

투수시험과 지하수 모니터링을 통한 매립층의 배수불량 원인 분석

Analysis about Fill Deposit Poor Drainage through Permeability Test and Groundwater Monitoring

정희석^{a,1}, 이강일^{b,*}, 김준석^c

Hee-Suk Jung^{a,1}, Kang-Il Lee^{b,*}, Joon-Seok Kim^c

^a Seojeong Engineering Co., LTD., Kyunggi-do, Republic of Korea

^b Department of Civil Engineering, Daejin University, Gyeonggi-do, 11159, Republic of Korea

^c Department of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University, Incheon, 22100, Republic of Korea

ABSTRACT

Purpose: The area such as historic sites where distributed in the hills surrounded by the mountains in the past, if heavy rains occur, soil that distributed in the substructure of a sedimentary layer's permeability decreases therefore, water do not smoothly drainage and increases surface structures' moisture content. Therefore, many phenomena occur such as the muddy ground. This experiment tried to figure out the cause of poor drainage, predicting poor drainage system when rainfall occur. So not only the base of cultural properties distributed in the historic site, but also have big influences on the upper structure.

Method: We are going to propose an improvement plan through the various sites exploration and the field permeability test. In addition, analyze interrelationship to figure out the cause of the poor drainage through monitoring under ground water.

Conclusion: As the result of the experiment, the cause of the poor drainage system formed on shallow depth of ground level inside of a land. We can see that soil of surface and fill deposit permeability was in poor condition. Therefore, it was in very inappropriate hydrogeological condition when surface water permeate into the underground when rainfall occurs.

KEYWORDS

(Commercial) Historic site, Ground water, Drainage system, Permeability test

연구목적 : 유적지와 같은 지역은 과거 산으로 둘러 쌓인 구릉지 등에 분포할 경우 강우시 매립층에 분포하는 흙은 투수능력이 떨어져 물이 원활히 배수되지 못하고 표층부의 함수비가 증가하여 지반의 질퍽임 현상이 많이 나타나고 있다. 본 연구는 강우시 배수가 불량하여 유적지에 분포하는 문화재의 기초 뿐만 아니라 상부구조물에도 큰 영향이 예상되어 배수 불량률의 원인을 파악하고자 하였다.

연구방법 : 현장에서 각종 지반조사 및 현장투수시험 그리고 지하수 모니터링을 통해 그 상관성을 분석하여 매립층의 배수에 대한 불량 원인을 파악하였다.

연구결과 : 본 연구결과 배수불량 원인은 부지내 지하수위가 매우 얇은 심도에 형성되어 있으며, 지표부 및 매립층의 토질은 투수성이 불량한 상태로 강우시 지하로 지표수가 침투 되기에는 매우 부적합한 수리지질학적 여건임을 확인할 수 있었다.

유적지,
지하수,
배수시스템,
투수시험

© 2018 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-31-539-2024. Fax. 82-31-539-2020.

Email. kilee@daejin.ac.kr

1 Tel. 82-31-596-6490. Email. tnscon0923@naver.com

ARTICLE HISTORY

Received May. 23, 2018

Revised Jun. 11, 2018

Accepted Jun. 19, 2018

1. 서론

구릉지에 위치하고 있는 유적지나 경사지에 분포한 논 등은 대부분 산으로 둘러싸여 있어 여름철 우기시 지하수위 상승과 주변지역으로 부터 침출수 등이 배출되어 지반상태는 늘 습윤상태로 불균일하고 배수가 잘 이루어지지 못하는 경우가 많다.

최근 평지 및 개발지 등 주요구간에서 배수 불량으로 인하여 강우시에 물이 원활히 배수되지 못하고 구간별로 물고임 현상이 발생하고 이로 인해 표토부의 함수량이 증가하여 질퍽임이 심하게 발생하고 있는 것으로 파악되고 있다. 또한, 시간경과에 따른 모니터링 결과, 강우 후에도 상당시간 물의 증발이나 지표하부로 침투되지 못하고 고인 물이 배수되지 않는 현상이 발생하고 있으며, 이로 인해 표토에 이끼류 및 지류 서식이 증가하고 있다(National Research Institute of Cultural Heritage, 2013).

