

## 지진이 터널안정에 미치는 영향

### Effects of Earthquake on Tunnel Stability

朴 南 緒 \*

#### 要 旨

본 고에서는 터널 신공법으로 건설되고 있는 Iran 철도터널의 지진에 대한 안정성을 검토하기 위하여 수행한 일련의 과정 즉, 설계지진 가속도의 산출과정과 이를 FEM해석에 도입한 과정을 소개하고 FEM 해석 결과를 분석하여 지진이 터널에 미치는 영향을 고찰하였다.

Iran지역의 지진기록 및 경험식을 통하여 지진의 최대설계가속도로써 수평가속도  $a_h=0.34g$  와 수직가속도  $a_v=0.23g$  를 산출하였고, 이를 지진의 영향에 가장 취약한 갱구부근 터널의 FEM 해석에 적용한 결과, 설계지진강도 이내에서 터널구조체의 변위와 응력은 증가하나 터널구조체에 손상은 주지 않는 것으로 나타났다.

#### Abstract

A series of numerical analyses for the earthquake of Iran railway tunnels under construction by NATM(New Austrian Tunnelling Method) were carried out through a pseudo-dynamic analysis technique used in a FEM computer program, DWTAP(Daewoo Tunnel Analysis Program), and the results are described in the paper.

The analyses were performed for two cases; one is for the primary supports and the other is for the completed permanent concrete lining. The horizontal and vertical ground accelerations for the design were estimated as  $0.34g$  and  $0.23g$ , respectively based on the historical seismic records in the project area and the empirical equations.

The results show that the tunnel would be safe under the anticipated earthquake motion with the permanent concrete lining, but some minor cracks might be developed in the primary shotcrete lining without any significant structural damages.

\* (株)大宇엔지니어링 土木事業本部 次長

## 1. 머리말

일반적으로 地震이 地下構造物에 미치는 影響은 地震強度와 構造物의 耐震設計의 정도에 따라 상당한 차이를 보이고 있는데 경우에 따라서는 엄청난 人命과 財産上의 손실을 초래하기도 한다. 地震理論 및 構造物의 耐震設計理論이 진보되고 있는 것은 明白하나 地下構造物, 특히 터널에 미치는 影響에 대해서는 研究實績이 미비하여 國內에서는 거의 全無한 상태라 볼 수 있겠다.

그러나, 最近 터널新工法の 발달과 Computer를 이용한 水質解析技法이 개발되어 널리 적용되고 있으며, 특히 地震頻도가 높은 미국, 일본 등에서는 모델실험 및 다양한 기법을 도입하여 터널에 미치는 地震의 影響에 대한 研究가 많이 진척되고 있는 형편이다. 國內에서는 80年代 初에 터널新工法이 서울地下鐵 3·4號線 建設工事に 처음 도입되어 성공리에 完了된 이래로 크고 작은 많은 터널工事に 新工法の 적용이 보편화되어 왔다. 技術的인 측면에서도 상당한 수준에 이르러 新工法을 적용한 鐵道터널 設計를 (주)대우엔지니어링이 수행하게 되었다.

Iran 鐵道터널이 建設되고 있는 이란 南部地域은 地質構造의 地震帶에 위치하고 있어서 역사적으로 많은 地震이 보고되었으며, 地震強度도 커서 많은 피해를 초래한 것으로 나타나 터널 設計時 地震에 대한 安全性檢討가 요구되었다.

本稿에서는 現場일대의 地震記錄에 근거하여 耐震檢討時 적용된 設計地震加速度的 推定課程을 제시하고, 이에 따른 數直解析的 安定性檢討方法인 FEM解析을 地震의 影響에 가장 脆弱한 坑口附近터널에 실시하여 터널에 미치는 地震의 影響을 分析하였다. 解析은 터널建設中, 즉 Shotcrete

Lining이 完了된 시점과 터널建設後, 즉 2次 Lining이 完了된 상태로 나누어서 두가지 경우에 대하여 실시하였다.

