

개착식 터널에서 파형강판 라이닝의 동적 거동 특성 The Seismic Behavior of Corrugated Steel Plate Lining in Cut-and-Cover Tunnel

김정호¹⁾, Jung-Ho Kim, 김낙영²⁾, Nag-Young Kim, 이용준³⁾, Yong-Jun Lee,
이승호⁴⁾, Seung-Ho Lee, 정형식⁵⁾, Hyung-Sik Chung

¹⁾ SK건설 토목기술팀 과장, Manager, Civil Engineering Team, SK Engineering & Construction

²⁾ 한국도로공사 연구개발실 책임연구원, Chief Researcher, Geotechnical Engrg. Division, Highway & Transportation Technology Institute, Korea Highway Corporation

³⁾ 포스코건설 기술연구소 차장, Deputy General Manager, POSCO Engineering & Construction

⁴⁾ 상지대학교 토목공학과 정교수, Professor. Dept. of Civil Engrg., Sangji Univ.

⁵⁾ 한양대학교 토목공학과 대우교수, Emeritus Professor. Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.

SYNOPSIS : Most tunnel lining material which has been used in the domestic is a concrete. But many problems as the construction period, the cost, and the crack occurrence for the design, construction, and management were happened in the concrete lining.

For this reason, many research institutes like the Korea Highway Corporation recognize the necessity of an alternate material development and grow on the interest for that.

So in this study, the seismic behaviour characteristics for the application of the Corrugated Steel Plate Lining in cut-and-cover tunnel are evaluated as several conditions for the backfill height, the cutting slope, and the relative density of backfill soil are changed.

The compressive stress which is calculated in the Corrugated Steel Plate Lining by the seismic load is decreased as the backfill height increases and the cut slope grows gentle. Also, the moment shows the tendency of decrease according to the increase of the backfill height. But in the case of the relative density of the backfill soil is small, the moment increases according to the increase of the backfill height and affects the dynamic behaviour characteristic. So it is considered that the relative density of the backfill soil is also the important point.

As the result in analyzing the seismic response characteristics of the reinforcement spacing of the Corrugated Steel Plate, the variation in the compressive force is hardly happened, but the moment and the shear force increase on the reinforcement spacing being narrow.

Key words : corrugated steel plate, cut-and-cover tunnel, soil-structure interaction, finite element analysis, time domain analysis

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

산악지형이 많은 국내의 지형적 여건상 고속도로 및 고속철도의 확충 과정에서 유리한 선형의 확보와 친환경적인 요구에 따라 터널 건설이 증가하는 추세이지만, 국내 터널 라이닝의 설계는 일률적인 관행들을 답습해 오고 있으며, 새로운 라이닝 대체 재료의 개발을 소홀히 하고 있는 실정이다.

국내에서 사용되고 있는 기존의 터널 라이닝으로서 주를 이루고 있는 콘크리트 라이닝은 설계, 시공, 유지관리 측면에서 공사기간, 공사비, 균열발생 등 많은 문제점들이 발생하고 있으며, 최근 한국도로공

사 등의 연구기관에서는 기존의 라이닝 대체 재료 개발의 필요성을 인식하고 파형강판의 개착식터널 적용성에 관한 관심이 증가되고 있다.

그러나 국가 건설정책 및 국민 정서상 파형강판을 국내에 도입하기 위해서는 국내외의 설계사항들을 검토하여야 할 뿐만 아니라, 일반적인 설계 고려항목 이외에도 내진에 대한 검토가 이루어져야 한다. 특히 국내의 내진설계 기준상 터널 구조물은 내진 1등급 구조물로 분류되어 있어 내진설계가 필수적인 항목임에 반해 대골형 파형강판을 일반적으로 사용하고 있는 캐나다의 경우, 지진에 대한 검토항목이 국내의 규정에 비해 다소 미약하기 때문에 반드시 국내에 도입 때에는 국내의 설계조건에 맞는 지진에 대한 거동특성이 규명되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 파형강판을 지중구조물인 개착식터널의 라이닝에 적용하였을 경우에 대한 동적 시간이력해석을 통하여 파형강판 라이닝의 동적 거동 특성을 평가하고자 한다.

1.2 연구내용 및 방법

개착식 터널에서 파형강판 라이닝의 동적 거동 특성을 분석하기 위하여 본 논문에서는 고속도로 2차로 산악터널의 개착구간에 적용되는 단면(그림 1)을 기준으로 두께 7.01mm의 무보강과 EC-Rib 보강 파형강판(그림 2)에 대하여 동적 시간이력 해석을 수행하였다.

이를 위하여 본 논문에서는 개착터널의 토피고와 개착사면의 경사 및 뒷채움 흙의 다짐도에 따른 조건을 변화시켜 파형강판 라이닝의 안정성 및 거동 특성을 규명하고자 하였으며, 각각의 조건들은 다음과 같다.

본 연구에서는 주파수영역해석을 이용한 시간이력해석을 수행하였으며, 원지반의 암반조건은 일반적인 산악도로터널의 암반조건인 보통암정도의 비교적 양질의 암반조건을 이용하여 되메움토사의 다짐정도(3case), 터널의 토피고(3case), 원지반의 굴착경사(3case), 파형강판의 보강간격(4case)에 따른 인공합성 지진파를 이용한 동적거동 특성을 분석하였다(그림 3 및 표 1 참조).

여기서 토피고 조건은 파형강판 구조물의 최소 토피고(본 논문에서는 편의상 0.0D라고 칭하였음)까지 되메움 토사를 시공하였을 경우, 터널 직경의 0.5배(0.5D) 되는 위치까지 되메움 토사를 시공하였을 경우, 터널 직경의 1.0배(1.0D)까지 되메움 토사를 시공하였을 경우에 대한 거동 특성을 분석하였다.

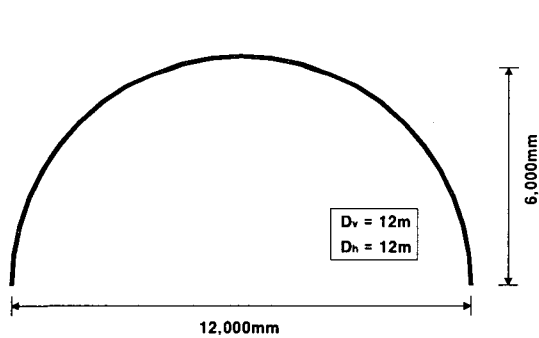


그림 1. 개착식 터널 라이닝 단면 규격

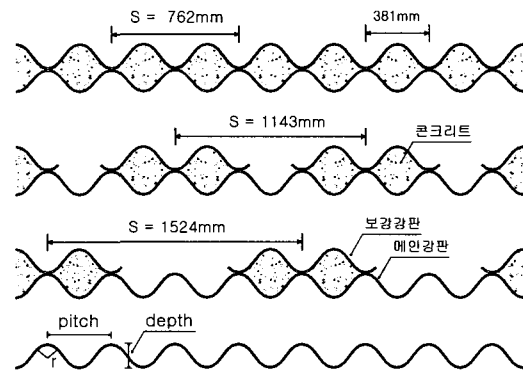


그림 2. EC-Rib 보강 단면

표 1. 동적 거동 특성 분석 항목 및 내용

분석 항목	분석 조건	분석 항목	분석 조건
되메움토사의 다짐정도	90%, 95%, 100%	굴착경사	1:1.2, 1:0.6, 1:0.0
토피고	0.0D, 0.5D, 1.0D	파형강판의 보강간격	무보강, 1524mm, 1143mm, 762mm

