

인공신경망을 이용한 연약지반 침하량 산정

김제경*1, 박정웅*2, 채점식*3, 김현태*4, 하광현*5

1. 서론

최근의 건설공사는 산업화의 가속 및 경제 성장과 더불어 지반조건이 양호한 용지의 수요가 점점 증가되고 있으나 국토의 제한성으로 인하여 지반조건이 양호한 용지의 확보가 어려워지고 있다. 따라서 최근의 건설공사는 도로, 철도 및 산업단지의 계획에 있어서 연약지반 분포 지역까지 건설공사가 계획되어 있으며, 이러한 지역에서는 연약지반의 개량이 불가피하다. 기반시설 및 산업단지의 조성을 위한 연약지반 개량공사는 공사부지의 방대함과 더불어 연약지반의 공학적 성질이 복잡하고 다양하기 때문에 해당 연약지반의 다양한 공학적 성질을 정확히 파악하고, 이를 토대로 현장 시공성을 고려한 안정적이고 경제적인 설계방안의 수립이 필요하다. 이를 위해서는 다양한 현장 여건 및 지반조건에 대한 방대한 분량의 정보를 반영하여 침하에 대한 위험도 평가를 수행하고, 그 결과를 설계에 반영하는 정보화 개념의 신뢰도 높은 연약지반 최적설계 방안이

요구되고 있다. 이러한 맥락에서 본 연구에서는 진주-광양 ○공구 조성공사의 연약지반 압밀침하량 예측에 인공신경망 기법을 적용하여 압밀 특성 분석 및 침하량 예측에 관한 연구를 시도하였다. 따라서 본 연구에서는 시간에 따른 압밀 침하량 예측을 현장 여건을 고려하여, 보다 정확한 예측을 하기 위하여 실제로 계측이 시행된 인근지역 현장의 자료를 이용하여 인공신경망을 학습시켰다. 학습된 신경망을 통하여 얻어진 압밀 침하량과 실제 압밀 침하량을 비교·분석하여, 본 과업구간에 대하여 압밀침하량을 최종적으로 예측하였다. 또한 인근지역에서 계측된 역해석 결과를 이용하여 단계성토조건에 대한 압밀해석을 실시하고, 실측침하량과 비교분석하여 본 지구 인근의 신규공사지구에 대한 설계 시 활용할 자료와 개선사항을 제시하였다.

2. 현장조건 및 지반특성

2.1 현장위치 및 지층개요

본 사례지역은 진주-광양 ○공구 구간중 연약지반 구간으로서 상부 실트질 모래층이 3~11m, 하부

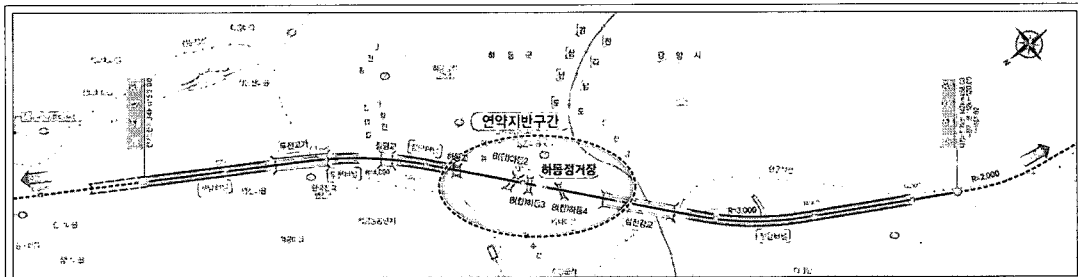
*1 (주)삼보기술단 이사

*2 (주)삼보기술단 파장(jiban72@hotmail.com)