## 2 Project 概要

本工事は 이란 道路運輸省(Ministry of Road & Transportaion)이 發注한 工事로서 이란 南部의 Bandar-Abbas에서 中部內陸의 Bafq/Kerman에 이르는 總延長 약 700km에 이르는 複線鐵道線路의 18개 工區중 延長 약 22km의 Lot4-B區間이다. (株)大宇에서 Turn-Key Base로 受注하였으며 그 중 터널의 設計 및 監理를 (株)大宇엔지니어링이 수행하고 있다.

現場은 이란 南部의 Bandar-Abbas항구로부터 북쪽으로 약 100km 지점에 위치하고 있으며 既存의 國道에서 약 30km 떨어진 山岳內地에 위치하고 있다. 특히, 터널은 4개 地域으로 나누어지는 이란의 地質構造의 하나인 Zagros 褶曲帶의 中心部인 南北方向의 Zagros 산맥을 관통하는데 해발 1,000m의 험준한 山岳地域에 위치하고 있다. 터널은 총 12개소로서 延長 118m의 짧은 터널부터 延長 3,045m의 긴 터널에 이르기까지 다양하며 터널 全體延長은 7.2km에 달한다.

本 Project는 1987年初에 設計에 着手하였으며 1987年 下半期에 터널工事を 시작하여 現在 成功的으로 진척되고 있다. 특히, 지형여건상 공사노선이 험준한 山岳地域과 깊은 峽谷을 흐르고 있는 Khol江을 橫斷하는 관계로 각 터널로의 접근이 어려워 工事用 假說道路터널 및 假說橋梁이 설치되었으며 현장주변에는 溫泉地域이 많이 散在하여 있어 터널工事中 유출 Gas 等の 有毒Gas의 噴出이 예상되기도 한다.

### 3. 本論

本章에서는 먼저 地域의 地質學의 特性 및 地質記錄을 바탕으로, 地震의 設計加速度를 算出하고 이를 터널 設計斷面의 FEM解析에 적용하여 數直인 結果를 얻었다.

#### 3.1 現在의 地質學의 特性 및 地震事例 調査

##### 3.1.1 地質學의 特性

脂質構造的으로 이란고원은 南西Arabian Shield와 北東 Turan Plate 사이에 위치한 西아시아의 Alpine-Himalayan계의 一部로 알려지고 있는데 이 지역을 構造地質學의 特性에 따라 Zagros Active Folded Belt, Central Iran, Alboroz Mountains 및 Koppah Dagh Ranges의 4地域으로 나눌수 있으며 이는 Iran의 地震地域區分과도 一致하고 있다.

현장은 Iran의 南部地域에서 北東方向으로 發達한 Zagros 逆斷層을 포함하고 있는 Zagros

Active Folded Belt에 위치하고 있는데 新生代 第3期 末에 테헤란에서 페르시아만입구의 1400km에 걸쳐 형성된 Zagros帶의 起源과 관련이 있다. 이 救助袋는 北東에서는 南東方向으로 향하고 있으나 東南의 末尾에서는 褶曲帶의 軸이 점차 東쪽으로 휘어지고 있으며 褶曲作用이 반복되고 있다. NW-SE의 走向을 갖는 巨大한 Zagros산맥은 褶曲과 平行하나 北東과 南西의 양방향 경사를 갖는 Thrust 斷層에 의해 단절되고 있는데 이 단층은 Zagros Folded Belt와 構造的으로 關聯되어 있다.

이와같은 地質變化에 構造的인 지배를 받고 있는 現場은 比較的 單純한 形態의 褶曲과 斷層이 發達하고 있는데 石灰岩類와 泥灰岩이 主要岩種을 이루고 있으며 熔岩의 분출에 의한 火山岩도 부분적으로 나타나고 있다. 당 現場에서 노출되는 主要岩種의 工學的 特性은 Table 1과 같다.

