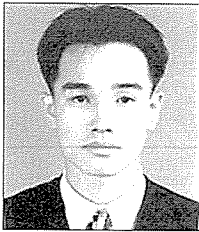


퇴적이력분석을 통한 연약지반 구간별 공학적 특성 분석 연구



(주)EJtech 토목설계부 부장
국민대학교 박사과정
이 건



(주)EJtech 토목설계부 상무
토질 및 기초기술사
사 상 호

1. 연구배경 및 목적

우리나라 연안지역은 제4기 홀로세(Holocene)에서 세계적으로 최후빙하기(Last glacial stage)의 종료시 형성된 해성 퇴적층이 널리 분포되어 있다. 해성 퇴적층은 두꺼운 실트질 점토층이 주를 이루고 있으나 지역에 따라서 소규모의 모래층이나 자갈층이 협재되어 있어 연약지반 구간의 지층상태나 역학적 성질이 다르게 나타난다. 따라서 연약지반 구간의 공학적 특성 분석에서 구간별 특성치 산정이 필요하나, 실제 조사결과 분석시 대부분의 경우 심도 구분이 모호하고 근거 없는 주관적 견해에 따라 달라진다.

본 연구는 연약지반 구간 선정시 기준에 사용되어 왔던 방법에 대한 문제점을 분석하고 퇴적 이력 분석을 통해 합리적인 연약지반 구간 선정 및 구간별 특성치를 산정하는데 그 목적이 있다.

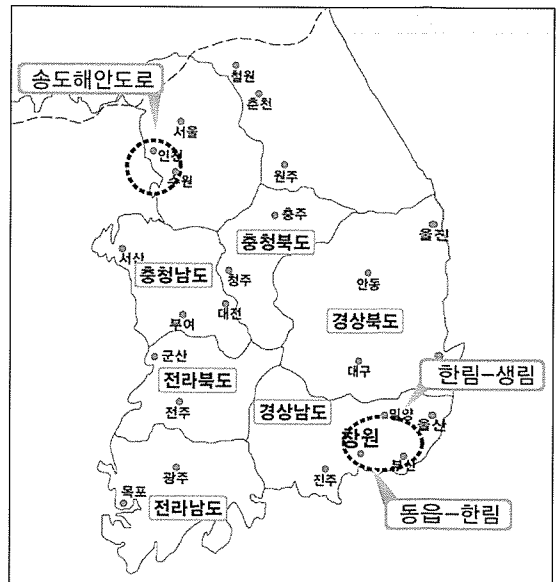


그림 1. 연구대상지역

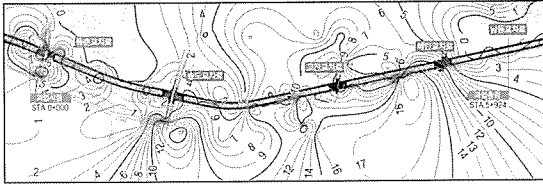


그림 2. 크리깅 기법에 의한 연약지반 분포 현황

2. 기존 방법 문제점 분석

기존에는 지구통계학적 기법을 사용하여 연약지반 구간 선정을 실시하였다. 지구통계학적 기법으로는 크리깅 기법을 이용하였다(그림 2). 이는 토질주상도의 토층과 현장 및 실내 시험결과를 분석하여 점토층의 두께와 함수비, 소성지수, 액성한계, OCR, 압축지수 등의 결과를 크리깅하여 분석하는데, 크리깅 결과만으로는 설계반영을 위한 구간 선정시 지나치게 세분화 된다거나 또는 지나치게 단순화되어 연약지반 분포현황 및 공학적 특성이 합리적으로 반영된 구간선정이 이루어질 수 없다는 문제점을 내포하고 있다.

연약지반은 퇴적환경의 차이로 지층 변화가 심하여 인접 지역이라도 환경변화에 따른 퇴적물의 이동에 따라 공학적 특성이 상이하게 달라진다. 기존의 지구통계학적 기법을 이용한 구간 선정 방법은 위와 같은 퇴적 변화에 따른 복잡한 지층 상태를 정확히 반영하기 어려운 것이 사실이다.

