

# 강재 엘리먼트를 이용한 기계식 UNDER PASS 공법(JES 공법)의 국내 적용 사례 및 활용 방안 연구

## The design and construction with the JES method used steel elements for under pass in korea and the practical use of the JES method

정경환*	정선태†	김도형**
Jeong, Gyeong-Hwan	Jung, Sun-Tae	Kim, Do-Hyeong
김정성***	황영철****	박민관*****
Kim, Jung-Sung	Hwang, Young-Chul	Park, Min-Kwan

### ABSTRACT

Recently, the expansion of roads are necessary because the population and vehicles have rapidly increased, but those are restricted because of the limited site. JES(Jointed Element Structure) method is the method of the new cross-structure, which is element-traction method which draws and excavates elements under the existing structure with high accuracy within a short time. Also JES(Jointed Element Structure) method has a facility of the economical execution, a small effect on the train-service during construction period and no limit of the crossing length under the track.

In this study, the tractive force and settlement are compared with the upper element, side wall element and the lower element respectively in the section which the JES method is applied. In the case of element located at left side wall, the tractive force measured by a guage is double or more than the tractive force calculated by a formula. It is expected that many boulder contented in the ground contrary to the site investigation data cause high tractive force. For comparison of the settlement, the settlement as excavating the upper element is the largest in all steps. It is expected that this is the same as the cause of high tractive force.

Also in this study, the practical use of the JES method when some under pass structures are extended in the future is studied.

### 국문요약

최근 도시로의 인구 집중과 차량 증가로 인하여 보도 및 차도의 확장이 불가피한 반면에 이는 한정된 용지로 인해 많은 제약을 받고 있는 실정이다. 이에 대해 JES 공법은 기존 도로나 철도 등의 교통시설 하부를 횡단하면서 이들의 운행에 대해 제약을 최소화 할 수 있는 공법이다.

본문에서는 국내에서 최초로 JES 공법이 적용된 구간에서의 상부, 측벽, 하부 Element에서의 견인력과 침하량을 각각 비교하였다. 추진력을 비교한 결과, 좌측벽 Element의 경우 실제 측정된 추진력이 구조계산에 의해 얻은 추진력의 2배 정도 큰 값을 보였다. 이는 사전 지반조사와는 달리 지반에 다량의 전석이 함유되어 있어서 시공 중 과도한 추진력이 발생한 것으로 판단된다. 또한 침하량을 검토한 결과, 상부 Element에서 가장 큰 값을 보였으며, 이 역시 지반에 다량의 전석이 포함되어 있어 굴착 시 공동 형성에 인한 결과라고 판단된다.

또한 본문에서는 향후 본 공법을 이용한 여러 가지 활용 방안에 대해서도 연구해 보았다.

† 책임저자 : 비회원, (주)동아지질, 설계지원팀, 부장  
E-mail : stjung@dage.co.kr

TEL : (02)553-3527 FAX : (02)555-1763

\* 비회원, (주)동아지질, 대표이사

\*\* 비회원, (주)동아지질, 기사

\*\*\* 비회원, 쌍용건설(주), 부장

\*\*\*\* 비회원, (주)유신코퍼레이션, 상무

\*\*\*\*\* 비회원, 제일엔지니어링, 전문

## 1. 서론

최근 도시로의 인구 집중과 차량 증가로 인하여 보도 및 차도의 확장이 불가피한 반면에 이는 한정된 용지로 인해 많은 제약을 받고 있는 실정이다. 이에 따라 기존 도로나 철도 등의 교통시설 하부를 횡단 하면서 이들의 운행에 대해 제약을 최소화 할 수 있는 도시 교통이 계획, 시공되고 있다. 일본의 경우 1960년대부터 이를 직시하여 다양한 Under Pass 공법들이 시공되어져 왔으며, 현재까지 많은 실적을 가지고 있다. 국내의 경우 1980년대부터 개착공법으로 Under Pass 공사가 실시되었으며, 80년대 중반 이후에 비개착공법(Messer Shield, Front Jacking 등)이 도입되었다. 현재까지 개착공법인 가받침 공법과 특수선부설 공법, 그리고 비개착공법인 DSM 공법, 파이프루프 공법 및 프론트잭킹 공법 등을 이용하여 약 130여 건의 Under Pass가 시공되어졌으나, 모두 인력 굴착에 의한 시공법이였다.

본문에서 소개 할 “JES(Jointed Element Structure)”공법은 선로아래 횡단연장에 제한을 받지 않고 시공기간 중에 열차 운행에 영향이 적으며, 침하 부분에 있어서 가장 영향이 적은 기계식 Under Pass 공법으로 2006년도에 국내 최초로 시공되었다.

이에 본 논문에서는 국내 최초의 기계식 Under Pass 공법의 적용 사례를 소개하고, 각 공정 별 구조물의 계측 데이터를 분석하여 국내 조건에 대한 본 공법의 적용성을 검토하고, 향후 본 공법을 이용한 여러 가지 활용 방안에 대해서도 연구해 보기로 한다.

## 2. JES (Jointed Element Structure) 공법

### 2.1 공법 개요

JES 공법은 교차구조물을 단기간 내에 안전하게 시공하기 위한 새로운 방법으로 교축 직각방향으로 힘의 전달이 가능한 이음부로 되어 있는 강재 Element를 사용한다. 이 Element 이음부를 서로 끼워 본체의 구조부재로 사용하고 상자형 라멘형식이나 원형의 구조물을 구축한다. Element는 순서대로 관입하고 서로 끼워가면서 설치되므로 궤도보호와 구조물 구축이 동일 공정이 되어 상부구조물에 대한 영향을 최소화 할 수 있다.

