

해안 폐기물매립지 안정을 위한 계측자료 분석

Analysis of Measurement Data for Stability of Seashore Waste Landfills

장연수¹⁾, Yeon-Soo Jang, 최종식²⁾, Jong-Sig Choi, 류혜림³⁾, Hye-Rim Ryu, 김동현³⁾, Dong-Hyun Kim

¹⁾ 동국대학교 사회환경시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dongguk University

²⁾ (주)선진엔지니어링종합건축사사무소 상무, Managing Director, Dept. of Geo-Environment, Sunjin Engineering & Architecture Co.

³⁾ 동국대학교 사회환경시스템공학과 석사, Master, Dept. of Civil Engineering, Dongguk University

SYNOPSIS : Waste landfills built on weak soils have the possibilities of the failure of slope and foundation due to the disposed waste loads. To ensure the landfill will sustain its stability within a limited site area, it's necessary to investigate and understand the characteristics of soft land by identifying the requirements for waste filling and by quantitative field measurement and management of landfills. In this paper, the stability analyses are performed using the field measurement data of Gimpo #2 Metropolitan Landfil. For the stability analysis, Tominaga-Hashimoto method and Kuriharh method, which may be able to manage the stability of the landfill quantitatively, are used.

요약 : 연약지반에 건설 운영되는 폐기물매립지는 매립하중으로 인하여 지반 및 사면파괴의 위험성을 내재하고 있다. 제한된 부지면적 내에서 안정성을 유지하며 최대의 매립용량을 확보하기 위해서는 당해 연약지반의 특성을 상세히 조사 이해하고, 폐기물의 매립특성 및 반입대상 폐기물의 반입조건 등을 파악하여 체계적이고 정량적인 안정관리를 위한 계측관리가 필요하다. 본 논문에서는 수도권매립지 제2매립지를 대상으로 계측자료를 이용하여 Tominaga-Hashimoto법, Kuriharh 법 등 매립장 안정관리를 정량적으로 할 수 있는 기법을 이용한 매립지 안정성여부를 분석하였다.

Key words : waste landfill, field measurement, Tominaga-Hashimoto method, Kuriharh method, stability analysis.

1. 서 론

연약지반에 건설 운영되는 폐기물매립지의 경우 연약지반의 특성상 매립하중으로 인하여 지반 및 사면파괴의 위험성을 내재하고 있다. 매립사면의 파괴 및 과도한 침하가 발생된다면 폐기물매립지에서 가장 중요시 되는 침출수 차수층의 손상으로 차수기능 상실 등을 초래할 수 있다. 따라서 설계 시 예측치 못한 문제들을 계측을 통해 규명하여 안정적인 매립이 이루어질 수 있도록 한다면 주어진 공간에 최대 매립용량을 확보할 수 있는 목표를 달성함과 동시에 국토의 효율적 이용에 기여함이 클 것이다.

제한된 부지면적 내에서 안정성을 유지하며 최대의 매립용량을 확보하기 위해서는 당해 연약지반의 특성을 상세히 조사 이해하고, 폐기물의 매립특성 및 반입대상 폐기물의 반입조건 등을 파악하여 체계적이고 정량적인 안정관리를 위한 계측관리가 필요하다. 본 논문에서는 수도권매립지 제2매립지를 대상으로 계측자료를 이용하여 폐기물매립지 안정관리를 위한 안정관리기법에 따른 안정성여부를 분석하였다.

2. 대상 매립지 현황

1) 평면 및 매립지 구성

수도권매립지는 1989년 난지도 매립지의 폐쇄 후 그 대체매립지로 건설되어 이용되고 있는 매립지로 총면적 602만평의 국내 최초의 대규모 위생 매립지로서, 서울특별시를 비롯한 수도권 일원의 24개 시군으로부터 1일 약 15,000ton(생활폐기물 : 27%, 건설폐재류 : 56%, 기타 : 17%)의 폐기물을 위생적이고, 안정적으로 매립처분하고 있으며, 위치는 그림 2.1과 같이 인천광역시 서구 백석동 일원에 위치하며, 한강 하류에 해당되는 서해안 간척지에 건설되어 현재까지 사용되어지고 있다.

