

광양지역 지하수위 변화를 고려한 시공성에 관한 연구 Study on Constructibility considering Changes of Groundwater Level in Kwang Yang port

김병호¹⁾, Byeong-Ho Kim, 양태선²⁾, Tae-Seon Yang, 이 송³⁾, Song Lee

¹⁾ (주)세광종합기술단 부장, Manager, Sekwang Engineering Consultants Co.,Ltd.

²⁾ 김포대학 건설정보과 조교수, Assistant Prof., Dept. of Construction Information, Kimo College

³⁾ 서울시립대학교 토목공학과 교수, Prof., Dept. of Civil Engineering, University of Seoul.

SYNOPSIS : Larger area will be constructed in a harbor land and container terminal which are constructed in reclaimed land using the dredged materials. Soil improvement work is to be carried out including constructibility, in which is monitoring devices, measuring frequency, installations etc. The ground water tables in the reclaimed area are affected by the several factors which are design reclamation level, consolidation settlement, remaining surcharge pressure and remaining excess pore water pressure. The plan will be drawn up in which monitoring results for the ground water tables are capable to provide the reliable ground water table when designers and civil engineers construct the harbor structures considering constructibility.

Key words : Ground water level, Constructibility, excess pore water pressure, Residual GWL

1. 서 론

일반적으로 흙속의 지하수위의 영향은 원지반의 자립성을 현저하게 약화시키고 설계·시공에 영향을 주거나 양수시험 등의 수리학적인 조사나 지질, 지형조건 등의 포괄적인 조사시 각 시추공에서 수위측정기를 사용하여 지하수위를 측정하였다. 이를 통하여 지하수위 변화에 따른 수압 및 유효 상재 하중을 파악하고 특히, 지반굴착시에는 침투해석의 입력 자료로 활용되어 구조물의 안정성을 검토하는데 이용되었다. 그러나, 지반개량시 지하수위는 지반개량단계외에도 재하단계, 유지관리 단계에 이르는 광범위한 변수라 할 수 있다. 이러한 변수를 정확히 예측하므로써 보다 경제적인 설계, 시공이 될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 광양항 개발 사업에 있어 기 준공된 2단계2차 컨테이너부두에 설치한 지하수위계로부터 측정된 사용시의 잔류 지하수위와 2005년 현재 추진중인 3단계1차, 2차 공사의 지반개량 시공과정에서 측정된 지하수위를 중심으로 그 성과를 분석하여 구조물의 설계, 시공, 사용시의 제반 검토 업무에 적용할 수 있는 시공성을 검토하고 현재 계획중인 문제에 대하여 살펴보고자 하였다.

2. 지하수위 계측치 검토

2.1 지하수위 계측 결과 적용

광양항 2단계2차 공사는 광양항 1단계와 달리 2004년 준공 후 중점부에(3단계1차 공사와 경계부)에서 측정한 지하수위 성과는 DL(+)4.3~5.6, CY구역에서의 지하수위는 DL(+)4.7~4.9의 값이 측정되어 M.S.L 보다 높은 것으로 확인되었고, 3단계1차 공사에서는 지반개량 완료, 성토제거 후 지하수위가 DL(+)2.5~3.5를 나타내어 부지정지 계획고 DL(+)5.0 보다 낮게 측정되었으며, 일시적으로 M.S.L에 접근함을 확인하였다. 이는 상부기능시설인 Box, 전기관로, 건축구조물 등의 터파기에 의한 결과로 판단되고, 포장하중 및 공용하중 작용시에는 M.S.L 보다 높게 기층하단의 일정 높이까지 상승하여 기 사용 중인 1, 2단계 부두와 유사한 지하수위를 형성할 것으로 판단되며, 3단계2차 공사에서는 지반개량 초기 Drain시공 후 측정된 지하수위가 DL(+)10 보다 높게 측정되어 점토층 상단지반고보다 높은 압밀수 배출을 위한 수평배수층과 관련이 있다.

그러므로, 준설점토 매립구역 지반개량 후 잔류수위는 평균해수면(M.S.L)에 형성되어 있지 않고, 잔류 토피하중 및 과잉간극수압의 영향으로 통수 가능한 일정 높이까지 상승함을 알 수 있었다.

그리고, 설계하중을 고려하여 잔류 침하량을 산정할 때에는 지반개량 후 포장 계획고 하부에 잔류하는 표층처리단면의 복토 및 수평배수층, 준설점토 상단 지반고 위치를 고려하여 보다 세부적인 적용방안의 검토가 필요하며 현실적인 설계적용을 위하여 향후 계속적인 계측결과를 토대로 분석하여야 한다.

