

# 수압을 고려한 터널 라이닝의 응답 해석

## Response analysis of tunnel lining considering pore pressure.

김기태\* · 김영재\*\* · 박두희\*\*\*  
Kim Kitae · Kim Youngjae · Park Duhee

### Abstract

Generally numerical analysis of tunnel lining, under dynamic loading condition, performed not considering pore pressure. But if tunnel excavated under the surface of water, such as bottom of the sea, the river bed, tunnel lining can take pore water pressure. It may be different from evaluated numerical analysis not considering pore pressure. Therefore tunnel design should consider effect of water pressure acting on tunnel lining

*key words* : water pressure, tunnel lining

## 1. 서 론

지하구조물이 위치한 지반에 동적 하중이 작용하여 지반에 변형을 일으킨다면 그 지반의 변형으로 인한 외력이 지하구조물에 작용하여 추가적인 지하구조물의 변형을 일으킨다. 이런 변형으로 인해 지하구조물의 내력에 변화를 가져 올 것이다. 만약 지반이 포화되어 있는 상태라면 동적하중에 의한 지반의 변형으로 인해 발생하는 외력뿐만 아니라 지하수위에 의한 수압의 영향 또한 무시 할 수 없을 것이다. 우리나라는 여름에 강수량의 대부분이 집중되어 있기 때문에 지하수위의 변화가 심하다. 그에 따른 지하수위의 변화가 심하기 때문에 포화되어 있는 지반에서 지하구조물의 변화와 포화되어 있지 않은 지반에서 지하 구조물의 변화의 차이점에 대한 연구가 필요하다.

## 2. 본 론

반복적인 지하수위의 변화로 인하여 지반의 상태는 포화상태와 불포화상태가 된다. 이때 불포화 상태의 지반에서는 터널 라이닝에 가해지는 외력에 수압이 더해져야 보다 현실적인 해석이 될 것이다. 하지만 동적하중이 작용하는 지반에서 터널라이닝의 응답을 구하는 식은 불포화 지반에서의 응답을 구하는 것이 대부분이다. 따라서 포화지반에서의 터널라이닝의 응답과 불포화지반에서의 터널라이닝의 응답 차이를 알아보기 위하여 불포화지반에서 동적하중의 작용으로 인하여 발생하는 내력을 계산하는 식과 불포화지반에서 동일한 동적하중을 가하여 수행한 수치해석 그리고 수압을 고려한 수치해석에서의 내력을 비교하여 수압을 고려하였을 때와 그렇지 않았을 때의 각 해석결과에 어떠한 차이가 있는지 알아 볼 것이다.

### 2.1 closed form solution

불포화지반에서 터널라이닝의 응답해석에 대하여 제안한 식을 이용하여 해당지반에서 ofunato 지진파에 대한 1차원 지반응답해석 결과를 이용하여 터널라이닝의 응답을 산출하였다.

---

\* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail : ktwow@hanyang.ac.kr  
\*\* 비회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정  
\*\*\* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수

표 1. 지반&터널라이닝 물성치

Material properties				
Ground			Lining	
$E_m =$	1.95e10pa		$E_l =$	2.0e9pa
$\nu_m =$	0.2		$\nu_l =$	0.15
$r_{max} =$	0.000103		$t =$	0.030m
$EI =$	4.5e3Nm		$r =$	5m
depth=	90m		$I =$	2.25e-6m <sup>4</sup>
			$EA =$	6e7N/m

지반이 무한이고 탄성적이며 균등하고 등방성을 가지는 지반이고 원형터널의 라이닝은 탄성거동을 하고 그 두께는 얇으며 평면-변형률 조건에서 원형 터널의 라이닝의 응답을 산출하는데 압축비와 유연비를 사용하여 지반과 라이닝의 상호 작용을 고려하였다.

지반과 라이닝사이에 미끄러짐이 없는 즉 일체화되어 움직인다는 조건하에서 터널라이닝의 응답을 구하기 위하여  $K_2$ 을 이용하여 지반에서의 축력과 모멘트, 지름의 변형률을 다음과 같이 정의 하였다.