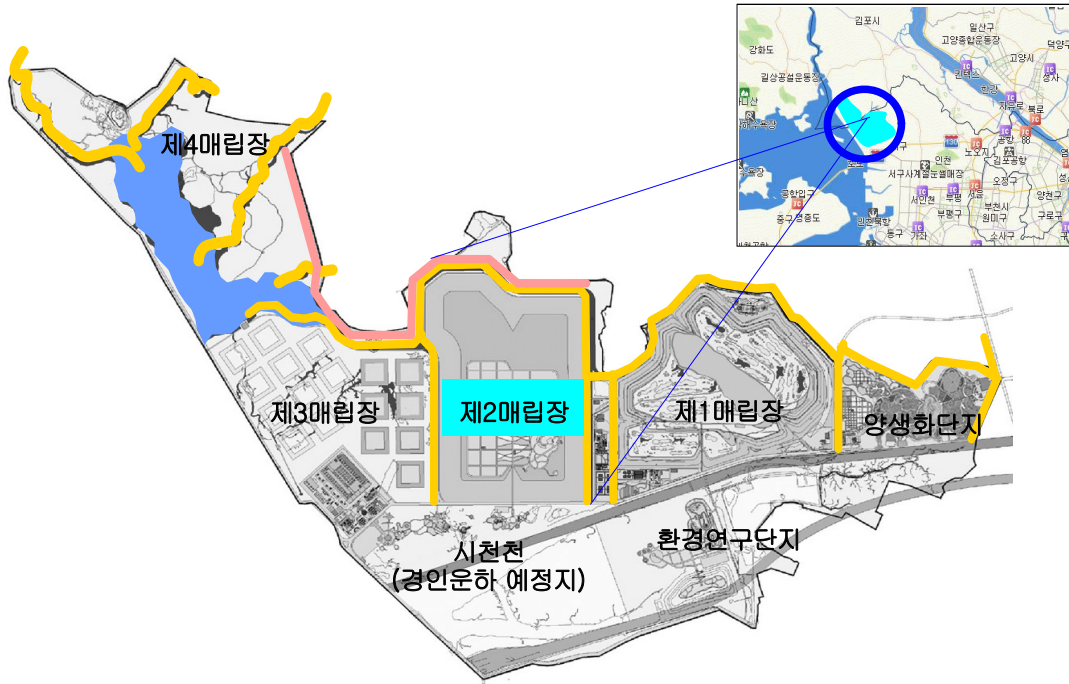


그림 2.1 수도권매립지 위치 및 현황

매립지별 구성을 살펴보면 환경연구단지를 비롯한 기타시설부지가 148만평, 제1매립지 124만평, 제2매립지 112만평, 제3매립지 100만평 및 제4매립지 118만평으로 구성되어 있고, 제1매립지는 1988년 12월 사업계획, 기본 및 실시설계, 1989년 기반시설 공사착공, 1992년 2월 폐기물 반입 개시 후, 2000년 10월에 종료하여 총 6,400만 톤을 매립하였으며, 현재는 최종복토가 완료되어 상부 토지를 체육시설인 골프장으로 건설하기 위한 기초시설을 진행하고 있다. 제2매립지는 2000년 10월 매립 개시하여 계획매립용량 6,700만 톤 중 현재까지 3,500만 톤이 매립 진행 중에 있다.

제2매립지의 계획 매립고는 총 40m에 매단 5m로 계획하여 총 8단으로 매립하도록 계획되어 있고, 매립방식은 피라미드 형 구조로 상향매립방식을 채택하여 운영 중에 있다. 매립지의 매립작업 방법은 도로및 제방축조 후 쓰레기 매립을 하는 순으로 매 단별 매립이 반복되며 매 단별 매립기간은 약 10개월에 걸쳐 진행되고 있다.

2) 매립지 지반특성

대상지역의 지층은 지표면으로부터 해성퇴적층(상부퇴적층, 하부퇴적층), 모래층, 풍화잔류토층, 풍화암층, 연암층의 순으로 구성되어 있으며, 해성퇴적층은 상부의 연약한 점토층과 하부의 견고한 점토층으로 구분되어 상부퇴적층과 하부퇴적층으로 구성되어 있고, 층 후 및 N치 특성은 표 2.1과 같다.

표 2.1 지층구성

지층구성	지반분류	층 후 (m)	N값	비 고
상부 해성퇴적층	ML, CL	40 ~ 130	10 이하	매우연약 ~ 연약
하부 해성퇴적층	ML, CL	3.0 ~ 15.3	10 이상	단단 ~ 매우단단
하상퇴적층	SM	1.0 ~ 9.2	-	
풍화간류토층	RS	-	-	
기반암	WR, SR, HR	-	-	

각 지층의 단면은 그림 2.2와 같다.

