

# 콘크리트궤도 침하억제를 위한 파일네트공법 적용성 검토

## Application of Pile Net Method to restrain the Soft Ground settlement in Concrete Track

이일화\*      이성진\*\*      이수형\*\*\*      방의석\*\*\*\*      정장용\*\*\*\*\*  
Lee, Il-Wha    Lee, Sung-Jin    Lee, Su-Hyung    Bang, Eui-Seok    Jung, Jang-Yong

---

The problems associated with constructing high-speed concrete track embankments over soft compressible soil has lead to the development and/or extensive use of many of the ground improvement techniques used today. Drains, surcharge loading, and geosynthetic reinforcement, have all been used to solve the settlement and embankment stability issues associated with construction on soft soils. However, when time constraints are critical to the success of the project, owners have resorted to another innovative approach. Especially, the design criteria of residual settlement is limited as 30mm for concrete track embankment, it is very difficult to satisfy this standard using the former construction method. Pile net method consist of vertical columns that are designed to transfer the load of the embankment through the soft compressible soil layer to a firm foundation and one or more layers of geosynthetic reinforcement placed between the top of the columns and the bottom of the embankment. This paper will present the guidelines for the design of pile net method to supported embankments. These guidelines were developed based on a review of current design methodologies and a parametric study of design variables using numerical modeling.

---

### 1. 서론

연약지반 상의 성토시공은 성토자체의 안정성과 함께 성토구조물의 대상에 따른 허용 침하에 대한 기준을 동시에 고려해야 한다. 일반적으로 적용 대상, 현장 및 시공 조건에 따라 적합한 연약지반 대책공법이 선정되어야 할 것이지만, 고속철도 콘크리트궤도를 위한 성토구조물의 경우, 허용잔류침하량이 30mm로서 이에 대한 기준을 만족할 수 있는 연약지반 처리, 보강 공법이 요구된다. 특히 설계시에는 일반적으로 1차 압밀침하량만 고려하게 되는데, 2차 압밀침하량과 크립침하량을 고려하게 되면, 기존의 연약지반처리공법으로는 허용잔류침하기준을 만족시키는 것이 어렵다.

본 연구에서는 고속철도 콘크리트궤도의 엄격한 허용잔류침하량을 만족하기 위한 대책공법으로 국내의 설계 및 시공사례를 고려하여 1) P.B.D공법, 2)모래다짐말뚝공법(S.C.P), 3)쇄석다짐말뚝공법, 4)심층혼합공법 5)파일네트공법에 대해 안정성 및 허용잔류침하량을 만족하는 설계기준으로 검토하였다. 검토 결과를 바탕으로 성토 및 공용하중을 연약지반 하부 지지층까지 전달 지지시키는 성토지지

---

\* 한국철도기술연구원 철도구조연구실 선임연구원 정희원

\*\* 한국철도기술연구원 철도구조연구실 선임연구원 정희원

E-mail : [geolsj@krii.re.kr](mailto:geolsj@krii.re.kr)

TEL : (031)460-5072, FAX : (031)460-5319

\*\*\* 한국철도기술연구원 철도구조연구실 선임연구원 정희원

\*\*\*\* 유신코퍼레이션 지반공학부 부장

\*\*\*\*\* 한국철도시설공단 기술본부 KR기술연구소 팀장 정희원

말뚝공법인 파일네트(Pile Net)공법에 대해 검토하였으며, 가정된 연약지반에 대해 설계 예제해석(PLAXIS)을 통해 본 공법의 적용성을 검토하고자 하였다.

### 1.1 콘크리트 궤도의 잔류침하특성

콘크리트궤도의 침하는 우선 열차의 주행안정성에 막대한 영향을 미친다. 침하가 발생하게 되면 우선 국부적인 궤도의 틀림이 발생하게 되고 틀림은 고속의 이동하중의 영향으로 인하여 주변으로 전파되며 궤도틀림은 진전하게 된다. 일단 침하가 발생하게 되면 노반에서 일차적으로 변위가 발생하여 궤도슬래브까지 침하가 발생한다. 궤도슬래브에서의 과도한 침하는 균열 및 단차를 유발하여 최종적으로는 궤도구조물이 파괴에 이른다. 궤도에서 국부적인 궤도틀림이 발생하였을 경우, 체결장치 등을 이용하여 조정이 가능하지만, 하부구조에서 원인이 되는 과도한 침하나 변형이 발생할 경우, 유지보수는 대단히 어려워지게 된다. 즉 하부구조의 강성차, 국부적인 침하나 배수불량에 의한 노반 연약화 등이 발생하였을 경우에는 하부구조를 보강하여야만 하기 때문에 열차를 차단할 수 없는 영업선에서는 유지보수에 많은 어려움이 따른다. 따라서 토공구간에 콘크리트궤도를 건설할 경우에는 모든 가능한 변수를 고려하여 보다 안전측으로 설계하여야 하며 궤도구조와의 상호작용이 고려된 노반의 거동을 합리적으로 평가하고 예측하는 것이 필요하다.