Table 1 주요암석의 공학적특성

특성 암종	Camp.Strength		Permeability Coefficient	Young's Modulus : LAB	In-situ Elastic Modulus
	LAB PLT				
	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )		K(cm/sec)	E(kg/cm <sup>2</sup> )	Eb(kg/cm <sup>2</sup> )
Detrital LIMESTONE	650— 1000	800— 1600	$3.0 \times 10^{-5}$ $-1.0 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^5$ $-6.7 \times 10^5$	$8.0 \times 10^4$ $-1.0 \times 10^6$
Gypsy LIMESTONE		500— 1200	$2.5 \times 10^{-4}$ $-8.5 \times 10^{-4}$		
Argillaceous LIMESTONE	900— 1100	800— 1400	$1.3 \times 10^{-5}$ $-8.5 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^5$ $-3.5 \times 10^5$	$4.5 \times 10^4$ $-1.5 \times 10^5$
Sandy LIMESTONE		700— 15000	$2.5 \times 10^{-5}$ $-8.5 \times 10^{-4}$		$3.0 \times 10^4$ $-1.0 \times 10^5$
MARLSTONE	150— 700	100— 800	$2.2 \times 10^{-5}$ $-4.4 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^4$ $-5.0 \times 10^5$	$7.0 \times 10^3$ $-2.0 \times 10^5$
SANDSTONE		80— 400	$2.0 \times 10^{-6}$ $-5.5 \times 10^{-5}$		$3.0 \times 10^4$ $-1.2 \times 10^5$
SHALE		80— 150			

Note. LAB:Laboratory Test  
PLT:Point Load Test

### 3.1.2 地震事例 調査

일반적으로 이란은 큰 強度의 地震이 分散되어 나타나는 地域으로 地震活動이 不連續的이며 不規則하게 發生하고 있는 곳으로서 이중 Zagros Active Folded Belt의 中心部는 Iran뿐만이 아니라 中東地域에서도 地震活動이 가장 왕성한 곳이다. 現場은 Zagros Active Folded Belt의 南東部에 위치하고 있어서 Gahkom-Hajjabad強地震地域에 의해 環境을 받을 可能性이 크다. 現場이 위치한 Hijabad 地域의 Seismotectonic 상황은 Fig.1과 같다.

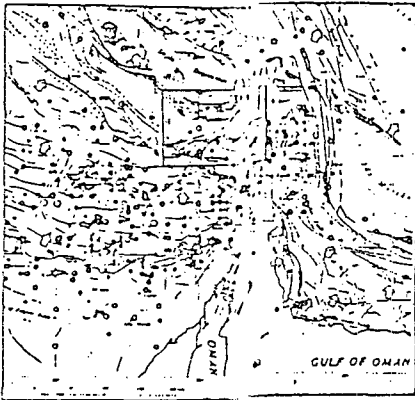


Fig.1 Seismotectonic Situation of the Hajjabad Area(After Berberian 1976)

#### (1) 地震 Magnitude

一般的인 經驗式이 많은 學者에 의해 제시되고 있으나 本稿에는 Gutenberg와 Richter (1965)가 제안한 地震의 크기 및 頻度사이의 經驗的인 關係式을 利用하였으며 그 式은 다음과 같다.

$$\text{Log } N = A - bM \dots \textcircled{1}$$

N = 地震頻度

M = Magnitud

Berberian(1977)의 報告書에 의하면 1945年에서 1977年사이에 現場周邊에서 發生된 地震事例은 Fig.2와 같으며 얕은 震源地를 가지며 Magnitude는 5~7로 나타났다.

### 3.2 設計地震加速度的 決定

#### 3.2.1 地震係數의 決定

歷史的 地震記錄에 근거하여 確率論的으로 터널의 耐久 年限동안에 作用 할 수 있는 最大의 地震係數를 產出할 수 있다. 本稿에서는 다음과 같은 方法으로 地震係數는 決定하였다.

