

'94년도 봄학술발표회 결과보고

채 영 수*

우리학회 '94년도 봄학술발표회가 1994년 3월 26일(토) 09:00~18:00까지 한국건설기술연구원 1층 대강당에서 300명 이상의 회원이 참석한 가운데 성황리에 개최되었다.

오전에는 간사이 국제 공항 건설과 관련한 지반문제에 대해 Koichi Akai씨(일본토질공학회 회장, 京都大學 명예교수)의 초청발표와 지반구조물 변위에 관한 3편의 사례발표 및 토론이 있었고 오후에는 환경매립기술에 관한 4편의 발표 및 토론이 있었다.

간사이 국제공항 건설에 관한 내용은 국내 지반공학자에게도 “준설, 매립, 인공섬”에 관한 '92년도 가을학술발표회 및 외국논문을 통해 친숙한 내용이지만, 이번 발표는 간사이 국제공항건설의 전체 개요, 지반개량 및 침하에 관한 검토와 교량기초의 내진해석이 초된 내용이었다. 전체 지반 침하가 11m에 이르는 초대형 준설과제에서의 계획조사 및 계측시 지반공학의 학술적인 내용뿐만 아니라 규모와 기간의 엄청난 투자를 보면서, 다소 차이는 있지만 여러가지 유사한 여건의 영종도 국제공항 건설과 비교할 때 많은 부러움 점도 느낀 시간이었다.

이어 연약지반상에 건설되는 고속도로와 국도의 교대축 측방변위 및 지반 거동에 관한 3편의 사례발표와 토론이 있었다. 연약지반상의 교대 변위 발생 사례가 빈번한 것은 기본 계획 및 설계시 검토 누락이 가장 큰 이유인데 이는

설계시 지반공학자의 적극적인 참여 및 협조체제 구축 그리고 시방서와 참고 도서에 측방유동에 관한 검토방법이 좀 더 구체적이고도 정량적으로 보충되어야겠다는 의견도 있었다. 특히 연약지반에서 성토고가 큰 경우에는 기본 계획시에 경량성토(ESP) 혹은 구조물보강등의 방법등을 강구해 검토해야 한다는 주장과 연약지반에서의 성토시 자체 변위뿐만 아니라 구조물의 변위도 중요하므로, 계측시에 교대 배면 계측이 이루어져야 한다는 내용도 있었다.

이러한 연약지반상의 교대축조시는 기초 말뚝의 설계가 수동말뚝으로 검토되어야 함이 간과 되어서는 안된다.

환경 매립 기술에 관한 오후 발표는 폐기물 매립장 차수제, 지하수 오염 추정 및 제어, 매립지반의 개량과 화학적 성분분석 등에 관한 발표와 토론이 있었다. 폐기물 매립장 차수제의 설치 기준, 종류, 적용 및 문제점에 관한 토론과 오염발생에서 제어에 이르는 환경과 비용의 종합적인 검토의 필요성이 제기되었다. 또한 매립지의 현장조사 및 시험의 중요성 및 불포화토의 흐름에 관한 지반공학자들의 적극적인 참여가 요구됨이 강조되기도 하였다.

이날 연약지반과 관련된 발표 내용에 대해서는 인하대학교 강병희 교수가 좌장을 맡았고 토론자로는 도화지질의 박찬호사장, 강원대학교 유남재교수, 환경매립과 관련된 발표내용에

*정희원, 수원대학교 공과대학 토목공학과 부교수

관해서는 좌장에 중앙대학교 김수삼교수, 토론 자료는 한국과학기술원 구자공교수, 한서 엔지니어링의 한정상 사장이 맡았다.

한편 각 발표 주제별로 요약된 내용은 다음과 같다.