### 1.2 허용 잔류 침하 기준

다음 표 1에서 호남고속철도 설계지침과 독일, 일본 및 대만 등 국외의 잔류 침하량 기준을 비교하였다. 독일 및 일본의 경우, 허용잔류침하량은 궤도시공 후 20~30mm를 제안하고 있다. 대만의 경우는 10mm/20m로 상대치침으로만 규정하고 있지만 실제 준공 시에는 절대침하량 기준을 적용한 것으로 알려져 있다. 침하발생의 패턴이 긴 연장에 걸쳐 균등하게 발생한다면 침하 자체는 궤도에 큰 영향을 미치지 않는다. 단지 침하가 발생하는 시점에서의 부등침하가 치명적인 것이기 때문에 독일의 기준은 이를 감안하여 균등침하로 볼 수 있는 연장(20m)을 제시하거나 꺾임각 기준을 제한하여 부등침하를 제한하고 있다.

표 1. 각 국의 허용잔류침하량의 비교

구분	콘크리트궤도 허용잔류침하기준
국내 (호남고속철도)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 콘크리트궤도의 노반침하는 궤도 부설 완료 후를 기준으로 하고 지반면고(Formation Level)로부터 열차하중에 따른 압축침하와 잔류침하의 합이 30mm를 넘지 않는 것으로 한다. 이 경우 열차하중에 따른 침하는 별도의 계산이 없는 경우에는 5mm를 적용해도 되며, 따라서 노반의 허용잔류침하량은 25mm를 넘지 않아야 한다.</li> <li>- 분지모양으로 잔류침하형태가 나타날 경우 큰 반경(중곡선)으로 보정되는 것이 허용될 수 있으므로 경사부를 <math>r_a &gt; 0.4 \times V_e^2</math>에 따라 보정할 수 있을 때, 공단과 협의 하에 잔류침하량을 60mm까지 허용할 수 있다. 여기서 <math>r_a</math>는 보정반경(m)을 의미하고 <math>V_e</math>는 설계속도 km/h를 의미한다.</li> </ul>
독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 궤도 부설 후 허용잔류침하량(열차하중 포함) 20-30mm*</li> <li>- 20m 이상 균등침하 시 허용 잔류침하량(열차하중에 의한 침하량 최대 5mm 제외) 30-50mm* 까지 허용</li> <li>- 분지형 침하 시 최대허용잔류침하량 60mm</li> <li>(<math>r &gt; 0.4V_e^2</math> 이상의 중곡선으로 보정 가능한 경우에 한함)</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 궤도 부설 후 10mm이하/10년</li> <li>- 최대허용잔류침하량 30mm</li> </ul>
대만	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 10mm/20m</li> </ul>

## 2. 원지반 개량공법 검토

연약지반의 압밀침하에 대한 대책공법은 개량원리에 따라 크게 연직배수재를 이용한 압밀침하 촉진공법과 설계하중보다 큰 과대하중을 재하하여 잔류침하량을 감소시키는 하중조절공법으로 나누어진다. 하중조절공법은 계획하중보다 큰 추가하중을 재하하여 잔류침하량을 감소시키는 공법으로서 연약층 심도가 깊은 경우 Vertical Drain공법과 병행하여야 한다. 연직배수공법은 연직배수재(Vertical Drain)을 타설하여 배수거리(압밀소요시간)를 단축하므로써 재하하중에 의한 압밀을 조기에 완료하는 공법으로 국내외적으로 가장 많이 적용된 공법이다. 본 검토에서는 연약층 심도, 계획고 및 공학적 특성 등을 감안하고 1차적으로 시공성, 안정성 측면과 개략적인 공사비를 비교 분석하기 위해 연약지반의 처리공법 조합방식 보다는 단일공법에 의한 연약지반 처리방안을 검토하였다. 검토된 대표단면은 다음 그림 및 표와 같다.

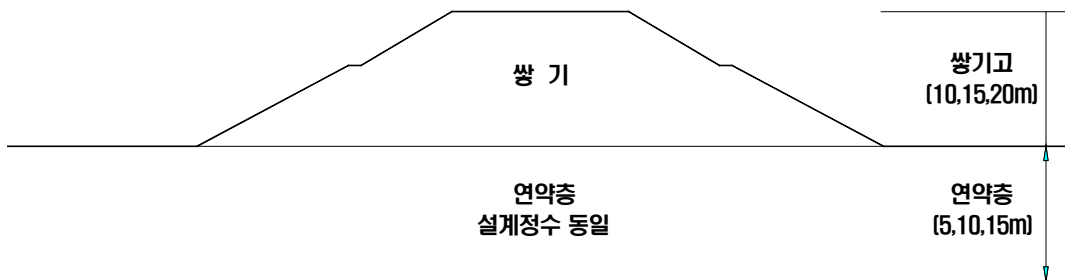


그림 1. 연약지반 대책공법 검토 단면

표 2. 연약지반 대책공법 및 검토 단면

쌓기고(m)	10m, 15m, 20m
연약층두께(m)	5m, 10m, 15m
개량공법	PBD+압성토, 모래다짐말뚝, 쇄석다짐말뚝, 심층혼합처리, 성토지지 말뚝