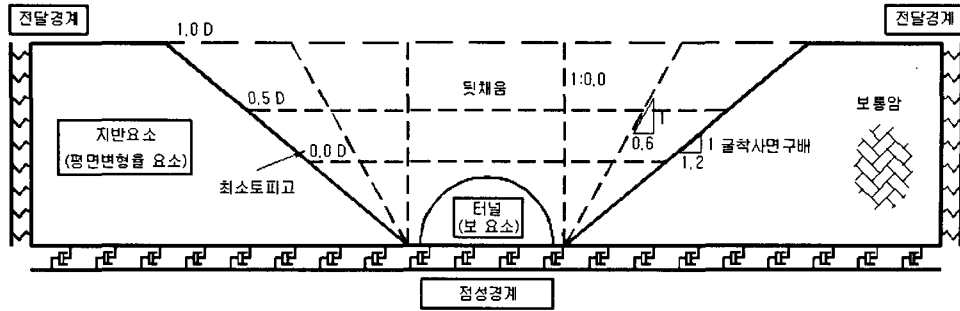


그림 3. 파형강판 개착식 터널의 동해석단면

2. 수치해석

2.1 해석프로그램

일반적으로 지상구조물에 대한 내진해석방법은 각 모드별 구조물의 고유치해석(Eigen Value Problem)을 통한 Modal Analysis가 이용되고 있다. 그러나 지반-구조물의 동적해석에서는 고유치해석만으로 지반의 비선형 특성 고려가 곤란하기 때문에 지중구조물과 같이 주변 지반의 특성에 영향을 크게 받는 조건에서는 시간이력을 주파수영역(Frequency Domain)으로 변화한 후 유한요소해석을 수행하고 이를 다시 IFFT(Inverse Fast Fourier Transformation)를 수행하는 동적 유한요소해석을 적용하여야 보다 합리적인 결과를 얻을 수 있다.

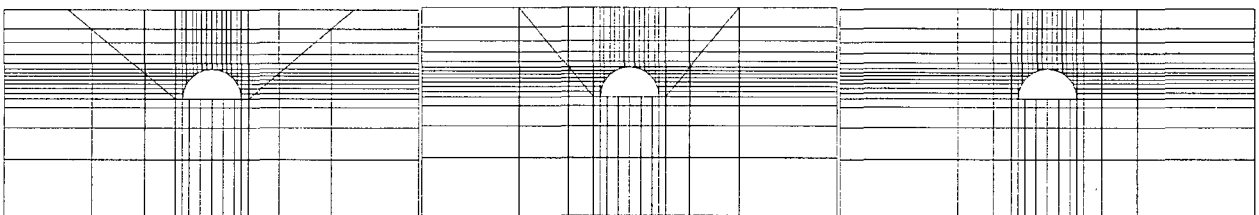
따라서 개착식 터널에서 파형강판 라이닝의 동적 거동 특성 분석을 위한 지진해석을 수행하기 위하여 본 연구에서 사용한 시간이력 해석 프로그램으로는 AFIMEX를 사용하였다. 본 Program의 Main Solver는 FLUSH로 1975년 미국 Univ. of California, Berkeley에서 개발된 이래 미국 원자력규제위원회(USNRC)에서 지반-구조물의 동적 상호작용 해석용으로 사용 인가된 Program이다. 본 Program을 이용하여 동적해석을 수행하기 위한 방법으로는 초기 추정된 지반의 전단탄성계수 및 감쇠계수를 이용하여 지반의 자유장해석을 수행한 후, 여기서 얻어진 등가선형화(Equivalent Linear Method)된 유효전단계수 및 감쇠비를 이용하여 유한요소해석을 수행하게 된다. 이러한 방법에 적용된 지반의 변형률 의존곡선(Strain-Compatible Curve)은 Seed & Idriss가 제안한 곡선을 이용하였다.

2.2 해석 모델링 및 경계조건

파형강판 라이닝의 동적 거동특성을 분석하고자 다음의 그림 4와 같은 흙-구조물 합성 구조계의 유한요소 망을 이용하였으며, 이를 구성하는 요소로는 보요소(파형강판), 뒷채움 흙요소 및 뒷채움 흙요소와 보요소 사이에 위치한 접합부 요소(Interface Element) 등이다(그림 3 참조).

일반적으로 S_B 지반인 보통암 이상의 지반의 경우 기반암에서 지진하중을 적용시켰을 시 파의 증폭이나 감소가 거의 발생되지 않으므로 설계가속도에서 큰 차이를 보이지 않기 때문에 지진파를 기반암에 적용시켰으며, 기반면의 경계조건은 점성경계를 사용하여 진동에너지가 모델에 그대로 전달되도록 하였다. 또한 수치모델의 좌, 우측의 경계부에 전달경계조건을 이용하여 가진부에서 발생된 진동에너지가 좌, 우측경계면에서 반사되지 못하도록 하였다(그림 3 참조).

본 연구에서 검토하고자 하는 파형강판 라이닝의 동적 안정성 분석을 위한 단면 특성치는 표 2에 나타내었다.



(a) 굴착사면구배 1:1.2

(b) 굴착사면구배 1:0.6

(c) 굴착사면구배 1:0.0

그림 4. 유한요소해석(AFIMEX) 망

표 2. 동적 수치해석에 적용된 터널의 제원

보강간격 (mm)	단위중량 (tf/m ³)	전단탄성계수 (tf/m ²)	단면적 (m ² /m)	단면2차모멘트 (m ⁴ /m)	프아송비	콘크리트량 (tf/m)
무보강	7.85	8076923.1	0.00981	2.42E-05	0.3	0
1524	7.85	8076923.1	0.01472	2.33E-02	0.3	1.993
1143	7.85	8076923.1	0.01635	2.78E-02	0.3	2.990
762	7.85	8076923.1	0.01962	3.68E-02	0.3	5.979

2.3 지반의 동적 물성치 산정

지반의 구속응력을 이용한 전단계수 산정방식은 각 심도별 구속응력을 전단계수 산정식에 반영하여 동일한 지층이라도 서로 다른 전단계수를 산정하게 된다. 본 연구에서는 지반의 구속응력을 고려한 전단계수 산정법 중 1970년에 Seed가 제안한 상대밀도별 전단계수 산정법(식 1참조)을 이용하여 전단계수를 구하였다.

$$G_{max} (lb/ft^2) = 1000K_2(\sigma'_m)^{0.5} \quad (1)$$

여기서 K_2 는 상대밀도별 계수(그림 5), σ'_m 는 지반의 구속응력이다.

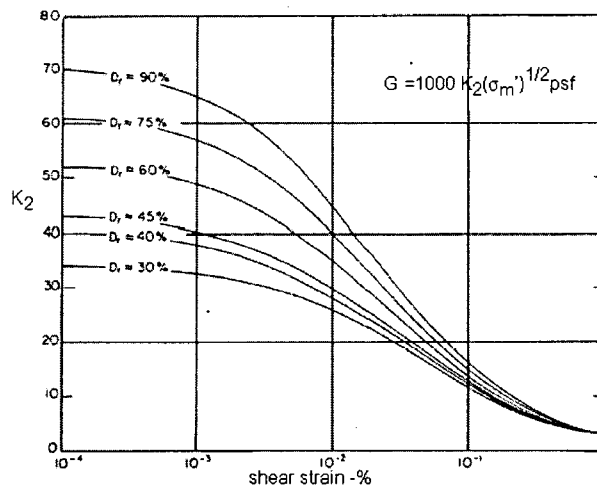


그림 5. Stiffness vs. shear strain where D_r = relative density, σ'_m = mean effective stress (Seed & Idriss, 1970)

본 연구에서 사용된 퇴메움 토사의 동적 물성치는 표 3과 같으며, Seed(1970) 제안한 상대밀도별 계수 (K_2)를 기준으로 하여(그림 5 참조) K_2 가 46, 64, 80일 때 동적 수치해석을 수행하였다. 또한 원지반은 보통암에 해당되는 전단계수를 적용하였으며 터널과 기반암이 퇴메움 토사와 접하는 경계면에 인터페이스요소를 적용하였다(표 4).