그림 2.1에서 볼 수 있듯이, 도달측에 설치한 견인장치로 정착시킨 PC강연선을 인장하여 굴착장치에 연결된 이음부가 있는 JES Element를 발진측에서 인입하는 방법으로 시공한다. 견인방법은 최초의 기준 Element를 수평보링에 의해 천공한 구멍에 삽입한 PC강연선을 굴착장치와 연결하여, 도달측에서 견인장치로 견인한다.

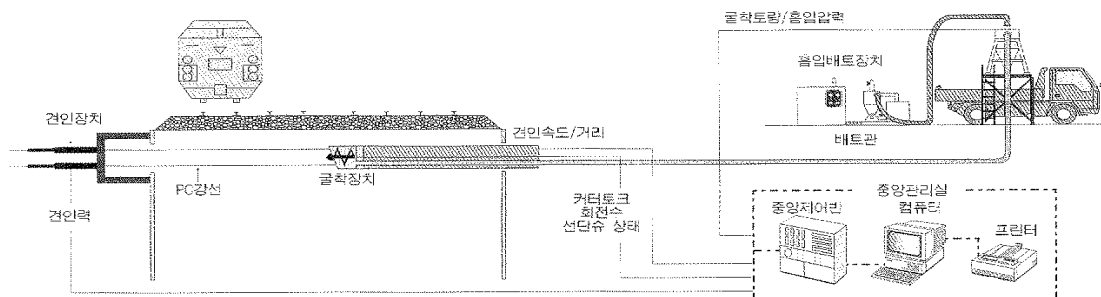


그림 2.1 JES 공법의 시스템

### 2.2 공법 특징

JES 공법은 앞서서도 언급했듯이, 교차구조물을 단기간 내에 안전하게 시공하기 위한 새로운 방법으로 기존의 Under Pass공법들과는 차별화된 특징을 가지고 있으며 다음과 같다.

- (1) 소형 단면의 Element 추진으로 소성 영역이 작아 궤도면이나 포장면에 미치는 영향이 적다.
- (2) Element가 가설 및 영구 구조로 사용된다.
- (3) Element가 인장력을 부담하고 충전된 콘크리트가 압축력을 부담한다.

- (4) 기계식 굴착이 가능하다.
- (5) 중앙제어반에 의해 시공 상황의 모니터링이 가능하다.
- (6) 자동 배토 시스템을 이용한다.
- (7) 단일 공정이므로 시공관리가 용이하다.

### 3. JES 공법의 적용 사례 분석

#### 3.1 현장 개요

본 공사는“경의선 철도 가도교 개량 공사”로서 가도교 주변에 보행자의 안전성 증대 및 성산로와 원활한 차량소통 위하여 Under Pass 공법의 적용이 제안되었다.

현장 주변 조건을 고려한 중점 검토 사항으로 첫째, 국내 최대 운행횟수(일 평균 310회)로 시공 중 열차운행의 안정성 확보가 최우선의 고려사항임. 둘째, 주변에 주택이 밀집하여 있고, 협소한 작업공간만으로 민원의 발생소지가 높음. 셋째, 수평보링 지반조사 결과 노반의 성토재 재료는 건조한 사질토 지반으로 추진공사 시 협소한 작업공간에서도 많은 양의 여굴이 발생할 소지가 높았다.

따라서 이런 사항 등을 감안해 볼 때 침하 문제에 있어서 가장 안전한 비개착공법인 JES 공법이 본 현장에 가장 적합하다고 판단되어 2 구간(A, B 구간 각각 L=24.0m)에 대하여 국내 최초로 시행되었다.

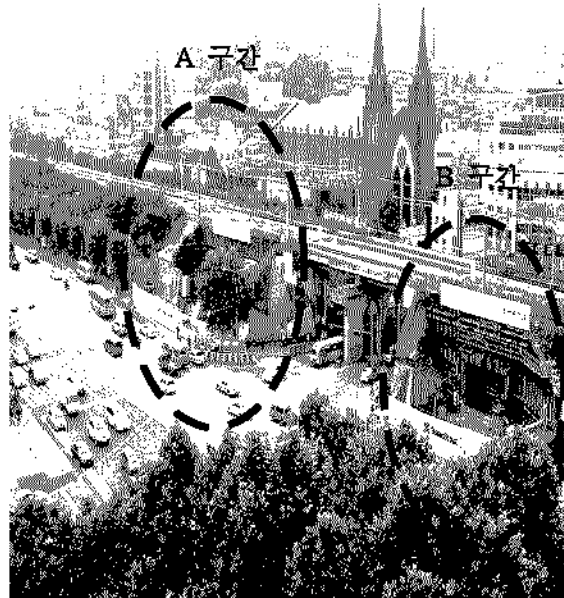


그림 3.1 JES 공법을 이용한 경의선 철도 가도교 개량공사 현장

#### 3.2 지층 조건

본 현장의 제방 부근 2개소에 대한 경사 방향 시추 조사(BB-1, BB-2)와 1개소에 대한 수직 시추 조사(BH-1)를 실시한 결과 대체적으로 자갈 및 실트섞인 모래가 주를 이루었으며, 모래 섞인 자갈도 다소 포함되었다. 다음 그림 3.2는 시추조사가 실시된 지점이며, 표 3.1은 본 설계에 적용된 해석 물성치이다.