연약지반 처리공법은 국내의 설계 및 시공사례를 고려하여 1) P.B.D공법, 2)모래다짐말뚝공법(S.C.P), 3)쇄석다짐말뚝공법, 4)심층혼합공법 5)파일네트공법에 대해 안정성 및 허용잔류침하량을 만족하는 설계기준으로 검토하였다. 상기 공법 중 1), 2), 3)공법은 하중조절공법과 연직배수재를 이용한 공법이 필히 조합되어야 하며, 4), 5)공법은 단일한 심층혼합공법 만으로도 연약지반 처리가 가능할 것으로 판단된다. 연약지반의 개량 공기는 총공사기간 5년(60개월)에서 전반부의 준비공과 중반부의 레도부설기간을 각각 1년으로 가정하고 순수한 토공기간(흙쌓기 + 연약지반 처리공 시공 및 방치)을 3년(36개월)로 가정하였다.

연약층 두께 5m 경우 쌓기고가 증가할수록 공사비도 증가하는 경향을 나타내며, 공법별 경제성은 PBD+압성토(쇄석다짐말뚝)이 가장 경제적이며, 쇄석다짐말뚝공법 → 모래다짐말뚝공법 → 성토지지 말뚝 → 심층혼합처리공법 순이다. 공법별 공사비를 비교해 보면, PBD+압성토” 해당공사비를 1로 보면 쌓기고10m에서 1.0~2.3 / 15m에서 1.3~2.5 / 20m에서 1.9~3.2로 쌓기고가 높을수록 비율이 증가하는 양상을 보였다.

연약층 두께 10m 경우 쌓기고가 증가할수록 공사비도 증가하는 경향을 나타내며, 공법별 경제성은 PBD+압성토(쇄석다짐말뚝)이 가장 경제적이며, 쇄석다짐말뚝공법 → 성토지지 말뚝 → 모래다짐말뚝공법 → 심층혼합처리공법 순이다. 공법별 공사비를 비교해 보면, PBD+압성토” 해당공사비를 1로 보면 쌓기고10m에서 1.4~3.1 / 15m에서 1.7~2.9 / 20m에서 2.0~3.7로 쌓기고가 높을수록 비율이 증가하는 양상을 나타내며 성토고 20m에서는 증가비율이 상대적으로 큰 것으로 보였다.

연약층 두께 15m 경우 쌓기고가 증가할수록 공사비도 증가하는 경향을 나타내며, 공법별 경제성은 PBD+압성토(쇄석다짐말뚝)이 가장 경제적이며, 쇄석다짐말뚝공법 → 성토지지 말뚝 → 모래다짐말뚝공법 → 심

층혼합처리공법 순이다. 공법별 공사비를 비교해 보면, "PBD+압성토" 해당공사비를 1로 보면 쌓기고10m에서 1.5~3.0 / 15m에서 1.4~2.6 / 20m에서 1.8~2.3로 쌓기고가 높을수록 비율이 증가하는 양상을 나타내며 성토고 20m에서는 증가비율이 상대적으로 큰 것으로 보인다. 이는 연약층 10m 경우와 거의 비슷한 양상을 보였다.

경제성에 대한 검토결과, PBD공법이 가장 경제적이며 쇄석다짐말뚝공법 ⇒ 파일네트공법 ⇒ 모래다짐말뚝공법 ⇒ 심층혼합처리공법 순인 것으로 나타났다. 그러나 상기 결과는 시공비에 대한 검토결과로서 공기단축, 민원감소 등에 대한 편익에 대한 기회비용을 고려한다면 공기가 짧은 공법이 유리할 것으로 판단된다.

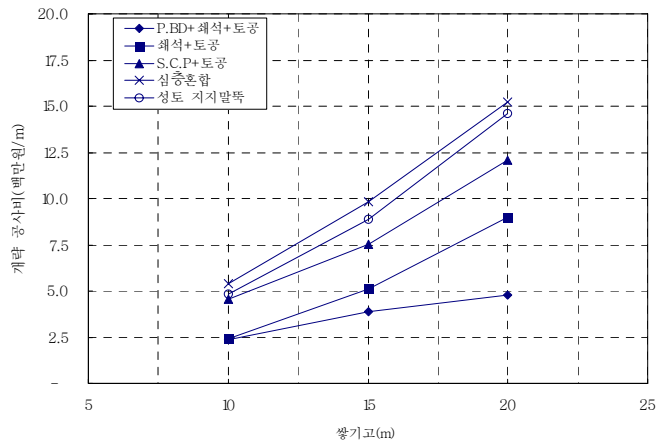


그림 2. 연약층 두께 5m 경우 개량공법 및 쌓기고별 분석

※ 개략공사비는 대표횡단면도에 대하여 종단(길이)방향으로 단위길이(1m)에 해당하는 공사비임.