그리고 본 연구에서 사용된 등가선형기법의 전단변형율과 전단계수, 전단변형율과 감쇠비의 관계는 Seed가 제안한 값을 적용하였다. (그림 6, 그림 7 참조)

표 3. 지반의 동적 물성치

토피고	다짐도	상대 밀도	N	K ₂	단위중량 (tf/m ³)	마찰각 (°)	토압 계수	프아송비	심도 (m)	전단탄성계수 (tf/m ²)
0.0D	90%	50%	20	46	2.16	33	0.455	0.313	6.0	6527.56
	95%	80%	30	64	2.24	36	0.412	0.292	6.0	9037.68
	100%	100%	40	80	2.32	39	0.371	0.271	6.0	11234.70
0.5D	90%	50%	20	46	2.16	33	0.455	0.313	6.0	6527.56
									12.0	6680.06
	95%	80%	30	64	2.24	36	0.412	0.292	6.0	9037.68
									12.0	9464.55
	100%	100%	40	80	2.32	39	0.371	0.271	6.0	11234.70
									12.0	12040.09
1.0D	90%	50%	20	46	2.16	33	0.455	0.313	6.0	6527.56
									12.0	6680.06
									18.0	8181.37
	95%	80%	30	64	2.24	36	0.412	0.292	6.0	9037.68
									12.0	9464.55
									18.0	11591.65
	100%	100%	40	80	2.32	39	0.371	0.271	6.0	11234.70
									12.0	12040.09
									18.0	14746.04

표 4. 수치해석에 사용된 지반 물성치

구 분	상대밀도계수 (K ₂)	단위중량 (tf/m ³)	내부 마찰각 (°)	프아송비	비고
되메움 토 사	46	2.16	33	0.313	
	64	2.24	36	0.292	
	80	2.32	39	0.271	
인터 페이스	-	2.24	21.8	0.386	
원지반	-	2.40	42	0.249	보통암

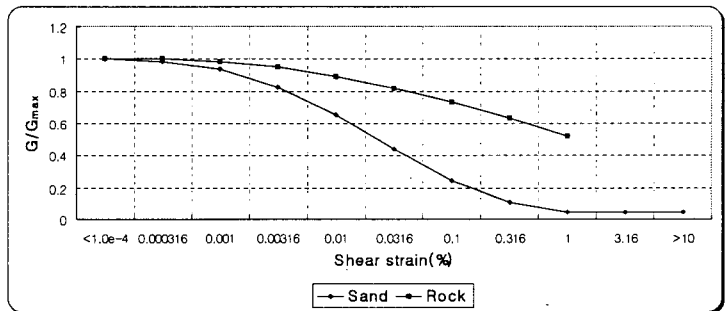


그림 6. Strain-Compactible Shear Modulus Ratio Curve

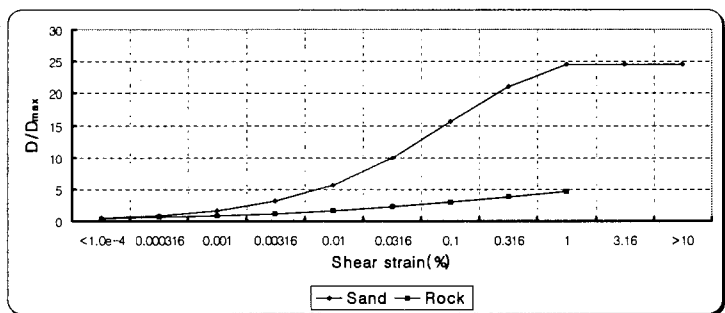


그림 7. Strain-Compactible Damping Ratio Curve

2.4 지진파의 선정

국내외적으로 가장 많이 사용되고 있는 인공지진파 생성방법으로는 기존의 지진기록을 수정하는 방법과 시간영역에서 포괄함수를 이용한 인공합성 지진파를 생성시키는 방법이 사용되고 있다.

이중 실제 지진기록을 수정하는 방법은 가속도 시간이력이나 속도시간이력에서 목표로 하는 진동의 유효가속도(EPA, Effective Peak Acceleration)를 이용한 임의의 Scale Factor를 적용하여 지진동의 크

기를 조정하는 방법이다. 이 방법은 기존의 지진파를 이용하는 방법으로 간편하게 인공지진파를 얻을 수 있는 장점은 있으나 실제 설계에서 제시되고 있는 표준 응답스펙트럼과는 차이를 보이게 된다.

따라서 본 연구에서는 시간영역에서 포괄함수를 이용한 인공합성 지진파를 생성하여 동적해석을 수행하였다. 국내의 내진 설계 기준에 의하여 본 연구에서는 보통암을 기준으로 설계 응답스펙트럼을 작성하였으며 이를 그림 8에 각각 나타내었다.

본 연구에서 적용된 인공합성지진파는 국내 내진설계기준상, 산악터널은 1등급 구조물에 속하며 대체로 산악터널의 특성상 보통암 이상의 지반에 시공되는 것이 일반적이므로 본 연구에서 적용된 지진파 역시 보통암을 기준으로 작성하였다. 또한 국내 내진 설계기준상 지진구역은 I구역과 II구역으로 나뉘어져 있는데, 본 연구에서는 지진의 강도가 큰 I구역에 대한 구역계수를 사용하여 인공지진파를 작성 적용하였다. 또한 인공지진파는 SIMQKE를 이용하여 원시 인공지진파를 생성한 후, 미국의 NRC (Nuclear Regulation Committee)규정에 부합하는 최종 인공지진파를 생성하였다. 이와 같은 조건에 의해 생성된 인공지진파의 스펙트럼 및 시간이력은 다음의 그림 9~12와 같으며, 이때의 유효가속도(EPA)는 0.154g이며 강진지속시간은 약 24초이며 탁월 주파수는 약 2.2Hz로 산정되었다.

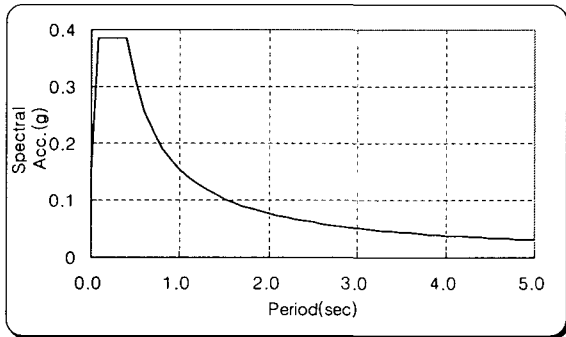


그림 8. S_B 지반에서의 설계응답스펙트럼 (지진구역 I, 1000년 주기)

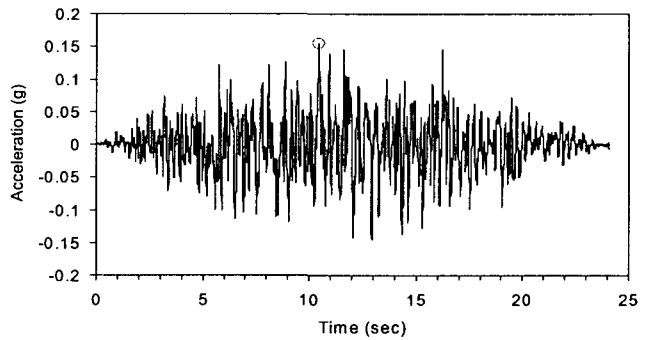


그림 9. 인공합성 지진파의 시간이력곡선

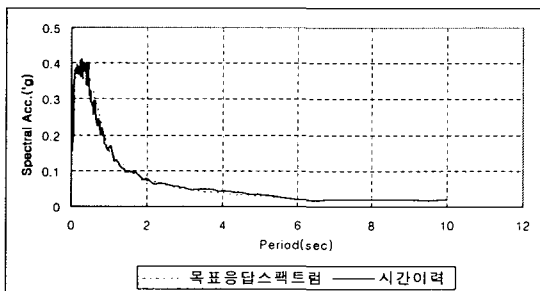


그림 10. 인공합성 지진파의 설계 응답스펙트럼(주기-응답가속도)

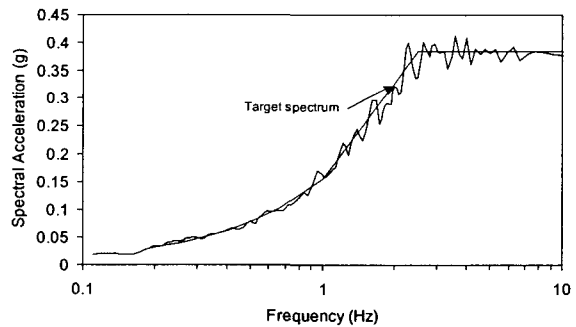


그림 11. 인공합성 지진파의 설계 응답스펙트럼(주파수-응답가속도)