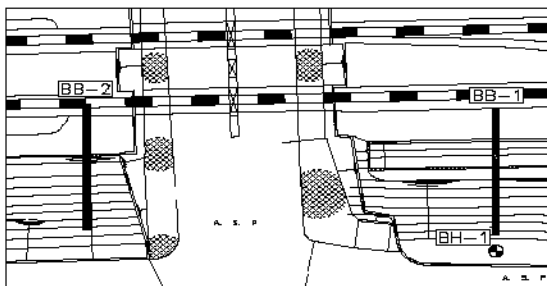


그림 3.2 시추조사위치도

표 3.1 해석 물성치

구분	$\gamma_t(tf/m^3)$	$C(tf/m^2)$	$\phi(^{\circ})$	비고	
매립층	SM	1.96	0	35	경사 방향
	GP, SM	2.00	0	40	
	적용	2.00	0	35	
퇴적층	1.73	1	25		
풍화토	2.00	1	38		
풍화암	2.20	3	42		

### 3.3 설계 개요

그림 3.3과 그림 3.4는 본 현장에 JES 공법이 적용된 A 구간의 평면도 및 단면도를 나타낸 것이다. 적용 구간의 토피고는 약 3.70~5.45m이며, Element를 포함한 총 굴착 면적은 약 6.0m× 8.0m이다.

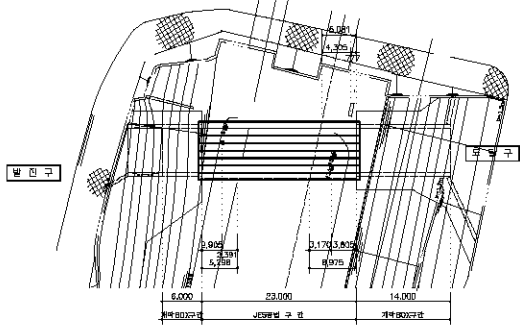


그림 3.3 JES 공법 적용 구간 평면도

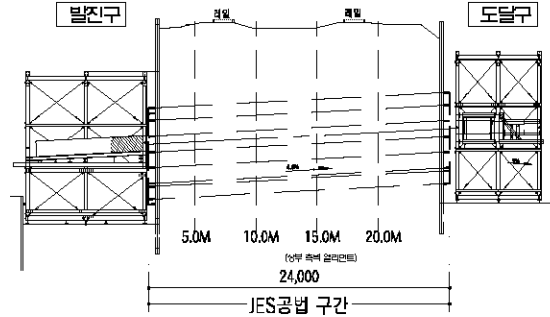


그림 3.4 JES 공법 적용 구간 단면도

#### 3.3.1 부재력

Element 견인 시(시공 시 검토) 검토를 위해 SAP2000을 이용하였으며, 설계 방법은 허용응력설계법을 적용하였다. 그림 3.5의 해석 단면도에서 Element 1개의 높이는 850mm이고, 강판 두께는 16mm이다. 그리고 설계에 적용된 사용 재료의 물성치는 표 3.2와 같다.

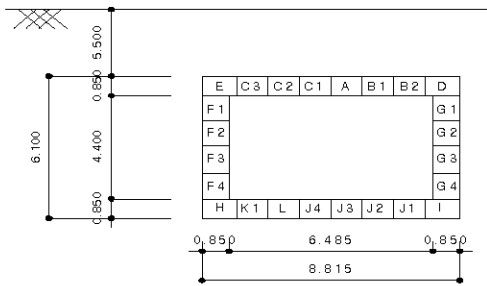


그림 3.5 해석 단면도

표 3.2 사용 재료 물성치

Concrete	설계기준강도 $f_{ck}$	240 $kgf/cm^2$
	탄성계수 $E_c$	2.35E+05 $kgf/cm^2$
Element	허용휨압축응력 $f_{sa}$ (SM400)	1,400 $kgf/cm^2$
	허용전단응력 $S_a$ (SM400)	800 $kgf/cm^2$
	탄성계수 $E_s$	2.10+06 $kgf/cm^2$

#### 3.3.2 견인력

본 구간의 Element의 견인력 검토를 위해 기준 Element와 일반부 Element로 나누어 계산하였으며 다음과 같다.

- ▶ 기준 Element  $P = P_1 + P_2$
- ▶ 일반부 Element  $P = P_1 + 0.75P_2 + P_3$

여기서,  $P_1 = S \times Q_r$  ( $\Rightarrow$  선단 저항)

$P_2 = \beta \times \mu \times P_m \times F \times L$  ( $\Rightarrow$  Element 주변 마찰저항)

$P_3 = k \times L$  ( $\Rightarrow$  이음부 마찰저항)

- $S$  : 굴삭장치 외주장
- $Q_r$  : 굴삭장치 단위장당저항력
- $\beta$  : 활재 주입에 따른 감소계수
- $\mu$  : 흙과 Element의 마찰계수
- $F$  : Element 단위길이 당 주변부의 마찰저항력
- $k$  : Element 단위길이 당 이음부의 마찰저항력