2.2 적용 단면

그림 1은 광양항 1단계 컨테이너부두의 준설점토지반에 대한 지반개량 전후의 단면 변화를 도시한 것으로 준설투기고 및 침하량에 따른 단면변화를 알 수 있으며, 잔류 지하수위의 위치와 연관지어 볼 때 M.S.L 보다 수평배수층이 높게 위치하므로 인하여 지하수위가 상승하여 형성되어 있음을 알 수 있다.

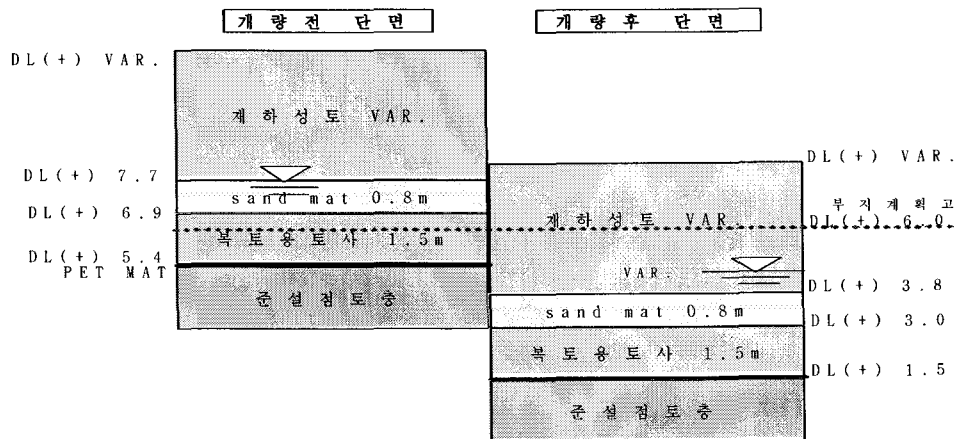


그림 1. 지하수위 변화 단면

특히 지반개량완료 후 약 9년여 기간동안의 측정성과인 지하수위의 변화추세를 해당년도 3월을 기점으로 저하된 수위가 4월경에 증가추세를 나타내 하절기를 지나 지속적으로 증가하여 9~11월경에 최고치를 나타내다 동절기에 다시 저하되는 공통점이 있다.

따라서 지반개량공사 침하량 계산시 준설편토층 상부 혹은 수평배수층 상·하단을 시공중 지하수위로 가정하고, 최종적으로는 잔류수위가 M.S.L에 근접할 것이라는 가정에 의한 현재의 설계방법은 보다 장기적인 관측 및 검토 규명을 필요로 한다고 할 수 있다. 또한, 지하수위가 설계시 고려한 값보다 상회하므로 침하량 예측결과를 토대로 재하하중에 대한 단계별 해석의 검토가 필요할 것으로 생각되며 이를 통하여 현재 침하량 해석프로그램의 합리적인 적용방안이 고려되어야 할 것이다.

2.3 지하수위 변화 추이 검토

준설편토로 매립된 대단위 연약지반의 지반개량공사 침하량 설계 계산에서는 적용 지하수위의 고저에 따라 상부에 시공하는 「Preloading공법」의 작용하중이 늘어나거나 줄게 된다.

광양항 컨테이너부두 개발사업에서 각 공사별 지반개량공사 압밀진행과 더불어 변화되는 지하수위 측정치로부터 그 변화특성인 흐름을 분석한 결과, 지반개량 시공 초기인 Drain 시공단계에서는 압밀에 따른 점토지반의 간극수 배출이 활발하여 Drain타입 단면위치인 수평배수층 상·하에서 형성됨을 확인하였고, 시간경과에 따른 압밀침하시의 지하수위는 점차 하향경향을 보이다가 지반개량완료 후 재하성토 제거 및 Box 구조물 등의 상부기능시설 축조를 위한 터파기시 일시적으로 M.S.L에 가깝게 급강하 함을 확인하였다. 표 1은 각 공사별 지반개량 전·후 지하수위 변화특성을 나타내고 있다.