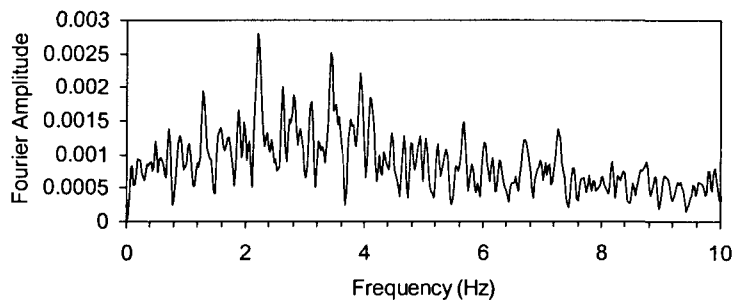


그림 12. 인공합성 지진파의 FFT 분석곡선

3. 수치해석 결과분석

3.1 결과분석 개요

터널과 같은 지중구조물에 지진동이 발생할 경우, 전술한 바와 같이 지상구조물과는 다른 응답특성을 보일 것으로 예상된다. 즉, 터널은 지상구조물과 달리 구조물 주변이 토사 또는 암반으로 둘러싸여 있으므로 지진으로 발생한 구조물의 진동이 주변지반의 구속효과로 인한 감쇠효과가 지상구조물 보다는 크게 작용할 것으로 예상되므로 지상구조물의 동적 응답치 보다 훨씬 적은 응답치를 발생할 것으로 판단된다.

본 절에서는 인공합성지진파를 이용하여 과형강판의 보강간격별로 터널의 토피고가 최소토피고 규정까지 토사로 되메워졌을 경우(0.0D), 터널직경의 0.5배 위치까지 토사로 되메워졌을 경우(0.5D), 터널의 직경의 1배까지 토사로 되메워졌을 경우(1.0D)에 대해 원지반의 굴착경사가 1:0.0, 1:0.6, 1:1.2인 조건에 대한 수치해석 결과를 분석하였으며 되메움토사의 다짐도에 따른 상대밀도별 계수는 K_2 가 46, 64, 80일 경우에 대해 총 108Case를 분석하였다.

3.2 뒷채움 흙의 토피고에 따른 거동 분석

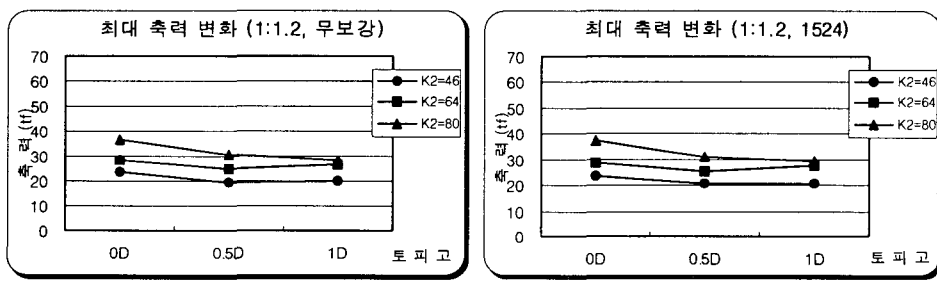
보강간격 및 다짐도가 일정한 경우(사면경사와 보강간격 및 상대밀도별 계수 고정), 토피고에 따른 과형강판 라이닝의 거동을 분석한 결과를 그림 13~15에 나타내었다.

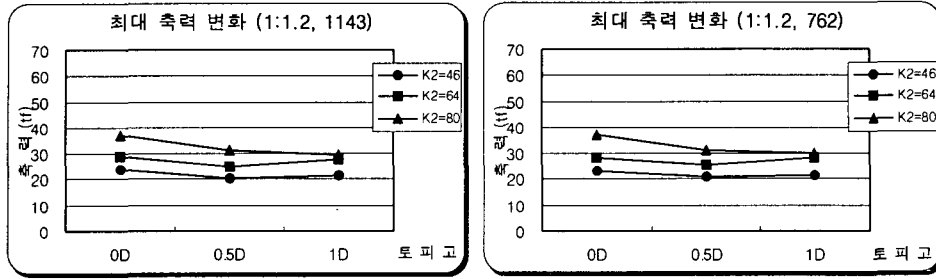
축력과 모멘트 모두 토피고가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 지진하중이 작용할 경우, 일반적으로 터널의 설치심도가 깊어짐에 따라 지진하중에 대한 감쇠효과가 지표면보다 크기 때문인 것으로 판단된다.

그러나 예외적으로 토피고가 0.5D에서 1.0D로 증가되는 경우, 터널 라이닝에 발생하는 모멘트는 상대 밀도에 따라 상반된 결과를 나타내었다. 즉, 토피고 0.5D에서 1.0D로 증가할 경우, 상대밀도계수(K_2)가 80일 경우에는 최대 모멘트가 9% 감소한 반면에 상대밀도계수(K_2)가 46과 64일 경우에는 최대 모멘트가 각각 17%와 10% 증가하였다. 이러한 결과로 미루어 지진하중에 의해 발생하는 라이닝의 모멘트는 주변 뒷채움 지반의 다짐도에 영향을 크게 받으며, 지진하중이 발생하였을 경우 토피고 증가에 따른 압축력의 감소효과를 보기 위해서는 다짐도가 중요한 요소인 것으로 나타났다. 이는 상대밀도가 조밀하게 잘 다져질수록 지중구조물의 구속효과가 증가하며, 느슨하게 다져질수록 구조물을 구속하기 보다는 오히려 지반이완에 의한 하중으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

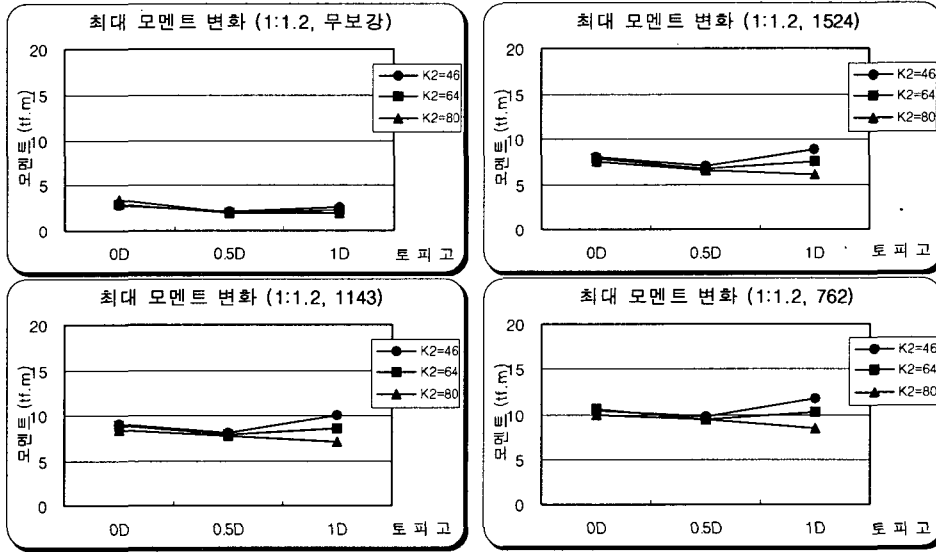
원지반 굴착경사가 1:1.2와 1:0.6의 경우 축력과 최대모멘트의 발생 경향은 비슷한 양상을 나타냈으나, 터널의 토피고 증가에 따른 모멘트 발생 경향은 원지반 굴착경사 1:1.6의 조건이 1:1.2인 조건보다 뚜렷한 감소경향을 나타냈다(그림 13 & 14 참조).

원지반의 굴착경사가 수직(1:0.0)인 경우 토피고 증가에 따라서 최대 축력은 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며(그림 15 (a)) 최대 모멘트는 감소하는 것으로 나타났다(그림 15 (b)). 이 경우 모든 부재력이 상대밀도에 의한 영향을 거의 받지 않고 주어진 조건에서 거의 동일한 값을 나타내었는데 이와 같은 결과로 미루어 볼 때 개착경사가 수직에 가까울수록 상대밀도에 의한 영향은 거의 받지 않는 것으로 판단되며 이는 터널 주변을 둘러싸고 있는 되메움토사 자체가 주변지반에 의해 거의 구속되어 있기 때문인 것으로 판단된다.