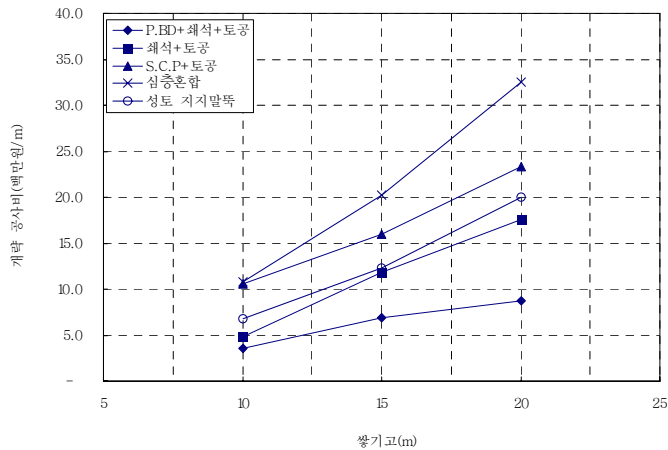


그림 3. 연약층 두께 10m 경우 개량공법 및 쌓기고별 분석

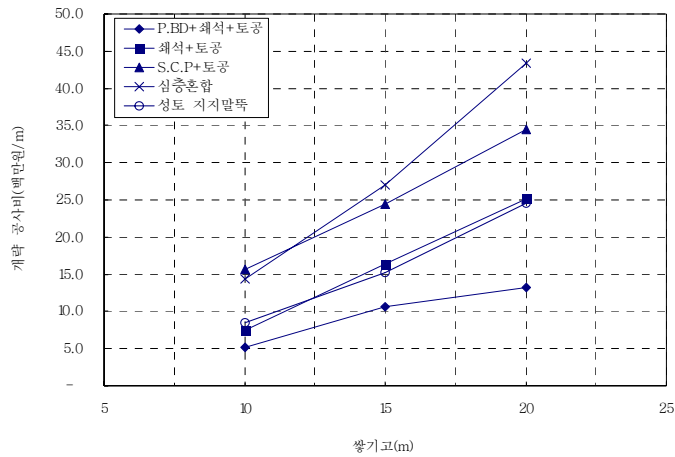


그림 4. 연약층 두께 15m 경우 개량공법 및 쌓기고별 분석

각 개량공법에 대한 잔류침하량을 검토하였다. 본 검토에서는 콘크리트레도의 허용잔류침하기준이 엄격하기 때문에 1차, 2차, 크리프침하를 모두 고려하였다. 지반에 침하량을 야기할 수 있는 요소를 살펴보면 연경도가 높은 연약지반( $N > 6$ )에서도 실제적으로 압밀침하량은 발생하며 2차 압밀침하량도 연약층 두께의 최대 1.5%까지 발생할 수 있다. 따라서 압밀축진공법(PBD, SCP, 쇄석다짐)의 경우, 성토체의 Creep 침하 등을 고려할 때 현재 설계에서 고려하는 1차원 압밀침하량 이외의 30mm 이상 발생하는 것으로 나타났다. 2차 압밀침하량은 1차 압밀침하량과 달리 Preloading을 적용하여도 시간이 경과함에 따라 잔류침하량이 발생하므로 설계 및 시공단계에서 제어하기가 어렵기 때문에 잔류침하량을 만족하기 위해서는 과도한 방치기간이 요구되기 때문에 콘크리트레도에서는 침하억제공법이 추천된다.

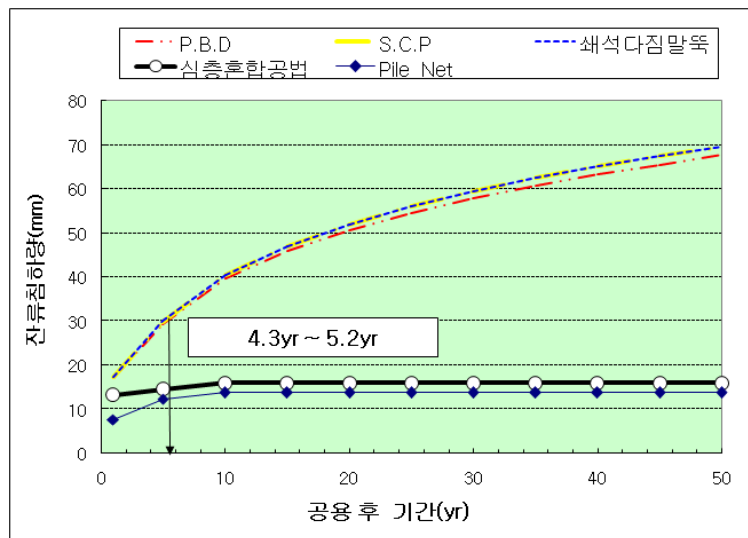


그림 5. 공법별 잔류침하량 예상치

공기에 대한 검토결과, 심층혼합공법과 파일네트공법이 10개월이 소요되고 PBD공법의 경우, 37개월이 소요되는 것으로 나타났다.

