철도하부 가도교 설치에 대한 JES공법

Joint Element Structure Method on the Subway Box Structure unere Railroad

피태희* · 조국환** · 사공명***

Pi, Tae-Hee · Cho, Kook-Hwan ·Sagong,myung

This document presents the JES(Joint Element Structure) method that has been adopted for the firs time in our country for the construction of the structure crossing under the railroad without open excavation. Front Jacking Method, Tubular Roof Construction Method, New Tubular Roof Method and Joint Element Structure Method are commonly used for the construction of structures crossing under the railroad. JES Method, frequently used in Japan recently, is a new method to construct the structures crossing under the railroad in a safe manner and in a relatively short period of time by utilizing the steel elements with the joints through which the load in the vertical angle to the axial direction is transferred to the next element. The elements are tied to each other through the joints to form the permanent walls of a Rahmen structure under the road without open excavation and without limitation to the length in a convenient way.

Through the case study in the project of a Subway Box Culvert Improvement for the Gyeonguiseon Railroad in front of Yonsei University using the JES Method, the cost and period of construction in various types of soil is investigated compared to the Front Jacking Method. Furthermore, by analyzing the results of instrumentation measurements carried out throughout the construction, comparison between the actual displacement in the ground and the predicted displacement in the design is made to provide the considerations to be counted for the design. In conclusion, comparison in the field of economic feasibility, constructability and safety between the JES Method and Front Jacking Method, which is most frequently adopted in our country at present, is made to present the JES Method as a new alternative for the non-open excavation construction method for the structures crossing under the railway.

Keywords: *Joint Element Structure Method, Front Jacking Method*

1. 서론

현재 주로 사용되는 철도지하횡단공법에 대한 분류는 크게 개착공법과 비개착공법으로 나뉜다. 개착공법에는 가받침 공법, 특수선 부설공법 등이 있으며, 비개착공법으로는 프론트잭킹(Front Jacking Method), 파이프루프 공법, 메사쉴드공법, TRM 공법, URT 공법, JES공법, PCR 공법들이 있다. 하지만, URT 공법, PCR 공법은 아직 국내에 시공된 사례가 없으며, 본 연구에서 다룰 JES공법은 연세대학교 철도가도교 개량공사에 국내에 최초로 적용된 공법이라 할 수 있다. 국내에서 80년대 이후 현재까지 시공된 철도지하횡단공사를 조사해보면 80년대 중반까지는 주로 개착공법이 시공되었으나, 이후

* 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정, 쌍용건설㈜ 상무 (E-mail: thpi2000@ssyenc.com) Tel.02-3433-7040
** 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 조교수(E-mail: khcho@snut.ac.kr) Tel. 02- 970-6584
*** 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원 (E-mail: rockcore@krri.re.kr) Tel. 031-460-5363

개착공법은 공사기간 중 열차서행운행으로 열차정시운행 확보가 곤란하고 지속적인 궤도보수작업 및 감시가 필요하여, 열차운행이 빈번한 구간이나 열차서행 최소화를 요하는 구간에는 주로 비개착공법이 시공되고 있다. 일본의 경우 1966년 미국으로부터 도입된 Pipe Roof공법이 철도지하횡단 비개착공법의 시초였으며, 현재 일본에서 가장 많이 쓰이고 있는 철도지하횡단공법은 1965년 개발된 프론트잭킹공법과 1997년 개발된 JES공법이며, 최근에는 프론트잭킹에 비해 JES공법에 관심이 집중되고 있다. 국내의 경우도 비개착 철도지하횡단공법으로 Front Jacking공법이 가장 많은 시공실적을 가지고 있으며, JES공법은 현재 연세대학교 정문 앞 경의선철도가도교 개량공사에 최초로 적용되었다. 따라서 본 연구에서는 국내외에서 적용되고 있는 비개착 철도하부 횡단공법 대한 비교검토를 통하여 국내에서 처음으로 경의선 철도가도교 개량공사에 적용된 J.E.S(Joint Element Shield Structure)공법에 대한 사례연구를 통해 시공성, 경제성, 안전성에 대한 평가를 할 것이며, 나아가 국내현장에 가장 많이 적용된 Front Jacking공법과의 비교검토를 통해 철도 하부 횡단 공법에 대한 새로운 대안을 제시할 것이다.

