른 모든 조건은 최종덮개를 설치하지 않았을 경우와 동일하다. 상류측에 차단벽을 설치한 후의 수두분포는 차단벽 주변의 4m에서 큰 강변의 3.5m로 아주 완만한 분포를 보이는데 Fig.6.에서 잘 나타내고 있다.

이 경우 지하수의 흐름은 전체적으로 S강쪽을 향하고 있으며, 동쪽(N강 상류)으로부터 매립지쪽으로 약간 지하수의 유입이 있는 것으로 나타나고 있다. 하류측에 차단벽을 설치했을 경우의 수두분포 역시 아주 완만한 분포를 보이고 있는데 지하수의 흐름 방향은 S강변에 설치한 차단벽의 영향으로 북동쪽에서 남서쪽으로 향하고 있는데 수위차는 상류 6m에서 하류 3m에 이른다. 이 경우의 수두분포는 Fig.7.에서 보여진 바와 같다.

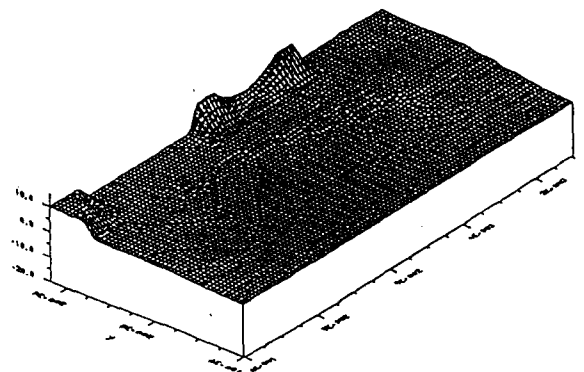


Fig.6. Hydraulic head distribution with the wall at the upgradient(With the final cover)

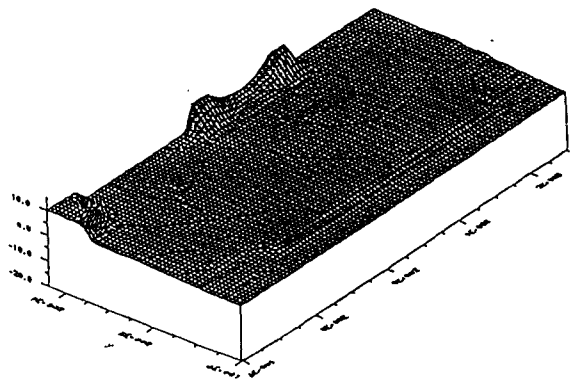


Fig.7. Hydraulic head distribution with the wall at the downgradient(With the final cover)

4. 지하수오염제어기술의 적용성

지하수오염제어기술은 불량매립지로부터 발생하는 침출수에 의해 오염된 지하수를 지반으로부터 제거하는데 적용하며 오염의 정도가 심하거나 유해성물질에 의해 오염되었을 경우는 주변전체를 차단하고 Well Pumping 을 한다. 이 단원에서는 차단벽을 매립지를 중심으로 지하수 흐름방향의 상류측과 하류측에 설치하고 각각의 경우에 차단벽의 안쪽에서 Well-Pumping을 하는 것으로 하였다.

각 경우 총 Well Pumping Rate($Q=819.0 \text{ m}^3/\text{day}$)을 같게하고 Simulation을 수행하여 수두분포를 비교하였는데 Fig.8.은 상류측에 차단벽을 설치했을 경우의 수두분포이며, Fig.9.는 하류측에 차단벽을 설치했을 경우의 수두분포이다. Fig.8.에서 보는바와 같이 매립지 내부에서 전체적으로 수위가 급격히 하강하였으며 차단벽 가까이에서는 거의 건조상태를 보이고 반대편인 S강쪽에서 최고수위 9.5m를 유지하였다. 위치에 관계없이 최고수위를 기준하여 볼때 수위하강폭은 18.5m 가 된다.