1. 교대변위 및 도로침하에 대한 사례분석 - 남해고속도로 -

박찬호(도화지질)
김수일(연세대)
이승래(한국과학기술원)
정상섭(연세대 산업기술연구소)
백세환(도화지질)

연약지반에 위치한 교대의 기초공법으로써 말뚝기초를 채택할 경우 교대배면의 성토재에 의하여 지반은 침하와 함께 측방유동압을 일으키는 사례가 빈번히 발생하고 있다. 우리나라도 이제 본격적으로 열악한 지반상태를 갖는 지역의 활용이 활발히 증대됨에 따라 이와같은 연약지반에서 발생할 수 있는 교대측방유동 및 배면침하의 지반공학적 문제점들이 많이 제기 될 것으로 판단되어 본 연구에서는 연약지반에 시공된 교량에서 관측된 교대의 측방변위 및 노면침하 원인을 규명하고 이에 대한 기초말뚝의 안정을 고려한 교대말뚝의 설계방안을 제시하고자 하였다.

본 연구의 대상지역은 도로공사를 위한 연약지반내 성토구간으로 구간별로 여러 종류의 지반개량공법을 적용한후 성토구간내에 위치한 교량의 교대를 대상으로 하였다. 따라서 교량 설치지점의 기초지반에 매우 연약한 점성토로 구성되어 있어 그 위에 재하되어 있는 교대배면의 성토하중에 기인하는 측방유동에 의한 것으로 추정되는 교대의 수평변위가 지속적으로 관측되어 일반적인 말뚝기초 설계시에 고려하는 하중조건에 부가하여 측방유동압과 부마찰력에 대하여 검토하였다.

과도한 변위의 원인을 분석하고 그 대책을 수립하기 위해서 본 연구에서는 첫째로 유한요소해석과 하중 modeling을 동시에 실시하여

측방유동압의 형태와 크기를 고려한 지반과 말뚝의 전체적인 거동을 검토하였으며, 둘째로 전체 성토사면의 원호활동에 대한 안정성을 검토하였고, 셋째로 말뚝에 발생하는 수평변위의 부재응력을 검토하였다. 상기 검토 결과를 토대로 원호활동에 대해서 소정의 안전율을 확보하고 수평변위와 부재응력이 허용범위를 만족시키는 대책을 수립하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 지반이 연약하여 변위가 크게 발생하는 경우에는 지반의 소성변위까지 고려하여 이에 상응하는 반력계수를 책정하지 않으면 기초말뚝의 횡방향 지지력을 과대추정하게 될 뿐만 아니라, 횡변위가 클 경우에는 편심축하중이 발생하여 말뚝에 큰 만곡응력이 발생한다.

(2) 연약지반에 현안 교대구조물과 같이 배면에 성토하중이 편기되어 있을 경우 성토하중에 의한 편차응력 및 배면침하에 의하여 기초말뚝에 측방유동압이 작용하게 되고, 이 측방유동압은 기초말뚝에 만곡응력을 발생시키는 동시에 기초말뚝의 횡변위를 가중시킨다.

(3) 지반개량 계획에 있어서 교대구조물 설치구간을 구조물 시공 전에 먼저 충분한 지반개량을 실시하여 지반의 전단강도를 증대시키고 배면 성토하중에 의한 예상침하를 초기에 침하시킴으로써 기초말뚝에 작용하는 부마찰력 및 측방유동압을 감소 또는 제거하여야 한다.

(4) 연약지반 개방에 있어 실제상황을 설계 당시 정확히 예상한다는 것은 불가능한 일이므로 현장관리는 매우 중요하다.

2. 교대의 측방변위 발생에 대한 사례분석 - 서해안고속도로 -

이종규(단국대)
박찬호(도화지질)
이명환(고려기초)
이인모(고려대)
이명재(고려대)

본 고에서는 서해안 고속도로 K 현장에서 발생된 교량의 교대측 측방변위 발생사례를 중심으로 변위발생원인을 규명하고 이를 토대로 연약지반에 설치한 교대기초의 합리적인 설계 및 시공방안을 제시하였다. 변위가 발생된 A,B교량은 길이 35m, 폭 28~29m의 Steel box girder 형태이며 교대는 뒷부벽식으로 높이 12.8~14m이고 기초는 길이 21~28m 강관(φ508) 말뚝으로 설계되었다. 기초지반은 ML, CL, CH로 분류되며, 함수비가 25~40%, 액성한계 40~55%, 소성지수 20~30%, 비배수 전단강도는 1~15t/m² 정도의 분포를 보인다.