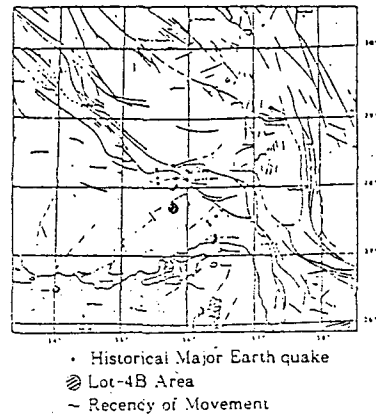


Fig.2 주요지진의 진앙지(1945~1947)

A, b : 地域에 다른 地震常數

Kaila와 Narain(1971)은 Iran-Turkmenia 地域의 A, b값을 각각 6.02와 1.18로 제시하였다.

$$\therefore \text{Log } N = 6.02 - 1.18M \dots \textcircled{2}$$

上記의 式은 Fig.3과 같이 M=6.5까지는 直線으로 나타나나 M=7.0에서는 거의 Zero에 가까워진다.

따라서 터널의 安定性檢討에 利用될 地震이 크기(Magnitude)는 6.5~7.0으로 택하였다.

(2) 最大地震加速度

最大加速度를 決定하기 위한 크기, 거리 및 最大加速度사이의 經驗的인 關係式은 다음과 같다.

$$a = A \cdot e^{BM} (R+r)^{-C} \dots \dots \textcircled{3}$$

a : 加速度 (cm/sec<sup>2</sup>)

A,B,C : 地域의 地震常數 調査에 의하면 A,B 및 C의 값은 Table 2와 같다.

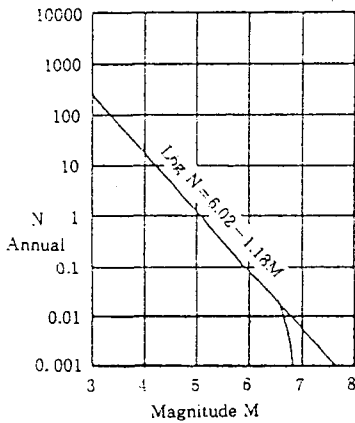


Fig.3 지진 빈도와 강도의 관계

Table 2 A,B,C의 값

Researcher	A	B	C	r
Donovan(1971)	1080	0.5	1.32	25
Oliveirs, C	1230	0.8	2.0	25
Bsteva(1974)	5600	0.8	2.0	40
Mc-Guire.R.K	472.3	0.278	1.301	25
Berberian	1080	0.58	1.32	25

(3) 水平設計加速度

水平設計加速度를 얻기 위하여 上記 Table 2에서 Berberian의 地震常數와 식 ③을 利用하면 Magnitude(M), 地震加速度(a) 및 震央距離

(R)의 관계로부터 Fig.4와 같은 曲線들을 얻을 수 있다. 당현장의 터널 安定性 檢討에 적용될 Magnitude(M)은 앞절에서 M=6.5~7.0(Richter Scale), 震央距離(R)은 Fig.2에서 R=28~30km로 나타나고 이를 Fig.4의 M-a-R관계곡선에 代入하면 水平設計加速度(a)는 a<sub>h</sub>=0.25~0.34 g의 범위를 얻는다.

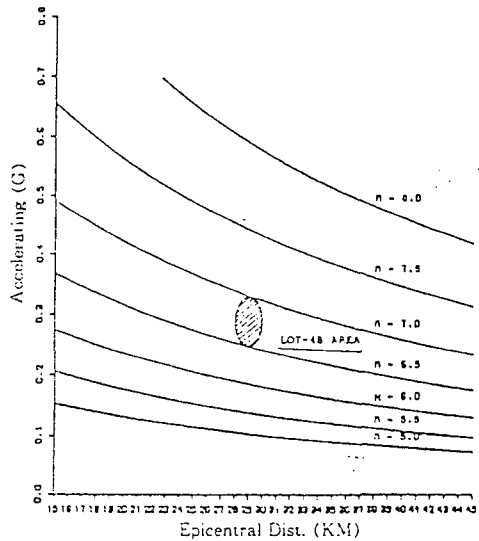


Fig.4 M-a-R 관계 곡선도

(4) 垂直設計加速度

ASTM Section III의 規定과 其他의 安全等級에 따르면 一般的으로 垂直加速度는 水平設計加速度의 2/3를 취하고 있다. 따라서 垂直設計加速度 a<sub>v</sub>=0.17~0.23 g의 범위를 얻는다.