위와 같은 식으로 견인력을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

표 3.3 견인력 계산 결과

구 분	견인력(tonf)
기준 Element	104.36
일반부 Element	117.59

### 3.4 시공 개요

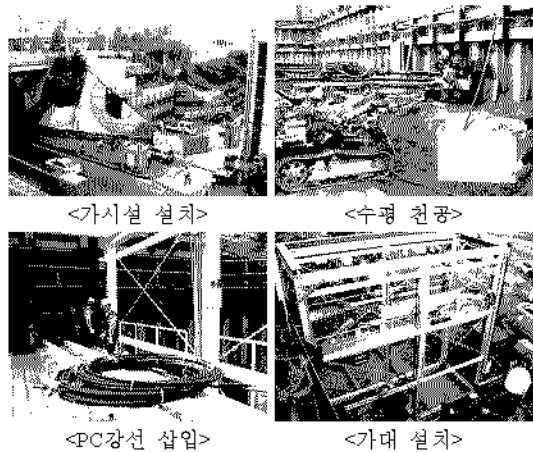
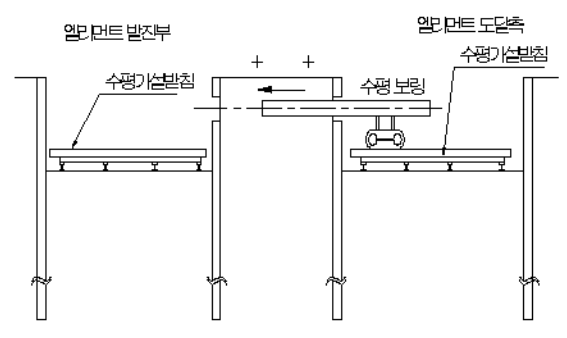
다음 표 3.3은 경의선 철도 가도교 개량 공사의 시공 순서와 이에 대한 전경이다. 수평 천공 후 PC 강선을 삽입한 후 굴진기를 이용하여 상부 Element, 우측벽 Element, 좌측벽 Element, 하부 Element 시공의 순서로 굴착한다. 하지만 본 현장에서는 지반조사결과와는 달리 성토 매립층의 대부분이 전석 등이 다량 포함되어 있어서 굴진기를 이용하여 굴착하지 못하고 인력에 의한 굴착이 많았으나, 그림 3.6과 같이 중앙제어반에 의해 견인 시 추진력의 관리 및 Element의 추진 상태(Rolling, Pitching) 등을 실시간 제어함으로써 시공 오차를 최대한 줄일 수 있었다.



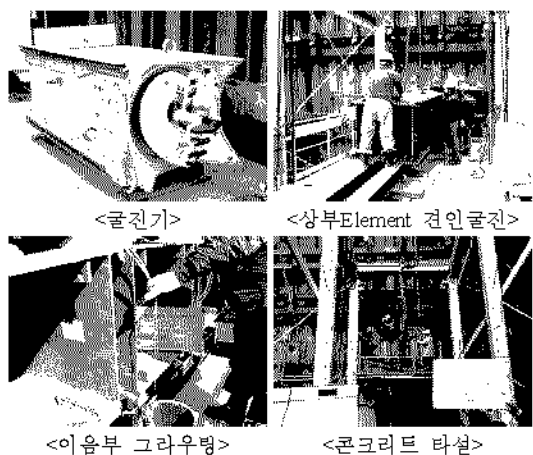
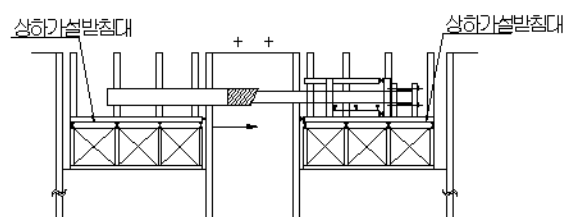
그림 3.6 중앙제어에 의한 관리

표 3.4 시공순서도

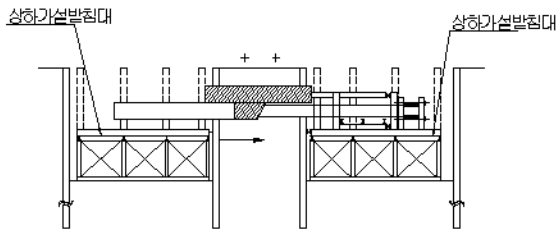
- 1) 발진,도달부 1차 굴착 및 가시설 설치
- 2) 수평천공
- 3) PC 강선 삽입 및 가대 설치



- 4) 상부 Element 견인굴진
- 5) 이음부 그라우팅
- 6) 콘크리트 타설



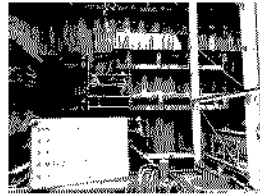
- 8) 측벽 Element 견인굴진
- 9) 이음부 그라우팅
- 10) 콘크리트 타설



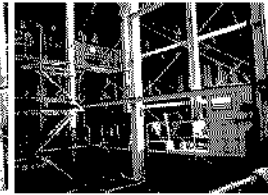
<측벽Element 견인굴진>



<이음부 그라우팅>

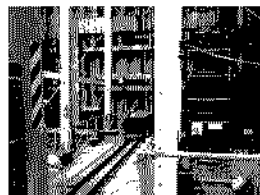
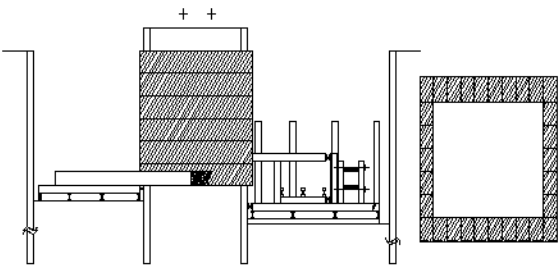