2. JES공법

2.1 개요

JES공법은 철로 및 고속도로 하부에 횡단구조물을 단기간에 안전하게 시공하는 공법으로서 축직각방향으로 하중의 전달이 가능한 이음부를 갖는 강재엘리먼트를 사용한다. 이 엘리먼트를 이음부가 결속되게 삽입한 후 구조물 본체로 이용함으로써 노면하단에 비굴착상자형 라멘방식이나 원형 등의 구조물을 연장에 구애받지 않고 쉽게 구축할 수 있다. JES공법에는 기준엘리먼트, 일반부 엘리먼트, 우각부 엘리먼트, T자부 엘리먼트 등을 사용한다. 어느 쪽의 엘리먼트도 4개소 혹은 6개소의 이음부를 가지고 있으며, 순차적으로 위 아래로 맞추면서, 엘리먼트를 소정의 위치에 삽입하여 구조체를 조립하다. 따라서 시공정밀도를 결정짓는 가장 중요한 기준 엘리먼트 견인용 PC강선은 수평보링에 의해 천공한 구멍에 도달부에서 발진부로 삽입하여 엘리먼트의 도달위치가 정확하게 사전에 확정된다. 또, 두 번째 이후의 엘리먼트는 선행 엘리먼트의 이음부와 맞물려 PC강선에 의해 견인되므로 정밀하게 시공할 수 있다.

2.2 시공순서

JES공법의 시공순서는 상부슬래브의 기준엘리먼트의 시공을 최초로 행한다. 후속하여 기준엘리먼트를 중심에서 좌·우측 방향으로 일반부 엘리먼트, 우각부 엘리먼트 시공을 순차적으로 시공한 후에 측벽부와 중간벽이 있는 경우 중간벽부를 시공한다. 다음에 하부슬래브 구간은 T자부엘리먼트, 우각부엘리먼트를 시공한 후 일반부엘리먼트를 순차적으로 시공하고 최후로 조정엘리먼트를 시공한다.