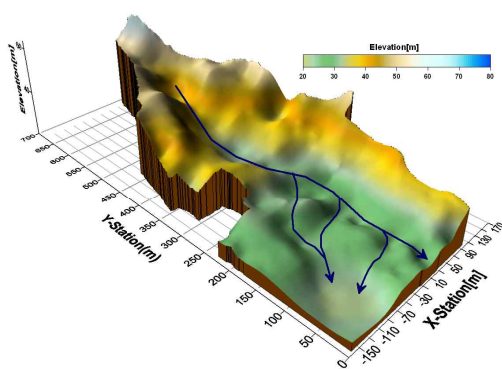
배수불량지에 대한 지표배수에 의한 토양특성의 변화와 배수 개선효과에 대한 많은 연구가 Wesseling and van Wijk(1957) Reeve and Fausey(1967), Abdel-Dayem et al(1987) 등에 의해 이루어지고 있으나, 배수개선에 따른 공간적 변이분석을 통한 효과에 대한 분석은 아직 많지 않다. 또한 배수불량에 대한 문제를 분석하기 위해 실험적으로는 투수시험을 주로 활용하는데 투수시험과 관련된 모든 실험은 KS 및 ASTM 관련 규정을 따라고 있으며 경험식으로 Darcy(1956), Kozeny and Carman(1965), 그리고 Amer and Awad(1974)과 같은 식들이 있다.

연구 대상지의 경우 배수문제의 원인으로는 표토층의 토질적인 문제에 따른 지표수의 배수문제와 지하수위에 따른 지표수의 문제, 기존 배수로 체계 및 배수로 특성에 따른 배수로의 배수불량 등 다양한 문제가 복합적으로 존재하여 전반적인 배수 문제가 발생하고 있는 것으로 검토되었다. 따라서 기존 연구자료(National Research Institute of Cultural Heritage, 2008, 2010, 2011)에 의한 원인분석을 참고로 하여 급회 연구시 배수불량의 원인이 되는 문제의 특성을 상세하게 파악하기 위해서 시추조사 및 핸드오거 보링에 의한 지층현황을 파악하고, 조사시 회수된 시료에 대해 토질시험을 수행하여 하부의 지층특성을 규명하였다. 또한, 지하수의 특성을 파악하기 위해 시추조사 후 시간경과에 따른 지하수위 변화를 모니터링 하였으며, 지층의 투수특성을 파악하고자 현장 및 실내투수시험을 실시하여 매립층에 대한 배수불량에 대한 원인을 분석하였다.

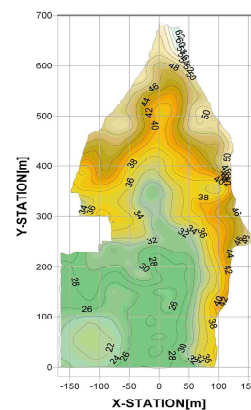
2. 기존연구 분석

2.1 배수체계 분석

기존 자료에 의한 00지역의 배수체계 분석결과는 Fig.1과 같이 지형은 북측과 동측이 높고, 남측과 서측이 낮은 지형으로 확인되며, 이러한 지형을 따라 지하수 유동경로도 주로 남서쪽으로 흐르는 것으로 분석되었다. 배수체계는 동, 서 외곽에 대형 수로가 조성되어 지형특성에 따라 북측에서 남측으로 흐르는 것으로 나타나고 있다.



(a) Subsurface Water Flow Route



(b) Rock Layer Distribution Chart

Fig. 1. Existing Data of Drainage System(National Research Institute of Cultural Heritage, 2010)

2.2 지층분포 분석

연구대상지에 대한 하부 지층 분포 현황을 파악하기 위해서 Fig.2와 같이 굴절법 탐사를 수행하여 분석하였으며, 탄성과 속도에 따라 지층의 상대밀도를 판단하였다. 굴절법 탐사는 횡측선 9측선, 종측선 4측선으로 지오폰 수신기의 간격을 3m로 설치하여 수행하였으며, 느슨한 흙은 낮은 탄성과 속도를 보이며, 다짐이 잘 될수록 탄성과 속도가 빨라지는 경향을 보이고 있다.