표 1. 각 공사별 지반개량 전·후 지하수위 특성

구 분	시공중	준공후	준공후 경과기간 (지반개량 후)	비 고
광양항 1단계	수평배수층 상·하	G.W.L>M.S.L	9년	
광양항 2단계1차	수평배수층 상·하	G.W.L>M.S.L	5년	
광양항 2단계2차	수평배수층 상·하	G.W.L>M.S.L	2년	
광양항 관련부지	수평배수층 상·하	G.W.L>M.S.L	3년	
광양항 3단계1차	수평배수층 상·하	시공중	-	
광양항 3단계2차	수평배수층 상·하	시공중	-	

* G.W.L : Ground Water Level, M.S.L : Mean Sea Level

그림 2는 지반개량전인 준설편토 매립지반고가 각각 다른 1단계, 2단계, 3단계 공사의 지반개량 과정에서 측정된 지하수위 성과로부터 「착공시 → 개량초기 → 압밀진행시 → 개량완료 → 성토제거 → 구조물 시공시 → 준공시 → 사용시」의 지하수위 흐름특성을 광양항 각 공사별 대표치로 도시화 한 것이며, 준설편토지반의 개량과정 및 준공후 사용시 지하수위가 시간경과에 따라 MSL에 접근하지 않고 포장층, 기층하부의 일정높이에서 평균 지하수위 DL(+)4.6으로 형성되어 지속되고 있음을 알 수 있다.

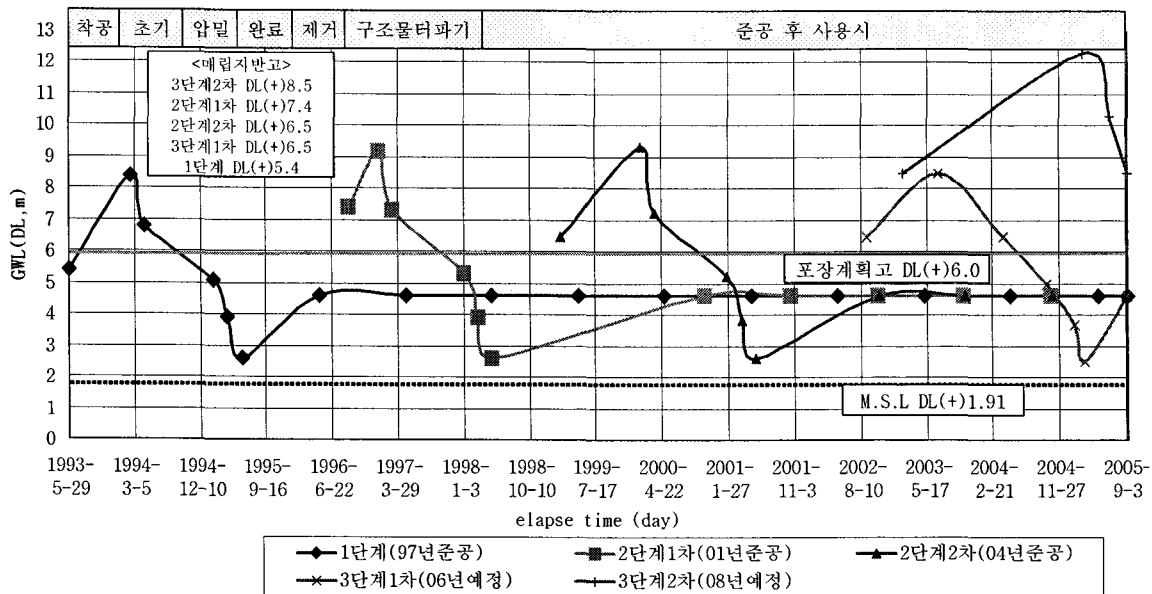


그림 2. 시간경과에 따른 지하수위 변화

그러므로, 침하량 계측치를 통하여 확인할 수 있지만 실제로 운영하중재하시의 잔류침하량은 설계시 잔류침하량보다 작아질 것으로 예상되며 그로 인한 재하하중(재하고)에 대한 검토가 계속되어야 한다.

3. 지하수위 계측방법 검토

3.1 계측기 설치 위치

그림 3은 지반개량 완료구역에 대한 지하수위계 설치단면을 나타낸 것으로 해수위로부터 최장 300m 정도 떨어진 배후부지에 설치하였다. 그러나 안벽에서 80m정도 떨어진 위치에 설치한 계측기를 고려하면 220m정도 떨어져 있으므로 상당히 멀리 떨어져 있으므로 그 값의 보정이 필요할 수 있을 것이다. 실제로 CY 부분은 상당히 넓은 지역으로 하나의 지하수위계로 측정할 값을 확실할 수는 없으며 더 많은 계측기를 이용한 계측망을 짜서 계측기를 매설하여 정확한 값을 측정할 필요가 있다.