3. 퇴적이력분석을 통한 연약지반 구간 선정 및 공학적 특성 분석

3.1 개요

퇴적이력분석은 크게 선행자료 분석, 물리적 특성, 지하

학적 특성, 광물학적 특성을 통하여 분석한다. 선행자료 분석은 퇴적층의 형성과정 및 기반암 심도 분포, 해수면 변동을 파악하기 위하여 시행되어지며 자연시료채취 후 흙의 정밀 입도분석, 퇴적구조분석, X-ray 단층촬영, 심도별 대자율 및 전기비저항 측정을 통하여 물리적 특성에 의한 퇴적이력의 변화를 파악한다. 흡착 양이온 및 음이온 분석, 유기물분석, 산화철분리분석을 통해 지화학적 특성을 파악하고 광물입자 표면에 부착된 음이온, 양이온, 공극 내 용해되어 있는 이온 특성에 의한 퇴적환경변화를 분석한다. 광물학적 특성은 퇴적물의 구성광물을 조암광물과 점토광물로 나누어 함량분석을 실시하고 심도 및 수평적으로 특성을 파악한다. 그 후 심도 및 수평적 특성을 고려하여 공학적 특성 분석을 위한 구간을 선정한다.

이와 같이 퇴적이력분석을 통해 선정된 구간을 대상으로 현장 및 실내시험을 실시한다. 현장시험으로는 CPT, 평면팽창계시험, 현장베인시험, 실내시험은 토질물성시험, 압밀시험, 삼축압축시험(UU, CU)을 실시하여 분석한다. 시험결과는 물리적특성(소성한계, 자연함수비, 액성한계)과 압밀특성(초기간극비, 압축지수), 강도특성으로 구분하여 각 결과를 구간별로 분석한다.

3.2. 송도해안도로 확장공사

(조사기간 2005. 01 ~ 2005. 11)

3.2.1 퇴적이력분석을 통한 구간선정

송도해안도로 확장공사에서 All sampling으로 채취된 불교란 시료를 이용하여 심도 및 수평적 퇴적 이력을 분석한 결과는 그림 3, 4와 같다.

본 연구 대상 지역은 해수면이 지속 상승한 홀로세의 퇴적물로서 퇴적 및 해침 속도차에 따라 생성된 환경이 크게 2개의 그룹으로 구분되어 진다. A 그룹은 하천 퇴적

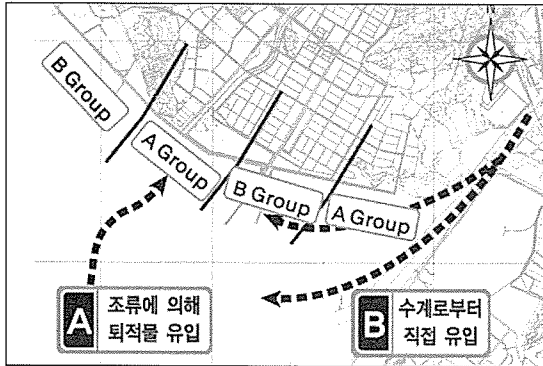
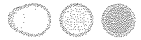