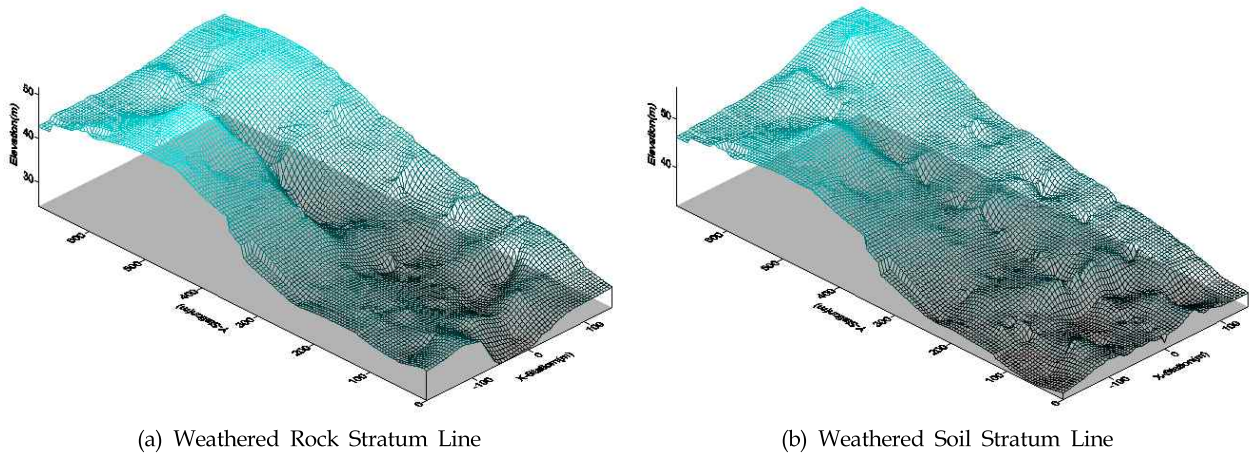


Fig. 2. Stratum Distribution of Elastic Wave Refraction Method(National Research Institute of Cultural Heritage, 2010)

2.3 지하수유동 분석

지하수 및 지표수의 유동특성을 모사하기 위해 Fig.3과 같이 3차원 유한차분 수치모델링 S/W를 이용하여 해석을 수행하였다. 00시 연평균 강수량을 기준으로 6~8월에 강수량이 급증하는 강우특성을 바탕으로 강수 사이클을 설정하여 해석에 반영한 결과, 암층의 고도가 급격히 낮아지고 있는 강당지 부근의 배수로 쪽으로 지표수가 하강하여 지하수로 이동하는 형태를 보이고 있으며, 남쪽 하부에서 서쪽으로 지표수가 이동하여 지하수로 이동되는 형태를 나타내고 있다.

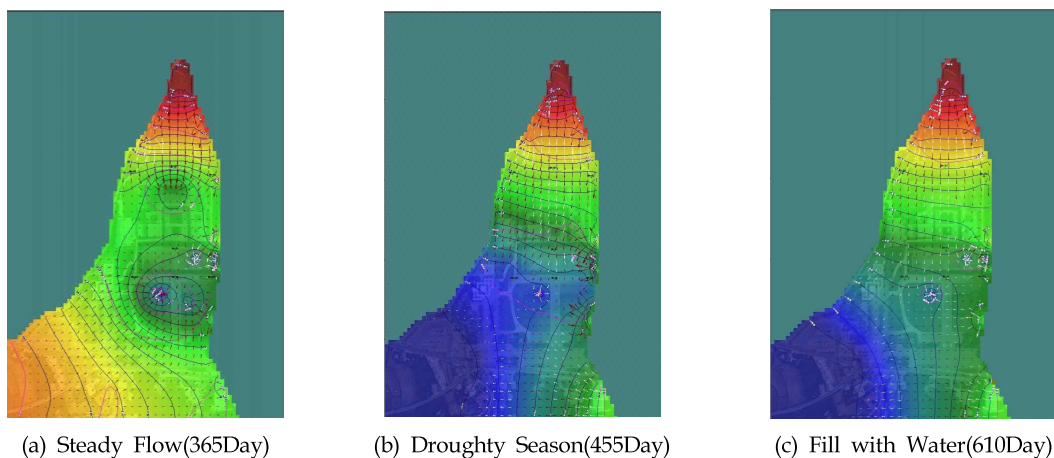


Fig. 3. Surface Water Condition Analysis Result According to the Precipitation Cycle (National Research Institute of Cultural Heritage, 2005)

3. 현장 시험결과 분석

3.1 조사 위치

본 연구지역에 대한 전반적인 지층현황 및 토질특성을 파악하기 위해 시추조사 및 지표수 조사를 각각 13개소를 수행하였다. 시추조사 결과, 상부는 표토층, 매립층으로 구성되어 있으며, 하부로 갈수록 점토 및 모래를 함유하고 있는 퇴적층과 풍화대인 풍화토, 풍화암의 층서를 보이고 있다. 특히 조사 구간의 중앙부에서 퇴적층이 두께가 가장 두껍게 분포하고 있고 동쪽 및 서쪽측으로 갈수록 퇴적층의 두께는 작아지고 풍화대가 나타나는 경향을 보이고 있다.