3.2.2 最大設計加速度

地震記錄과 經驗的인 關係式에 根據하여 算出된 最大設計加速度는 다음과 같다.

- 最大水平加速度=0.34 g
- 最大垂直加速度=0.23 g

3.3 터널 構造解析

3.3.1 터널의 設計

本稿에서는 터널에 미치는 地震의 影響을 理解하는데 主目的이 있기 때문에 本 工事地域의 地盤條件, 그에 따라 岩盤分類法 및 터널 支保方法 등의 設計概念에 대해서는 생략하였으며, 解析에 적용된 터널 標準斷面 및 工順序圖는 각각 Fig.5 및 Fig.6과 같다.

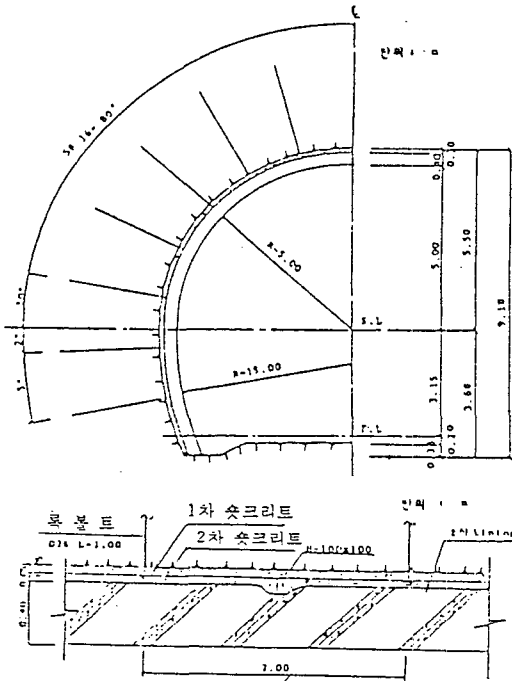


Fig.5 터널 표준단면도

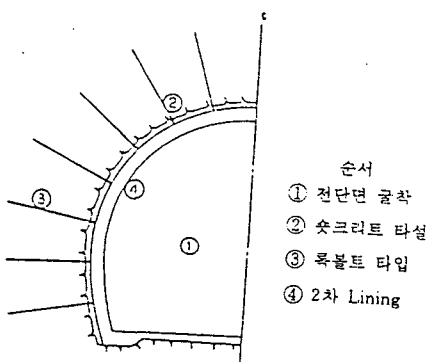


Fig. 시공순서도

### 3.3.2 터널 FEM解析

上記의 標準斷面に 대하여 FEM解析을 實施하였다. FEM解析에 使用된 Program은 DWTAP(Daewoo Tunnelling Analysis Program)으로서 터널의 舉動解析用 Program이다.

解析에 적용된 표준斷面은 터널천단부에서 토피 20m 되는 斷面으로 정하고 初期側壓係數는 High Tectonic Stress 地域이라는 地域的 與件을 考慮하여  $K_0=2.0$ 을 적용하였다.

解析에 地震加速度를 도입하는 方法은 두 가지 경우로 考慮하였는데 첫째는, 施工中 地震이 發生하는 경우 즉, Shotcrete 硬化後 즉, 2차 Lining 타설 전이며, 둘째는, 施工完 後 즉, 2차 Lining이 完 된 후 地震이 發生되는 경우를 考慮하였다. 解析에 적용된 地震加速度는 앞에서 產 出된 最大設計加速度 즉, 水平加速度( $a_h=0.34g$ , 垂直加速度( $a_v=0.23g$ )을 加하였다.