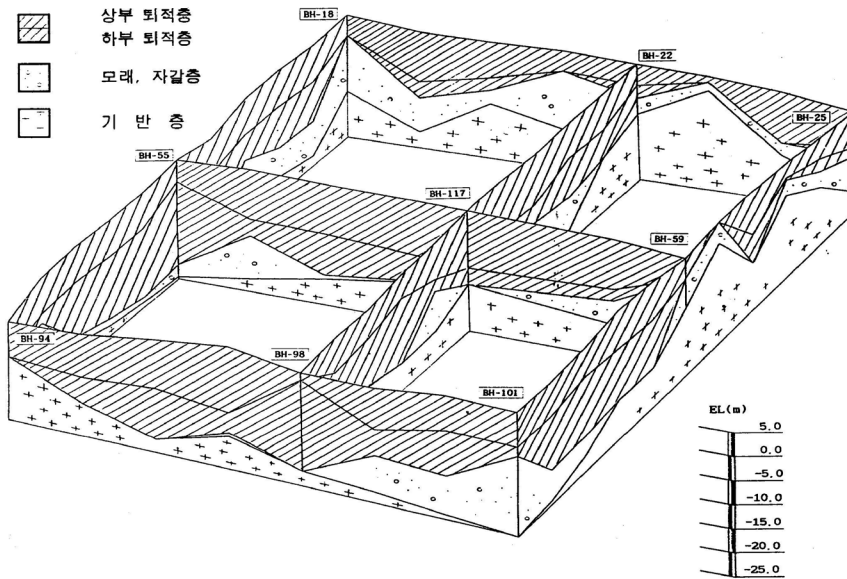


그림 2.2 매립지 각 지층의 단면

3) 매립현황 및 매립고

대상 매립지의 2007년 2월 현재 매립현황은 그림 2.4와 같으며, 매립기간은 2000년 10월부터 매립 개시 하여 계획 매립량 6,700만 톤 중 3,500만톤 정도 매립되어 계획대비 약 50%에 육박한 매립을 진행하고 있다.

평균 5m 매립고에 총 8단으로 계획된 매립 단은 현재 3단에서 일부 중앙 블록에 6단을 매립하고 있고. 현재와 같은 매립현황은 본 매립지의 발생침출수량을 제어하기위하여 계단식매립을 시행하여온 결과로 북측인 2구역은 3단 남측인 1구역은 4단과 일부 중앙 블록에서 6단을 매립하고 있다.