3.2 현장 투수시험

지표면 배수특성에 주요 원인으로 예측되는 상부 토사구간의 투수성을 파악하고자 현장 및 실내투수시험을 수행하였다. 각 지층별 투수성을 파악하기 위해 시추조사와 병행하여 현장 투수시험을 변수위 투수시험 방법으로 수행하였으며, 채취된 시료에 대해서 실내 투수시험을 수행하여 항우 강우에 의한 지표면 배수 특성 및 하부 지반으로 투수능력을 파악하고, 배수문제 원인분석에 자료로 활용하였다.

현장 투수시험에 의한 지층별 투수시험 결과 Fig.4와 같이 매립층과 퇴적층의 점토질 모래(SC)는 평균 $2.35 \sim 3.21 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 범위로 투수성이 불량한 편으로 분석되었으며, 퇴적층과 풍화토의 실트질 모래(SM)은 $3.90 \sim 7.20 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 의 범위로 투수성이 양호한 편으로 분석되었다. 따라서 지표 배수의 주요 원인인 상부 매립층은 점토질 모래(SC)로 투수성이 낮기 때문에 강우시 지표 침투에 의한 투수성은 불량할 것으로 판단된다.

3.3 실내 투수시험

상부 토사층의 투수특성을 파악하기 위해 실내 투수시험을 수행하였으며 그 결과는 Fig.5와 같다. 매립층의 점토질 모래(SC)는 $3.56 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 범위로 투수성이 불량한 편으로 분석되었으며, 매립층과 퇴적층의 실트질 모래(SM)은 $3.19 \sim 8.26 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 범위로 투수성이 불량하였다. 따라서 실내 투수시험에 의한 상부 2.0m 이내의 매립층 및 퇴적층의 투수특성은 $1.0 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 내외의 범위로 투수특성이 불량하여 강우시 지표 침투에 의한 투수능력은 불량할 것으로 판단된다.

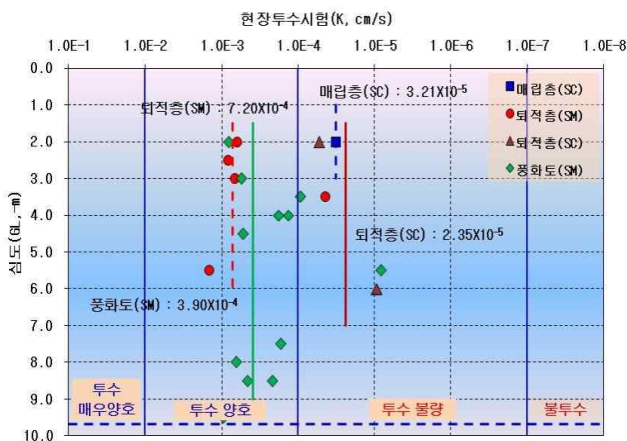


Fig. 4. Result of Field Permeability

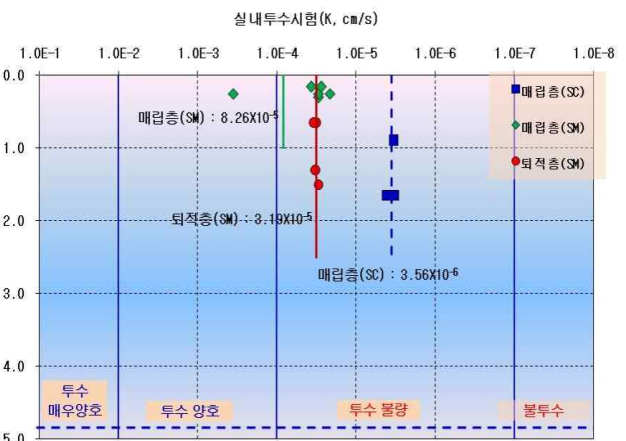


Fig. 5. Result of Laboratory Permeability

3.4 지층별 투수특성 분석

Fig.6은 현장 및 실내 투수시험 결과를 지층별로 종합하여 함께 나타낸 것이다. 상부에 위치하고 있는 매립층과 점토질 모래(SC)를 함유한 퇴적층은 투수성이 불량한 상태를 보이고 있으며, 하부의 실트질 모래(SM)를 함유한 퇴적층은 투수성이