#### (1) 解析에 적용된 物性值

FEM解析에 적용된 地盤物性值 및 支保 物性值는 각각 Table 3 및 Table 4와 같다.

Table 3 지반 물성치

암 종		풍화암	
초기측압계수	$K_0$	2.0	
단 위 중 량	$T_2$ (T/M <sup>2</sup> )	2.4	
변 형 계 수×10 <sup>4</sup>	D (T/M <sup>2</sup> )	5.0	
포 와 손 비	U	0.3	
점 착 력	C (T/M <sup>2</sup> )	20.0	
내부 마찰각	$\phi$ (Deg.)	35.0	
지진 가속도	a (g)	수평	수직
		0.34	0.23

Table 4 지보부재의 물성치

지보부재의 물성치		약한 숫크리트	강한 숫크리트	특볼트	2차Lining
단 위 중 량	Yt (T/M <sup>2</sup> )				2.5
변 형 계 수×10 <sup>4</sup>	E (T/M <sup>2</sup> )	20	140	2100	300
포 와 손 비	v	0.3	0.2		0.167
점 착 력	C (T/M <sup>2</sup> )	550	550.	18000	500
내 부 마 찰 각	φ (Deg.)				40
모르타르와 지반사이의 점착력	C' (T/M <sup>2</sup> )	20.0			
모르타르와 지반사이의 마찰각	φ' (Deg.)	35.0			

(2) 解析모델 및 解析段階

FEM解析을 위한 標準斷面의 解析모델, 境界條件 및 解析段階는 각각 Fig.7 및 Fig.8과 같다.

(2) 解析結果 및 分析

FEM解析結果, 節点變位 및 內空變位, 숫크리트應力 및 2차 Lining應力은 각각 Table 5,6,7과 같다. 각 Table에서 Step 3은 2차 Lining 施工前에 地震이 發生하지 않는 경우, Step 4는 2차 Lining 施工前에 地震이 發生하는 경우, Step 5는 2차 Lining 施工後 地震이 發生하지않은 경우이며

Step 6는 2차 Lining 施工後 地震이 發生되는 경우를 나타낸다.

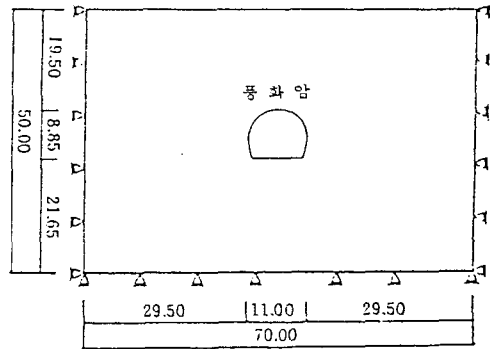
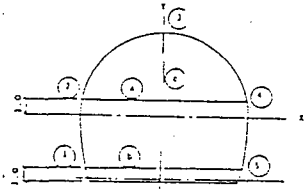


Fig.7 해석모델 및 境界조건

해석단계	0	1	2	3	4-1	4-2	4-3	5	6-1	6-2	6-3
공 종	초기응력 상태	전단면굴착	약한숫크리트 및특볼트타입	강 한 숫크리트	수평지진 가속도적용 (0.34g)	수직지진 가속도적용 (0.23g)	H&V지진 가속도적용	2차Lining	수평지진 가속도적용 (0.34g)	수직지진 가속도적용 (0.23g)	H&V지진 가속도적용
하중부담률 (%)	-	50	25	25	100	100	100	100	100	100	100
형 상											