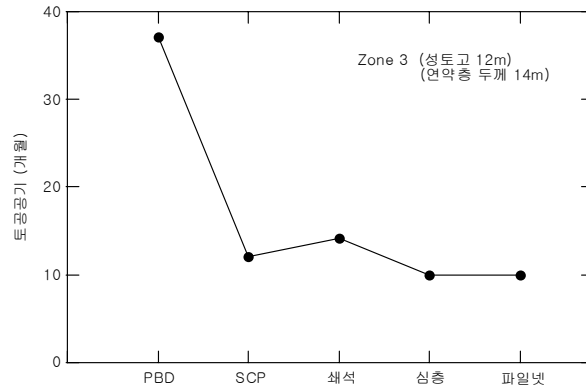


그림 6. 공법별 소요 공기 비교

드레인 계열의 압밀촉진공법은 그 압밀효과에 대하여 국내외에서 많은 논란이 있어 왔다. 현재까지의 정설은 해안가의 대규모 해성점토의 처리효과는 인정되지만, 내륙지반에서의 압밀효과는 미미한 것으로 평가된다. 다음 그림은 일본(JR)에서 조사한 대책공법별 연약지반의 개량효과에 대한 그림으로서 연약층의 두께에 대한 침하량의 관계를 나타낸다. 이에 따르면 침하량은 상당한 범위에 분산되어 있으며, 분명히 효과가 있는 DMM(심층 혼합처리공법) 이외에는 공법에 의한 차이는 별로 없는 것으로 나타났다.

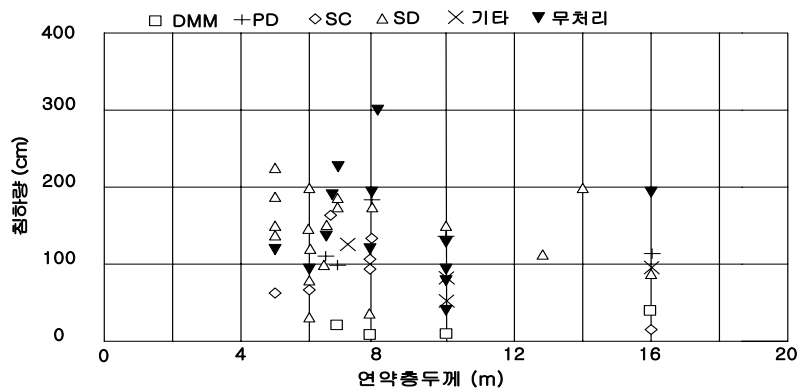


그림 7. 처리공법별 침하량의 비교

따라서 드레인공법, 모래다짐말뚝, 쇄석다짐말뚝과 같이 압밀촉진공법은 장기잔류침하에 대한 불확실성이 크고 시공성면에서 불리하기 때문에 침하억제공법을 사용하는 유리하며, 이중 시공비가 저렴한 파일네트공법을 적용하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

### 3. 파일네트(Pile Net) 공법

연약지반상 성토 시공은 성토자체의 안정성과 함께 침하에 대한 안정성을 동시에 고려해야만 한다. 두가지 조건 중 어느 한가지라도 만족되지 못하면 구조물의 안정성을 보장할 수 없기 때문이다. 연약지반 침하 및 측방유동에 대한 대책공법 중 성토지지말뚝 공법은 말뚝 위 성토지반의 지반아칭현상을 이용하여 성토 하중을 말뚝을 통해 직접 지지층에 전달시킴으로써 구조물의 안전성을 도모하고 연약지반의 측방유동을 적극 억제시킬 수 있는 공법이다. 다음 그림은 파일네트공법의 전형적인 설치 단면도이다. 즉 그림에서 보는 바와 같이 교대, 옹벽, 안벽 등의 뒤채움부와 연약지반 상에 설치된 도로나 철도성토의 하부기초구조물로 사용될 수 있다. 또한 파일네트공법은 구조물의 안전성 향상과 경제성 측면을 고려하여 말뚝과 성토지반

사이에 토목섬유(주로, 지오그리드)를 보강한 형태로 시공하게 된다. 토목섬유와의 복합시공은 토목섬유의 인장력으로 지탱함으로써 연약지반 압밀침하 및 지표침하를 줄이면서 성토사면의 활동을 억제시킬 수 있다. 또한 말뚝으로의 성토하중 전이효과를 증대시킴으로써 말뚝의 설치간격을 넓힐 수 있는 이점이 있다.