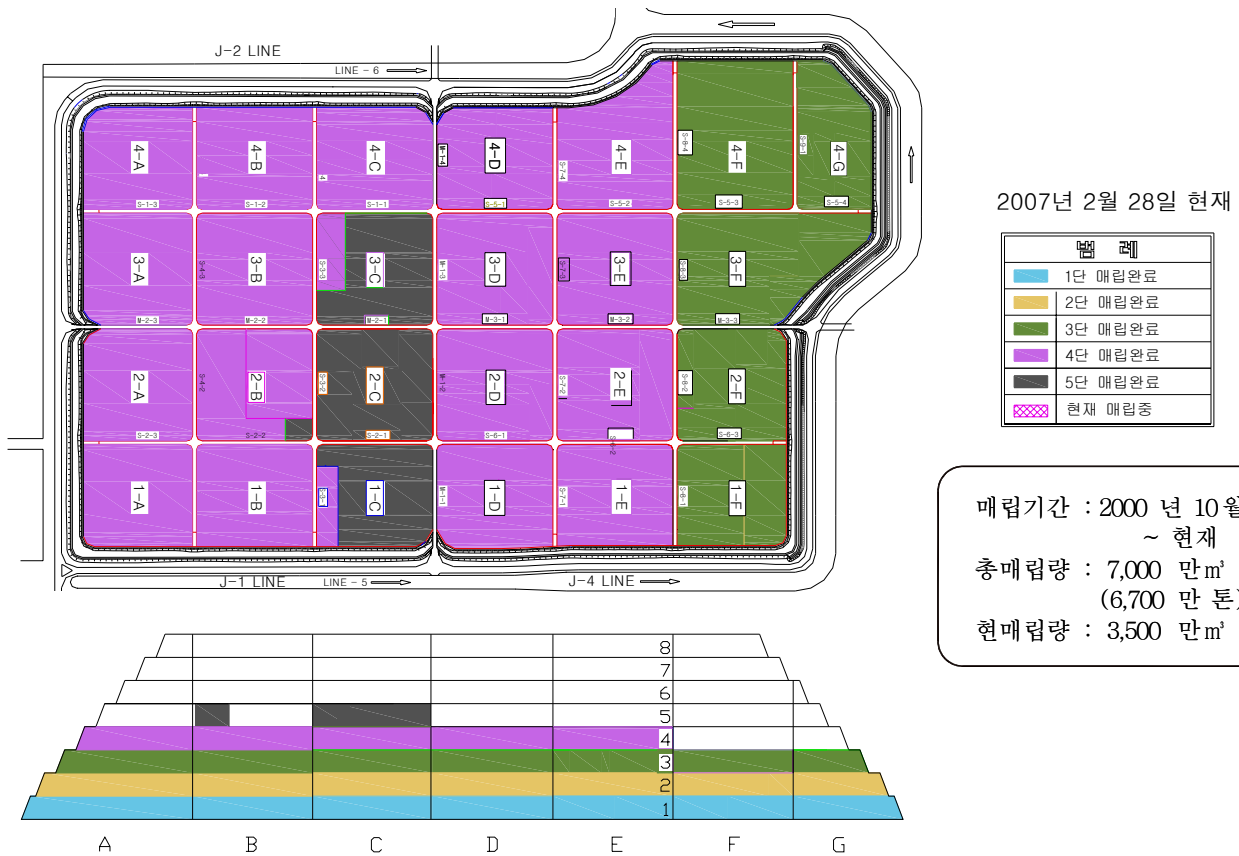


그림 2.4 제2매립지 폐기물 매립현황(2007. 2. 28 기준)

3. 안정관리를 위한 계측특성

본 대상지는 침하판, 토압계, 간극수압계, 경사계 등 10여종의 계측기를 대상으로 290기를 설치하여 원지반의 침하경향 및 매립사면 안정성을 확인하기 위한 계측분석 중에 있다. 매립계획고와 매립사면부의 특성 등을 고려하여 수립된 계측기 설치대표 단면도는 그림 3.1과 같으며 설치현황은 그림 3.2와 같다.

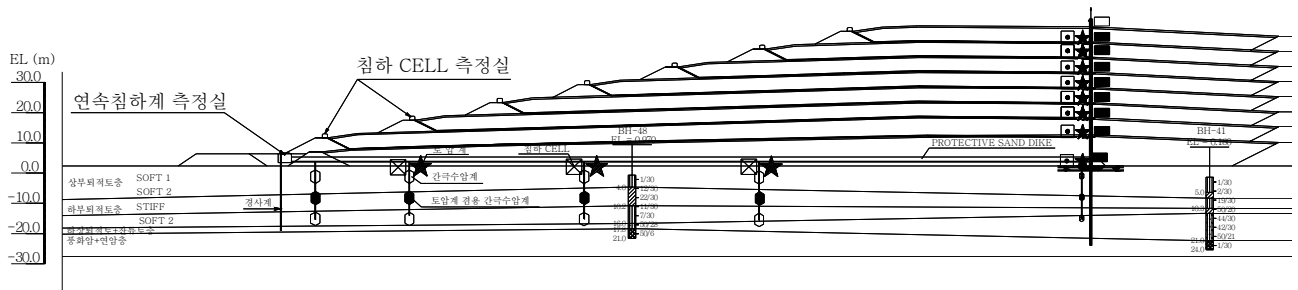
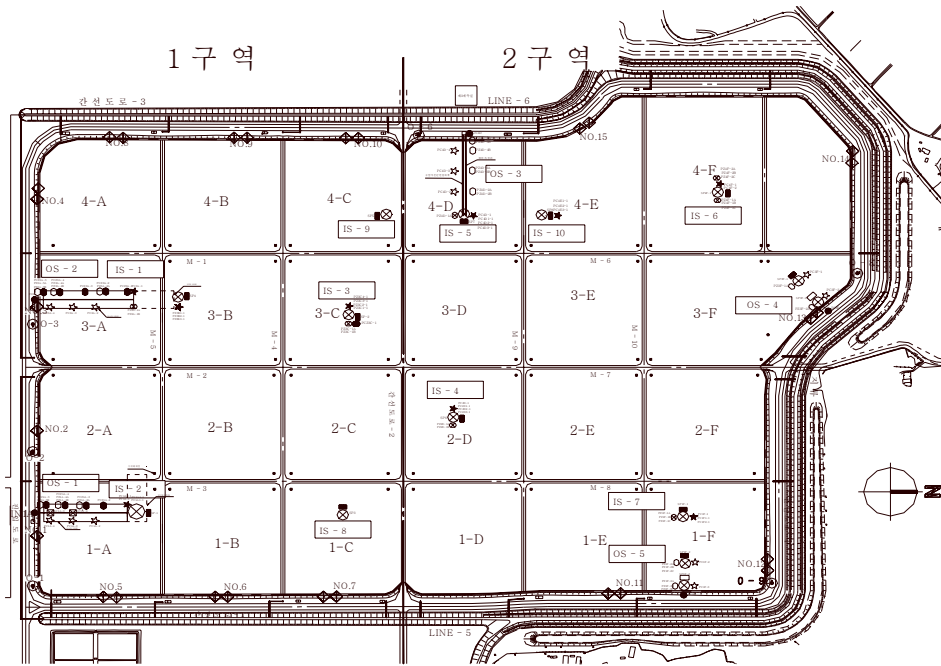