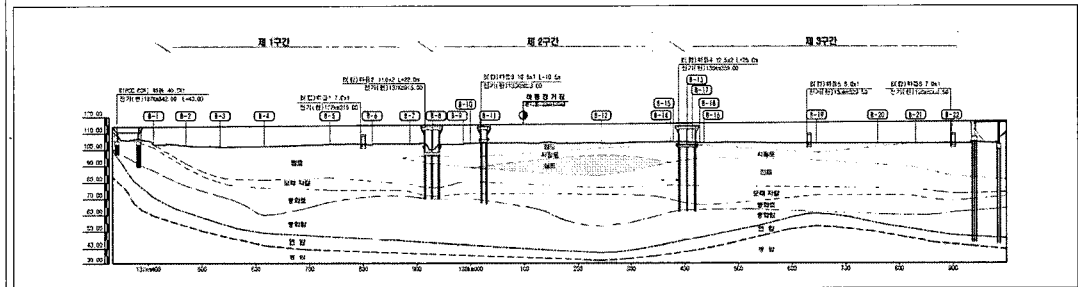
*3 (주)삼보기술단 파장

*4 농업기반공사 수석연구원

*5 (주)삼보기술단 전무이사



(a) 현장 위치도



(b) 지층현황도

그림 1. 대상지역 현황

점토층이 17~22m 두께로 있으며 지층내 sand seam이 협재되어 있다.

비는 1.276~1.756으로 대부분 CH로서 평가되었다.

2.2 연약지반 특성

2.2.2 역학적 특성

2.2.1 물리적 특성

본 대상구간의 함수비는 23.7~64.7%(평균 47%), 액성한계는 23.7~67.3%(평균 51%), 간극

연약지반의 압밀특성을 보면 그림 5와 같이 압축 지수 $C_c=0.39\sim0.62$ 로서 평가 되었으며, 과압밀비 (OCR)는 심도에 관계없이 거의 OCR=1로 정규압 밀상태에 있는 것으로 분석되었다. 실트층의 압밀계 수 $C_v=0.003\sim0.004\text{cm}^2/\text{s}$, 점성토층의 $C_v=0.001\sim$

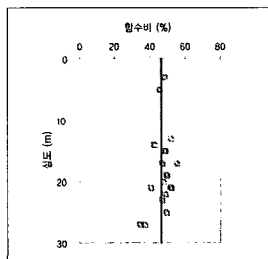


그림 2. 함수비

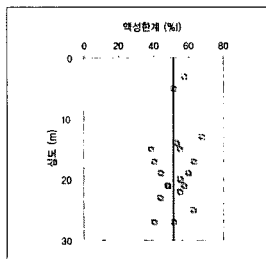


그림 3. 액성한계

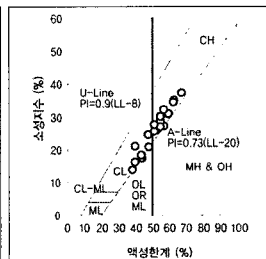


그림 4. 소성도

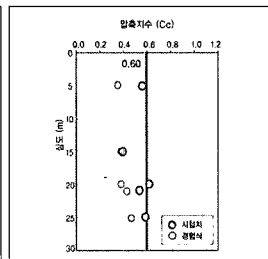


그림 5. 심도별 압축지수

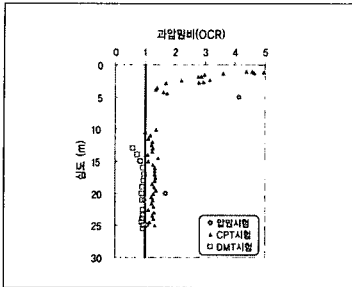


그림 6. 심도별 과압밀비

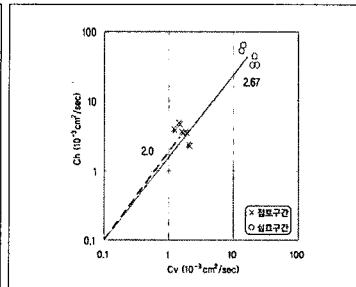


그림 7. C_n-C_v 관계

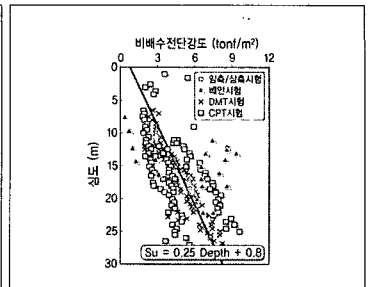


그림 8. 심도별 비배수강도

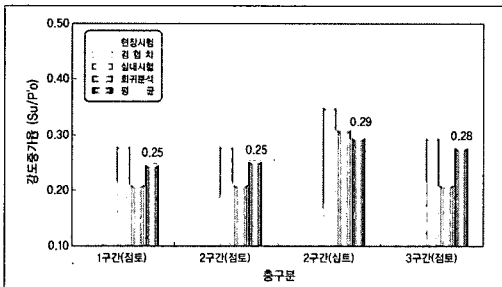


그림 9. 강도증가율

0.002cm²/s를 보이며, C_n-C_v 상관관계는 점토층은 2.0, 실트층은 2.67로 평가되었다(그림 5~7).