Fig8 해석단계

해석단계 위치	2차 Lining시공전 <sup>*1</sup>			2차 Lining시공전 <sup>*2</sup>		
	4-1(H)	4-2(H)	4-3(H&V)	6-1(H)	6-2(H)	6-3(H&V)
①	8.15 -0.95	0.24 -6.88	839 -783	8.20 -0.91	-0.21 -7.12	7.99 -8.07
②	8.26 -1.01	0.05 -7.91	831 -892	8.26 -0.96	-0.46 -7.53	7.85 -8.48
③	8.56 0.00	0.00 -9.80	857 -980	8.48 0.05	0.00 -8.44	8.46 -8.44
④	8.26 1.01	-0.05 -7.91	820 -691	8.31 0.96	0.46 -7.53	8.87 -6.58
⑤	8.15 0.95	0.24 -6.88	791 -594	8.81 0.90	0.21 -7.12	8.42 -6.123
㉑	0.00	0.10	0.11	-0.05	-0.92	-0.92
㉒	0.00	0.48	0.48	-0.61	-0.42	-0.43
㉓	0.00	0.51	0.51	-0.05	3.44	3.44



주: ①~⑤ 절점변위 ㉑㉒㉓: 내공변위

\*1: 슛크리트의 절점변위 및 내공변위(단계4-단계3),

\*2: 2차 Lining의 절점변위 및 내공변위(단계6~단계5)

解析結果, 地震發生時 터널 構造體가 周邊岩盤과 함께 10mm정도 움직이는 것으로 나타났으나 內空變位는 미세하게 나타났다. 슛크리트應力은 地震力이 作用하지 않을 때 10kg/cm<sup>2</sup>이하를 나타내었으나 2차 Lining施工前에 地震發生時는 最大 58kg/cm<sup>2</sup>로 증가하고 2차 Lining施工後에 地震發生時는 最大 26kg/cm<sup>2</sup>로 떨어지고 있다. 이때 2차 Lining應力은 21kg/cm<sup>2</sup>까지 증가하고 있음을 보여준다.

이 結果로만 判斷할 때 2차 Lining이 슛크리트應力을 일부 흡수함으로써 슛크리트에 걸리는 過大한 應力을 줄이는데 큰 역할을 하고 있음을 보여주고 있다.

結論的으로, 上記의 設計加速度에서 슛크리트에 약간의 引張應力이 發生하여 微細균열이 發生할때 可能性이 있으나 이는 無詩할만 하고 全般的으로 터널 構造體의 變位와 應力은 증가하고 있으나 큰 影響은 없는 것으로 나타났다.



Table 6 슛크리트의 응력상태(최종단계)

단위 : kg/cm<sup>2</sup>

압축응력(+)

해석단계 위치	2	3	2차Lining시공전			2차Lining시공후			
			4-1(H)	4-2(V)	4-3(H&V)	5	6-1(H)	6-2(V)	6-2(H&V)
①	1.76	1.76	-20	16.72	12.96	256	-0.94	-0.60	-3.75
②	7.28	7.28	6.80	49.63	49.15	7.33	6.91	24.40	24.22
③	7.28	7.28	7.75	49.63	50.11	7.33	7.19	24.40	24.53
④	9.61	9.61	14.39	52.92	57.71	8.31	12.21	19.68	24.01
⑤	9.61	9.61	4.82	52.92	48.13	8.31	3.64	19.68	15.29
최대값 (위치)	9.61 ④ ⑤	9.61 ④ ⑤	15.76 ⑥	52.92 ④ ⑤	57.71 ④	8.31 ④ ⑤	14.34 ⑥	24.45 ②	25.60 ⑦

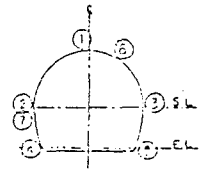
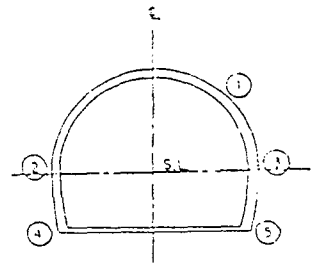


Table.7 2차Lining의 응력상태(최종단계)

단위 : kg/cm<sup>2</sup>

압축응력(+)

해석단계 위치	2차Lining 시공후			
	5	6-1(H)	6-2(V)	6-3(H&V)
①	0.01	4.23	13.90	15.59
②	0.75	1.47	16.40	16.29
③	0.74	1.56	16.23	16.44
④	1.42	3.04	19.51	12.89
⑤	1.42	3.13	19.53	18.22



4. 平價

이란鐵道터널은 地震에 가장 취약한 坑口附近 터널에 대한 FEM解析을 통하여 設計加速度 以下에서는 안전한 것으로 나타났다.