그림 3.1 계측기 설치 대표단면도



범례

계측기 명칭	기호	2매립장 계측시설			비고
		개소	수량	설치목적 및 위치	
침하판	A	11 개소	35 기	매립 B/L내 층별	매립설계공
	B	2 개소	2 기	폐기물층 최상부	매립설계공
침하셀	☒	1 개소	2 기	외곽 사면부 원지반	매립설계공
연속침하계	A	2 개소	2 기	외곽 사면부 원지반	매립설계공
	B	2 개소	2 기	원지반내부도로교차	매립설계공
수압식전단면침하계	—	1 개소	1 기	외곽 사면부 원지반	매립설계공
경사계	A	5 개소	5 기	외곽부 수평변위량	매립설계공
	B	12 개소	12 기		기반시설공
지하수위계	⊙	6 개소	18 기	외곽부 감시점	기반시설공
	★	9 개소	28 기	매립 B/L내 층별	매립설계공
토압계	A	5 개소	13 기	외곽 사면부 원지반	매립설계공
	B	6 개소	18 기	매립 B/L내 원지반	매립설계공
간극수압계	A	5 개소	22 기	외곽 사면부 원지반	매립설계공
	B	5 개소	22 기	외곽 사면부 원지반	매립설계공
	C	15 개소	29 기	외곽도로부	기반시설공
토압계점용간극수압계	●	3 개소	10 기	사면부 내부 원지반	매립설계공
계측선	□	3 개소	3 기	외곽 사면부	매립설계공
기준봉	⊗	11 개소	14 기	층별 침하 기준봉	매립설계공
수직배제점	⊠	24 개소	75 기	매립 B/L내 원지반	매립설계공
계		123 개소	291 기		

그림 3.2 연구대상지점 및 계측기 설치위치도

4. 안정관리 기법에 의한 계측자료 분석

현장계측의 결과를 이용하여 성토체나 지반의 파괴를 정량적으로 예측하려는 여러 가지 연구가 진행 중이나 현재 일반적으로 연약지반의 성토 시 사용되고 있는 주요 안정관리 기법은 정량적 안정관리방법을 기준으로 한다. 여기서 관리의 지표가 되는 항목으로는 성토중양부의 침하량 ρ 와 성토사면선단부의 수평변위량 δ 및 성토하중 q 등이며, 특히 연약층이 매우 두꺼운 경우의 ρ 는 안정에 관계되는 상부층의 침하량을 적용하고, δ 는 성토사면 지단부의 지표면 수평변위 중 최대변위를 나타내는 측정치로 하여 성토외측방향의 변위를 정(+)으로 한다.

계측자료에 의한 안정관리 분석은 매립사면의 안정관리 방법 중 정량적 지표에 의한 안정관리 방법에 따라 계측된 자료를 기초로 분석한 결과이며, 이는 역시 폐기물 매립체체 직하의 침하량과 수평변위량과의 관계($\rho - \delta$)로부터 분석된다. 본 논문에서는 정량적 분석방법인 Tominaga-Hashimoto법, Kuriharh 법에 의하여 분석하였으며(그체적인 방법의 설명은 최종식(2007) 참조), 분석대상은 관리구역 1-A, 3-B, 4-D, 3-F 및 1-F를 대상으로 분석하였다. 그 결과는 그림 4.1~4.2와 같다..