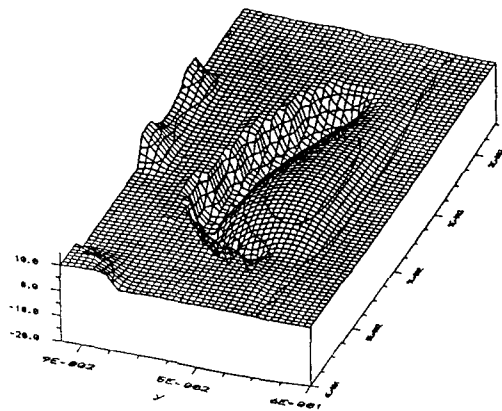


Fig.8. Hydraulic head distribution with the wall at the up-gradient(With well-pumping)

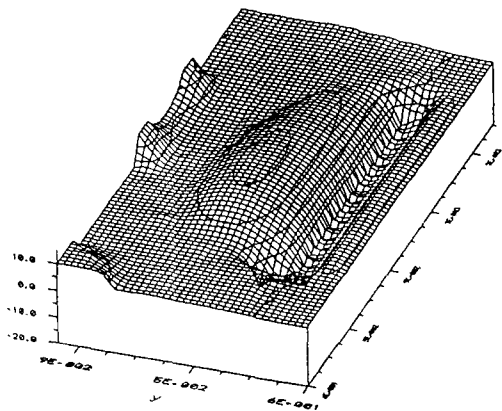


Fig.9. Hydraulic head distribution with the wall at the down-gradient(With well-pumping)

다음으로 하류측에 차단벽을 설치한 후 Well-Pumping 했을 때의 수위분포는 Fig.9.에서 보는 바와 같이 상류측의 경우보다 훨씬 높은 수위분포를 보이고 있으며 전체적인 수위분포형태는 같다. 이 경우, 최고수위는 매립지의 북쪽에서 11.8m 였고, 최저수위는 차단벽 부근에서 1m 였다. 위치에 관계없이 최고수위를 기준한 수위의 하강폭은 16.2m 이다. 이 두가지의 Well-Pumping Simulation 결과를 비교해보면 동일한 Pumping Rate을 적용했을 때 오염지하수 제거효율은 상류측에 차단벽을 설치했을 경우가 더 크게 나타난다. 그 이유는 지하수의 전반적인 흐름이 북쪽에서 남쪽(N강에서 S강)으로 향하는데 매립지 내부로의 지하수 유입을 차단함으로써 매립지 내부에서의 지하수 지체량을 감소시킬 수 있었기 때문이다.

침출수가 매립지의 외부로 유출되는 양은 강(N강 또는 S강)까지의 최단거리 에 의한 수리경사에 의해 판단할 수 있는데 본 연구에서 관찰된 두가지 경우(Fig.8, Fig.9)에서 본다면 매립지를 중심으로 하류측에 설치했을 때의 수리경사가 더 크게 나타났다.

5. 결 론

폐기물 매립지에서의 지하수 오염제어 기술을 적용하는데 있어서 차단벽을 설치하는 기준 및 환경오염 방지효과 그리고 일반적인 고려사항에 관하여 본 연구결과를 종합하여 정리하면 다음과 같다.

- 매립지 지반의 투수성이 높고, 수리경사가 급하거나, 지하수의 유입량이 많을 경우는 지하수 흐름방향의 상류측에 설치한다.
- 매립지 지반의 투수성이 낮고 수리경사가 완만하고 지하수의 유입량이 적거나, 지하수의 분기점이 매립지를 중심으로 상류측 가까이 있어서 지하수의 유입량이 한정적 일 때는 하류측에 차단벽을 설치한다.
- 본 매립지의 경우 동일한 Well-pumping량을 기준으로 하면 상류측에 차단벽을 설치할 때 더 큰폭의 수위강하효과를 얻을 수 있다.
- 수리경사를 고려하여 판단할 때, 상류측에 차단벽을 설치했을 경우에 환경오염방지 효과가 더 크게 나타난다.