그림 3. 퇴적물 유입경로

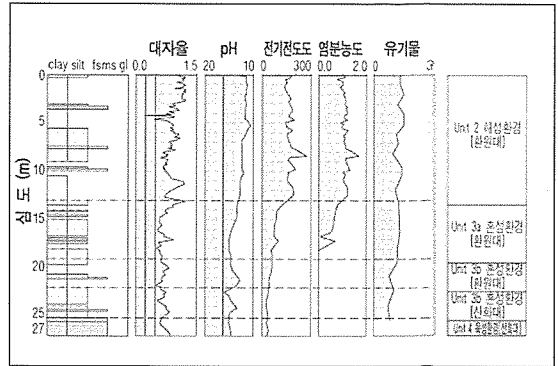


그림 4. 수직적 분포

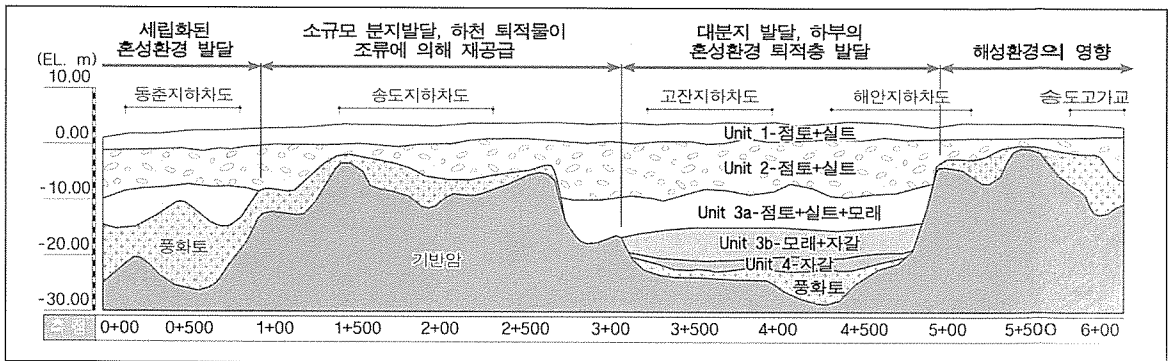


그림 5. 퇴적이력 분석결과

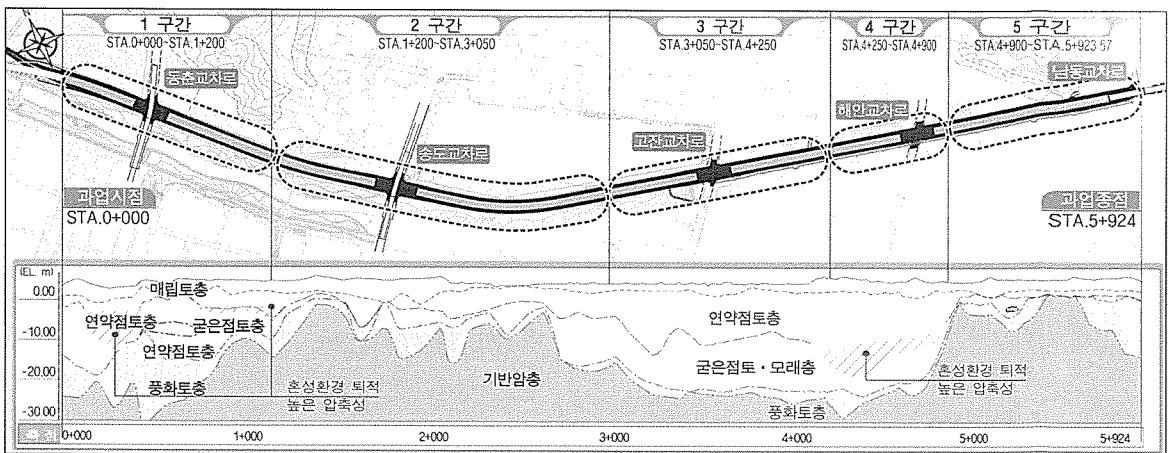


그림 6. 연약지반 구간 선정 결과

물이 조류와 파도에 의해 유입된 퇴적층이 분포하며 B 그룹은 하천수계로부터 직접 유입된 퇴적물이 분포하는 것으로 나타난다.

퇴적상(심도별) 분석 결과 심도 13~14m를 경계로 염분농도, 전기전도도, pH, 및 대자율이 감소하며 지화학적 특성을 근거로 퇴적층 하부로부터 육성, 혼성, 해성환경

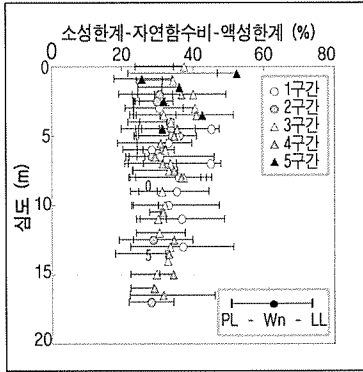