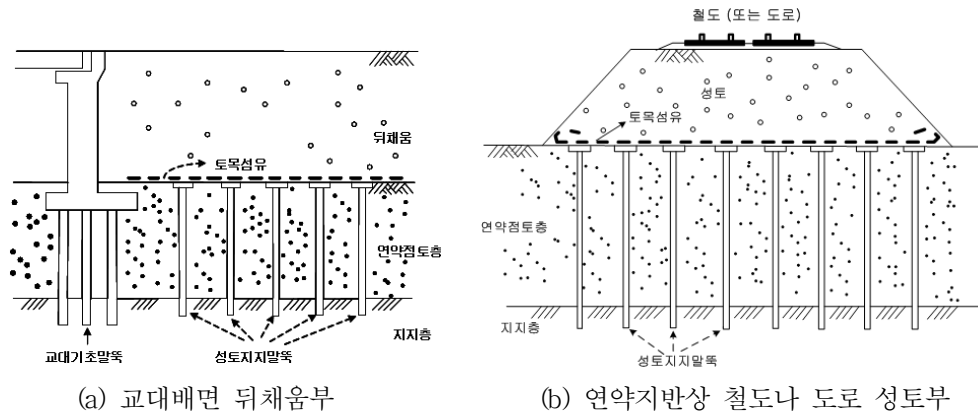


그림 8. 성토지지말뚝의 전형적인 시공 단면

파일네트공법의 원리는 연약지반층 아래 견고한 지지층까지 말뚝을 관입하여 지지시킨 후 이들 말뚝 위에 성토를 실시함으로써 성토하중을 말뚝을 통하여 견고한 지지층으로 전이시키고 연약지반에는 작용하지 않게 하는 것이다. 즉, 말뚝 위의 성토지반 속에는 말뚝과 연약지반의 상대적인 변형 차이에 의해 지반아칭 현상이 발생하여 대부분의 성토하중이 말뚝을 통하여 견고한 지지층으로 전달되게 된다. 따라서 연약지반에는 미소한 성토하중만이 전달되어 성토하중으로 인하여 유발되는 연약지반의 과다한 침하와 측방유동을 억제시킬 수 있다. 즉, 연약지반 속에 관입된 성토지지말뚝은 크게 두 가지 효과를 가지게 된다. 하나는 연약지반의 측방유동에 말뚝이 저항하여 측방유동을 방지시키는 효과이고 다른 하나는 연약지반에 직접 작용하는 성토하중을 지반아칭현상을 통해 경감시키는 효과이다. 따라서 연약지반의 개량이 불충분한 상태에서도 성토를 빠른 속도로 시공할 수 있어 공기단축 효과가 대단히 우수한 장점이 있다.

아직까지 국내에서는 이 공법의 적용실적이 많지 않은 실정이지만 외국 특히, 북미, 북유럽 및 동남아시아에서는 많이 활용되고 있는 공법이다. 이들 시공사례는 Holmberg(1978), Reid & Buchanan(1983), Chin(1985), Combarieu & Pioline(1990), Gartung & Verspohl(1996) 등에 의해 보고된 바 있다. 외국에서의 성토지지말뚝 시공사례에 의하면, 연약지반의 측방유동을 적극 억제할 수 있을 뿐 아니라, 시공성 및 경제성 측면에서도 효과적임이 입증되고 있다. 즉, 성토지지말뚝공법은 말뚝 설치 후(현장 상황에 따라 토목섬유로 보강), 즉시 성토를 시공할 수 있기 때문에 지반개량을 위한 압밀소요기간이 필요없게 되어 공사기간을 단축시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 파일네트(Pile Net)공법 수치해석 예

파일네트(Pile Net)공법이 연약지반에 시공되었을 경우 침하 및 활동에 대한 안정성을 검토하기 위하여 가정된 단면에 대해 수치해석을 수행하여 그 결과로 적용성을 분석해 보았다.

- (1) 지반물성치 : 성토재 및 지지층(Mohr-Coulomb),  
연약지반(Cam Clay model)
- (2) Pile 요소 : Beam 요소
- (3) Geogrid 요소 : Geotextile 요소(인장부재)

표 3. 구성모델별 입력물성치

구 분	단 위	성토층	중간층	연약지반	기반암
			쇄석		
구성방정식	-	M-C	M-C	Cam Clay	M-C
단위중량( $\gamma$ )	kN/m <sup>3</sup>	19	20	16	21
점 착 력(c)	kN/m <sup>2</sup>	15	0	25	100
내부마찰각( $\phi$ )	°	25	40	-	33
탄성계수	kN/m <sup>2</sup>	2×10 <sup>4</sup>	1.5×10 <sup>5</sup>	-	1.0×10 <sup>6</sup>
Cc	-	-	-	0.440	-
Cr	-	-	-	0.044	-
e <sub>0</sub>	-	-	-	1.383	-
k'	-	-	-	0.080	-
$\lambda$	-	-	-	0.016	-
Interface	-	-	0.9	0.9	-
Kx	m/day	1.0	1.0	1.0×10 <sup>-4</sup>	1.0×10 <sup>-4</sup>
Ky	m/day	1.0	1.0	1.0×10 <sup>-4</sup>	1.0×10 <sup>-4</sup>
배수조건	-	배수	배수	비배수	배수