6. 참고문헌

- U.S.EPA(1982), Handbook for remedial action at waste disposal sites, US EPA, EAP-625/6-82-006.
- Michael G. McDonald and Arlen W. Harbaugh(1993), A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model
- 한서 Engineering(1992), 난지도 수리지질 보고서
- 서울특별시 청소사업본부(1992), 난지도 토질조사 보고서.

폐기물 매립지 지반내에서의 지하수오염 제어 GROUNDWATER POLLUTION CONTROL IN UNCONTROLLED WASTE LANDFILLS

이 광 열. KWANG-YEOL LEE

선경건설주식회사 기술연구소 차장.

Manager, Geotechnical and Geo-Environmental Engineering Div., Sunkyong Engineering & Construction Co.Ltd., Seoul.

장 연 수. YEON-SOO JANG

동국대학교 토목공학과 조교수.

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Dongguk University, Seoul

한 일 영. IL-YEONG HAN

선경건설주식회사 기술연구소 과장.

Manager, Geotechnical and Geo-Environmental Engineering Div., Sunkyong Engineering & Construction Co.Ltd., Seoul.

Abstract

Groundwater in waste landfills can be contaminated by leachates produced from wastes and flow down toward rivers. These accidents are easily discovered in uncontrolled landfill sites. In this study, applications for controlling groundwater pollution and protecting river pollution were studied using installation of cut-off walls around the waste landfill. Analyses for the efficiency and applicability of the cut-off wall were made under environmental, economical and technical considerations. Cut-off walls were installed at the upgradient and the downgradient. Prediction analyses for the hydraulic head distribution over the site were made for concerning with the final cover and without the final cover. Also, the hydraulic head distribution was predicted with well-pumping on both cases, upgradient cut-off wall and downgradient cut-off wall.

1. 서론

지하수 및 주변지반의 오염방지시설을 갖추지 않은 폐기물매립지는 전국에 650개소 이상에 달하고 있는 것으로 보고된 바 있다. 이들 불량매립지로부터 발생하는 침출수는 주변의 지하수 및 농경지를 오염시키고 있을 뿐 아니라, 이들의 상수원의 상류에 위치하고 있는 경우에는 지속적으로 상수원을 오염시키는 상수원 오염의 주범이 될 수 있다. 전국에 산재하여 있는 이들 매립지로부터 발생하는 침출수에 유해성 물질이 포함되어 있다면 문제는 더욱 심각해 지고 반드시 해결해야 할 과제이다. 이미 우리나라 환경계에서도 이러한 문제에 대한 심각성을 인식하고 현황조사에 착수하였다.

불량매립지를 교정하는데 있어서 선행되어야 할 일은 침출수의 발생량을 줄이고 침출수에 의한 지하수 오염과 주변오염확산을 차단하는 일이다. 침출수의 발생을 억제하기 위한 방법으로는 매립지의 매립을 종료한 후 차수층, 배수층 그리고 식생복토층 등으로 구성된 최종덮개시설을 한다. 주변오염확산을 방지하기 위한 수단으로 흔히 지하수오염제어기술을 적용하는 방법중의 하나인 Cut Off Wall(차단벽)을 설치하는 방법을 사용한다. 차단벽을 매립지 외곽주변에 설치할 경우는 완전히 주변을 차단하는 방법과 부분적으로 지하수의 유입(Recharge)과 유출(Discharge)을 통제하는 방법이 있다. 매립지의 폐기물이 유해성 물질로 구성되어 있는 경우는 완전차단하는 지하수제어체계를 적용하여야 하나, 그렇지 않을 경우에는 지하수흐름방향, 지반의 투수성 지하수의 분포 등을 감안하여 제한적 지하수오염 제어체계를 적용하는 편이 경제적인 측면에서 유리하다.