地震으로 인한 地盤運動으로 發生된 터널피해에 대하여 Rozen과 Dowding(1978)이 調査한바에 의하면 表面最大加速度의 관점에서 볼 때 0.28g

이하는 被害, 0.58g 以上에서는 많은 被害가 發生되었다. 다른 일련의 研究結果에 의하면 地震時 地下의 運動은 地表面에서보다 작게 나타나는 데 Yamahara, Hisatomi 및 Morie(1978)에 의하면 深部 基盤岩에서의 地震運動의 強度는 地表面強度의 1/3내지 1/4인 것으로 보고 되었다.

結果의으로 볼 때 터널은 周邊地盤과 같이 움직이고 深部로 내려갈수록 弱화된 地震強度의 影

響을 받는다. 이런 관점에서 슛크리트와 록볼트의 支保部材가 周邊地盤과 一體를 형성하는 터널 新工法은 地震發生時 상당한 長점을 갖는다. 즉, 一體화된 周邊地盤에 의해 支保된 터널 空洞은 地震發生時 周邊地盤과 같은 舉動을 하기 때문이다.

上記에 言及한 FEM 解析結果와 文獻에 나타난 研究結果 및 터널新工法의 概念을 綜合에 볼 때 이란 鐵道터널은 地震에 대하여 安全한 것으로 平價된다.

그러나, 地震이 터널에 미치는 避害에는 本稿에서 論한 地盤運動에 의한 避害이외에도 山沙汰와 같은 斜面崩壞에 의한 터널坑口部の 避害 및 大型斷層移動에 의한 避害가 發生되는데 이를 방지하기 위하여 設計時 事前에 斜面安定檢討를 통하여 坑口位置를 選定하고 加緊적 斷層을 避하도록 考慮하였다.

## 5. 맺음말

이란 鐵道터널의 設計課程이 터널에 미치는 影響은 本稿에서 敘述한 一連의 課程을 통하여 數解析的인 方法과 一般的인 研究結果를 토대로 檢討되었으나 類似한 技術資料, 모델實驗 또는 現場計測에 의한 比較를 통한 檢證의 段階에는 이르지 못하였다.

또한, 本稿의 FEM解析에서도 슛크리트와 1次 Lining이 構造上 完全히 밀착된 것으로 假定하였으나 實地는 分離狀態에 있으며 (특히 2次 Lining과 슛크리트 사이에 防水材를 설치할 때는 더욱 그러하다.) 이 때의 슛크리트와 2次 Lining의 舉動은 實地와 相異한 舉動을 보이리라는 것이 豫相된다.

기타 制限문제점을 內包하고 있지만 本設計를 통하여 地震에 대한 터널의 安定性 檢討方法의 제시 및 터널에 미치는 地震의 影響에 대해 간략하게나마 理解할 수 있었다는 점에서 成果가 있었다. 向後, 類 Project의 수행과 꾸준한 研究開發로 技術蓄積을 이루어나가면 날로 증가하고 있는 國內外 地下空間利用施設의 設計 및 耐震診斷分野에서 상당한 경쟁력을 가지게 되리라 본다.

### 智山著書

ANFO 爆劑 新發破學	東亞出版社
半生遍曆	三寶文化社(非賣品)
新火藥發破學	機電研究社(再發行)
서울地下鐵工事3,4號線 發破工法	서울 地下鐵公社(非賣品)
岩石力學	機電研究社
岩石力學 解說	同上
智山 許墳博士回甲記念論文集	지영文化社
智山 許墳博士古稀記念集	藝成文化社