양호한 상태를 보이고 있다. Fig.7 및 Fig.8은 매립층내의 투수계수 및 투수성 분포현황을 나타낸 것으로 투수성이 불량한 매립층이 전반적으로 분포하고 있어 상부 매립층에서는 지표수의 침투 가능성이 낮을 것으로 평가되었으며, 특히 동쪽 및 서쪽 인근에서 투수성이 가장 불량한 것으로 분석되었다.

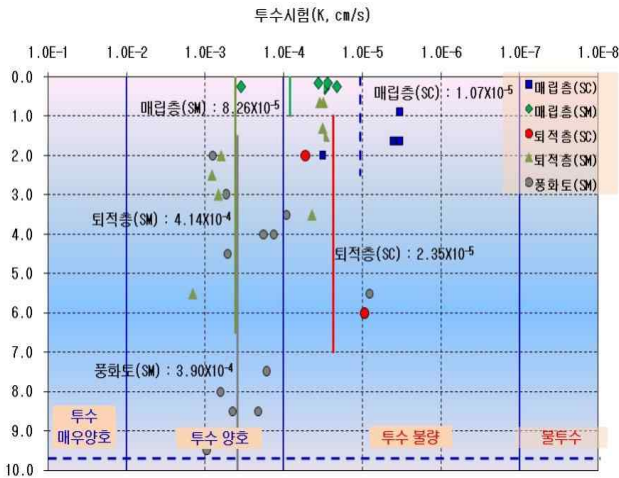


Fig. 6. Result of Field and Laboratory Permeability

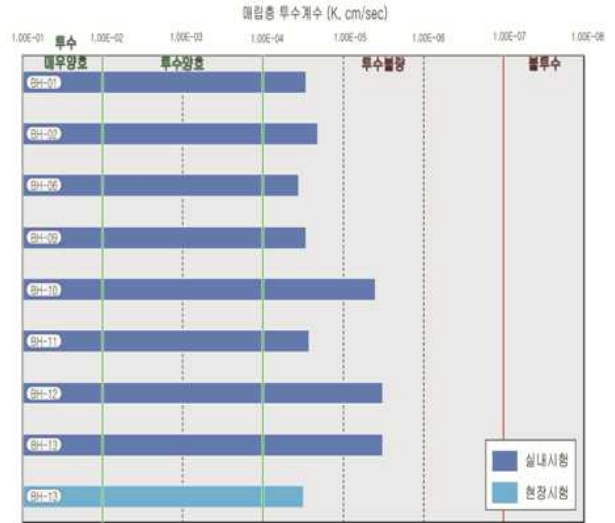


Fig. 7. Permeability of Fill Deposit

3.5 지하수위 계속 모니터링

시추조사 공을 활용하여 시간경과에 따른 지하수위의 변화 경향을 파악하기 위하여 수위계측 모니터링을 수행하였다. Fig.9는 지하수위 모니터링을 실시한 BH-1공에 대한 대표적인 시간에 따른 지하수위 변화관계를 나타낸 그림이다. 지하수위 측정은 2014년 12월 30일에 시작하여 2015년 11월 10일까지 약 10개월 이상을 측정하였다. 그림에서와 같이 강수량에 따른 최고수위는 GL. -0.07m, 최저수위는 GL. -0.96m로 확인되었으며 지하수위는 강우 후 강수량에 따른 변동 폭은 크게 보이고 않는 것으로 분석되며, 대체적으로 지하수위가 높아 수위변화가 미미하며, 상습 침수구역으로 판단된다.

Table 1은 지반조사를 실시한 13개 공에 대한 시간경과에 따른 장기 지하수위 모니터링의 결과를 종합하여 나타낸 것으로 수위의 변동 폭은 0.40~2.00m로 나타났으며, 측정기간의 평균수위는 GL. -0.30~3.64m로 측정·분석 되었으며, 북측에서 남측으로 갈수록 지하수위가 하강하는 경향을 보이고 있다.