교대의 변위발생은 문제가 발생된 시공 2개월 후부터 측정되었으며, Shoe의 최대이동범위인 50~100mm정도 변형후에 임시로 하중을 경감한 상태이다. 교대의 과도한 변위발생원인을 분석하기 위해 교대의 전도 및 활동으로 인한 수동말뚝파괴, 기초 하부에 존재하는 연약지반의 측방유동(혹은 사면파괴)으로 인한 수동말뚝파괴 혹은 혼합파괴등의 가능성을 조사하였다. 수동말뚝의 안정성은 교대의 하중조건, 말뚝의 연직 및 수평허용지지력과 교대 기초의 전도, 활동 및 지지력에 대한 분석을 수행하였다. 수동말뚝의 안정성은 경험식에 의한 측방유동 검토, 사면안정해석(STABL) 및 수치해석(FLAC)을 수행하여 사면안정과 말뚝의 응력 상태를 조사하였다. A교 및 B교 교대의 과대변형 발생의 중요한 직접적인 원인은 수동말뚝의 수평허용지지력 부족으로 인한 교대의 전도파괴와 하부지반의 사면파괴가 발생하여 측방유동으로 인한 말뚝의 과대변위, 즉 수동말뚝의 파괴로 인한 두가지 원인이 복합된 것으로 추정되었다. 측방변위 발생후의 대책공법은 기초지지력을 증가시킴과 동시에 하중을 경감시키는 방법(경량성토, Box구조물, 접속 Slab 등)이 고려될 수 있으나 Box구조물 설치하는 측방유동의 근본원인 제거책은 아닌 것으로 판단된다. 차후에 연약지반에 설치하는 교대는 계획단계에서 교량을 접속 Slab로 연결하는 교대 뒷편에 성토하중이 측방유동을 일으키지 않

도록 설치하는 것이 바람직하다. 연약지반 상에 설치된 교대기초는 필수적으로 상부하중 및 횡도압에 대한 수동말뚝과 측방유동에 대한 수동말뚝이 모두 안전하도록 연약지반 개량공법, 성토시기, 지반조건 및 측방유동 등의 종합적인 검토를 통하여 경제성 및 시공성을 향상시키도록 설계하여야 한다.

3. 연약지반의 변위에 대한 사례연구 - 광양산업도로 -

박병기(전남대)
정진섭(원광대)
이문수(전남대)
이재현(평원엔지니어링)
정재성(전남대 석사과정)
정영민(전남대 석사과정)

3.1. 연구개요

고속도로와 교차되는 I.C구간에 3방향으로 분기되는 고가교를 설치하기 위하여 분기시발점에 최고 10m의 성토를 시공하면서 거의 같은 시기에 교각을 소정의 위치에 각 고가교 별로 2기씩(본선은 3기, 교대는 미설치) 축조하였다. 지반은 $N \leq 1$ ($C \approx 1 \text{ t/m}^2$) 두께 25~28m의 해상점토지반이고, 성토부는 Sand drain공법(φ 500, pitch 2.1m)으로 평균 25m 깊이를 개량하기 위하여 0.5m의 Sand mat와 P.P mat ($t=10 \text{ t/m}$)를 부설하고 그 위에 4~5단계의 성토를 실시, 최고 10m에 이르는 Pre-loading 공법을 병행한 현장으로서 S.D 공법에 의한 압밀은 85%를 목표로 설계되었다. 그 결과 600일이 지난 시점에서 최대 3.7m의 침하량과 측방용기(약 30m범위에 최대 0.3m용기) 그리고 성토부에서 7m 떨어진 교각이 최대 0.4m의 수평이동이 발생하여 당초의 예상값을 크게 초과하였다. 대상 교각은 같은 지반에 강관말뚝기초(φ 408, L≤30m 24본)를 갖는 단일 지주식(직경 1.5m)으로서 5m가량 시공되었고 기초는 4.5×4.5m, 두께 1.5m의 R.C 구조인데 0.4m의