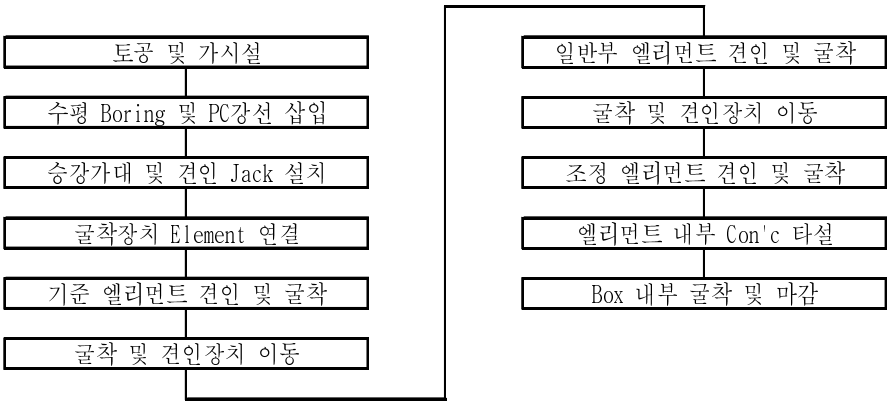


표1. JES공법 시공순서

3. JES공법에 의한 철도지하횡단

3.1 공사개요

국내 처음으로 JES공법이 적용된 경의선 연세가도교 확장공사는 연세대 정문 앞 횡단보도와 연결되는 보행통로로서 본 구간을 이용하는 학생 및 교직원, 세브란스 병원 방문객 등 하루6만명이 주야간으로 이용하는 곳으로 등하교 시간 뿐만 아니라 온종일 사람들과 차량이 뒤엉켜 보행 신호시 보행자가 한꺼번에 통행할 수 없는 만성적인 정체구간으로 교통사고 위험 및 교통흐름에 커다란 장애요인으로 작용하고 있었다. 이를 해결하기 위해 별도의 통로 Box를 설치하여 보행자의 안전 및 보행환경을 개선하고 성산로와의 차량소통을 원할하는데 그 목적이 있다. 설계는 경의선 연세가도교 좌우로 통로 Box공사로1련Box 6.2x4.2(2개소), 개착L=39.8m, 비개착(JES) L=46m로 이루어져 있다.

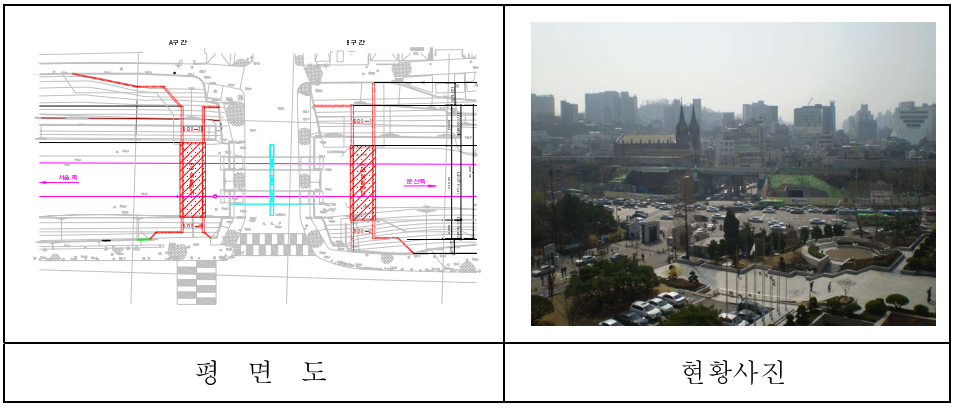


그림 1. 경의선 철도가도교 개량공사 현황도

3.2 지반조건

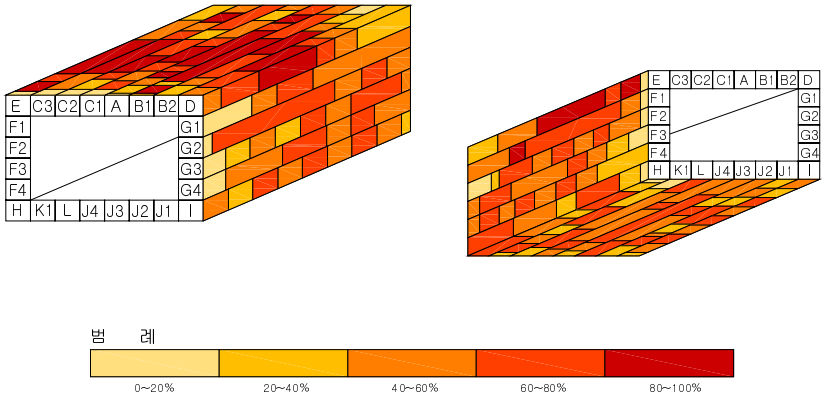


그림 2. 엘리먼트 내부 토질조건(전석섞인 비율)