표 4. 파일네트 설계정수

구 분	단 위	Pile	Pile Cap	Geogrid	
탄성계수(E)	kN/m <sup>2</sup>	3.5×10 <sup>7</sup>	3.5×10 <sup>7</sup>	-	
직경(D)	m	0.5	0.5(높이)	-	
단면적(A)	m <sup>2</sup>	0.1571	0.5	-	
2차단면모멘트(I)	m <sup>4</sup>	5.54×10 <sup>-3</sup>	1.04×10 <sup>-2</sup>	-	
EA	2.8m×2.8m	kN/m	1.96×10 <sup>6</sup>	6.25×10 <sup>6</sup>	-
	2.3m×2.3m		2.39×10 <sup>6</sup>	7.61×10 <sup>6</sup>	-
	2.1m×2.1m		2.62×10 <sup>6</sup>	8.33×10 <sup>6</sup>	-
EI	2.8m×2.8m	kN·m <sup>2</sup> /m	6.79×10 <sup>4</sup>	1.35×10 <sup>5</sup>	-
	2.3m×2.3m		8.26×10 <sup>4</sup>	1.59×10 <sup>5</sup>	-
	2.1m×2.1m		9.05×10 <sup>4</sup>	1.74×10 <sup>5</sup>	-
중량(w)	2.8m×2.8m	kN/m/m	1.36	4.1	-
	2.3m×2.3m		1.65	5.00	-
	2.1m×2.1m		1.80	5.48	-

#### 4.1 해석방법

(1) 해석방법은 연약점토층에 대한 압밀해석이 가능한 Soft Soil Model (예:Cam Clay)을 적용하고 공용후 침하량이 허용침하량(30mm)이내에 수렴하도록 파일넷 간격을 산정하고자 3가지 경우에 대하여 수행하였음.

- (2) 성토+방치기간 : 3년
- (3) 최종 해석조건

표 5. 단면별 해석 방법

구 분	해석 Model	점착력 c <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	Geogrid		중간층		파일넷 간격 (m)
			EA (kN/m)	층	재료	두께 (m)	
단면 1	Cam-Clay	25	2,000	2	쇄석	1.1	2.8m×2.8m
단면 2	Cam-Clay	25	2,000	2	쇄석	1.1	2.3m×2.3m
단면 3	Cam-Clay	25	2,000	2	쇄석	1.1	2.1m×2.1m



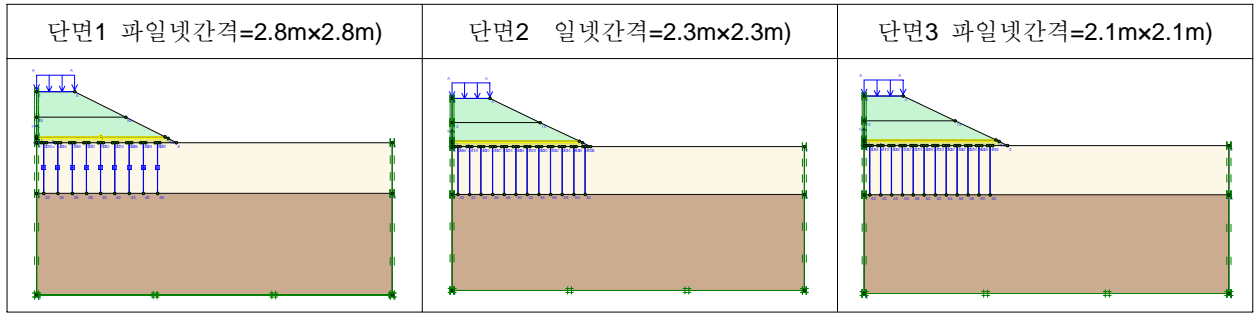


그림 9. 해석단면도

※지반조건 : 성토고 10m, 공용하중 70kN/m<sup>2</sup>, 연약층 두께 10m

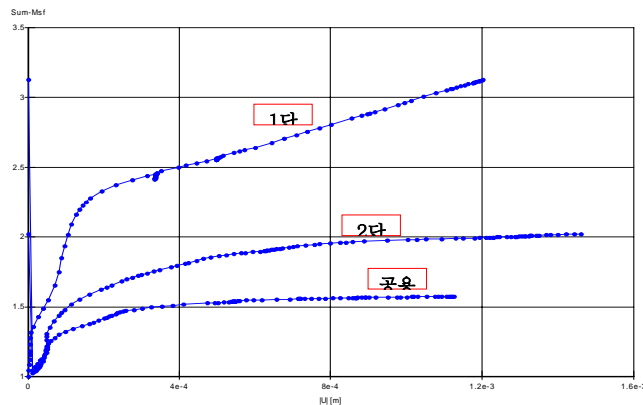


그림 10. 단계별 비탈면 안정성

해석결과는 성토후와 공용후로 구분하여 각각의 침하량을 산정하였으며, 성토체의 자체 탄성침하량은 성토 중에 발생할 것으로 판단되므로 파일넷 간격에 따른 침하량 산정은 Geogird 포설면을 기준으로 선정하였다. 따라서, 공용후 잔류침하량은 Geogird 포설면에서 공용후 침하량과 성토후 침하량의 차로 산정하였다.