그림 7. 함수비

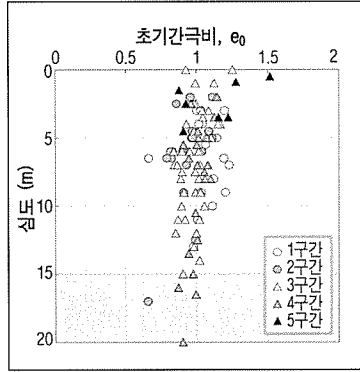


그림 8. 초기간극비

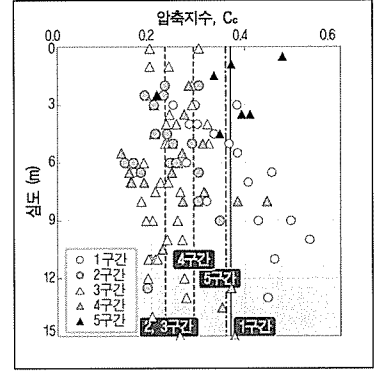


그림 9. 압축지수

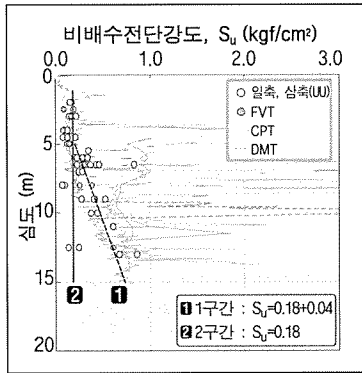


그림 10. 비배수전단강도(1~2구간)

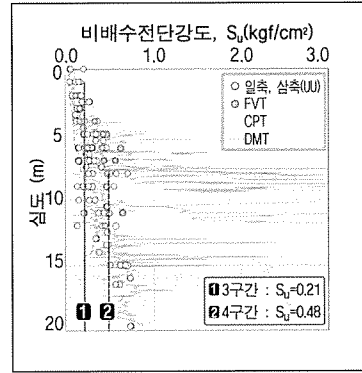


그림 11. 비배수전단강도(3~4구간)

으로 구분되어 진다. 이처럼 인접지역임에도 서로 다른 퇴적 분포를 보이는 것은 단층곡의 발달과 공급되는 퇴적 물의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

위의 결과를 근거로 퇴적이력에 따라 구간을 선정하면 그림 5.와 같다.