이 연구에서는 매립이 종료된 폐기물 매립지에서 수리지질조건과 수문학적 조건들을 가정하여 불량폐기물매립지에서 지하수 오염제어기술의 적용상에 문제점과 경제적 그리고 환경오염방지측면에서의 적합성을 두가지의 지하수오염제어기법을 실제에 적용 하므로써 비교분석하였다. 이 연구에서 Simulation에 사용된 Computer Model은 MODFLOW 이다.

2. 매립지의 지형 및 수리지질

연구대상으로 선정한 폐기물매립지는 큰강(S강)과 작은 셋강(N강) 사이에 위치하고 있으며, 매립장 하부지반은 하상 퇴적모래층과 자갈층 그리고 풍화기반암층으로 이루어져 있다. 매립지 주변에서 시추하여 얻은 지질조사자료를 근거로 하여 분석한 지형은 북쪽(상류측)에 노년기 지형의 구릉성 산계가 북북동 방향으로 발달하였으며, 북쪽의 산계사이를 따라 지천들이 남향으로 흐르다가 합류하여 S강 분류로 유입되며 서쪽으로는 N강으로 유입된 후, 폐기물매립지 북쪽 경계선을 따라 S강으로 유입된다. 수리지질을 광역적으로 해석하기 위하여 Fig.1.과 같이 투수계수의 분포에 근거 A(매립지), B(북쪽 구릉지대), C(충적층지대), D(S강변지역)으로 구분하였다.

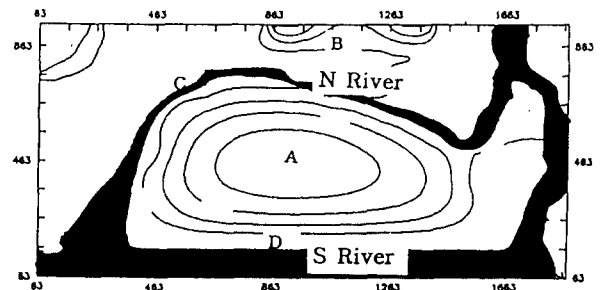


Fig.1. Geologic information of the waste landfill site

연구대상지역의 전반적인 지하수의 흐름은 북쪽의 구릉지에서 큰강쪽으로 흐르나, 지역적으로는 매립지에서 수위가 주변의 수위보다 높기 때문에 수두차에 의해 매립지로부터 주변으로 향해 0.03~0.04의 수리경사를 가지고 흐르고 있다. 한편 매립지 북쪽의 구릉지에서 흐르는 지하수도 N강으로 유입된 후 S강으로 유입되고 있다. 매립지 주변의 예상수위분포는 Table 1., Fig. 2.와

같다.

Table 1. Hydraulic Head Distribution

지역	위치	지하수위(M.S.L)
B	상류지역	+ 4.5 ~ 6.6 m
A	매립지 중앙	15 ~ 20 m
D	S 강변	3.4 ~ 4 m
S	River	2.5 m
N	River	6 ~ 5 m