수평이동이 발생하여 문제점으로 제기되었다. 이와같은 연직, 수평변형이 발생하는 메카니즘을 살펴보기 위하여 현장에서 발생하는 변형을 충실히 FEM을 통해 재현시켜 이때 작용하는 수평력, 변형량, 교각에 작용하는 단면력을 역해석해 본 것이다. 사용한 FEM프로그램은 탄점소성모델(Sekiguchi model)을 Biot의 압밀식에 결합한 2차원 평면변형을 조건의 수치해석이며 특히, 교각의 해석에서는 사용된 강관말뚝은 등가의 강널말뚝 벽으로 환산하는 Randolph의 방법을 적용하였다. 이 결과가 정확히 맞느냐에 대해서는 논란이 될 수 있으나 적어도 어느 시점에 있어서 변형에 대한 물리력의 작용에 대한 메카니즘과 변형의 경향에 대해서는 충분한 판단 자료가 될 수 있을 것으로 믿고 있다.

3.2 유한요소 모델링

대상 성토단편을 살펴보면 성토 윗폭이 약 36m, 아래폭 60m, 성토높이 10m에 Sand drain이 평균 2.1m 간격으로 배치되어 있다. 한편, 성토 끝 부분에서 전방 7m 거리에 교각 P₁, P₂가 설치되어 있다.

FEM 해석의 경계조건은 밑면과 측면은 구속 배수조건, 상단은 자유 배수조건으로 하였으며, 재하단계는 현장의 시공일정과 성토높이를 감안하여 총 15단계로 나누어 재하하였고 수치해석은 2차원 대칭 해석이므로 성토 횡단 방향에서 변형 형상이 실제와 일치하면 같은 위치에서 종단방향의 수치해석 결과도 실제 변형과 일치해야 한다는 조건 아래 2차원 대칭 해석을 시도한 것이다. 요소수는 266개(횡단)와 280개(종단)이다.

3.3 해석결과 및 고찰

1) 최종침하량의 계산결과는 3.45m로 실측치 2.99m보다 크게 나타났으나, 이 상태에서의 융기나 교각의 수평이동이 현상상태와 매우 근사하다. 이는 많은 반복계산에 의해 재현된 것으로 계산중심위치(축대칭 위치)가 성토 끝에

서 28m의 위치에 있다. 이들 계산은 2차원 축대칭 조건으로 계산을 했기 때문에 측방이 구속되지 않는 실제 지반에 비해 크게 나타났다고 볼 수 있으며, 이는 실제 지반에서 최대값에 해당한다고 볼 수 있다. 실제로 측방용기의 관측결과와 수치해석 결과를 비교해 보면 실측치에서 약 30cm 미만으로 관측되어 거의 유사한 값을 나타내고 있다.

2) 성토하중의 증가에 따른 지반의 수평변위를 살펴보면 노건에서는 지표면 아래 약 3m정도 깊이에서 최대 수평변위가 1.0m이상 발생하고 비탈끝, 교각 I, II로 가면서 차츰 작아지고 있다. 한편, 교각 I, II는 계산상 강관말뚝의 단면에 등가의 Sheet pile로 치환하여 교각에 5ton의 하중을 가하여 일종의 벽체로서 계산한 것이다. FEM해석을 반대쪽에서 똑같이 시행해 오면 수평변위가 서로 상쇄되어 실제 교각 P₁, P₂의 이동량과 같아진다.

3) 교각기초에 작용하는 수평력에 대해 고찰해 보면, 610일 시점을 기준으로 교각 I, II의 상단부 수평력이 매우 크게 나타나고 있다.(본문 그림 5.12) 이는 말뚝 상단부에 5ton의 하중을 작용시켰기 때문에 말뚝의 이동에 대한 저항으로서 나타난 것이며, 이 때 교각 I은 40cm의 변위가 발생하였다. 약 2~12m 깊이까지 거의 일정한 수평력이 작용하고 있으며, 다시 17m깊이까지는 완만하게 변하지만 18m이하에서는 일정한 값이 된다. 즉, 총 26m 두께에서 18m깊이 보다 더 깊은 층에서는 거의 점토층의 변위는 없으나 2m깊이(교각기초판의 두께)이하에서 17m까지는 수평이동이 있으며, 2m에서 지표까지는 교각 기초판의 중량이 커서 변위에 저항하고 있다. 따라서, 총 26m의 N=1의 지반중에서 인근 성토에 의해 수평이동을 일으키는 층은 약 17m 깊이로 판단된다.