<콘크리트 타설-1>



<콘크리트 타설-2>

- 11) 하부 Element 견인굴진
- 12) 이음부 그라우팅
- 13) 콘크리트 타설



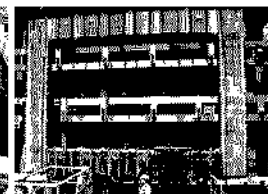
<하부Element 견인굴진>



<이음부 그라우팅>

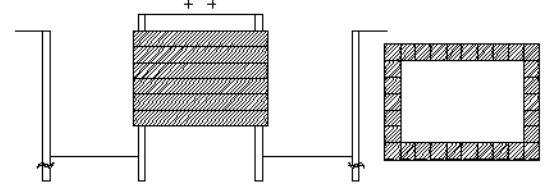


<콘크리트 타설-1>

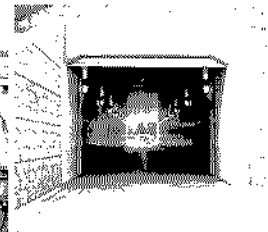


<콘크리트 타설-2>

- 14) 합체 내부 골작
- 15) 내부 마감



<합체 내부 골작>



<내부 마감>

## 4. 계측 결과 분석

### 4.1 견인력

#### 4.1.1 견인력 산정

앞의 견인력 산정 식에 의해 도출한 기준 Element와 일반부 Element의 견인력은 다음과 같다.

- ▶ 기준 Element : 104.36 tonf
- ▶ 일반부 Element : 117.59 tonf

#### 4.1.2 계측 결과

다음 그림 4.1은 Element의 견인력을 각각 3m 간격에서 측정한 결과를 계산에 의해 도출된 견인력과 비교한 그래프이다.

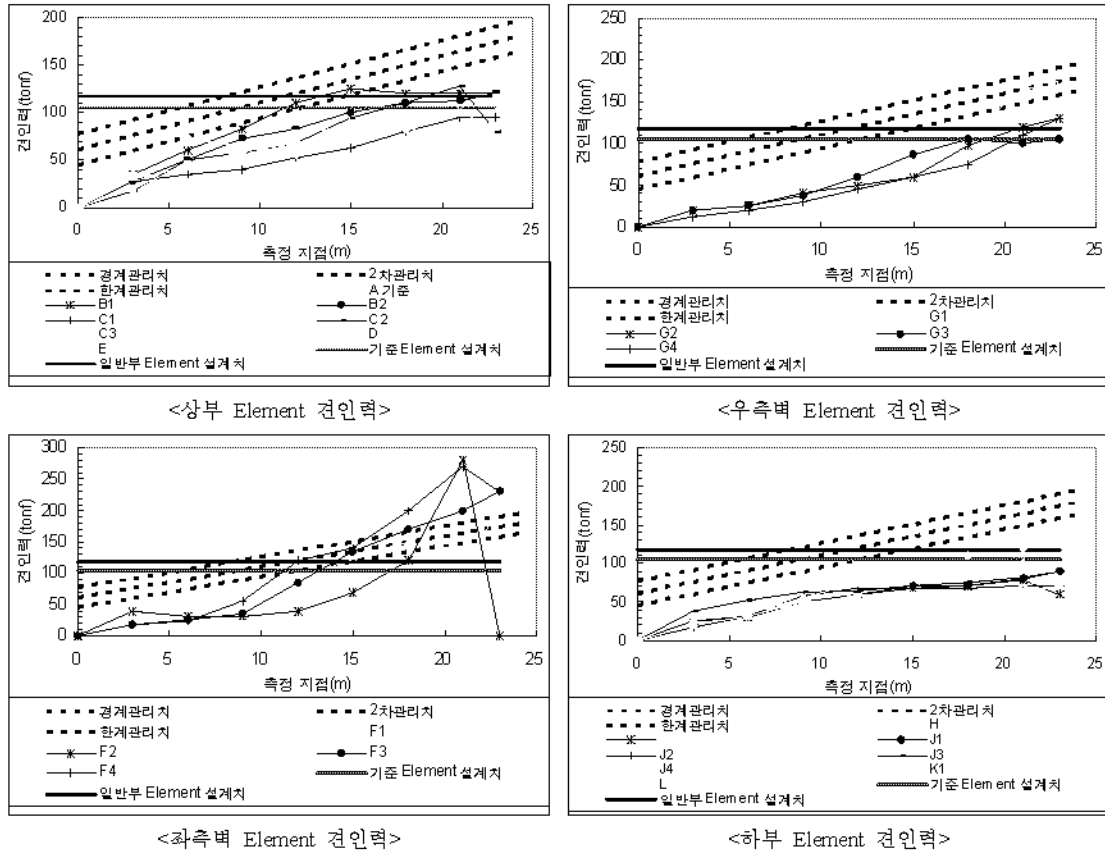


그림 4.1 각 Element의 견인력 측정 결과

### 4.1.3 결과 분석

위의 그래프에서 대부분 Element 견인력의 경우 계산에 의해 구한 견인력과 비슷한 결과를 보이고 있지만, 좌측벽 Element(F1, F2, F3, F4)의 경우 230~240 tonf으로 계산 값보다 최대 2배 이상의 견인력이 측정됨을 알 수 있다. 이는 Element 추진 시 사전 지반 조사와는 달리 좌측벽 Element 부근에 다량의 전석이 발견되었으며, 이로 인하여 견인력이 크게 발생한 것으로 사료된다. 또한 각각의 지점에서의 견인력의 범위가 아주 급격히 변하는 것을 볼 수 있는데, 이 또한 앞에서 언급한 바와 같이 다량의 전석에 의한 결과라고 사료된다. 이런 전석에 의한 영향은 후에 언급할 지반의 침하량에도 관계가 있는 것으로 판단된다. 그리고 이와 같은 전석의 다량 분포로 인하여 기계식 굴착 방식으로 설계되었던 부분이 인력으로 굴착하는 방식으로 바뀌어 시공이 이루어졌다. 그림 4.2는 Element 굴착 중 출현된 전석들의 전경이다.