비배수강도는 깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 경향을 보이며 0.37~9.30kgf/cm²의 범위를 가지며 강도증가율은 0.25~0.29정도의 값으로 산정되었다(그림 8~9).

3. 인공신경망을 이용한 단계별 침하거동 예측

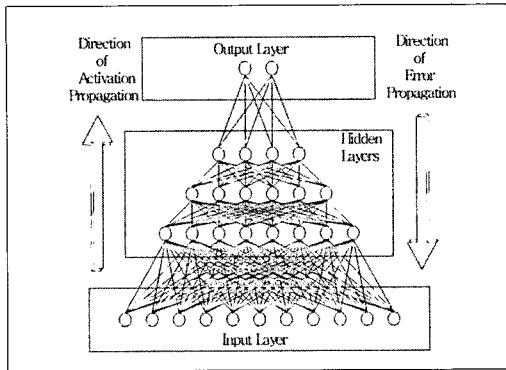
3.1 인공신경망 이론

인공신경망(artificial neural network)은 인간의 생물학적 신경세포의 특성을 수학적 표현에 의해 모델로 하여 간단한 기능을 하는 단위처리기 사이를 연결시킨 망구조로, 단순한 기능을 가진 무수한 처

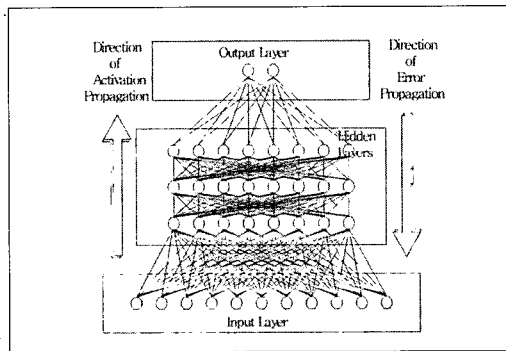
리소자들이 병렬로 연결된 연산구조를 가지고 있다. 인공신경망이론은 여러 분야에서 기존의 방법으로는 해결하기 어려웠던 많은 부분들을 해석하는 새로운 기법으로 최근 들어 급격한 연구증가와 함께 다양한 인공신경망 모델이 등장하고 있다.

인공신경망은 세포들간의 연결가중치를 조정하는 학습을 통해 얻어진 내적 지식을 이용하여 새로운 상황에 일반화 시켜 원하는 자료의 정확성을 향상시키며 학습되지 않았거나 학습된 자료의 일부 파손, 왜곡된 자료의 입력시에도 연결가중치에 저장된 자신의 내적 지식에 따라 적절한 결과를 출력한다.

인공신경망을 구성하는 처리소자들은 비선형 전달함수를 가지고 있어서 시스템의 비선형 특성을 학습할 수 있고 입력과 출력공간의 특성에 따라 연상 기억, 필터, 변환, 인식, 최적화 등의 기능을 수행할 수 있다. 인공신경망은 입력층과 출력층을 거치면서 입력층에서 입력되는 여러 변수들 중에서 출력에 큰 영향을 미치는 변수를 학습규칙에 의하여 선택하게 된다. 여기에서 사용되는 학습규칙은 일반화 델타규칙이며 최급하강법에 의하여 수행되는데 최급하강법은 다층퍼셉트론 인공신경망을 학습시켜 모형의 최적 매개변수를 구하는 방법이다. 이것은 예측값과 실측값의 제곱오차로 표현되는 목적함수의 기울기를 구하여 매개변수공간에서 탐색이동과정을 반복함으로써 오차의 최소점에 도달하고 이때의 매개변



(a) 은닉층 3층 삼각형구조



(b) 은닉층 3층 사각형구조

그림 10. 인공신경망 구조

수를 최적해로 하는 오차역전파 학습알고리즘이다. 인공신경망 학습은 전도IC~신월간 국토 4차로 확장공사현장 계측자료를 이용하였다.