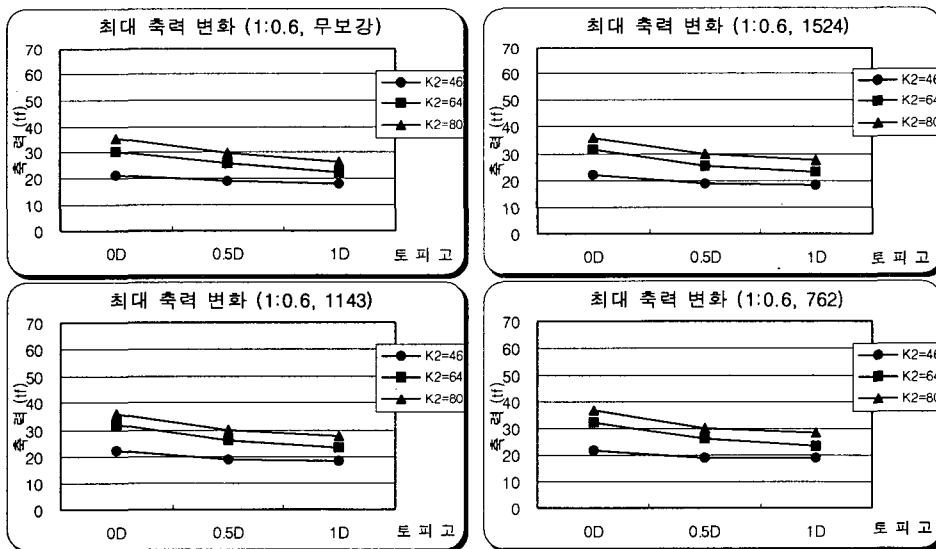


(a) 축력

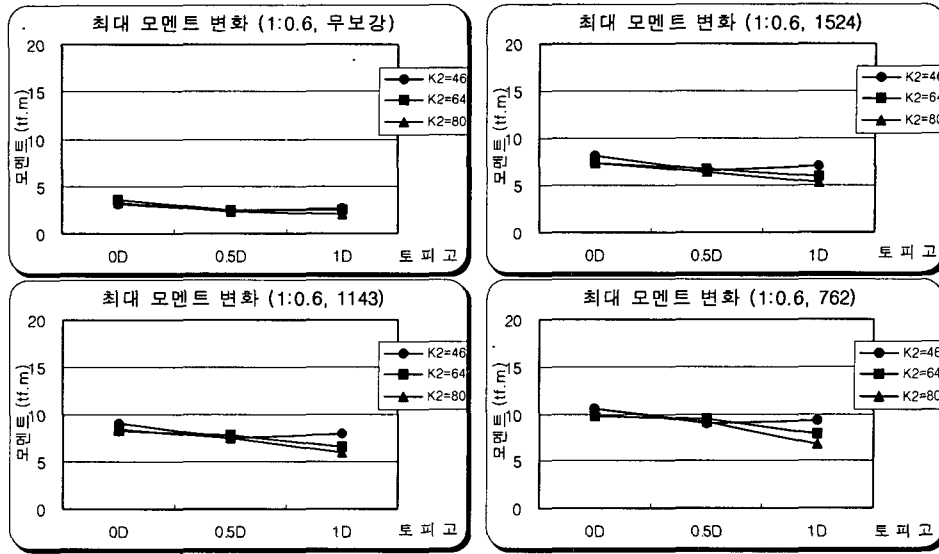


(b) 모멘트

그림 13. 토피고별 터널의 최대 부재력(S=1:1.2)

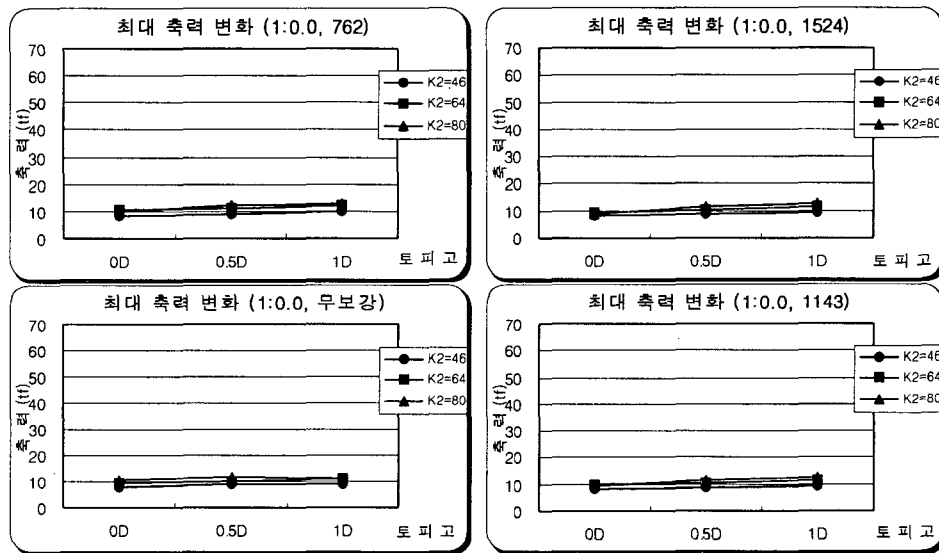


(a) 축력

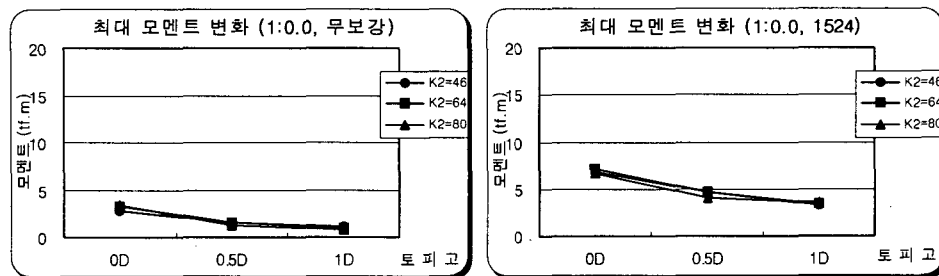


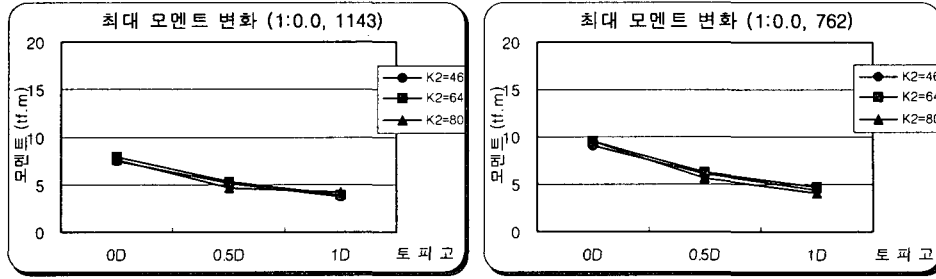
(b) 모멘트

그림 14 토피고별 터널의 최대 부재력(S=1:0.6)