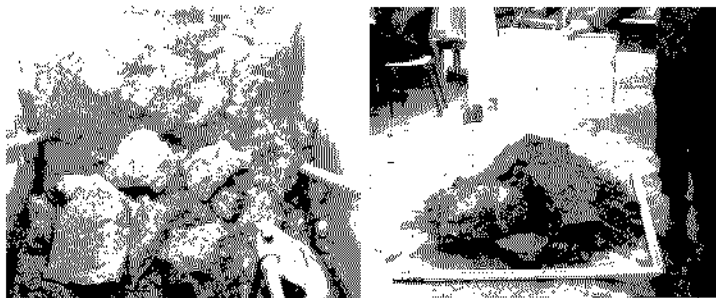


그림 4.2 굴착 중 전석 출현

## 4.2 지반 연직 변위량 측정

### 4.2.1 계측 개요

그림 4.3에서 나타난 것처럼 본 현장 A 구간에 수평경사계 3개소(자동화 3개소)를 설치하여 시점 6m(AA-01), 중앙 6m(AA-02), 종점 6m(AA-03) 지점으로 분리하여 각각 계측하였다. 그림 4.3과 4.4는 각각 계측기가 설치된 평면도와 단면도이다.

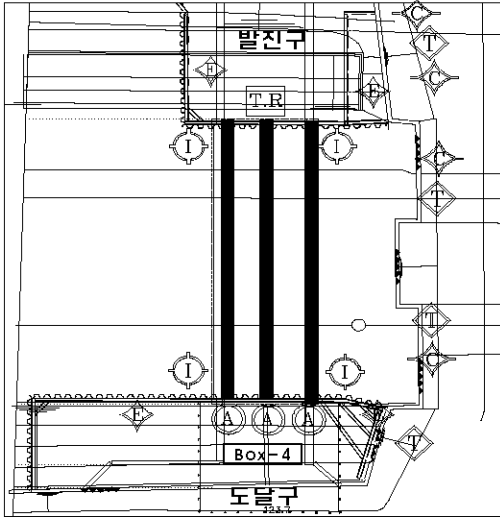


그림 4.3 계측 설치 평면도

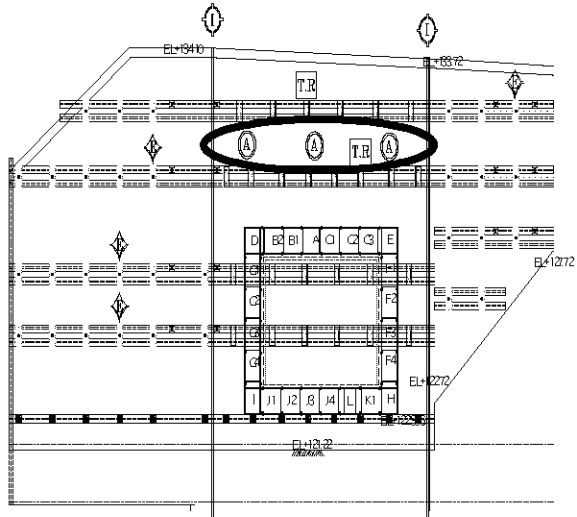


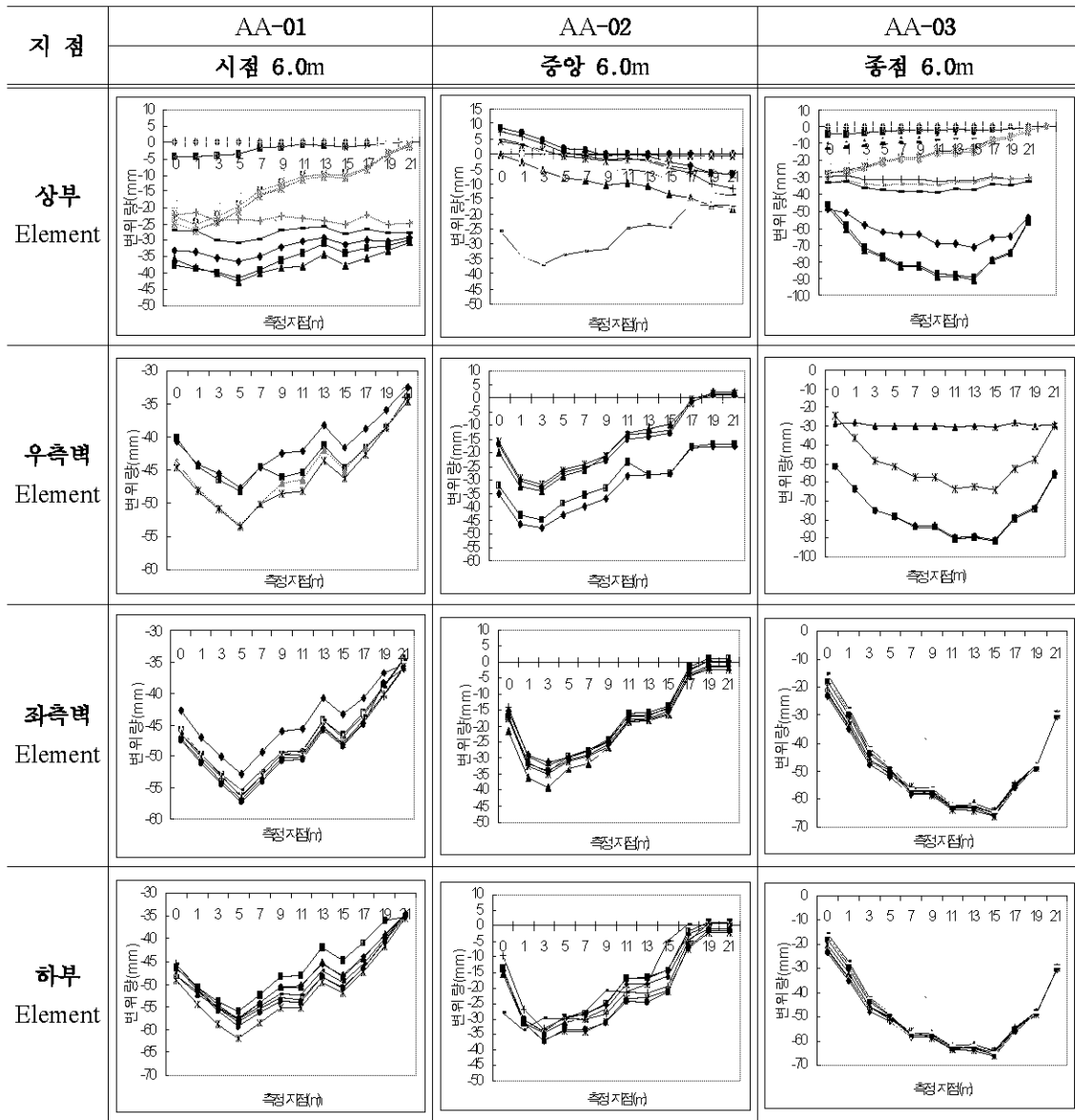
그림 4.4 계측 설치 단면도

### 4.2.2 계측 결과

본문에서는 계측 자료를 각각 상부 Element 시공, 측벽 Element 시공, 하부 Element 시공일 때의 구간 별로 나누어 약 7~10일 간격의 계측 값을 검토하였으며, 그 결과는 표 4.1과 같다. 표 4.1에서 변위량을 측정된 각 지점은 발진구(0.0m)에서부터 시작해서 도달구(23.0m)까지 총 12 지점이다.



표 4.1 각 Element 구간별 변위량 계측 결과