3.2 계측결과

지표침하계를 설치하여 측정하여 왔으나 전신주의 이설 등 작업으로 인한 초기치 재설정 등 변화가 있어 9개의 지표침하계 중에서 지속적으로 측정이 가능했던 3개(BS-4,5,6)에 대해 분석하였다. 지표침하계 4,5,6은 엘리멘트 굴진 수평방향으로 중앙부 즉, 발진구와 도달구 중앙(발진구로부터 11.5m)에 설치되었다. [그림 3]은 지표침하계 측정자료를 흙막이 굴착과 엘리멘트 굴진에 따라 도시한 것이다. [그림 3]에서 점선으로 표시된 a 부분은 흙막이 굴착에 의한 지표침하변위를 나타낸 것이다. 최종굴토 깊이는 상부로부터 약 12m이며 지표침하계가 매설된 지점은 굴착배면으로부터 약 11.5m지점에 위치하고 있어 D = 1 H로서 굴착으로 인한 지표침하의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다. 엘리멘트의 상부 굴진이 시작된 시점(2006년 11월 1일, 흙막이 공사시작으로부터 153일 경과)을 기준으로 굴진단계 별 상부, 좌측 ,우측으로 구분하여 지표침하계의 변위를 분석하였다. 엘리멘트 상부인 B1➡B2➡C1➡C2(일부) 굴진 시 42일 동안 BS-4의 경우 30mm의 지표침하가 발생하였으며 변위속도는 변위속도는 0.71mm/day 였다. BS-4의 경우 침하변위는 11.0mm에 변위속도는 0.26mm/day이며 BS-5의 경우 13.0mm에 변위속도는 0.31mm/day였다. 좌측 엘리멘트 굴진 시 (D➡G1➡G2) 굴진기간은 28일이며 지표침하는 6~12mm였고 변위속도는 0.22mm/day ~ 0.43mm/day였다. 우측 엘리멘트 굴진 시(E➡F1~F4)는 굴진기간은 50일이며 BS-4에서 침하변위는 24mm, 변위속도는 0.48mm/day이며 BS-5,6의 경우 침하변위는 각각 6,10mm, 변위속도는 0.12, 0.20mm/day를 나타내었다. 엘리멘트 굴진과 비교 시 최대변위는 7.33mm 였고, 수평경사계 침하속도는 0.11mm/day였으나 이와 비교하면 지표침하의 변화속도는 평균 0.34mm/day로서 약 3배 정도의 빠른 침하속도를 보인 것으로 나타났다. [그림 4]는 상기의 내용을 알기 쉽게 도시한 것으로 #4U는 경사계 BS-4로 상부굴착시 발생된 변위를 의미하며, #4L는 좌측굴착시 BS-4의 측정결과 , #4R은 우측굴착시의 결과를 의미한다. [그림 5]는 변위속도에 대한 결과를 도시한 그림이다.