3.2 인공신경망 모델 결정

인공신경망은 해석목적 및 범위를 세분화시킬수록 최적화가 가능하므로 본 해석에서는 모듈형 인공신경망을 도입하여 흙쌓기고에 따라 5개의 모듈(Module)로 나누어 해석을 시행하였다. 침하량의 예측을 위한 최적의 신경망 모델을 결정하기 위해, 은닉층 갯수가 단층, 2층 및 3층 구조로 구성된 삼각형과 사각형 구조의 신경망 모델에 대해 각각 학습율을 0.9, 0.6, 0.3으로 변화시켜가며 학습을 수행하였다. 다음으로 결정된 각 모듈별 은닉층수에 대해 최적의 은닉층 구조모델(사각형구조 or 삼각형구조)을 선정하기 위한 분석을 시행하였다. 그림 10에는 학습이 수행된 삼각형 인공신경망 구조가 도시되어 있다.

학습 결과 삼각형 신경망 구조의 경우, 제1 모듈의 경우는 은닉층 2층 구조와 학습율 0.9인 경우가 최적의 신경망모델로 선정되었으며 그 외의 모듈들은 모두 은닉층 3층 구조, 학습율 0.9인 경우가 최적의 신경망모델로 선정되었다. 은닉층 구조가 단층, 2층 및 3층 구조로 구성된 사각형구조의 신경망 모델에 대해 학습율 0.9인 경우로 학습을 수행하였으며, 학습의 종료조건은 반복연산 회수 5000회로 설정하였다. 은닉층의 형태를 고려한 비교 학습결과를 토대로, 압밀침하량의 예측을 위해 최종적으로

표 1. 최종적으로 선택된 모듈별 신경망 모델

학습율 분류	Module 1	Module 2	Module 3	Module 4	Module 5
은닉층 구조	3층 구조	97.54	95.46	94.33	89.93
은닉층 형태	삼각형 (15-10-5)	삼각형 (15-10-5)	삼각형 (15-10-5)	삼각형 (15-10-5)	사각형 (15-15-15)
학 습 율	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
정 밀 도	97.61	97.54	95.46	94.33	90.59
비 고	성토고 0~2m	성토고 2~4m	성토고 4~6m	성토고 6~8m	성토고 8m이상

지반구조물공 사례

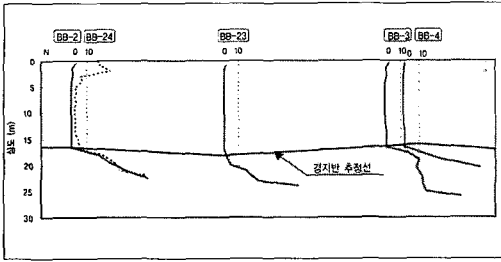


그림 11. 연약지반 토질종단면도

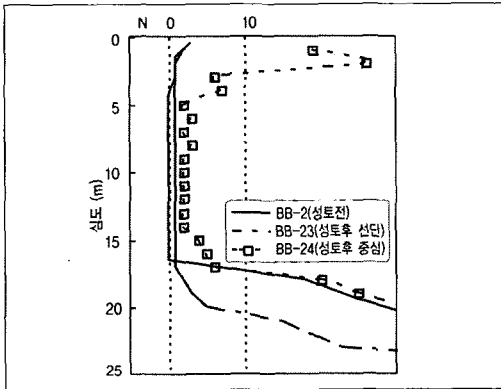


그림 12. 성토 전 · 후의 표준관입시험값 변화

선택된 모듈별 신경망 모델은 표 1과 같다.

3.3 인공신경망 모델 신뢰성 검증

연약지반 위에 단계성토시 각 성토단계별로 연약지반 내에 성토하중에 의한 과잉간극수압이 발생되고 시간이 경과하면서 간극수압이 소산되면서 지반 침하가 발생된다. 전도-신월간 국도확장공사에 단계성토에 따른 침하량실측자료에 대한 역해석을 실

시하였다. 역해석을 위하여 당초 설계 시 및 금회 추가 토질조사자료를 비교분석하여 지층특성 및 토질정수를 결정하였다. 각 성토단계에 부합하는 신경망 모델을 적용하여 과업구간의 침하 경향을 예측하였으며, 신경망을 통해 예측된 결과와 역해석을 통해 예측된 결과를 비교하였다.

3.3.1 지층특성

본 지구의 연약지반은 그림 11과 같이 연약층 두께가 16~21.6m로 표준관입시험치가 N=0~1의 값을 보이고 있으며, 표층 1~3m정도는 건조수축에 의해 다소 고결되어 있으며, 연약층 중간중간에 얇은 모래층(sand seam)이 협재되어 있다. 조사시험결과로부터 성토전 후의 표준관입시험값을 비교하면 그림 12와 같이 성토에 의한 지반의 강도증가가 현저한 것으로 나타났다.