#### 4.2.3 결과 분석

수평변형률을 검토한 결과 AA-01, AA-02, AA-03 지점 모두 상부 Element 시공 시 가장 큰 변위량이 나타났으며, 그 값은 각각 42.7mm, 42.2mm, 92.3mm이다. 그리고 우측 Element 시공 시 그 다음으로 큰 변위량을 나타냈으며, 그 값은 각각 12.2mm, 12.4mm, 3.9mm이다. 좌측 Element와 하부 Element 시공 시는 5.0mm 내외로 미소한 변위량을 보였다. 이와 같이 상부 Element와 우측벽 Element 시공 시 수평 변형률이 크게 발생하는 이유는 앞의 견인력의 검토에서도 언급하였듯이 지반에 전석이 다량 분포된 조건에서 상부 Element 굴착이 이루어짐과 동시에 전석이 굴착됨으로써 침하량이 많이 발생한 것으로 사료된다.

### 5. 기타 활용 방안

#### 5.1 기존 BOX 구조물 확장

JES 공법을 이용하여 그림 5.1과 같이 복공을 기존 구조물 상부에 설치하고 굴진기를 복공 위에 배치시켜 작업을 실시함으로써 기존 도로의 통행을 유지하면서 기존 지하차도를 확장할 수 있다.본 공법은 특히 기존 지하차도 중 토피고가 낮은 경우 타 공법에 비해 시공성이 뛰어나다.

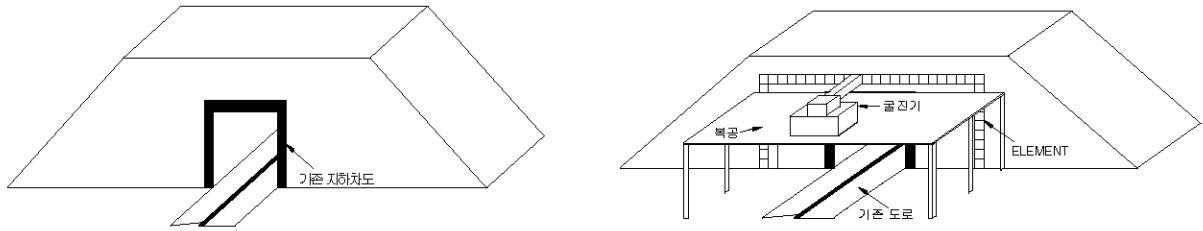


그림 5.1 기존 BOX 구조물 확장

### 5.2 병렬 BOX 구조물 시공

그림 5.2와 같이 병렬로 시공할 경우 Element가 영구 구조물로 사용되므로, 1단계 지하차도 시공 후 도로의 통행을 허락하면서 2단계 지하차도를 동시에 시공할 수 있다.