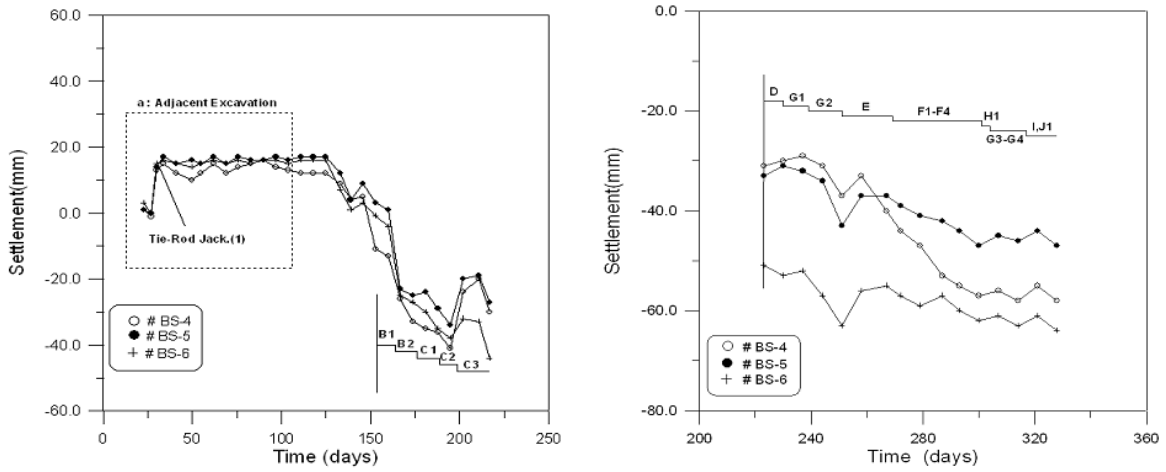


그림 3. 지표침하계 측정 변위

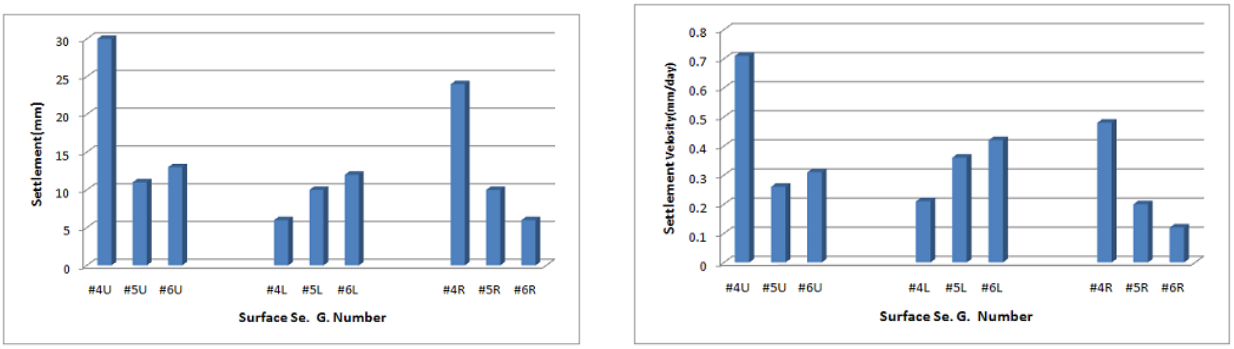


그림 4. 지표침하계 변위 및 변위속도 분포

[그림 5]는 엘리멘트 굴진에 따른 변위만을 파악하기 위해 엘리멘트 굴진이 시작된 공사개시 후 153일을 지표침하 초기치로 재산정하여 도시하였다. 굴진으로 인한 지표침하의 변위가 지속적으로 증가됨을 알 수 있으며 일별 침하를 선형 회귀 분석한 결과 변위속도는 0.20mm/day였으며 R^2=0.56이었다. 따라서 지표침하에 대한 관리기준 적용시 실제 해석에서 제시된 변위는 최대 6.832mm였으나 실제 현장시공시는 계측값보다 과소평가되어 있음으로 보아 변위속도를 병행해서 관리함이 적절하다고 판단된다.