본 연구기간 내에 측정된 지하수위는 급회 강우량이 많지 않고 강우 횟수 또한 빈번하지 못하여 강우 후 강수량의 변동 폭은 전반적으로 크지 않았으며, 지하수위가 높은 구간은 수위변화가 미미하였고, 지표수 모니터링에 의한 상습침수구역과 일치하는 경향을 보이고 있었다.

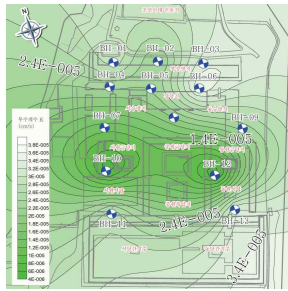


Fig. 8. Distribution on the Fill Deposit Permeability

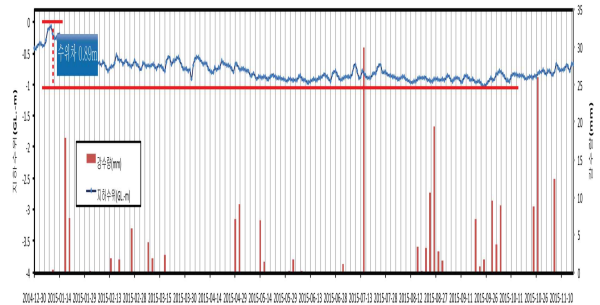


Fig. 9. Measurement Result of Long Term Groundwater(BH-1)

Table 1. Measurement Result of Long Term Groundwater

Boring No.	Initial Level (GL.-m)	Maximum Level(GL.-m)	Minimum Level (GL.-m)	Average Level (GL.-m)	Fluctuations (m)
BH-1	0.4	0.07	0.96	0.75	0.89
BH-2	0.0	-0.19	0.56	0.22	0.75
BH-3	0.2	0.01	0.62	0.30	0.61
BH-4	0.9	0.62	1.22	0.93	0.61
BH-5	0.9	0.53	1.49	1.20	0.95
BH-6	1.4	1.22	1.62	1.44	0.40
BH-7	1.1	1.17	2.14	1.60	0.97
BH-8	1.1	1.24	2.40	1.82	1.15
BH-9	0.6	0.49	2.49	1.43	2.00
BH-10	2.7	2.69	3.69	3.19	1.00
BH-11	2.7	3.02	3.98	3.50	0.87
BH-12	0.5	0.69	2.97	1.65	2.28
BH-13	3.4	2.81	3.96	3.64	1.16

4. 배수문제 원인 분석

4.1 매립층 투수성과 지하수 모니터링의 상관성 분석

매립층의 투수시험 결과와 지하수위 결과를 이용하여 상습침수구역인 매립층의 배수불량 원인을 파악하였다. 매립층은 부지내 전체에 걸쳐 분포하고 있으며, 매립층의 토질특성은 실트질 모래 및 점토질 모래로 구성되어 있다. 특히 Fig.10과 Fig.8에서와 같이 점토질 모래(SC)가 분포하는 구간은 지표수 모니터링에 의한 상습 침수구역과 일치하는 경향을 보이고 있다.

Fig.11은 전반적으로 분포하는 매립층의 입도분포결과를 나타낸 것으로 점토 및 실트 성분인 세립분을 다량 함유한 실트질 모래 또는 점토질 모래로 구성되어 있어 매립층의 투수성이 불량한 상태를 보이고 있고 이는 상습침수구역과 토질특성이 일치하는 경향을 보이고 있다.