4.1 Tominaga_Hashimoto 법

매립사면 1-A 및 3-B 블록은 부록내부 침하량(s) 대비 수평변위 량(δ)의 발생정도가 상대적으로 작아 그 거동상태가 안정하게 나타나고 있다(그림 5.1). 반면 그림 5.2에 4-D 블록의 경우 표시된 "A"점의 특성은 침하량(s)이 수평변위 량(δ)보다 우세하여 실제로는 2002년 1월 2단 흙 제방 축조 시 일정기간 성토를 중지하여 안정성을 회복한 사실을 나타내고 있으며, 이는 Kuriharh법에 의해 분석된 그림 3.4에 나타난 "A"점과도 그 경향이 일치한다.

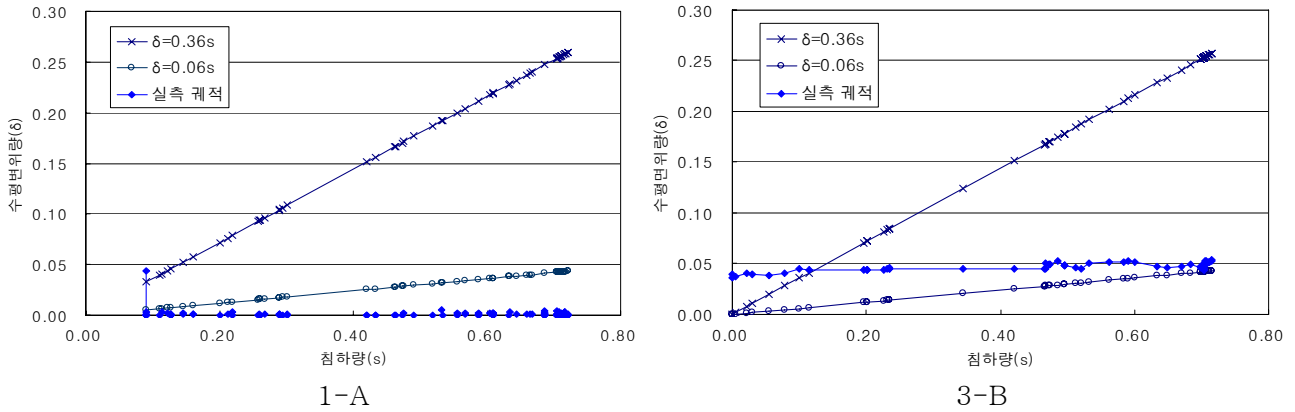


그림 5.1 1-A, 3-B 블록 Tominaga-Hashimoto법에 의한 관리결과

3-F 블록의 경우 그림 3.2 에서 분석된바와 같이 "A" 및 "B"점이 각각 매립 2단 및 3단 축조시 상태를 나타내고 있는데 그 궤적 정도가 민감하게 반응하고 있으나 전반적으로 안정한 거동을 보여주고 있다.