3.4 결론

여기서는 FEM에 의한 수평계산만을 보인 것이지만, 본문에는 이외에 다른 단면력의 계산이나 실측값에 의한 침하량의 추정도 함께

다루었고 특히, 계산상의 압밀 목표가 실제로 이루어 지지 않는 경우 나타나는 문제점 그리고 교대층의 수평이동에 대한 판별법 등에 대해서도 언급되어 있다. 여기서는 깊은 연약층에서 높은 성토에 의한 점토층의 수평이동이 발생할때 이를 기존의 FEM 프로그램을 통해서 실제와 똑같은 변형을 재현시킨다면 수평이동에 관여하는 토층의 규모나 수평력, 그 외의 단면력의 추정이 가능하다고 생각한다. 그리고 수치해석 결과와 현장관측치를 비교한 결과 근사치를 나타내고 있는 사실로 보아 3차원의 교각기초를 2차원의 강널말뚝 벽체로 환산하여 계산하는 방법의 실용 가능성을 보이고 있다. 다만, 그 정도는 정확한 현장계측 결과와 병행하여 확인할 필요가 있다. 그리고 이와같은 고 성토 구간의 깊은 연약지층에 S.D공법을 시행하여도 수평이동층이 반드시 존재하며 또한, 그 깊이는 17~20m 깊이 이내에 있다는 것이 확인되어 종래의 이와같은 경험적 논설이 의미가 있다고 본다. 그렇다면 17m보다 더 깊은 나머지 연약층은 장기간의 하중전달에 의해 어떤 변형을 일으킬 것인가 그리고, S.D 공법의 유효한 개량깊이는 어느 정도라야 하는가 등에 대해 생각하는바가 크다.

4. 국내 폐기물 매립장 차수재 현황조사 연구

정하익(한국건설기술연구원)
 홍성완(한국건설기술연구원)
 장연수(동국대)
 김수삼(중앙대)

본 고에서는 국내 폐기물 매립장 차수재 설치 기준, 차수재 종류, 차수재 생산 현황 및 관련 업체조사, 차수재 적용현황 그리고 차수재 품질관리 및 연구현황 등에 대한 조사분석을 통하여 현재 국내 폐기물 매립장 차수재의 적용현황을 고찰하고 이의 발전 및 개선방안을 모색하고자 하였다.

국내 및 외국에서 사용되고 있는 차수재의 종류를 살펴보면 표면 차수재의 경우 점토, 지오멤브레인, GCL(Geosynthetic Clay liner), 혼합토, 스프레이, 화학적 흡착 차수재 등이 있으며 연직차수재의 경우 지수코아, 슬러리월, 그라우트커튼, 소일믹스월, 시이트파일, 연직 지오멤브레인 등이 있다. 또한 이들 항목별로 많은 종류의 차수재가 또 세분되어 전체 종류로는 수십종에 이르고 있다. 폐기물 매립지의 차수재 적용초기에는 자연 점토류계통이나 저급의 지오멤브레인이 사용되었으나 최근에는 관련 산업기술의 발달로 인하여 고급의 지오멤브레인이나 혼합점토류 계통의 차수재가 많이 사용되고 있다.

차수재 생산현황을 살펴보면 점토, 혼합토, 지오멤브레인 등이 있는데 지오멤브레인 차수재는 초창기에는 주로 외국수입에 의존하여 왔으나 현재에는 국내의 석유화학분야 산업의 발달에 힘입어 자체 생산되는 품질이 여러 종류 있다. 국내에서 폐기물 매립지 차수재관련 업체는 크게 표면차수재로는 지오멤브레인, 벤토나이트, GCL(Geosynthetic clay liner), 스프레이차수재, 연직차수재로는 시이트파일, 슬러리월, 그라우트 등의 취급업체로 대별하여 볼 수 있다.