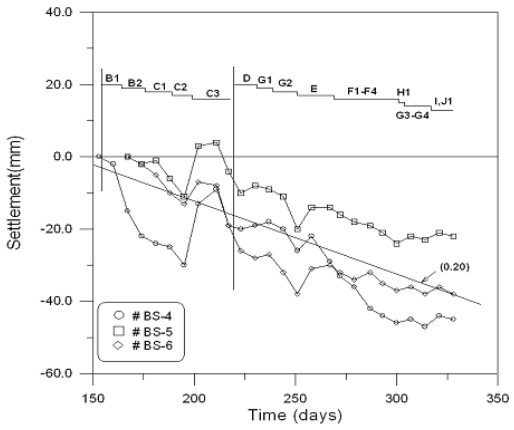


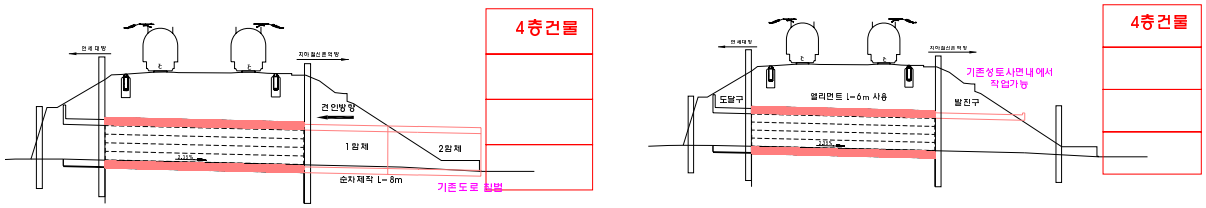
그림 5. 지표침하 변위속도 분포

4. JES공법&Front Jacking공법

4.1 시공성

프론트잭킹공법의 경우 공사 중 소음·진동이 별로 없어 소음이나 진동으로 인한 민원발생 가능성이 상당이 적은 공법이며, JES공법의 경우도 굴착공사로 인한 소음·진동의 영향은 극히 미미한 수준이다. 그러나, 프론트잭킹의 경우 대형 함체를 일시에 견인·시공함에 따라 대규모 장비를 사용하고 JES공법의 경우 소형의 엘리먼트를 빠른 시간내에 분할하여 시공함에 따라 그 차이는 미미하나 JES공법이 프론트잭킹공법 보다 민원발생 가능성이 상대적으로 적을 것으로 예상된다.

또한 경의선 철도가도교 개량공사 인근의 교통여건은 만성적인 교통체증에 의해 일대의 통행하는 운전자 및 보행자에게 교통피로감을 주고 있는 실정이고 기존의 도로 및 인도를 침범하여 작업장을 확보할 경우 민원 발생원인이 될 수 있다. [그림 6]에서 보는 바와 같이 각 공법 적용시 공사장 부지확보를 도식적으로 나타낸 것으로 프론트잭킹 공법은 공기단축 및 작업의 연속성, 철도운행의 안전성을 위해 1,2함체를 동시 제작시 기존도로의 부지를 침범하는 반면 JES공법의 경우 엘리먼트 1개의 길이가 L=6m이므로 훨씬 작은 부지면적으로도 시공이 가능하여 연세대 정문앞과 같이 도심지 건설공사의 경우 부지확보면에서 JES공법이 프론트잭킹 공법보다 유리하다.



Front Jacking공법 JES공법

그림 6. 공사부지 확보단면

4.2 경제성

경제성 검토를 위해서 Front Jacking 공법을 경의선 철도가도교 개량공사에 적용하여 동일한 단면 및 여건을 감안하여 공사비를 산출하였으며, 열차 서행에 의한 시간비용 및 선로부수비용 등의 간접비용은 고려하지 않았다. 위에서 검토한 바와 같이 JES 공법에서의 공사비는 기존의 Front Jacking공법보다 다소 저렴한 것으로 나타났으나 그 차이가 매우 근소하다. 하지만 동일한 지반조건에서 JES공법은 엘리먼트 내부를 기계굴착으로 고려하였을 경우로 전석비율이 많아져 기계굴착이 불가능하게 되면 아래의 그림과 같이 전반적으로 JES공법이 비경제적인 것으로 보인다. 이의 주 요인은 JES공법에서 가장 중요한 엘리먼트 제작에서 조인트부의 재료를 외국에서 생산 및 수입하는 것으로 하였기 때문이며 실제 직접공사비는 엘리먼트 재료비의 국내 생산 여부에 따라 크게 차이가 날 것이며 전석비율에 따른 토질조건의 변화와 현장 주변환경 및 여건등에 따라 달라질 것으로 보인다.