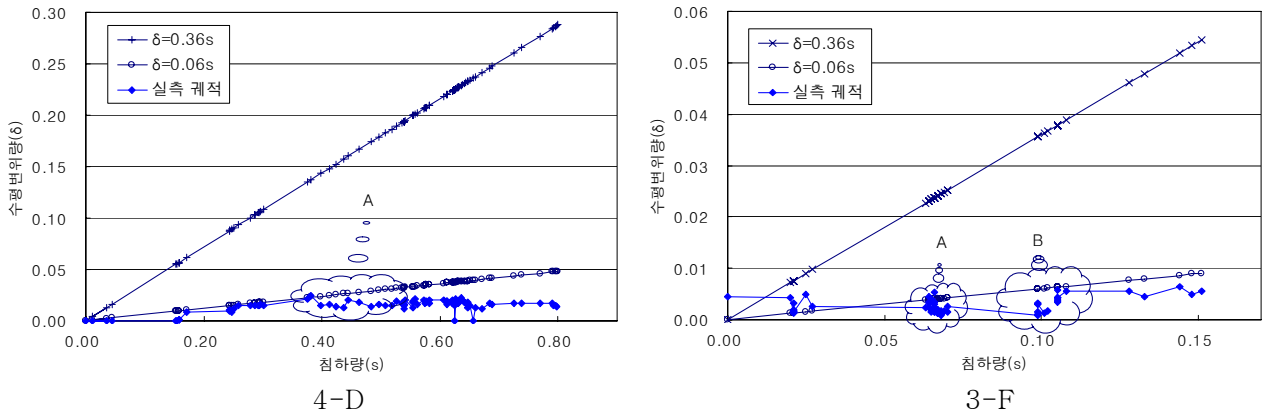


그림 5.2 4-D, 3-F 블록 Tominaga-Hashimoto법에 의한 관리결과

1-F 블록의 경우 그림 3.3과 같이 "A"점 에서는 2005년 8월 12일부터 8월 29일까지 매립고 6.5m에서 10.5m로 2단 매립을 시행함에 침하량보다 수평변위 량이 급격히 증가하였고, "B"점 역시 2006년 4월 14일부터 5월 30일까지 3단 매립을 시행함에 침하량 대비 수평변위 량이 증가된 것으로 분석되어 위험한 경향을 보여준 결과이다. 하지만 3단 매립 이후 최근까지 약 18개월간 방치됨에 따라 거동 궤적이 안정한 상태를 찾아가고 있는 것으로 분석되었다.

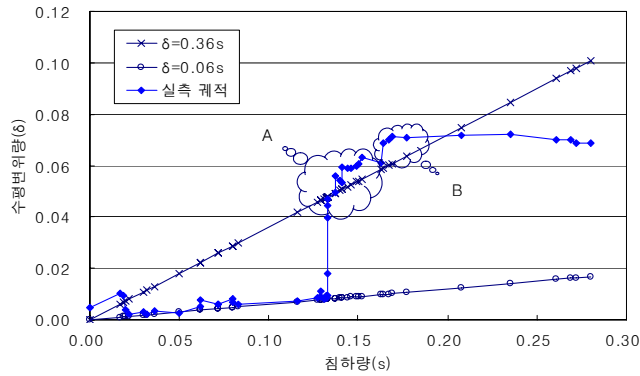


그림 5.3 1-F 블록 Tominaga-Hashimoto법에 의한 관리결과

이상의 분석결과 본 매립장은 그림 2.3 매립지 각 지층의 단면도 및 그림 2.5 지형 및 풍화대 발달 분포도에서 살펴 본 바와 같이 연약층의 층후가 해안 쪽인 1구역이 깊고, 내륙방향인 2구역(3-F 및 1-F)이 낮은 것으로 분석되었는데 안정관리 분석결과 연약 층후가 깊은 구역보다 층후가 낮은 구역의 안정관리를 실측 궤적이 매우 민감하게 반응함을 알 수 있다. 따라서 향후 중점관리 대상구역을 북측구간으로 하여야 함을 발견할 수 있다.

4.2 Kuriharh 법

본 대상지역의 관리기준은 2cm/day로 관리하고 있으나 그림 4.4에 나타난 바와 같이 지점 “A”의 경우 5.5cm/day를 상회하여 일정기간 공사를 중지하여 관리한 사례가 있다. 이의 블록은 4-D 블록으로서 과거 매립장조성 전 간척지의 갯고랑 지역으로 가장 취약한 구간이고, 2단 흙 제방 축조 시 발생된 것으로 파악되었다. 그러나 같은 시점에 4-D 블록의 Tominaga-Hashimoto법에 의한 분석결과(그림 5.2 참조)와 대비하여보면 상대적으로 그 침하정도가 비례하여 발생되어 안정성에는 그 영향이 크지 않은 것으로 분석된다.

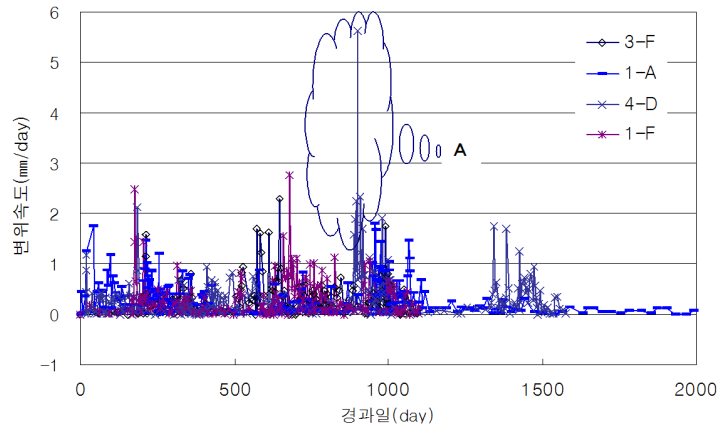


그림 5.4 Kuriharh 법에 의한 관리결과

이와 같이 Kuriharh법의 일변위속도($\Delta\delta/\Delta t$) 관리기준은 최대 5cm까지 수평변위 속도가 증가하여도 직접적인 파괴에는 이르지 않은 사례가 있고 대부분의 지역에서 2cm/day를 상회하는 경험을 가지고 있어 본 대상지는 전반적으로 2.5cm/day 정도의 관리기준을 설정하여 관리하여도 안전할 것으로 분석된다.