국내의 차수재 적용 현황을 살펴보면 위생매립장의 시스템으로서 차수재가 설치된 것은 1980년대 후반기 이후로서 차수재 설치 역사가 불과 몇 년되지 않고 있으며 최근에 신설되는 매립장에는 차수재 및 침출수처리시스템이 제대로 갖추어 위생매립장으로서의 면모를 갖추고 있다. 국내에서 유통되고 있는 차수재중에서 적용건수로는 지오멤브레인이 가장 많은 것으로 나타났고 그 다음이 점토나 혼합토 등의 점토류 차수재로 나타났다. 그리고 GCL 차수재, 스프레이 차수재 및 연직 차수재가 현장 및 지형적 여건에 따라 제한적으로 적용된 것으로 나타났다.

차수재 설치기준을 살펴보면 미국 EPA기준 등 선진외국의 기준에 비하여 차수재의 설치

두께 등 차수시스템의 설치기준이 미약한 편이다. 또한 외국에서는 실제 적용하고 있는 차수재가 수십종에 이르고 있으며 자국의 특성에 맞게 수정보완하여 사용하고 있으나 국내의 경우에는 지역 및 현장여건에 적합한 차수재를 사용하는 것이 아니라 점토, 지오멤브레인, 혼합차수재 등 몇 종에 국한하여 사용되고 있는 실정이다. 우리나라는 산지가 많고 삼면이 바다로 되어 있어 급경사지와 연약지반에 적용될 수 있는 차수재의 개발이 요구된다고 할 수 있다. 국내에서 사용되고 있는 차수재의 대부분이 외국에서 수입되고 있어 많은 외화가 유출되고 있으므로 이의 국산화가 시급하며 또한 외국제품과 경쟁하기 위해서는 국내에서 생산되는 차수재의 질적 수준을 향상시켜야 한다.

차수재 설치에 있어서 가장 중요한 사항이 차수재료 선정 및 시공시 수행되는 품질관리라고 할 수 있다. 국내의 경우 차수재료 선정시 수행되어야 할 선정시험은 거의 수행되지 않고 있으며 시공시에만 차수재의 품질관리가 제한적으로 수행되고 있다. 외국에서는 차수재의 물리, 역학, 투수특성, 화학반응성, 장기적 특성 변화, 차수재를 통한 오염물질 이동특성, 새로운 차수재 개발 등 많은 연구가 수행되고 있으나 국내에서는 2~3년전부터 한 두 기관에서 연구가 수행되어 아직 초보단계라 할 수 있다.

따라서 이상과 같은 문제점을 개선하고 차수재 관련 기술을 발전시키기 위해서는 관련기관 및 기술자들의 보다 많은 관심과 노력이 경주되어야 할 것이다. 지반공학분야가 지반환경공학분야로 확산되어 가고 있고, 국제토질 및 기초공학회에서 지반환경분야에서 다루어야 할 항목으로 매립장시스템, 점토차수재, 덮개시스템, 지반내 물질이동특성, 폐기물매립 및 준설 폐기물 및 오염지반의 토목공학적 활용, 차수시스템, 배수시스템 등을 제시한 바 차수재 관련 연구뿐만 아니라 관련 지반환경분야에 대한 연구가 활성화 되어야 할 것이다.

5. 폐기물 매립지 지반내에서의 오염제어

이광열(선경건설)
장연수(동국대)
한일영(선경건설)

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 최종 덮개시설을 한다. 주변오염확산을 방지하기 위한 수단으로 흔히 지하수오염제어기술을 적용하는 방법중의 하나인 Cut Off Wall(차단벽)을 설치하는 방법을 사용한다.

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

5.1 Recharge 조건에서의 차단벽 효과

경제적인 측면과 매립지 주변지반의 수리지질조건들을 감안하여 차단벽을 매립지를 중심으로 지하수 흐름방향의 상류측에 설치했을 경우와 하류측에 설치했을 경우에 대하여 수두분포의 변화와 흐름방향을 분석하였다.

차단벽을 상류측에 설치하고 Simulation 한 결과, 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 것으로 분석되었다.