(a) 축력





(b) 모멘트

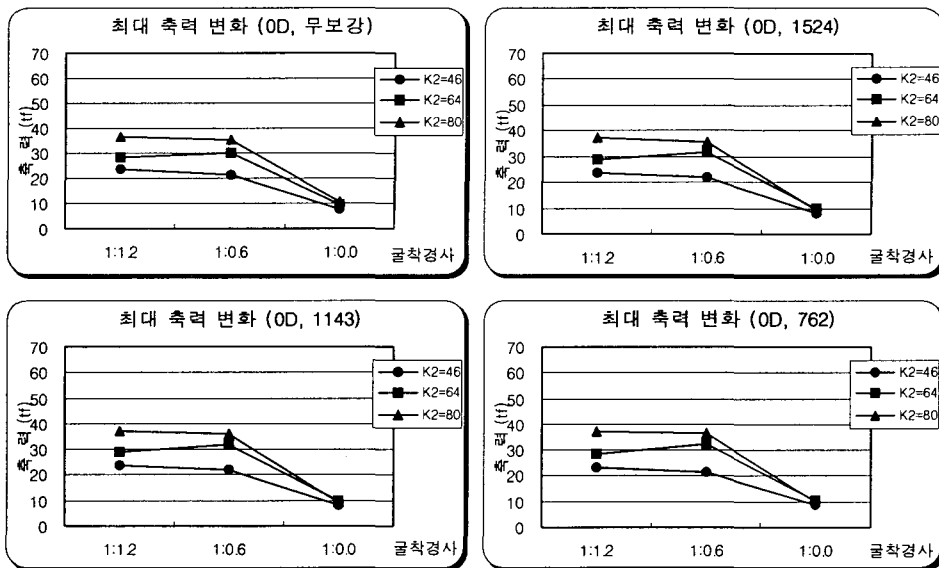
그림 15 토피고별 터널의 최대 부재력(S=1:0.0)

3.3 원지반 굴착경사별 분석

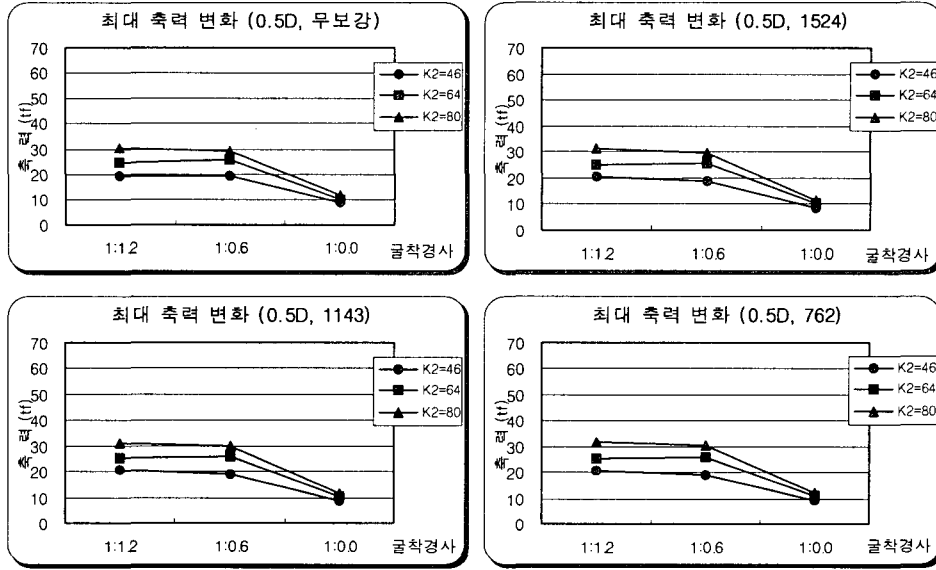
퇴매움 토사에 비해 상대적으로 큰 강성을 갖는 원지반의 영향 즉, 지진동으로 인한 원지반의 강성이 터널에 미치는 영향을 분석하고 원지반의 굴착경사에 대한 조건별 수치해석을 수행하여 이에 따른 결과를 분석하였다.

원지반의 굴착경사에 따른 터널에 발생하는 최대 축력(그림 16)은 경사 1:1.2일 경우가 가장 큰 축력이 발생되며, 경사 1:0.6까지는 축력의 변화가 미소하게 발생하다가 굴착경사 1:0.0에서는 축력이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 본 결과에 따르면 개착경사가 수직에 가까울수록 토피고에 의한 영향은 거의 받지 않는 것으로 판단되며 이는 터널 주변의 퇴매움토사 자체가 주변지반에 의해 거의 구속되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

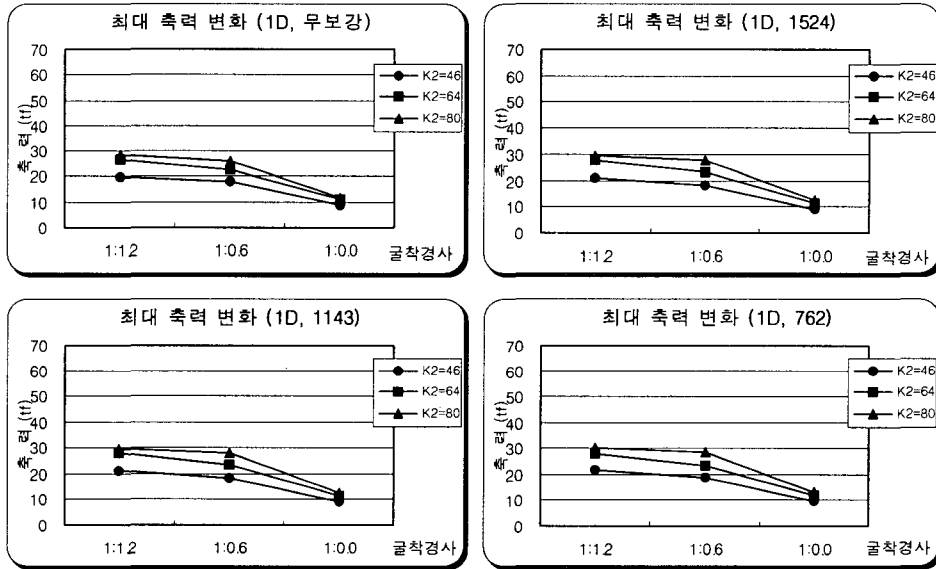
최대 모멘트(그림 17)는 원지반의 굴착경사가 수직에 가까워질수록 감소하는 경향을 나타냈으나 토피고가 0.5D와 1.0D인 경우에 비해 0.0D인 경우가 비교적 완만한 감소경향을 보이고 있는데 이는 터널의 토피고가 낮을수록 터널 주변의 토사에 의한 구속효과가 적게 발휘되기 때문인 것으로 판단된다. 즉 터널의 토피고가 증가할수록 기반암으로부터 전달된 지진동이 퇴매움토사의 구속효과로 인한 지진에너지 감소효과가 크게 발휘되나 터널의 토피고가 0.0D에 가까워질수록 주변지반의 구속효과 보다는 원지반 즉, 암반의 진동특성이 거의 여과(Filtering)없이 터널에 전달되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 과형강판을 라이닝으로 시공할 경우, 원지반의 굴착경사를 급하게 할수록 내진성능은 향상될 것으로 판단된다.