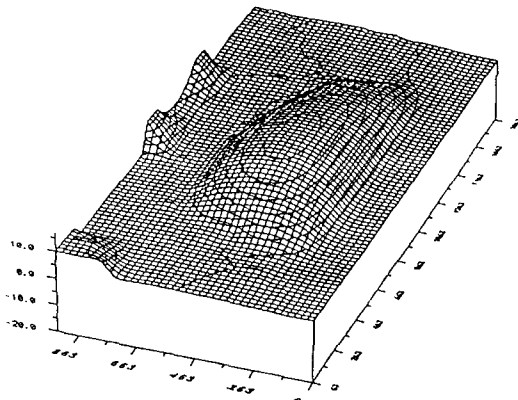


Fig. 2. The hydraulic head distribution of the landfill site

3. Model Simulation

3.1 입력계수 결정

해석영역의 경계는 지하수의 흐름방향을 광역적으로 관찰하기 위하여 매립지를 중심으로 북쪽과 서쪽의 구릉지와 동쪽의 지천 수계 그리고 남쪽의 S강 수계로 하였다. Simulation을 위한 Grid는 X방향 49, Y방향 23 총 1,127개의 Cell을 구성하였으며, Cell의 크기는 최대 125m 최소 31.25m로 하였다. 매립지내에서의 지하 수위 변동을 Simulation 하기 위한 경계조건은 작은 강 수위(6m~2.5m)와 큰강 수위(2.5m)를 Constant Head 경계조건으로 하고 나머지 영역은 Active Cell로 지정하였다(Fig. 3.). 또한, 기반암층(EL -20.0m)은 불투수층으로 경계조건을 지정하였다.

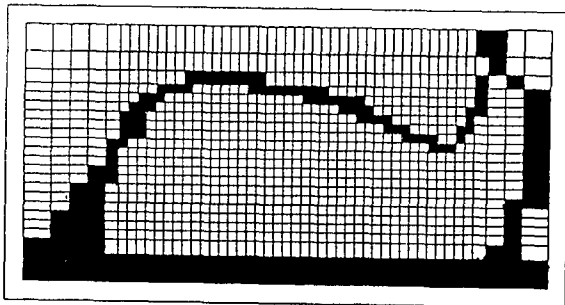


Fig. 3. Finite element meshes and boundaries

광역적 지하수흐름은 평면적 지형의 투수계수 분포에 의해 구분되므로 토질조사보고서(대우Eng. 토질조사보고서)를 참고하여 Fig.1.에서와 같이 매립지, 구릉지대, 충적층지대, 한강변으로 구분하고 Table 2.와 같이 각지역에 대한 투수계수를 적용하였다.

Table 2. Distribution of Hydraulic Conductivity

지역	지질	투수계수(m/sec)	비고
A	매립지	1.97E-6	연직방향으로는 균질함
B	북쪽구릉지대	1.0E-8	
C	충적층 지대	8.5E-4	
D	한강변	1.29E-3	

이 해석을 수행하는데 있어서의 조사자료의 부족으로 인하여 다음과 같은 사항에 대하여는 가정하였다.

- 매립지내에서의 침투량(Infiltration)은 0.229 cm/day이다. (이로 인한 매립지 중앙부의 최고수위는 16.8m)
- 차단벽(Slurry Wall)의 폭은 1m, 투수계수는 10^{-9} m/sec이며, 외력에 의한 변형이 없고 화학적 반응에 의한 손상이 없다.

3.2 Recharge 조건에서의 차단벽 효과

매립지의 상부로부터 침투하는 침투수는 내부에 형성된 지하수면에 도달하여 지하수위의 상승의 원인이 된다. 지하수흐름의 상류에서 하류방향으로의 단면을 고려하면 지하수의 흐름은 매립지 내부의 최고수위인 분기점을 중심으로 양측방향으로 분기되어 양쪽의 강으로 흘러간다. 이것은 높은 수두를 갖는 곳에서 낮은 수두를 갖는 쪽으로 물이 이동하는 원리와 일맥 상통한다.

만약에 매립지 주위에 차단벽을 기반암까지의 깊이로 설치한다면 매립지내부에서의 지하수위는 계속 상승하여 아주 높은 수두 분포를 이루게 되는데 이러한 경우의 분석은 아주 간단하며 이 연구에서는 제외하고 경제적인 측면과 매립지 주변지반의 수리지질조건들을 감안하여 차단벽을 매립지를 중심으로 지하수 흐름방향의 상류측에 설치했을 경우와 하류측에 설치했을 경우에 대하여 수두분포의 변화와 흐름방향을 분석하였다.