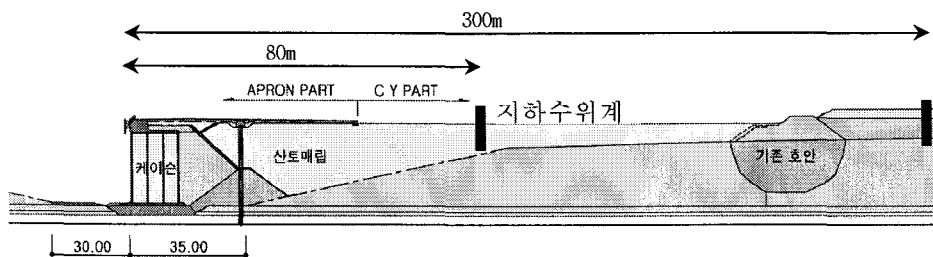


그림 3. 지하수위계 설치 위치 단면도(1단계 및 2단계2차)

3.2 계측기 배치수량 및 기종

계측기는 표 2에서 살펴보면 해측으로부터 지하수위계 No.3(Stand Pipe, 50mm)과 No.4,6(대구경, 600mm)의 최종 측정수위를 비교하면 대구경 Type에 비하여 Stand Pipe Type의 지하수위계에서 높은 수위가 측정되었음을 알 수 있고, Pipe 하부의 간극수압에 의한 모관 상승영향이 대구경에서는 나타나지 않은 반면 No.3에서는 모관 상승에 의해 수위계 내에서 상승수위가 측정되었다.

표 2. 지하수위 측정성과 비교(Stand Pipe Type vs 대구경 Type)

구 분	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	비 고
시공성과	4,703	2,778	2,765	2,125	1,757	1,772	최종 (2000년)
Type	Stand Pipe (50mm)	Stand Pipe (50mm)	Stand Pipe (50mm)	대구경 (600mm)	대구경 (600mm)	대구경 (600mm)	

특히, 광양지역의 경우 지하수위계는 대구경 Type이 보다 신뢰성있는 측정치를 얻는 것으로 확인되었는데 실제로 향후에도 대구경 Type이 많이 설치되어야 하며 또한, 인접지역에 지중침하계, 간극수압계를 병용설치하여 그 값을 보정하여 신뢰성을 확인하는 절차도 필요하다고 본다.

3.3 주기적인 계측관리

광양항의 지하수위 계측은 1997년부터 시작되어 지금까지 계속되고 있으나 한정된 위치에서 측정이 진행되고 있으며 향후 계속적인 관측이 이루어져야 한다. 또한, 시공중인 별도 지역에 대해서도 장기적인 계측관리를 통하여 경제적인 설계, 시공이 이루어질 수 있는 기본적인 값이 얻어지도록 투자가 이루어져야 한다.

4. 결 론

1. 준설매립지반의 개량과정 및 준공후 사용시 지하수위가 시간경과에 따라 MSL에 접근하지 않고 포장층, 기층하부의 일정높이에서 평균 지하수위 DL(+).4.6으로 형성되어 지속되고 있음을 알 수 있었으며 설계 침하량과 계측 침하량의 비교를 통한 다양한 확인절차가 필요하다.
2. 광양지역의 경우 지하수위계는 대구경 Type이 보다 신뢰성있는 측정치를 얻는 것으로 확인되었는데 실제로 향후에도 대구경 Type이 많이 설치되어야 하며 또한, 인접지역에 지중침하계, 간극수압계를 병용설치하여 그 값을 보정하여 신뢰성을 확인해야 한다.
3. 광양항의 지하수위 계측은 1997년부터 시작되어 지금까지 계속되고 있으나 한정된 위치에서 측정이 진행되고 있으며 향후 계속적인 관측이 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

1. 한국지반공학회(2005), 개정판 준설매립 지반공학시리즈 10, 구미서관 ,pp. 205-216
2. 양태선, 김병호, 김정훈, 손준채(2005),“준설점토 지반개량 구역의 계측사례(지하수위를 중심으로)”, 한국지반공학회 준설매립기술위원회 학술발표회 논문집,pp. 103-116
3. 이송, 양태선, 김병호, 손수원(2005), “연약지반 개량시 지하수위 변화 특성에 관한 연구(1,2,3단계 결과 비교)”,ISSMGE ATC-7 한국지반공학회 공동심포지움 논문집, pp. 291-302
4. 정인준, 김상규(1990), 토질역학, 동명사, 서울, pp.31~35.
5. B. M. Das(1985) Principle of Geotechnical Engineering, PWS Engineering, Boston, pp.488~523