차단벽을 하류측에 설치하고 Simulation 한

결과도 상류측에 차단벽을 설치했을 경우와 같은 현상을 보이고 있는데 이때의 최고수위는 역시 28m까지 상승하였다. 이 두가지의 연구 결과에서 알 수 있듯이 차단벽을 매립지를 중심으로 하류측에 설치했을 경우가 상류측에 설치했을 때의 수위상승효과는 거의 같게 나타나지만, 매립지 내부에서의 전체적인 침출수량은 상류측에 설치 했을때 적게 발생하는것으로 분석되었다.

5.2 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 조건외에 차단벽 규모 및 수리특성 매립지반주변 수리지질특성 등 다른 모든 조건은 최종덮개를 설치하지 않았을 경우와 동일하다. 상류측에 차단벽을 설치한 후의 수두분포는 차단벽 주변에서 4m, 큰강변에서 3.5m로 아주 완만한 분포를 보였으며 지하수의 흐름은 전체적으로 하류쪽을 향하고 있음을 보였다. 하류측에 차단벽을 설치했을 경우의 수두분포 역시 아주 완만한 분포를 보이고 있는데 지하수의 흐름방향은 차단벽의 영향으로 북동쪽에서 남서쪽으로 향하고 있는데 수위차는 상류에서 6m, 하류에서 3m로 나타났다.

5.3 차단벽 설치후 Well-Pumping

지하수오염제어기술은 불량매립지로부터 발생하는 침출수에 의해 오염된 지하수를 지반으로부터 제거하는데 적용하며 오염의 정도가 심하거나 유해성물질에 의해 오염되었을 경우는 주변전체를 차단하고 Well Pumping을 한다. 이 단원에서는 차단벽을 매립지를 중심으로 지하수 흐름방향의 상류측과 하류측에 설치했을 때 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 비교하였다. 상류측에 차단벽을 설치하고 Well-Pumping을 하는 경우, 매립지 내부에서 전체적으로 수위가 급격히 하강하였으며 차단벽 가까이에서는 거의 건조상태를 보이고 반대편쪽에서 최고수위 9.5m를 보였다. 이 경우, 위치에 관계없이 최고수위를 기준하여 볼 때 수위하강폭은 18.5m가 되었다.

다음으로 하류측에 차단벽을 설치한 후 Well-Pumping 했을 경우는 상류측의 경우보다 훨씬 높은 수두분포를 보이고 있으며 전체적인 수위분포형태는 같았다. 이 경우, 최고수위는 매립지의 북측(상류측)에서 11.8m였고, 최저수위는 차단벽 부근에서 1m였다. 위치에 관계없이 최고수위를 기준한 수위의 하강폭은 16.2m이다.

이 두가지의 Well-Pumping Simulation 결과를 비교해보면 동일한 Pumping Rate을 적용했을 때 오염지하수 제거효율은 상류측에 차단벽을 설치했을 경우가 더 크게 나타났다. 그 이유는 지하수의 전반적인 흐름이 북쪽에서 남쪽으로 향하는데 매립지 내부로의 지하수 유입을 차단함으로써 매립지 내부에서의 지하수 지체량을 감소시킬 수 있었기 때문으로 추정된다. 침출수가 매립지의 외부로 유출되는양은 강까지의 최단거리와 수두차에 의한 수리경사에 의해 판단할 수 있는데 본 연구에서 관찰된 두가지경우에서 본다면 매립지를 중심으로 하류측에 설치했을때의 수리경사가 더 크게 나타났다.

5.4 결론

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

-매립지지반의 투수성이 높고, 수리경사가 급

하거나, 지하수의 유입량이 많을 경우는 지하수 흐름방향의 상류측에 설치하는 것이 유리하다.

- 매립지지반의 투수성이 낮고 수리경사가 완만하고 지하수의 유입량이 적거나, 지하수의 분기점이 매립지를 중심으로 상류측 가까이에 있어서 지하수의 유입량이 한정적일 때는 하류측에 차단벽을 설치하는 것이 유리하다.
- 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. 도시폐기물 매립지반의 개량과 화학적 성향분석

김영목(대전산업대)
김인규(성균관대)
이상용(대전직할시)
김만구(대전직할시)

체계적인 계획과 설계를 수반하지 않는 단순투기에 의해 조성된 도시폐기물 매립지반은 일반적으로 다양한 종류의 폐기물이 불규칙하게 혼재되어 그 구성상태가 대단히 불규칙하며, 매우 느슨한 상태로 되어 있는 경우가 많다. 이러한 지반은 도시의 확장으로 인해 건설부지의 활용이 요구될 때 과대한 침하, 낮은 지지력 등 지반공학적 안정성 보장이 미흡하며, 또한 각종 유기물의 분해로 인한 가스 발생 등 환경공학적인 측면에서 해결해야 할 여러 문제점들이 예상된다.