3.2.2 구간별 공학적 특성 분석

과거 해수면의 변화에 기인한 퇴적 환경 이력을 반영하여 수평, 수직적인 지층변화 특성을 파악하고 지형조건, 연약지반두께, 퇴적이력, 점토 구조화 및 공학적 특성을 감안한 구간선정 결과는 그림 6.과 같다.

1구간은 압축성이 높은 연약층으로 구분되며, 2구간은 연약층이 10m 이내로 불규칙적으로 분포한다. 3구간은 퇴적이력이 상이한 연약층이 8.0~16.5m로 분포하며 낮은 압축성을 가진다. 4구간은 상부와 하부가 퇴적이력 및 압축성이 다른 연약층으로 10.0~19.0m로 분포하며 5구간은 연약층의 심도가 낮고 압축성이 높은 것으로 구분된다.

공학적 특성 및 퇴적구조 등에 따른 유사성 분석을 통해 총 5개 구간으로 분할하여 연약지반 구간별 공학적 특성을 분석하였으며 그 결과는 그림 7.~11.과 같다.

분석결과 물리적 특성은 구간별로 유사한 경향을 나타내지만 압밀특성은 심도가 깊어짐에 따라 정규압밀 상태

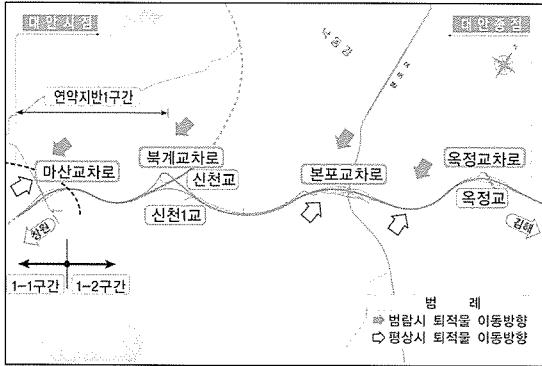


그림 12. 퇴적물 유입경로

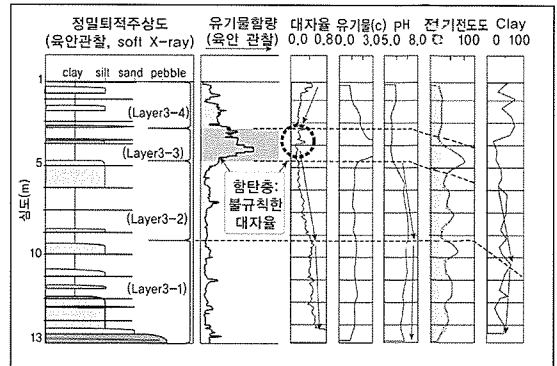


그림 13. 수직적 분포

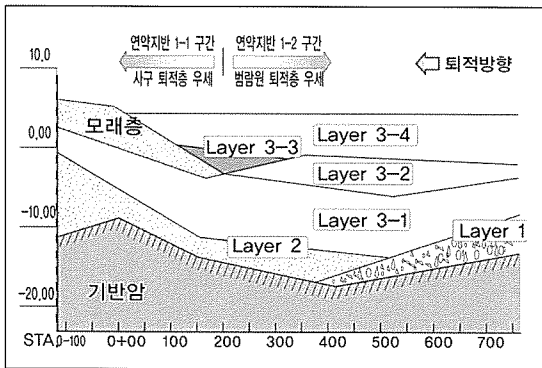


그림 14. 퇴적이력 분석 결과

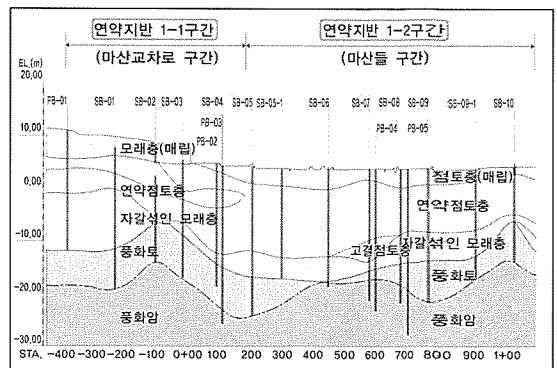


그림 15. 연약지반 구간 선정 결과

를 나타내며 구간 및 심도별로 상이한 특성(압축지수의 경우 1구간은 0.37, 2구간은 0.24, 3구간은 0.23, 4구간은 0.33, 5구간은 0.35의 분포를 보임)을 나타낸다. 강도 특성 분석 결과 구간별 심도에 따라 전단강도(1구간은 0.11, 2구간은 0.18, 3구간은 0.21, 4구간은 0.48의 분포를 보임) 및 강도 증가 경향이 상이하게 나타난다.

3.3. 동읍~한림간 도로 확포장 공사

(조사기간 2004. 07 ~ 2004. 11)

3.3.1 퇴적이력분석을 통한 구간선정

동읍~한림간 도로 확포장공사에서 All Sampling으로 채취된 불교란 시료를 이용하여 심도 및 수평적 퇴적이력

을 분석한 결과는 그림 12., 13.과 같다.

낙동강의 형태 및 수류방향을 근거로 대상지역을 2개의 그룹(group)으로 나눈 결과 연약지반 1-1구간은 평상시에 퇴적된 퇴적물이 우세한 구간으로 유속이 빠른 곳은 침식이 되며 비교적 느린 부분은 사질퇴적이 이루어지는 사구퇴적층이 나타난다. 연약지반 1-2구간은 범람원 기원의 퇴적물(세립의 점토 및 실트)이 우세하게 나타난다.

퇴적상(심도별) 분석 결과 다량의 탄화물을 함유하며 함수비가 높고 강도가 낮은 층이 1m의 두께로 협재하며 퇴적층 상부로부터 연약점토층, 모래층, 자갈층으로 구분되어 진다.

위 결과를 근거로 퇴적이력에 따라 구간을 선정하면 그림 14.와 같다.