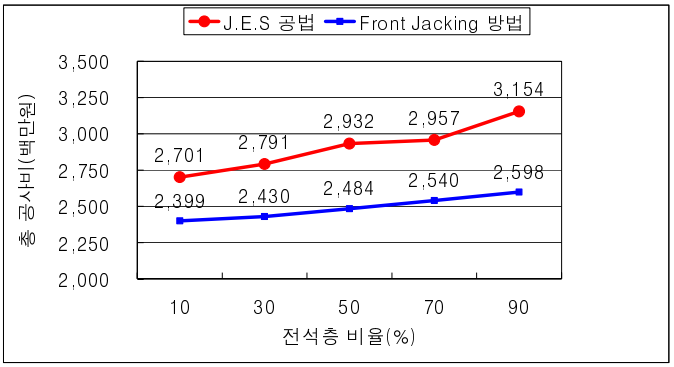


그림 7. 토질조건에 따른 JES & Front Jacking 공법의 공사비 비교표

[그림 8]은 경의선 철도가도교의 각 엘리먼트의 굴진 및 굴착속도를 분석하여 토질조건별 굴진 및 굴착속도를 추출한 결과이다. 경의선 철도가도교의 철도하부 지반은 전석층이 약 50%정도 섞여 있는 조건으로 약 2.5m/day의 굴진속도로 기계굴착시 예상소요 공사기간의 약 3배정도 지체되는 결과를 가져왔다. 인력굴착의 특성상 효율이 일정하지 않다는 문제점이 작용하지만 전석층이 많을수록 더 많은 견인력이 소요되고 그로 인한 견인속도 또한 지체되었으며 엘리먼트 내부의 인력굴착도 브레카 작업과 굴착작업이 병행되어야 했으므로 전석층 비율에 따라 전체 엘리먼트 굴진속도에 가장 큰 영향을 미치고 있다.

[그림 9]는 전석비율에 따른 토질조건의 변화로 인한 JES공법과 Front Jacking공법의 전체 공사기간의 변화를 보여주고 있다. 실제적으로 Front Jacking 공법을 JES 공법과 동일한 현장조건을 고려하였을 경우이며 전반적으로 JES공법이 유리하다고 볼 수 있다. 지반조건의 변화에 따른 소형의 강재 엘리먼트를 견인 굴착하는 JES공법의 굴착방법의 변경 및 견인속도 지연을 감안하면 동일한 환경에서 전단면을 굴착하는 Front Jacking 공법도 선로침하 등으로 인한 공기가 길어질 것으로 판단된다.