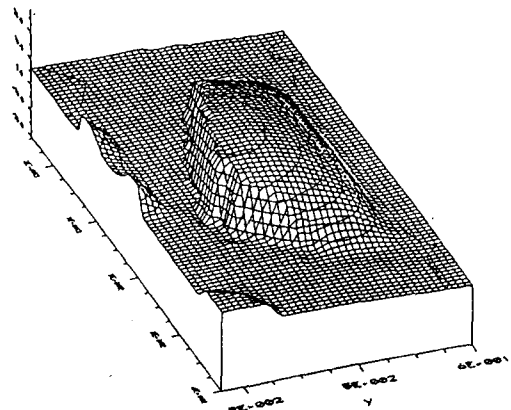


Fig.4. Hydraulic head distribution with the wall at the upgradient(No final cover)

차단벽을 상류측에 N강을 따라 기반암까지 설치하고 Simulation 한 결과, Fig.4.와 같은 수위분포를 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 차단벽 주변에서의 수위는 28m까지 상승하였는데 이는 원래의 수위보다 11.2m 상승한 것이며, 이 수위상승은 전반적으로 차단벽 주변으로 치우치고 있다. 이러한 현상의 이유는 지하수의 분기점이 본래 매립지 지반중앙에 있었으며, 침투수는 분기점을 중심으로 저수두 방향으로 분류되는데 상류측에 설치된 차단벽의 영향으로 배수가 되지 않고 지체되어 수위가 상승하는 결과에 의한 것이다.

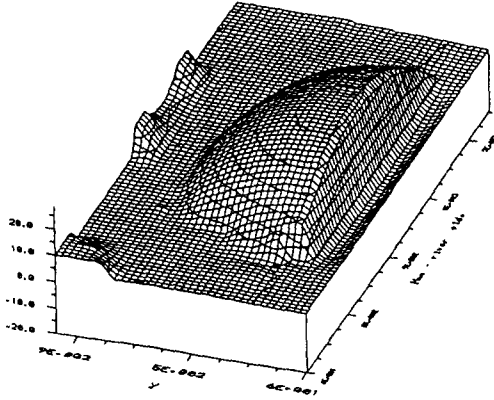


Fig.5. Hydraulic head distribution with the wall at the downgradient(No final cover)

하류측인 S강을 따라 매립지쪽에 차단벽을 설치하고 Simulation 했는데 Fig.5.에 보여진 수두분포와 같이 상류측에 차단벽을 설치했을 경우와 같은 현상을 보이고 있는데 이때의 최고수위는 역시 28m 에 달하고 있다. Fig.4.와 Fig.5.에서 알 수 있듯이 차단벽을 하류측인 S강쪽에 설치했을 경우가 상류측에 설치했을 때의 수위상승효과는 거의 같게 나타나지만, 매립지 내부에서의 전체적인 침출수량은 상류측에 설치(Fig.4) 했을때 적게 발생한다.

3.3 최종덮개를 설치했을 때의 효과

매립지의 표면에 불투수층의 최종덮개를 설치하여 강우의 침투를 방지하고 침출수의 발생을 억제한 후 지하수의 유입을 차단하기 위하여 매립지를 중심으로 지하수흐름의 상류측과 하류측에 차단벽을 설치하였다. 따라서 침투수량(Recharg)이 없는 조건외에 차단벽 규모 및 수리특성 매립지반 주변 수리지질특성 등 다른 모든 조건은 최종덮개를 설치하지 않았을 경우와 동일하다. 상류측에 차단벽을 설치한 후의 수두분포는 차단벽 주변의 4m에서 강변의 3.5m로 아주 완만한 분포를 보이는데 Fig.6.에서 잘 나타나고 있다.