연약지반에서 채취된 비교관입시험결과는 표 2와 같으며, 압밀특성을 보면 압축지수 $C_c=0.54\sim 1.0$ 의 분포를, 압밀계수는 점성토층은 $C_v=0.0006\sim 0.0013\text{cm}^2/\text{s}$ 의 분포로 평균값은 $0.0008\text{cm}^2/\text{s}$ 의 값을 보이고 있으며 과압밀비(OCR.)는 평균 OCR=1.0 정도의 값을 보이고 있다.

3.3.2 인공신경망 모델 신뢰성 검증

인근지역 시공현장인 전도IC~신월간 국도 4차로 확장공사구간에서 조사된 실측자료를 이용하여 침하량 예측값과 인공신경망에 의한 예측치를 비교 분석하여 그림 13에 도시하였다. 검증결과, 압밀초

표 2. 압밀해석관련 토질정수 결정

구분	구역	두께(m)	C_c	C_h	e_0
당초설계 시	3구역	17.5	1	0.00063	2.074
	4구역	17.5	1	0.00063	2.074

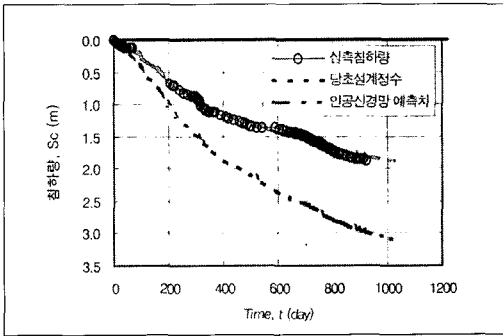


그림 13. 실측계측치와 인공신경망 예측치와의 비교

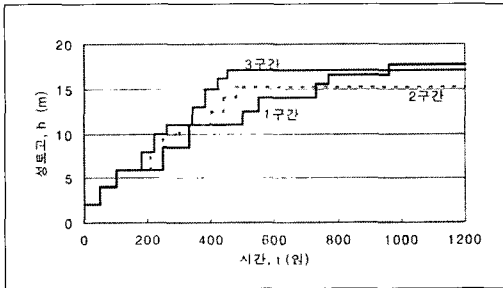


그림 14. 각 구간 별 단계성투 계획

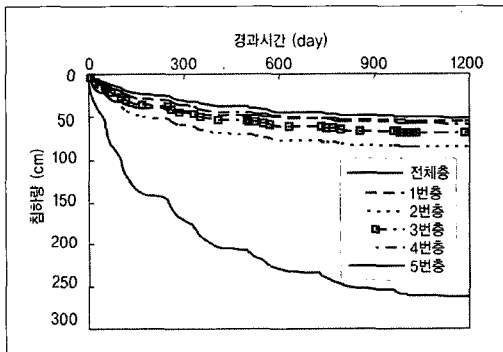


그림 15. 연약지반 제1구간

기에는 이론치와 유사한 경향을 보였으나, 압밀시간의 경과와 함께 인공신경망에 의해 예측된 침하량이 다소 크게 평가 되었으며 최종단계에서 역해석 결과에 비해 약 12.7%정도 더 크게 예측되었다. 이러한 결과는 일반적으로 이론식에 의한 연약지반의 침하

량예측을 위해 적용되는 연약지반의 각종 시험결과들이 시료교란의 원인에 의한 오차를 내포하며, 특히 연약지반의 경우 압축지수 C_c 와 압밀계수 C_v 가 교란에 의해 과소평가되어 침하량이 작게 평가된 것으로 판단된다.

3.4 인공신경망을 이용한 단계별 침하거동 예측

연직배수공법에서 배수재의 통수능을 고려한 압밀해석으로 Hansbo(1979, 1981), Onoue(1988) 등의 압밀해석 방법이 제시되어 있으나 이 방법들은 단계성투를 고려할 수 없어 본 지구에 사용할 수가 없다. 그래서 단계성투를 고려할 수 있는 김(1998)의 해석방법을 사용하였다. 각 구간별 단계성투 계획은 그림 14와 같이 성투하는 조건으로 연직배수공법에 대하여 압밀해석을 실시하였다. 배수재의 타설 간격은 1구간은 $S=140\text{cm}$, 2, 3구간은 $S=150\text{cm}$ 로 하였다.