한편 이의 방법에 의한 결과를 맹목 맹신하여서는 위험성이 있고, 기타 Tominaga-Hashimoto법 등과 함께 종합적으로 판단하여 관리하여야 할 것이다.

5. 결 론

본 논문은 수도권매립지 제2매립지의 계측관리 현황과 측정된 계측자료를 조사하여 정량적 안정관리 기법에 따른 안정성여부를 분석하여 다음과 같은 결론은 얻게 되었다.

- 1) 해안 연약지반에 건설 운영되는 매립지는 안정관리를 계측관리가 반드시 필요함을 알 수 있다. 이는 지반 파괴하중으로 작용한 반입폐기물의 매립하중 관리가 운영자입장에서 능동적으로 대처함보다는 폐기물 발생처리 현황에 따라 수동적으로 밖에 대처할 수 없다는 사실에 기인한다.
- 2) 매립 사면의 안정관리 분석결과는 대체적으로 안정성을 잘 유지하면서 매립작업과 안정관리가 되고 있는 상태를 보이고 있으나, 1-F 블록의 분석결과로 볼 때 연약지층의 두께가 깊은 1구역보다는 상대적으로 그 심도가 낮은 2구역에서 민감한 경향을 보여 본 대상매립지의 경우 연약지층의 심도가 깊은 곳보다 상대적 심도가 낮은 북측구간의 관리가 보다 집중적으로 관리되어야 한다는 사실을 알 수 있었다.
- 4) 본 대상 매립지의 Kuriharh 법 안정관리기준은 2.5cm/day 정도의 관리기준로 정하여 관리하여도 충분히 안전할 것으로 분석되었다.
- 5) 현 대상 매립지의 안정성은 전반적으로 양호한 상태로 유지관리 되고 있는 것으로 분석되었다. 해안 폐기물매립지에서는 안정관리를 위한 계측계획이 꼭 필요하며 실제 매립지의 안정적 운영에 기여하는 바가 매우 큼을 알 수 있고, 안정관리에 있어 안정성여부를 판단하는 기준은 정성적인 방법을 포함하여 본 논문에 소개된 정량적 평가 방법을 종합하여 상호 비교하여야 합리적인 판단을 할 수 있는 안정관리가 가능하리라 판단된다.

참고문헌

1. 수도권매립지운영관리조합(1995), 수도권매립지(3공구) 기반시설 조성사업 지반조사보고서.
2. 수도권매립지 운영관리조합(1998), 수도권매립지(3공구) 매립작업 설계용역 기본설계보고서.
3. 수도권매립지관리공사(2005), 수도권매립지 계측기 측정·분석 위탁관리용역 연간보고서.
4. 수도권매립지관리공사(2006), 수도권매립지 계측기 측정·분석 위탁관리용역 연간보고서.
5. 장연수, 이광열(2002), 지반환경공학, 구미서관, pp. 285~363, 433~434.
6. 최종식(2007), 해안 폐기물 매립지 안전 관리를 위한 계측특성 연구, 동국대학교 토목환경공학과 석사학위 논문, p. 75.
7. 최문영(2005), 폐기물매립지 침출수 재순환에 따른 침하특성 연구, 서울시립대학교.
8. Bjarngard, A. and Edgers, L.(1990), "Settlement of Municipal Solid Waste Landfills," *The Thirteenth Annual Madison Waste Conference*, September, pp. 192~205.
9. Grisolia, M. and Napoieoni, Q.(1996), "Geotechnical Characterization of Municipal Solid Waste", *Proc of the 2nd IntL Congress of Environmental Geotechnics*, Osaka, Japan, Vol. 2, pp. 641-646.
10. Ling, H. I., Mohri, D. L. Y. and Kawabata, T.(1985), "Estimation of Municipal Solid Waste Landfill Settlement", *J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engrg*, Vol. 124, No. 1, January, pp. 21~28.