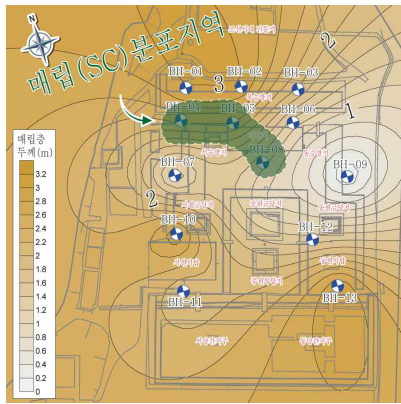


Fig. 10. Distribution of Fill Deposit

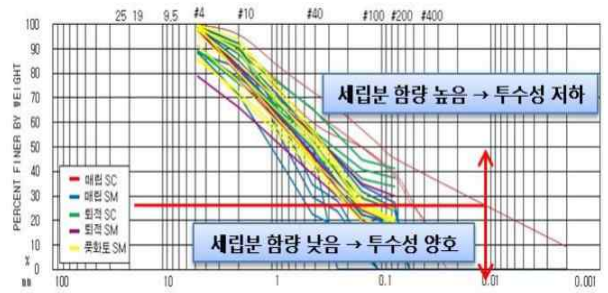


Fig. 11. Correlation of Permeability depending on Grain Size of Fill Deposit

따라서, 매립층은 강우시 지표로부터 유입되어 매립층 하부로 침투되는 능력이 다소 떨어질 것으로 예상되어 매립층의 평균 두께를 가정하여 매립층의 지표 침투능력을 Fig.12와 같은 단면을 가정하여 계산한 결과 투수성이 $1.0 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 투수성을 가진 2m 층후의 매립층을 통과하는데 약 9.6개월의 시간이 필요할 것으로 산정되었다(Table 2 참조). 이는 매립층의 지표 침투능력은 거의 발생하지 않을 것으로 예상되며, 상부 침수구역의 지표수는 일정 동수경사가 확보되는 구간까지는 배수로로 유입되어 표면 배수가 되고, 일부는 하부로 침투되어 배수되기보다는 상부에서 바람이나 태양에 의해 증발되는 것으로 판단할 수 있다.

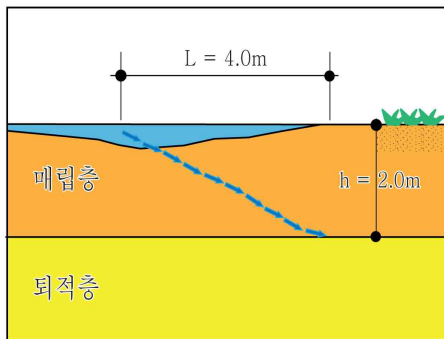


Fig. 12. Schematic Diagram of Surface Permeability Test Considering Fill Deposit's Coefficient of Permeability

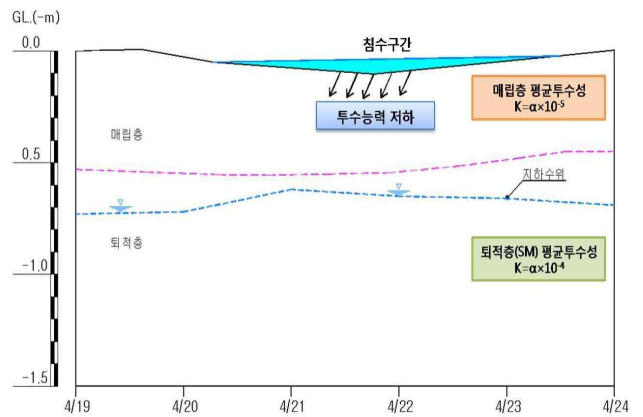


Fig. 13. Interrelation Conceptual Diagram of Fill Deposit Permeability and Ground Water Monitoring

Table 2. Penetration Capability of Fill Deposit

Item	Flow Rate(V)	Penetration Rate(Vs)	Time(t)
Value	$0.5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$	$1.6 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$	9.6month
Remarks	1) Fill Deposit's Coefficient of Permeability(k) = $1.0 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 2) Hydraulic Gradient(i) = 0.5 3) Grain length(L) = 4.0m 4) Void Ratio(n) = 30%		

따라서 강우 후 발생하는 상습침수구역의 발생은 매립층 투수성과 직접적인 관계가 있을 것으로 예상되며, 투수성이 불량한 매립층으로 침투로 인한 지하수위 상승은 거의 발생하지 않을 것으로 예상할 수 있다.

또한 Fig.13은 매립층의 투수성과 지하수 모니터링 결과에 따른 상관관계의 개념도를 나타낸 것이다. 현장 및 실내투수 시험결과, 상부 매립층은 투수성이 불량하고 시간경과에 따른 지하수 유동폭도 작아 지표수의 지중유입은 발생 가능성이 낮을 것으로 예상된다. 상습침수구역의 배수 불량 원인은 지표면 배수경사 미확보구간의 발생과 북측 배수로내 토사 퇴적물로 인한 배수 기능 저하로 인한 가능성이 높은 것으로 예상된다.

4.2 지표수와 지하수 모니터링의 상관성 검토

Fig.14는 지표수 및 지하수 모니터링 결과를 분석하여 상습침수구역 범위와의 상관성을 파악한 것이다. 그 결과 지하수위가 지표수와 거의 일치하는 것으로 확인되었으며, 상습침수구역 범위와 유사한 구간이 발생하는 것으로 보인다. 따라서 지반 조건이 불량한 지반의 경우 지하수와 지표수가 일치하여 지하수흐름을 저지하게 되므로 맹암거나 지하배수관을 매설하여 지하수 저감대책을 수립하는 것이 적정하다고 판단된다.