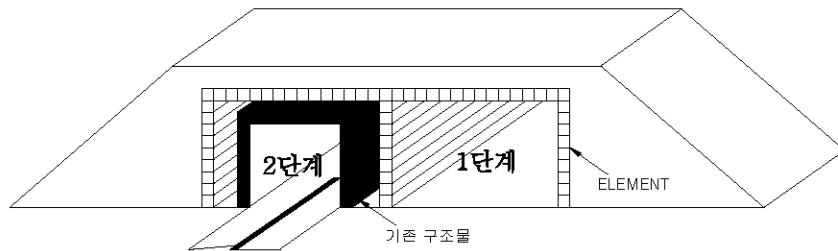


그림 5.2 병렬 BOX 구조물 시공

### 5.3 ELEMENT를 교대로 활용하는 WWR(Work Girder in Long Welded Rail Construction Method)공법

장대 레일 교량 하부를 확장할 경우에 JES 공법을 이용하여 Element를 그림 5.3과 같이 시공함으로써 철도 운행을 허락하면서 안전한 시공을 실시할 수 있다. 본 공법을 활용하여 기존 구조물 확장 뿐만 아니라, 신설할 경우에도 유용하게 활용될 수 있다. 그리고 그림 5.4는 Element 시공 순서와 형상을 나타낸 것이다.

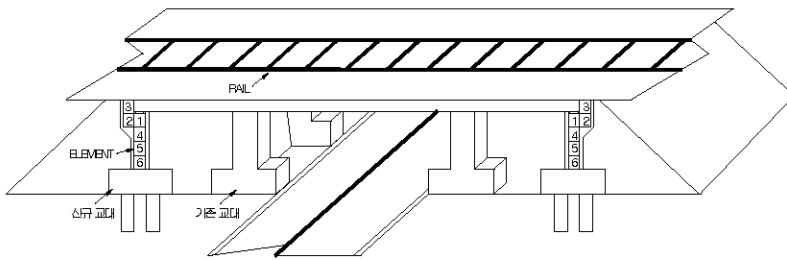


그림 5.3 ELEMENT를 교대로 활용하는 WWR 공법(1)

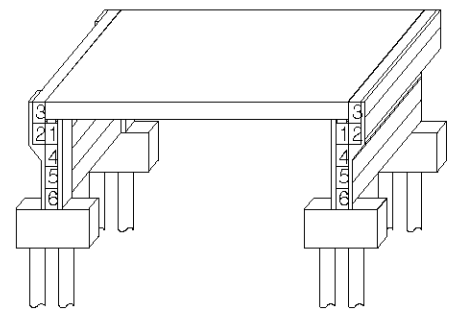


그림 5.4 ELEMENT를 교대로 활용하는 WWR 공법(2)

### 5.4 기타 활용 방안의 장점

① 소형의 Element를 사용하여 그 자체가 영구 구조물로 사용이 되므로 토피고가 낮은 기존 지하차도에 대해서 다른 Under Pass 공법들에 비해 매우 유리하다.

② 공사 기간 동안에 기존 도로를 통제하거나 우회도로를 시공하지 않아도 되므로 공기 및 공사비에 있어서 유리하며, 교통 통제에 따른 민원이 적다.

## 6. 결 론

1) 비개착공법으로 Under Pass 구조물을 시공할 경우 철저한 사전 지반 조사가 가장 중요한 사항이며, 이는 JES(Jointed Element Structure)공법의 경우에도 동일한 고려조건이 된다.

2)“경의선 철도 가도교 개량 공사”로써 가도교 주변에 보행자의 안전 및 성산로와 원활한 차량소통을 위하여 비개착 공법의 선정이 요구되었다.

3) 본 현장은 일 운행횟수가 310회로 국내 최대이며 고속철도 기지창 입구로서, 만약 침하 문제로 인한 사고 발생 시 일반 철도 및 고속철도의 운행 중단 등에 따른 사회적 피해가 크게 예상되는 구간이다. 이에 침하 문제에 있어서 가장 안전한 기계식 Under Pass 공법인 JES공법을 6.0m× 4.0m의 단면으로 2 구간(A, B 각각 2개소, L=24m)에 대하여 국내 최초로 적용하여 성공적으로 시공하였다.

4) 계산을 통해 얻은 견인력과 실제 계측치를 비교한 결과, 좌측벽 Element(F1, F2, F3, F4)의 시공 시 230~240tonf으로 계산 값보다 최대 2배 이상의 견인력이 계측되었으며, 이는 좌측벽 Element 굴착 시에 다량의 전석들이 출현함으로써 발생한 결과로 사료된다.

5) AA-01, AA-02, AA-03, 3개소에 대한 수평변형률 계측 자료를 상부 Element, 측벽 Element, 하부 Element 등과 같이 구간 별로 분석한 결과 상부 Element 시공 시 42.7mm~92.3mm로 가장 큰 침하량을 보였으며, 그 다음으로 우측벽 Element 시공 시 큰 침하량을 보였다. 이는 견인력에서 검토한 것과 마찬가지로 지반에 다량의 전석들이 포함되어 있어서 굴착 시 이 전석들이 굴착됨으로써 지반의 침하가 많이 발생한 것으로 판단된다.

6) 기존 지하차도의 확장 등에 있어서 JES 공법의 여러 가지 시공 방법들은 낮은 토피고의 조건과 기존 도로를 통제하지 않는 조건 하에서 시공이 가능하므로 공기 및 경제성 등을 고려해 볼 때 타 Under Pass 공법들에 비해 매우 유리하다.

## 참고 문헌

1. 한국철도기술연구원(2002.06),“철도지하횡단공사 JES 공법의 현장적용 방안제시에 관한 연구”
2. 정경환, 안상덕, 정선태, 엄기영, 추석연(2002.09),“강재 엘리먼트를 이용한 기계식 UNDER PASS 신공법”, 한국터널공학회 2002 가을 학술발표회
3. 연세대학교(2004.01),“경의선 연세가도교 확장공사 실시설계 보고서”