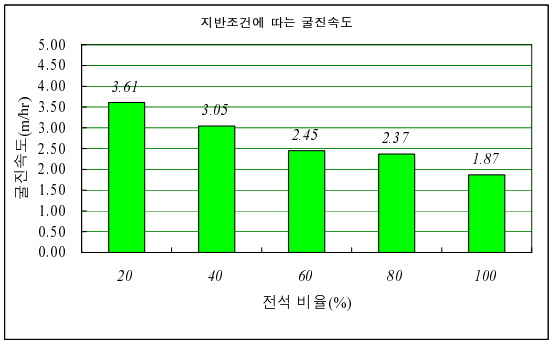


그림 8. JES 공법에 의한 견인속도 비교표

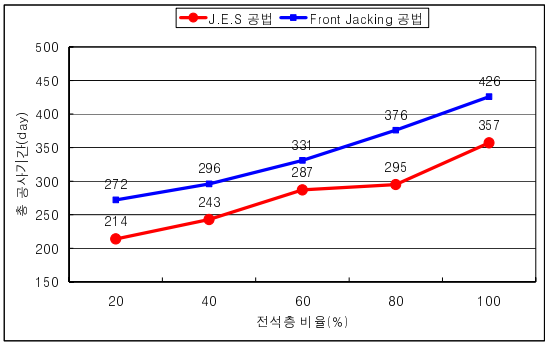


그림 9. 토질조건 변화에 따른 JES & Front Jacking 공법의 공사기간 비교표

4.3 안정성

JES공법은 3장에서 경의선 철도가도교 공사기간 동안의 계측자료들을 검토해 본 바와 같이 상당한 전석이 썩인 사질토 지반조건에서의 시공이었지만 궤도면으로의 영향은 관리기준값 이하로서 열차운행에 지장을 미치는 변위는 발생하지 않았다. 하지만 경의선 철도가도교와 같이 JES 공법의 경우 엘리먼트 단면적이 작고 단계별로 1본씩 견인하므로 주변지반에 미치는 영향이 비교적 적은 반면, 경의선철도가도교와 동일한 지반조건에서 함체 전단면을 굴진하는 Front Jacking의 경우 궤도에 미치는 영향은 상대적으로 클 것으로 판단된다. 즉 공사중 열차서행기간을 줄일 수 있는 공법으로는 JES공법이 Front Jacking공법에 비해 상대적으로 우월하며, 실제 일본에서는 JES공사중 열차서행 없이 공사를 추진하고 있는 것으로 조사되었으며 공사중 궤도보수 및 지반침하로 인한 향후 보강대책 강구도 상대적으로 적을 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구에서는 국내에서 처음 도입된 JES공법에 의한 철도하부횡단 가도교 시공에 따른 시공성 · 경제성 · 안정성을 국내에서 가장 많은 시공실적을 가지고 있는 Front jacking 공법과의 비교검토를 통해 철도하부횡단의 새로운 대안공법으로서의 JES공법을 평가하였다. 일본에서 처음 국내에 도입된 JES공법의 성공여부는 앞으로 국내의 도로 및 철도지하 횡단 공법 채택에서 중요한 방향을 제시할 것이며, 다양한 시공실적을 가지고 있는 Fronjacking공법과 더불어 철도지하횡단공법의 발전을 위해서는 JES공법의 시공성 · 경제성 · 안정성 측면에서 국내에 최적화하기 위한 노력 또한 필요할 것이다. 현재 일본에서는 도로 및 철도지하횡단공법으로 JES공법이 가장 많이 적용되고 있으며 철도지하횡단공법으로 국내 JES공법의 정착화를 위해서는 엘리먼트 제작에서부터 국내 기술력으로 경제성을 갖추기 위한 노력이 필요할 것이며 무엇보다도 몇번의 시행착오가 필요하겠지만 설계단계에서부터 시공에 이르기까지 최적의 공법선정을 위한 다양한 자료들이 수집되어야 할 것이다. 즉 JES공법의 다양한 도로 및 철도지하횡단 공사에 적용되어 신뢰성있는 자료들이 수집될 필요가 있다. 경의선 철도가도교 개량공사에 적용된 JES공법이 당초 기계화 작업을 통한 굴착방식에서

설계지반조건과의 상이로 인해 인력굴착방법으로 전환됨에 따라 전반적으로 공사기간이 늘어났으며 동시에 공사비도 증가될 수 밖에 없었다. 하지만 JES공법이 국내에 처음 도입되었다는 점과 강재 엘리먼트 비롯한 각종 일본에서 수입할 수 밖에 없는 자재등의 현장여건을 감안하면 국내에서 가장 많은 시공실적을 가지고 있는 Front Jacking공법과 견주어 시공성 및 경제성에서 결코 뒤지지 않는 공법이며, JES공법이 철도지하횡단 공법으로서 국내 철도기술발전에 이바지 할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 철도지하횡단공사 공법선정 기준에 관한 연구[A Study on the Selection Criteria of the Construction Method of Underground Railway Crossing] 1999.12 한국철도기술연구원

2. 경의선 철도가도교 개량공사 실시설계보고서, 2004. 1

3. N.T.R 工法[New Tubular Roof & Method] ㈜엔티에스 이앤씨

4. 김용일 황낙연 정두석 차종휘 이내용, 'Front-Jacking공법에 의한 대전역사 하부 관통사례', 한국암반공학회 춘계학술대회 논문집, 2006

5. 공경렬, '철도하부 Box 구조물 설치에 따른 지반변위', 밀양대학교 산업대학원 공학석사학위논문, 2004

6. 박승욱 김홍기 박해일, '철도하부의 강관압입시 발생되는 지반변위 및 진동에 대한 영향평가', 한국철도학회 2001년 추계학술대회 논문집, 2001

7. 김종렬 강희복, 'Underpinning 시공시 구조물의 침하특성에 관한 연구', 대한토목학회논문집, 제21권 제5-C호, 2001

8. 노병국, 김홍도, 오경준, '철도하부 통과구간의 파형강관의 적용성 검토 연구', 한국철도학회 2007년 춘계학술대회 논문집, 2007

9. 김용일 조상국 홍창표 백기현 노종륜, 'TRM공법과 Underpinning공법 적용사례(대전지하철 6공구 105정거장', 한국암반공학회 춘계학술발표회 논문집, 2004