이 경우 지하수의 흐름은 전체적으로 S강쪽을 향하고 있으며, 동쪽(N강 상류)으로부터 매립지쪽으로 약간 지하수의 유입이 있는 것으로 나타나고 있다. 하류측에 차단벽을 설치했을 경우의 수두분포 역시 아주 완만한 분포를 보이고 있는데 지하수의 흐름 방향은 S강변에 설치한 차단벽의 영향으로 북동쪽에서 남서쪽으로 향하고 있는데 수위차는 상류 6m에서 하류 3m에 이른다. 이 경우의 수두분포는 Fig.7.에서 보여진 바와 같다.

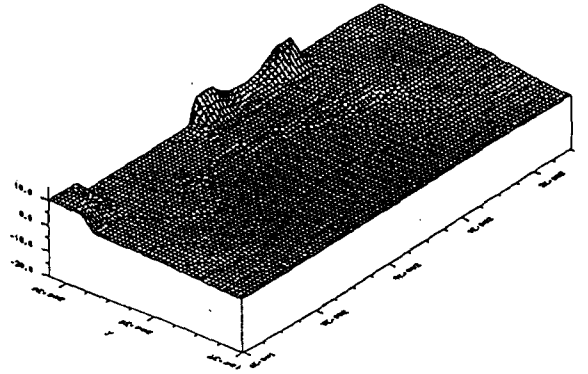


Fig.6. Hydraulic head distribution with the wall at the upgradient(With the final cover)

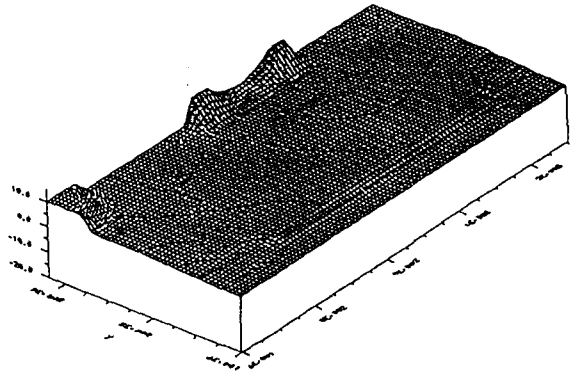


Fig.7. Hydraulic head distribution with the wall at the downgradient(With the final cover)

4. 지하수오염제어기술의 적용성

지하수오염제어기술은 불량매립지로부터 발생하는 침출수에 의해 오염된 지하수를 지반으로부터 제거하는데 적용하며 오염의 정도가 심하거나 유해성물질에 의해 오염되었을 경우는 주변전체를 차단하고 Well Pumping 을 한다. 이 단원에서는 차단벽을 매립지를 중심으로 지하수 흐름방향의 상류측과 하류측에 설치하고 각각의 경우에 차단벽의 안쪽에서 Well-Pumping을 하는 것으로 하였다.

각 경우 총 Well Pumping Rate($Q=819.0 \text{ m}^3/\text{day}$)을 같게하고 Simulation을 수행하여 수두분포를 비교하였는데 Fig.8.은 상류측에 차단벽을 설치했을 경우의 수두분포이며, Fig.9.는 하류측에 차단벽을 설치했을 경우의 수두분포이다. Fig.8.에서 보는바와 같이 매립지 내부에서 전체적으로 수위가 급격히 하강하였으며 차단벽 가까이에서는 거의 건조상태를 보이고 반대편인 S강쪽에서 최고수위 9.5m를 유지하였다. 위치에 관계없이 최고수위를 기준하여 불때 수위하강폭은 18.5m 가 된다.