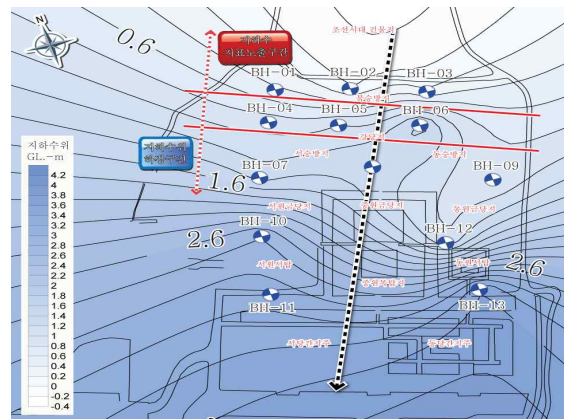


Fig. 14. Interrelationship between Surface Water and Ground Water Monitoring

5. 결론

배수문제에 따른 원인을 지반조사를 실시한 후 그 위치에서 투수시험 및 지표수 모니터링을 실시하고 그 결과를 상호 분석하여 배수불량의 원인에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구지역에서의 배수불량 원인은 전체적으로 부지내 지하수위가 지표에 노출되거나 매우 얇은 심도에 형성되어 있으며, 지표부 토사 및 매립층의 토질은 투수성이 불량한 상태이므로 강우시 지하로 지표수 침투가 되기는 매우 어려운 수리지질학적 여건임을 확인할 수 있었다.

(2) 상부 2.0m 이내의 매립층 및 퇴적층의 투수특성은 1.0×10^{-5} cm/sec 내외의 범위로 투수특성이 불량하여 강우시 지표 침투에 의한 투수능력은 불량한 것으로 판단된다.

(3) 장기 지하수위 모니터링의 결과 수위의 변동폭은 0.40~2.00m로 나타났으며, 측정기간의 평균수위는 GL.-0.30~3.64m로 북측에서 남측으로 갈수록 지하수위가 하강하는 경향을 보이고 있다.

(4) 강우 후 발생하는 상습침수구역의 발생은 매립층 투수성과 직접적인 관계가 있을 것으로 예상되며, 투수성이 불량한 매립층으로 침투로 인한 지하수위 상승은 거의 발생하지 않을 것으로 예상된다.

References

- [1] Abdel-Dayem, M.S. Abu-Sinna, M.H. Amer, and J. Deelstra., (1987). "Subsurface drainage in irrigated lands and its effect on soil and crops", Proc. 5th National Drainage Symposium, 14-15 December, ASAE, Chicago, pp.168-177.
- [2] Amer, A.M., and Awad, A. A., (1974). "Permeability of cohesionless soils", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.100, No. GT12, pp.1309-1306.
- [3] Darcy, H., (1965). "Les Fontaines publiques de la Ville de Digon, Dalmont, Prais.
- [4] Wesseling, J. and W.R. van Wijk., (1957). "The physical conditions in relation to drain depth", In:Luthin, J.N. (Ed.), Drainage of Agricultural Lands. Madison, WI, pp.461-504.
- [5] Kozeny, J., and Carman, P.E., (1965). "Flow of gases through porous media", Academic, New York.
- [6] National Research Institute of Cultural Heritage, (2005). "Research Report on Cause of Mireuksaji Pagoda Collapse through Structural Analysis".
- [7] National Research Institute of Cultural Heritage, (2008). "Final Research Report on Mireuksaji Pagoda Structural Stability Evaluation".
- [8] National Research Institute of Cultural Heritage, (2010). "Mireuksa Ground Analysis Experiment through Geophysical Survey".
- [9] National Research Institute of Cultural Heritage, (2011). "Design Structural Report on Mireuksaji Pagoda Repair Maintenance".
- [10] National Research Institute of Cultural Heritage, (2013). "Primary Report on Restoring Mireuksa's Maintenance Study and Plan".
- [11] Reeve, R.C. and N.R. Faudey., (1967). "Drainage and timeliness of farming operations", In:van Schilfgaard, J.(Ed.), Drainage for Agriculture. Madison, WI, pp.55-666.