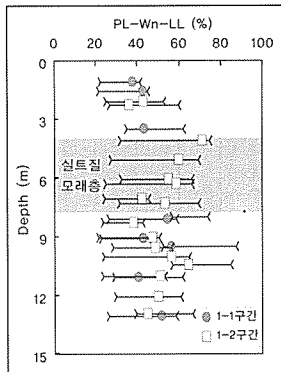


그림 16. 함수비

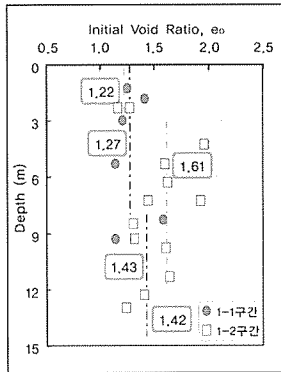


그림 17. 초기간극비

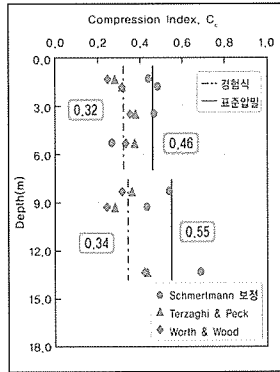


그림 18. 1-1구간 압축지수

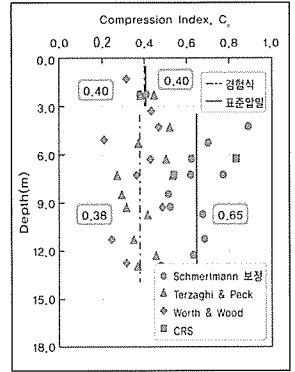


그림 19. 1-2구간 압축지수

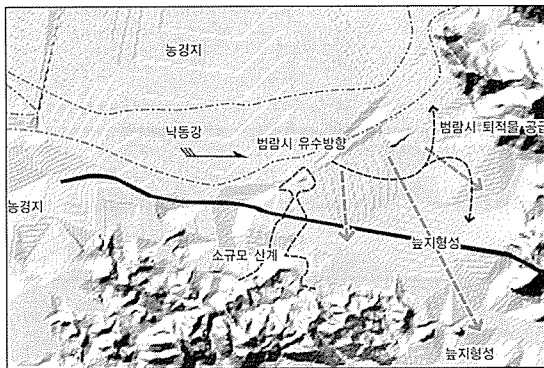


그림 20. 퇴적물 유입경로

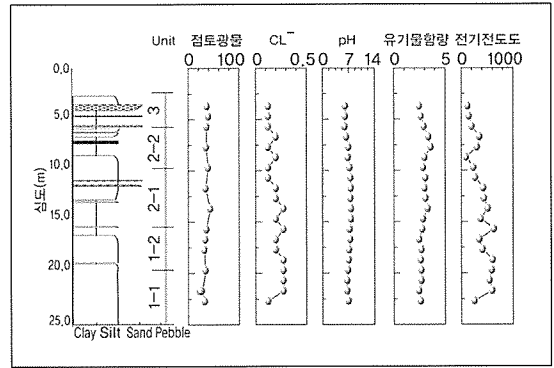


그림 21. 수직적 분포

그림 14와 같이 연약지반구간은 퇴적 환경에 따라 사구 퇴적이 우세한 1-1구간과 범람원 기원의 퇴적이 우세한 1-2구간으로 구분되며 공학적으로 하나의 층으로 분류되는 연약점토층(Layer-3)은 퇴적상 분석에 따라 공학적 특성이 상이한 4개의 sub-layer(layer 3-1~3-4)로 세분되어 진다.

3.3.2 구간별 공학적 특성 분석 결과

마산교차로가 위치하는 지역의 연약지반구간은 연장이 길고 퇴적 환경의 차이로 인해 구간내 지층 변화가 심해 그림 15와 같이 2개구간으로 구분하여 심도별로 공학적 특성을 상세 분석하였다.

1-1구간은 상·하부에 모래층이 분포하고 연약층이

3.0~14.7m 두께로 분포하며 1-2구간은 연약층이 9.0~16.9m 두께로 분포하고 하부에 자갈 섞인 모래층과 고결 점토층의 출현한다.

공학적 특성 및 퇴적 구조등에 따른 유사성 분석을 통해 총 2개 구간으로 분할하여 연약지반 구간별 공학적 특성을 분석하였으며 그 결과 그림 16~19와 같다.

분석 결과 물리적 특성은 구간별로 유사한 경향을 보이며 팽창성은 작으나 함수비가 높고 초기 간극비가 커서 압축성이 다소 클 것으로 예상된다. 압밀 특성 분석 결과 상부는 과압밀 상태로 하부는 정규압밀 분포를 보이며 압축지수가 구간 및 심도별로 차이(1-1구간의 경우 8.0m를 경계로 각각 1.27, 1.43의 분포를 나타내며, 1-2구간의 경우 3.0m, 9.5m를 경계로 각각 1.22, 1.25, 0.96의 분포를

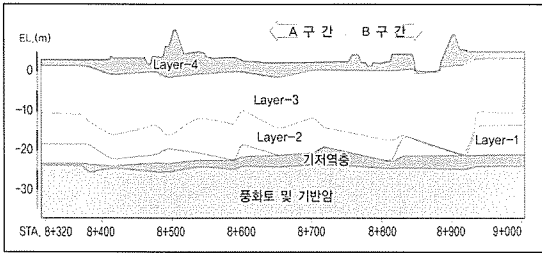


그림 22. 퇴적이력 분석결과

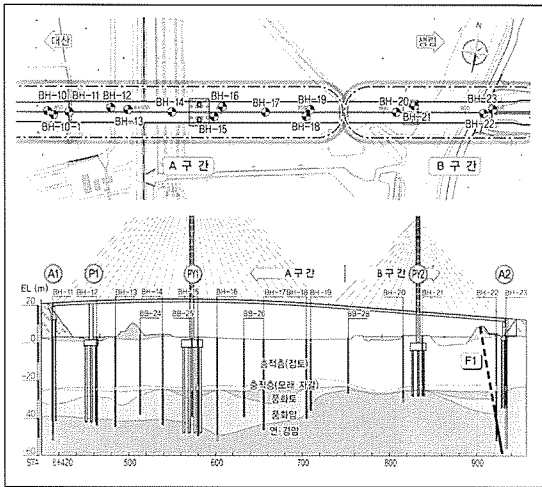


그림 23. 연약지반 구간 선정 결과

보임)를 보이는 것으로 나타난다.

3.4. 한림~생림간 도로 확포장공사 (조사기간 2005. 6 ~ 2005. 12)

3.4.1 퇴적이력분석을 통한 구간선정

한림~생림간 도로 확포장공사에서 All Sampling으로 채취된 불교란 시료를 대상으로 soft x-ray분석 및 정밀 퇴적구조를 분석한 결과는 그림 20., 21,과 같다.

심도별로 연속적인 입도 분석과 광물학적 특성 분석을 실시하여 지층을 세분화한 결과는 다음과 같다.