(a) 토피고 0.0D

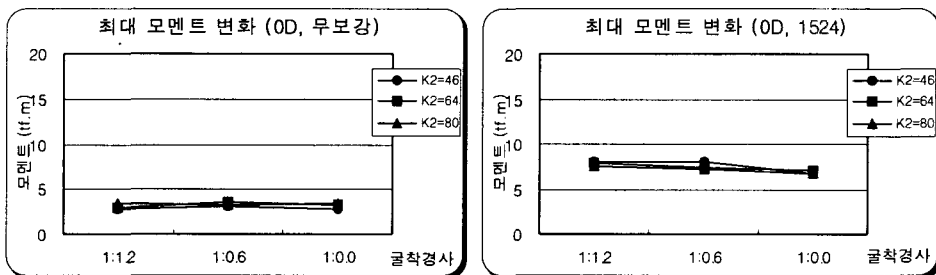


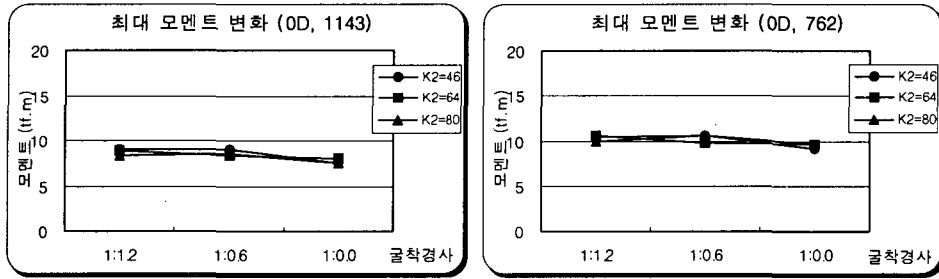
(b) 토피고 0.5D



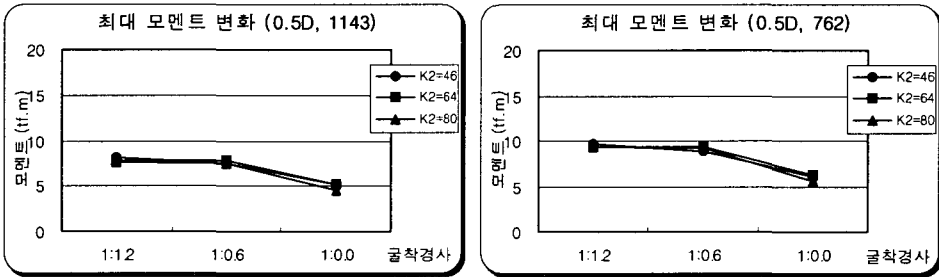
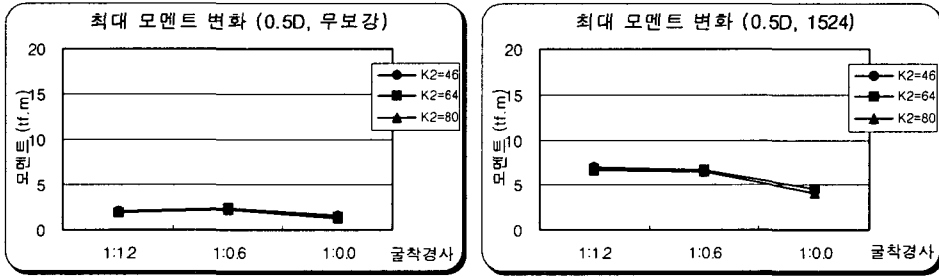
(c) 토피고 1.0D

그림 16. 굴착사면 경사에 따른 속력 변화

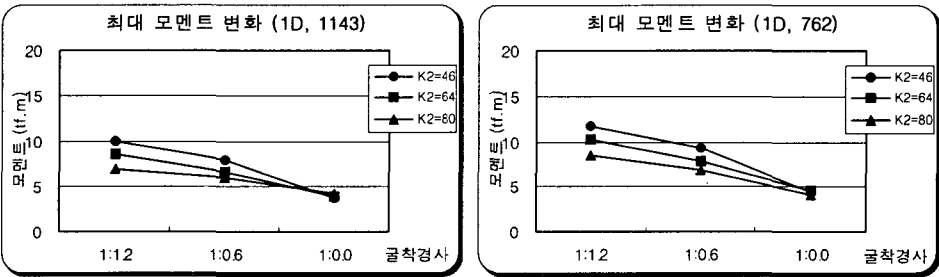
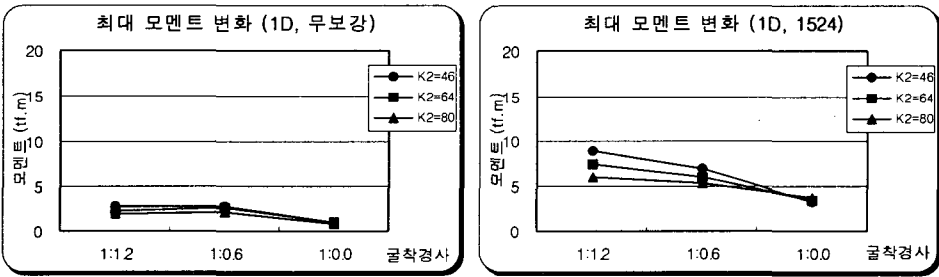




(a) 토피고 0.0D



(b) 토피고 0.5D



(c) 토피고 1.0D

그림 17. 굴착사면 경사에 따른 모멘트 변화

3.4 보강단면에 따른 분석

개착식터널과 같은 지중구조물은 구조물 주변이 토사 또는 암반으로 둘러싸여 있기 때문에 지진동이 발생되었을 경우, 구조물과 주변지반이 별개의 거동을 하지 않을 것으로 예상된다. 이러한 조건에 적합

한 지진해석을 위해서는 지반-구조물 상호작용효과(Soil-Structure Interaction Effect)를 충분히 고려한 해석이 수행되어야 하며, 지반 및 구조물의 상대강성이 지중구조물의 진동특성에 지배적인 영향을 줄 것으로 예상된다.

예컨대, 정적 하중만이 지중구조물에 작용할 경우, 단면강성이 클수록 구조물의 안정조건에는 만족한 결과를 얻는 것이 일반적이지만 지진동과 같은 동력학적 하중이 지중구조물에 작용할 경우, 단면두께가 클수록 발생하는 관성력은 증가하는 결과를 낳게 된다. 따라서 본 절에서는 지반과 구조물의 상대강성 변화에 따른 개착식터널의 거동특성을 파악하기 위해 과형강판의 보강간격을 변화시키며 수치해석을 수행하였다.

해석결과 축력(그림 18)은 과형강판의 보강간격에 따라 별다른 차이가 없는 것으로 나타났으나 모멘트(그림 19)는 보강간격이 좁아질수록 즉, 콘크리트 보강이 많이 이루어질수록 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 과형강판의 보강 콘크리트부분이 자중으로 작용하게 되어 구조물에 발생하는 관성력의 증가에 기인하여 부재력이 증가하는 것으로 판단된다. 최대 모멘트는 원지반의 굴착경사가 가장 완만한 조건인 1:1.2에서 발생하는 것으로 나타났으며 원지반의 굴착경사가 수직에 접근할수록 최대모멘트는 감소하는 경향을 보이고 있다.

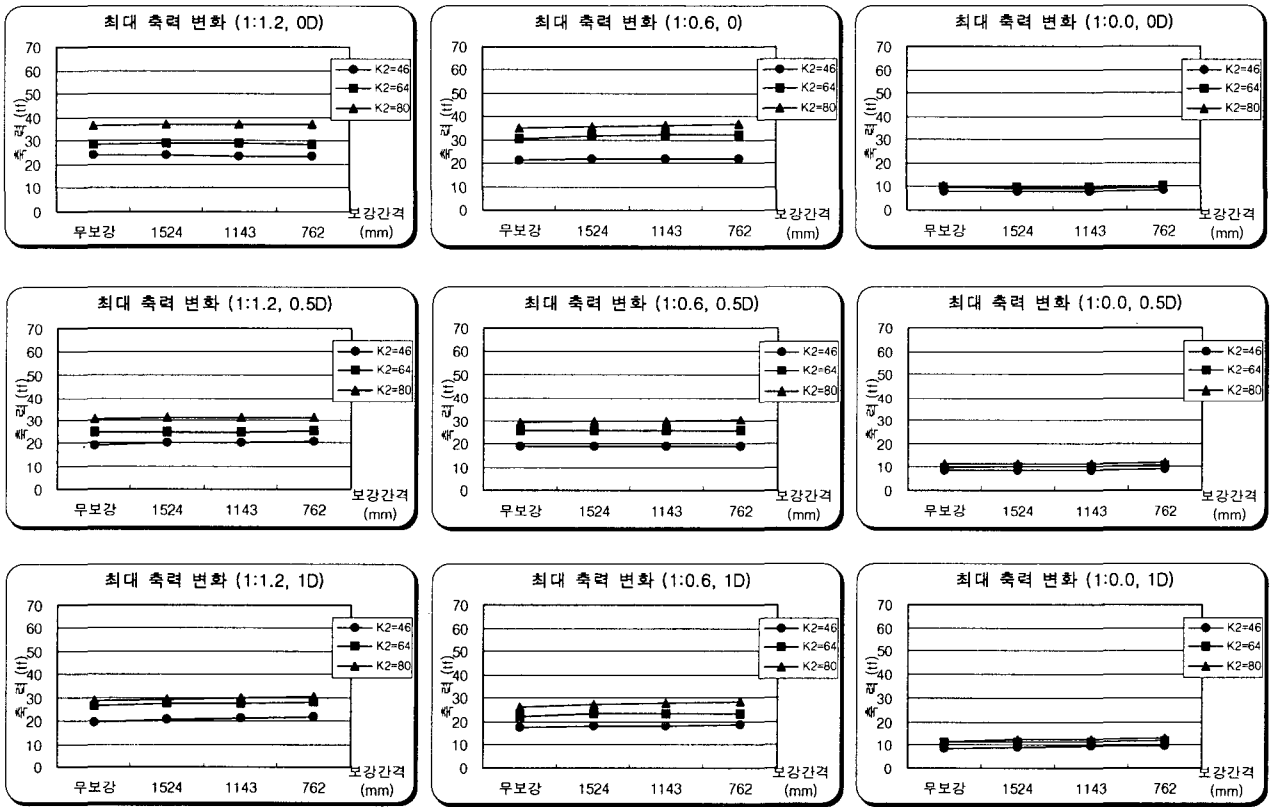
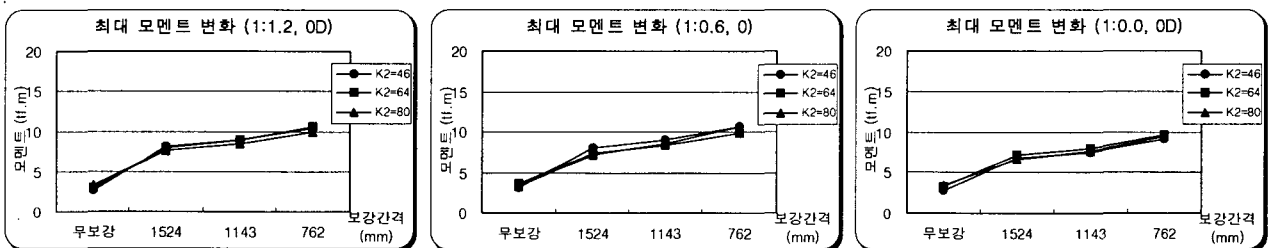