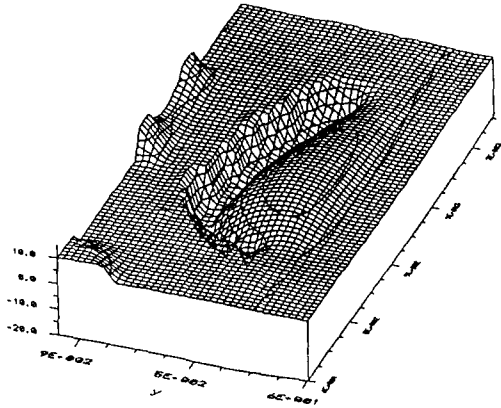


Fig.8. Hydraulic head distribution with the wall at the up-gradient(With well-pumping)

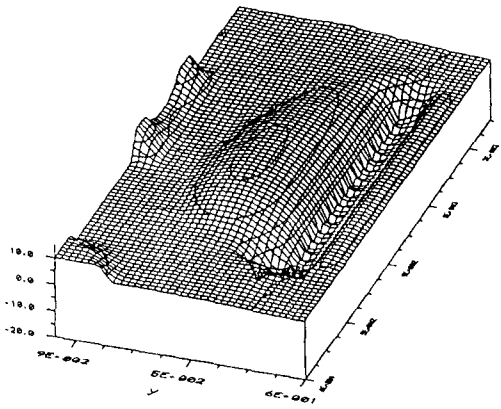


Fig.9. Hydraulic head distribution with the wall at the down-gradient(With well-pumping)

다음으로 하류측에 차단벽을 설치한 후 Well-Pumping 했을 때의 수위분포는 Fig.9.에서 보는 바와 같이 상류측의 경우보다 훨씬 높은 수위분포를 보이고 있으며 전체적인 수위분포형태는 같다. 이 경우, 최고수위는 매립지의 북측에서 11.8m 였고, 최저수위는 차단벽 부근에서 1m 였다. 위치에 관계없이 최고수위를 기준한 수위의 하강폭은 16.2m 이다. 이 두가지의 Well-Pumping Simulation 결과를 비교해보면 동일한 Pumping Rate을 적용했을 때 오염지하수 제거효율은 상류측에 차단벽을 설치했을 경우가 더 크게 나타난다. 그 이유는 지하수의 전반적인 흐름이 북쪽에서 남쪽(N강에서 S강)으로 향하는데 매립지 내부로의 지하수 유입을 차단함으로써 매립지 내부에서의 지하수 지체량을 감소시킬 수 있었기 때문이다.

침출수가 매립지의 외부로 유출되는 양은 강(N강 또는 S강)까지의 최단거리 예의한 수리경사에 의해 판단할 수 있는데 본연구에서 관찰된 두가지경우(Fig.8, Fig.9)에서 본다면 매립지를 중심으로 하류측에 설치했을때의 수리경사가 더 크게 나타났다.

5. 결 론

폐기물 매립지에서의 지하수 오염제거 기술을 적용하는데 있어서 차단벽을 설치하는 기준 및 환경오염 방지효과 그리고 일반적인 고려사항에 관하여 본 연구결과를 종합하여 정리하면 다음과 같다.

- 매립지지반의 투수성이 높고, 수리경사가 급하거나, 지하수의 유입량이 많을 경우는 지하수 흐름방향의 상류측에 설치한다.
- 매립지지반의 투수성이 낮고 수리경사가 완만하고 지하수의 유입량이 적거나, 지하수의 분기점이 매립지를 중심으로 상류측 가까이 있어서 지하수의 유입량이 한정적 일때는 하류측에 차단벽을 설치한다.
- 본 매립지의 경우 동일한 Well-pumping량을 기준으로 하면 상류측에 차단벽을 설치할때 더 큰폭의 수위강하효과를 얻을 수 있다.
- 수리경사를 고려하여 판단할때, 상류측에 차단벽을 설치했을 경우 환경오염방지 효과가 더 크게 나타난다.

6. 참고문헌

- U.S.EPA(1982), Handbook for remedial action at waste disposal sites, US EPA, EAP-625/6-82-006.
- Michael G. McDonald and Arlen W.Harbaugh(1993), A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model
- 한서 Engineering(1992), 난지도 수리지질 보고서
- 서울특별시 청소사업본부(1992), 난지도 토질조사 보고서.