본 대상지역은 낙동강 육상퇴적물로 형성된 지역으로서 낙동강 수계에 포함되는 화포천의 형태 및 유수방향등

을 근거로 2개 구간으로 세분되어진다. A 구간은 범람에 의한 세립 퇴적물(실트 및 점토)로 이루어져 있으며 B구간은 낙동강의 범람에 의한 영향을 받은 지역이나 화포천의 수계가 지나가는 구간으로 유속이 빠른 곳은 침식되고 비교적 느린 부분은 사질 퇴적물이 우세하게 나타난다.

따라서 B구간의 퇴적상 분석결과를 보면 실트함량이 높고, 중성의 pH 값을 보이며 과거 침식과 퇴적, 범람이 반복되면서 sand seam이 분포하는 것으로 나타난다. 본 구간의 퇴적 점토층은 지형학적, 퇴적학적 특성에 따라 4개의 지층으로 세분되며, 그림 22.와 같이 STA. 8+750을 기준으로 2개 구간으로 구분되는 특성을 보인다.

3.4.2 구간별 공학적 특성 분석 결과

All Sampling에 의한 화포습지 퇴적점토층의 퇴적이력을 파악하고 공학적 특성과의 상관성 분석을 위해 2개 구간으로 나눈 결과는 그림 23.과 같다.

화포교 구간에 분포하는 퇴적 점토층은 A, B구간 모두 범람원 기원이 퇴적층으로 구성되어 있으며 B구간은 화포천 수계가 지나가는 구간으로 과거 침식과 퇴적(육성기원), 범람이 반복되면서 sand seam이 발달, A구간에 비해 강도가 큰 경향을 보이는 것으로 파악된다.

연약지반 특성 분석 결과 함수비, 압축지수, 비배수 전단강도 모두 A, B구간으로 구분되는 특징을 보이며 그 결과는 그림 24.~28.과 같다.

4. 결론

연약지반은 퇴적환경의 차이로 지층 변화가 심하여 인접지역이라도 환경 변화에 따른 퇴적물의 이동에 따라 공학적으로 상이하게 달라진다. 기존의 지구통계학적 기법