그림 18. 보강간격에 따른 축력 변화



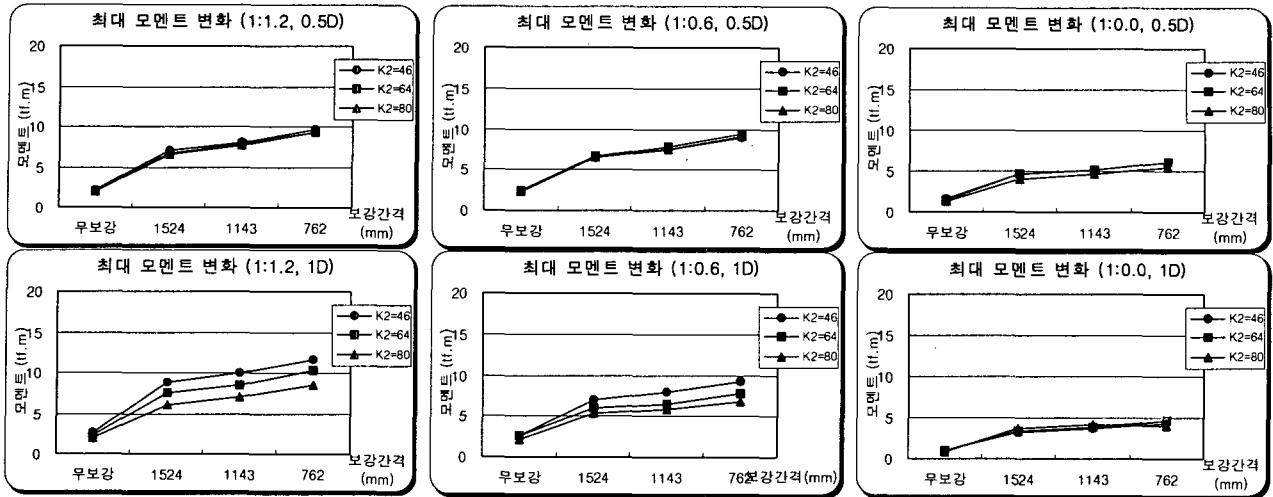


그림 19. 보강간격에 따른 모멘트 변화

4. 결론 및 고찰

개착식 터널에서 파형강판 라이닝의 동적 거동 특성을 동적 시간이력 해석을 수행하여 평가한 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 퇴매움 토피고가 증가함에 따라 지진하중에 의해 발생하는 압축응력과 모멘트는 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 뒷채움 지반의 상대밀도가 작은 경우의 모멘트는 토피고가 증가함에 따라 오히려 증가하는 경향을 나타내서 파형강판 라이닝의 동적 거동 특성에 영향을 주는 요소로서 토피고와 개착사면 경사 이외에 뒷채움 지반의 다짐도가 중요한 요소인 것으로 판단된다.

(2) 개착사면이 완만해짐에 따라 지진하중에 의해 발생하는 압축력과 모멘트는 증가하였으며, 반면 개착사면의 경사가 급할수록 감소하는 경향을 나타냈다. 따라서 파형강판을 개착식 터널의 라이닝으로 시공할 경우, 원지반의 굴착경사를 급하게 할수록 내진성능은 향상될 것으로 판단된다.

(5) 또한 파형강판의 보강간격에 따른 터널의 지진응답특성을 분석한 결과, 압축력에 대해서는 변화가 거의 발생하지 않았으나 보강간격이 좁아질수록 모멘트와 전단력이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 지진동으로 인해 발생된 구조물의 진동특성이 콘크리트 보강이 증가할수록 관성력이 함께 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 평산에스아이주식회사의 “파형강판의 개착식 터널 적용을 위한 실용화 연구” 사업의 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부(1997), “내진설계기준연구(내진성능기준과 경제성평가)”, pp.29~136
2. 건설교통부(1997), “내진설계기준연구(내진성능향상)”, pp.65~71
3. 김문겸(1999), “지하구조물의 내진설계”, 토지개발기술, 한국토지공사, pp.50~73
4. 김용석(1993), “구조물-지반 상호작용이 구조물의 동적거동에 미치는 영향”, 전산구조공학회, 제 6

권, 제 2 호, pp.87~93

5. 서울대학교(2001), "지중강판 구조물 실용화 연구보고서", pp.1~143.
6. 이용준(2001), "지진동으로 인한 개착식 터널의 거동 특성에 관한 연구", 한양대학교 박사학위 논문
7. 한국전력기술(1985), "내진설계를 위한 동적 지반-구조물 상호작용해석", pp.4 7~93
8. 한국지진공학회(1999), "지중구조물의 내진설계", pp.1~395.
9. AISI(1994), "Handbook of Steel Drainage & Highway Construction Products"
10. Bobby O. Hardin and Vincent P. Drnevich(1972), "Shear Modulus and Damping in Soils : Design Equations and Curves", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div, ASCE, Vol.98, No.SM7, pp.667~692
11. Canadian Standard Association(2000), "Canadian Highway Bridge Design Code(CHBDC)", Ministry of Transportation of Canada.
12. Duncan, J. M.(1979), " Behavior and Design of Long-Span Metal Culverts, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 105, No. 3, pp.399~417
13. Duncan, J. M. and Chang, C. Y. (1970) Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations, ASCE, Vol.96, No.SM5, pp.1629-1653
14. I. M. Idriss and Bolton Seed(1968), "Seismic Response of Horizontal Soil Layers", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div, ASCE, Vol.94, No. SM4, pp.1003~1031
15. John Lysmer(1972), " SHAKE USER'S MANUAL", EERC Report No. EERC pp.72-12
16. John Lysmer(1988), "SASSI USER'S MANUAL", University of California
17. Schnabel, P. B., Lysmer, J., and Seed, H. B.(1972), "SHAKE, a computer program for earthquake response analysis of horizontal layered sites", Report No. EERC72-12, December. University of California, Berkeley
18. Seed, H.B. & Idriss, I.M. (1970), "Soil Moduli and Damping for Dynamic Response Analysis", Report EERC 70-10, University of California, Berkeley, USA.
19. Iwatate, T.,(2000), "地下タンクの地震被害と耐震設計への提言", 基礎工, Vol. 28, pp.27~33