선정된 최적 인공신경망 구조를 적용하여 학습을 실시한 후 연약지반 1, 2, 3구간에서의 장래 침하량을 예측하여 그림 15~17에 나타내었다. 장래침하량 예측결과 1구간이 264cm, 2구간이 171cm, 3구간이 205cm로 평가되었으며 1구간이 가장 크게 평가되었으며 설계 침하량과 유사하게 평가되었다.

4. 결론

일반적으로 연약지반의 압밀 침하량 예측은 적용되는 연약지반의 각종 시험 결과들이 시료교란의 원인에 의한 오차를 내포하며, 특히 연약지반의 경우 실내실험을 통해 구한 압축지수(C_c)와 압밀계수

지반구조물공 사례

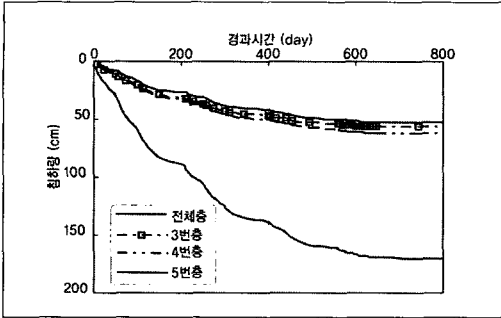


그림 16. 연약지반 제2구간

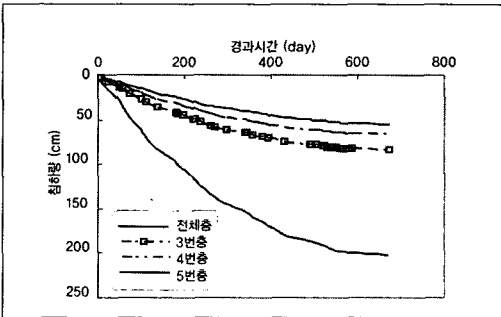


그림 17. 연약지반 제3구간

(C_v)가 시료채취, 운반 및 시험시의 교란에 의해 실제 원지반의 특성값을 올바르게 반영하기 어려운 것이 사실이다. 또한, 연약지반의 압밀 침하량 예측을 위해 제안된 이론식 역시 여러 가정 사항들에 의해 오차를 포함하고 있는 것이 사실이다. 따라서, 이러한 측면들을 극복하기 위한 방안으로 시험값의 보정을 통한 지반정수의 오차보정이나 보다 다양한 조건에 적용 가능한 이론식의 개발 등을 통해 보다 정확한 침하량 예측을 위한 연구들이 수행되어 온 바 있다.

본 연구에서는 연약지반의 압밀침하량 예측시 발생하는 오차 요인들을 소거하여 보다 정확한 압밀침하량 예측을 위한 연구를 수행하였다.

먼저 이론식에 의해 발생하는 오차요인을 제거하여 보다 정확한 압밀침하량을 예측하기 위한 방안으로서 주어진 지반 특성치와 실제 계측자료를 반영한

압밀침하량의 관계를 이론식이 아니라 인공신경망을 통해 규정하여 보다 실제에 근접한 침하량을 예측하고자 하였다. 또한, 시험에 의해 산정된 연약지반의 특성값들을 실제 계측자료의 역해석을 통해 보정하여 적용함으로써 보다 실제에 근접한 침하량을 예측하고자 하였다. 본 설계에서 제안된 예측방법들은 압밀침하량 예측시 포함되는 여러 오차요인을 효과적으로 소거하여 보다 현실에 부합하는 침하량을 예측하는 것으로 평가되며, 이를 통해 합리적이고 현실적인 압밀침하량 및 압밀소요기간의 예측이 가능할 것으로 평가된다.

참고문헌

1. 김현태(1998), "스미어존내 투수성변화와 웰저항을 고려한 연직배수공법의 압밀해석", 동국대학교 박사 학위 논문.
2. 진주 광양간 철도조성공사 T/K 보고서, (2005)
3. 전도IC~신월간 국도 4차선 확장공사 계측보고서, (2004)
4. Hansbo, S.(1979), "Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains", Ground Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 21~25.
5. Hansbo, S.(1981) "Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains", Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Stockholm, Sweden Vol. 3, paper 12/22, pp. 677~682.
6. Onoue, a.(1988), "Consolidation by vertical drains taking well resistance and smear into consideration", Soils and Foundations, Vol. 28, No. 4, pp. 165~174.