본 연구에서는 도시폐기물이 단순투기에 의해 매립된 지반을 도시고속도로부지로 활용하기 위해 지반개량공법으로 동다짐 공법과 약액고화 공법을 채택, 수행하여 그 결과를 분석하였다. 또한, 매립토에 존재하는 잔류 유기물의 종류, 성분, 함량 및 이들 유기물의 특성을 조사하고 이를 도로지반의 침하와 연계하여 분석함으로써 도로의 장기적인 유지관리 뿐 아니라

이와 유사한 폐기물 매립지반의 건설부지 활용을 위한 유용한 자료를 제공하고자 한 것이다.

본 연구 대상지역은 1983년에서 1989년까지 도시폐기물이 단순투기 형태로 매립된 지역으로 이 때 매립층의 두께는 약 3.7m~6.8m이다. 동다짐 타격에너지의 크기는 추의 무게 12ton, 낙하고 18m이며, 개량깊이계수는 현장시험결과를 분석하여 0.5로 하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 동다짐 공법에 의해 폐기물 매립지반은 0.5~1.5m 정도 압축되었으며, 이는 전체 폐기물층의 15~20%정도이다.

(2) 강열감량시험에 의해 구해진 폐기물 매립토의 유기물 함량은 2.97~11.35%이었으나, 휘발성 유기물은 약23~33%로서 강열감량시험에 의해 구한 유기물 함량보다 크게 나타났다. 즉 본 대상지역과 유사한 경우 유기물 함량을 통상적으로 이용하고 있는 강열감량시험에 의해 구하게 되면 휘발성 유기물에 대해서는 고려하기 어려우므로 실제와는 다르게 된다.

(3) 비휘발성 유기물은 0.17~6.5%로서 대략 22개 성분으로 구성되어 있는데 주로 유황, 프탈산디옥틸, 그리고 트리부틸스테난이 많고 기타는 극미량으로 존재하였다.

(4) 22~33%의 휘발성 유기물은 아세톤과 염화메틸렌이 대부분이고 이소옥탄이 미량으로 존재하였다.

(5) 매립토의 휘발성 유기물은 35℃에서 양생 2일동안에 유기물의 약 70%이상이 증발되었다. 그러나 10~11℃의 온도에서는 2개월 이상이 되어도 무게감량이 10%이하이었다. 즉 휘발성 유기물의 거동은 지반내의 온도에 대단히 민감하게 작용하였다.

(6) 본 연구 대상 매립토에서 분석된 유황, 프탈산디옥틸 및 트리부틸클로로스테난은 화학구조로 보아 더이상 분해가 일어나기 어려운 난분해성이므로 거의 분해가 완료된 것으로 보인다. 그러나 휘발성이 강한 유기물이 상당량 존재하므로 이 휘발성 유기물의 휘발로 인한 지반거동에 대해서 장기적인 관측과 분석이 필

요하다고 생각된다.

폐기물 매립토가 안정기에 이른 경우 잔여 유기물의 부패보다 기생성 휘발성 유기물의 거동이 지반 거동에 미치는 영향이 중요할 것으로 생각된다. 종래의 계측기준으로 삼았던 매립토의 온도, 수분함량, pH 및 강열감량에 의

해 표시되는 유기물 함량뿐만 아니라 휘발성 및 비휘발성 유기물의 함량과 성분, 그리고 휘발성 유기물의 휘발에 따른 무게감량 등을 현장조건과 침하계측등과 연계하여 장기간 조사 연구함으로써 폐기물 매립지반의 활용에 대한 유용한 자료로 활용할 수 있을 것이다.