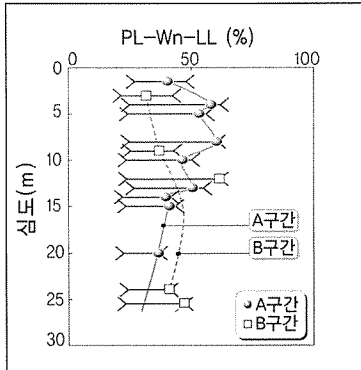


그림 24. 토질물성시험

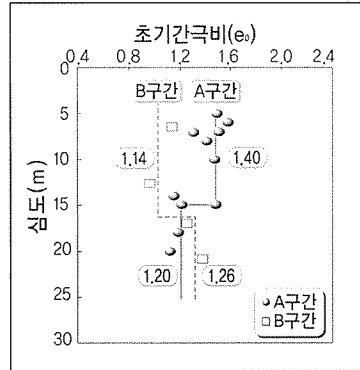


그림 25. 초기간극비

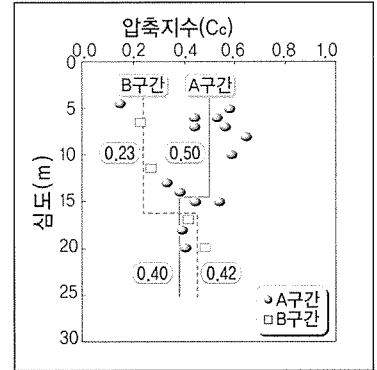


그림 26. 압축지수

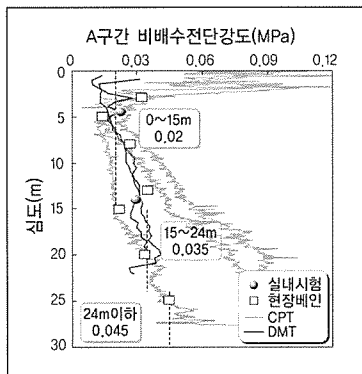


그림 27. A구간 비배수전단강도

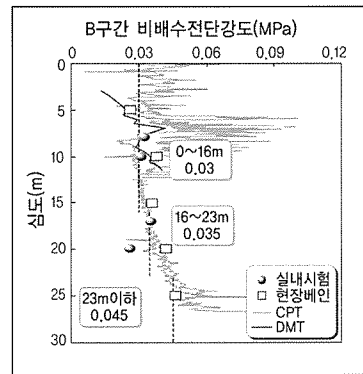


그림 28. B구간 비배수전단강도

을 이용한 구간 선정 방법은 퇴적 환경 변화에 따른 복잡한 지층 상태를 정확히 반영하기 어려운 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 퇴적이력 분석을 통해 합리적인 연약지반 구간 선정 및 구간별 특성치를 산정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 송도해안도로 확장공사의 경우 퇴적이력 분석에 의해 A 그룹(조류에 의해 퇴적물이 유입), B 그룹(수계로부터 직접 유입)으로 대분되며 공학적 특성과의 상관성 분석을 통해 5개의 구간으로 세분된다. 전체적으로 구간별 물리적 특성은 유사한 경향을 나타내며 낮은 함수비 분포 특성을 보인다. 압밀 특성은 심도가 깊어짐에 따라 정규 압밀 상태를 나타내며 구간 및 심도별로 상이한 특성(압

축지수의 경우 1구간은 0.37, 2구간은 0.24, 3구간은 0.23, 4구간은 0.33, 5구간은 0.35의 분포를 보임)을 나타낸다. 강도 특성도 구간 및 심도별로 전단강도(1구간은 0.11, 2구간은 0.18, 3구간은 0.21, 4구간은 0.48의 분포를 보임) 및 강도 증가 경향이 상이하게 나타난다.

2. 동읍-한림간 도로 확포장공사의 경우 연약지반 구간은 퇴적이력 분석에 의해 사구퇴적층이 우세한 구간과 범람원 퇴적층이 우세한 구간으로 구분되어 지며 심도별로 4개의 sub-layer로 세분된다.

연약지반의 공학적 특성을 구간별로 살펴보면, 물리적 특성은 구간별로 유사한 경향을 보이며 팽창성은 작으나 함수비가 높고 초기 간극비가 커서 압축성이 다소 클 것으로 예



상되며 압밀 특성은 상부는 과압밀 상태로 하부는 정규압밀 상태를 보이며 압축지수가 구간 및 심도별로 차이(1-1구간의 경우 8.0m를 경계로 각각 1.27, 1.43의 분포를 나타내며, 1-2구간의 경우 3.0m, 9.5m를 경계로 각각 1.22, 1.25, 0.96의 분포를 보임)를 보이는 것으로 나타난다.

3. 한림-생림간 도로 확포장공사의 경우 화포천 일대의 연약지반구간은 퇴적이력 분석에 의해 A 구간(범람원 기원의 퇴적물 우세), B 구간(하천유수에 의해 침식과 퇴

적이 반복된 구간)으로 구분되어 지며, 공학적 특성분석 결과에서도 함수비, 압축지수, 비배수 전단강도 모두 A, B구간으로 구분되는 특징을 보인다.

감사의 글

본 연구는 설계·시공 입찰 과업의 일부분으로 수행되었으며 학술지 게재를 허락해 주신 대우건설, 삼성건설 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

[참고문헌]

1. 김상규, 임희대, 문성권(1998), "한국 해안에 퇴적된 연약지반의 점토광물의 종류와 분포", 한국지반공학회지, Vol.14, No.6, pp73-80.
2. 김상규(1999), "김해 점토의 공학적 특성과 기초설계와의 관련", Proceedings of Sang-Kyu Symposium on Geotechnical Engineering, Seoul, pp205-230, April.
3. 송도해안도로 확장공사(2005) 지반조사 보고서, 대우건설, 인천, pp101-130.
4. 동읍 - 한림간 도로 확포장공사(2004) 지반조사 보고서, 대우건설, 부산, pp187-222.
5. 한림 - 생림간 도로 건설공사(2005) 지반조사 보고서, 삼성건설, 부산, pp168-188.
6. Brand, E.W and Brenner, R.P. et al(1981), "Soft Clay Engineering", Developments in Geotechnical Engineering 20, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, pp159-238.
7. M. Mitamura, M., Matsuyama, N., Nakagawa, K., Yamamoto, K. and Suwa, S.(1994), "Stratigraphy and Subsurface of Holocene Deposits around Uemachi Upland in the Cenral Osaka Plain", Journal of Geosciences, Osaka City University, Vol.37, Art. 7, pp183-212.
8. Bronk Ramsey C.(1994), "Analysis of Chronological Information and Radiocarbon Calibration : The program OxCal", Archaeological Computation Newsletter 41, pp11-16.
9. Nagaraj, T.S.(2000), "Naturally and Induced Cemented Soft Clay - Analysis and Assessment of their Behavior", Invitation Lecture, The BK21 Project. Dong-A University : 130p
10. Park, Y.A., Kim B.K. and Zhao, S.(1998), "Sea Level Fluctuation in the Yellow Sea Basin", The Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol.29, No. 1, pp42-49.