#### 4.2 파일네트 수치해석 결과

구 분	파일넷 간격 (m×m)	Geogrid			Pile		
		성토후 침하량 (mm)	공용후 침하량 (mm)	잔 류 침하량 (mm)	Tens. F. (kN/m)	Mmax (kN·m/m)	Hmax (kN/m)
단면1	2.8×2.8	54	91	37	-	-	-
단면2	2.3×2.3	27	56	29	40.9	86.8	45.7
단면3	2.1×2.1	24	47	23	-	-	-

(1) 허용잔류침하량 30mm를 만족하는 파일넷의 적정 간격은 2.3m×2.3m이하로 검토되었음.  
(2) 파일넷의 간격을 2.3m×2.3m로 계획할 때, 비탈면의 활동안정성, Geogrid의 인장력 및 Pile의 부재력 검토결과는 다음과 같음.

- 1) 활동에 대한 안정성 : 공용후 장기안전율 1.57이상 > 기준안전율 1.5 (∴O.K)
- 2) Geogrid 인장력 : 40.9kN/m < 150kN/m (∴O.K)
- 3) Pile 모멘트 : 86.8kN□m/m < 항복모멘트 193kN□m/m (∴O.K)

## 5. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 고속철도 콘크리트케도의 엄격한 허용잔류침하량을 만족하기 위한 대책공법으로 압밀침하촉진공법, 침하억제공법 등에 대해 안정성 및 허용잔류침하량을 만족하는 설계기준으로 경제성 및 공시기간을 평가하였다. 평가 결과 적용성이 높은 공법으로 선정된 파일네트(Pile Net)공법에 대해 공법 특성, 설계 과정 및 가정된 연약지반에 대한 설계 예제해석(PLAXIS)을 통해 본 공법의 적용성을 검토하였다.

- (1) 검토는 총 5가지 공법을 검토하였다. P.B.D공법, 모래다짐말뚝공법, 쇄석다짐말뚝공법은 압밀촉진공법으로서 압밀촉진(지하수 배출)을 통하여 침하를 안정시키며, 침층혼합공법, 파일네트공법은 암반에 기초저부를 설치하여 침하를 완전히 억제시키는 방식이다.
- (2) 각 공법에 대한 설계검토 결과, 설계상으로는 잔류침하량을 모두 만족할 수 있으나, 2차 압밀 및 성토체의 Creep 침하 등을 고려할 때 현재 설계에서 고려하는 1차원 압밀침하량 이외의 30mm 이상은 충분히 발생할 수 있을 것으로 예상된다. 2차 압밀침하량은 1차 압밀침하량과 달리 Preloading을 적용하여도 시간이 경과함에 따라 잔류침하량이 발생하므로 설계 및 시공단계에서 제어하기가 어렵기 때문에 잔류침하량을 만족하기 위해서는 과도한 방치기간이 요구되기 때문에 콘크리트케도에서는 침하억제공법이 추천된다.
- (3) 드레인공법, 모래다짐말뚝, 쇄석다짐말뚝과 같이 압밀촉진공법은 장기잔류침하에 대한 불확실성이 크고 시공성면에서 불리하기 때문에 침하억제공법을 사용하는 유리하며, 이중 시공비가 저렴한 파일네트공법을 적용하는 것이 합리적일 것으로 판단되었다.
- (4) 설계 예제 해석을 통해 파일네트공법의 콘크리트케도 적용 시 활동안정성, 토목섬유 인장력, 말뚝 모멘트, 침하억제효과 등을 확인할 수 있었다.
- (5) 그러나 본 논문에서 검토된 파일네트 공법을 포함한 성토지지말뚝의 국내 적용을 위해서는 국내 실정에 맞는 설계기준 정립은 물론 해외 적용 기준의 정확한 파악이 요구된다.

## 참고문헌

1. 이광우(2006), 연약지반 측방유동 억제를 위한 토목섬유보강 성토지지말뚝시스템의 설계법, 박사학위논문, 중앙대학교대학원
2. British Standard Institution(1995), "BS8006. Code of Practice for Strengthened/reinforced soils and other fills", London
3. Chin, F.K. (1985), "The design and construction of high embankment on soft clay", Proc. 8th Southeast Asian Geotech. Conf., Institution of Engineers Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, 2, pp42-59.
4. Combarieu, O. & M. Pioline (1990), "Reinforcement des remblais d'access du futur echanger de carrere(Martinique)", Etudes et recherches 1989 Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris, pp 32-33.
5. Gartung, E. & Verspohl, J.(1996), "Geogrid reinforced embankment on piles-Monitoring", Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement, Fukuoka, Japan, pp.209-214.
6. Homberg, S. (1979). "Bridge approaches on soft clay supported by embankments piles" Journal of Geotechnical Engineering, Bangkok, Thailand, 10(1), pp.77~89.
7. Japan Railway Technical Service, "Measures for Stabilization of Railway Earth Structures"
8. Reid, W.M., and Buchannan, N.W. (1983), "Bridge approach support piling." Proc., International Conference on Advances in Piling and Ground Treatment, ICE, London, pp.267-274.