표 2. 라이닝 응답 계산식

$C$	$\frac{E_m(1-\nu_l^2)R}{E_l t(1+\nu_m)(1+2\nu_m)}$
$F$	$\frac{E_m(1-\nu_l^2)R^3}{6E_l I(1+\nu_m)}$
$K_2$	$\frac{F[(1-2\nu_m) - (1-2\nu_m)C] - \frac{1}{2}(1-2\nu_m)^2 + 2}{F[(3-2\nu_m) + (1-2\nu_m)C] + C\frac{5}{2} - 8\nu_m + 6\nu_m^2 + 6 - 8\nu_m}$
$T_{max}$	$\pm \frac{1}{6}K_2 \frac{E_m}{(1+\nu_m)} R g_{max}$
$M_{max}$	$\pm \frac{1}{6}K_1 \frac{E_m}{(1+\nu_m)} R^2 g_{max}$
$\frac{dD}{D}$	$\pm \frac{1}{3}K_1 F g_{max}$
$\frac{dD_{lining}}{dD_{free-field}}$	$\frac{2}{3}K_1 F$

## 2.2 수치해석

해석지반은 수심 90m 아래 위치한 지반으로 가로 90m, 세로 90m의 지반을 모델링 하였고 수심의 고려는 수심 90m까지의 하중을 등분포 하중으로 지반에 가하였다. 동적하중에 의한 지반의 변형을 고려하기 위하여 해당 지진과를 이용하여 1차원 지반응답 해석을 통하여 지반의 변형을 산출하였다. 터널은 지표면으로부터 45m 아래 지반의 가운데 원형 터널이 굴착되어 있는 조건으로 하였다.

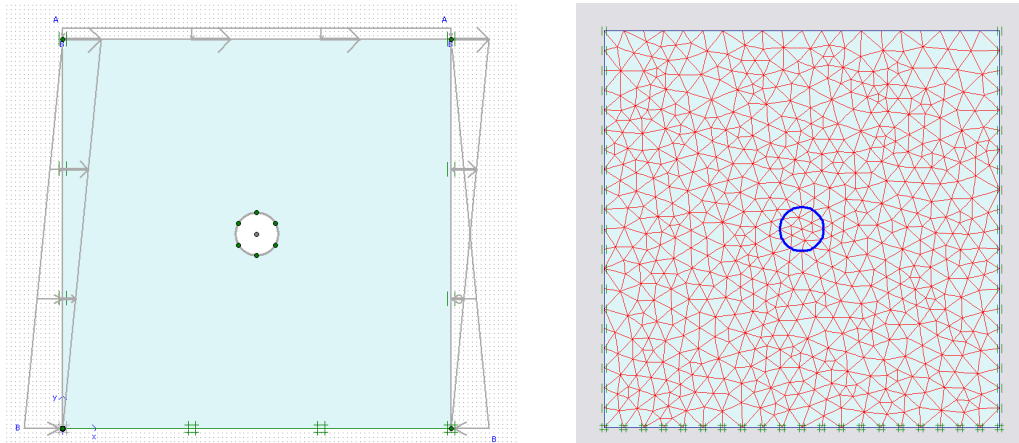


그림 1. 해석지반&구조물 모델링

그림 1. 과 같이 지반과 구조물을 모델링 하여 ofunato과를 이용한 1차원 지반응답해석을 한 결과를 이용하여 불포화지반과 포화지반에서의 수치해석을 수행하였다. 불포화지반의 수치해석을 통하여 closed form solution과 비교하여 수치해석의 신뢰성을 확보하고 불포화지반에서의 수치해석결과와 포화지반에서의 수치해석결과를 가지고 비교분석을 하였다. closed form solution과 불포화지반에서의 수치해석결과는 closed form solution에 비하여 수치해석결과가 약간 크게 나왔다. 이 차이는 수치해석결과에 충분한 신뢰성을 줄 수 있는 수치이다.

표 3. closed form solution과 수치해석 비교

불포화지반	$\frac{dD}{D}$	%
closed form solution	0.0005274	-
수치해석	0.0005690	107.89%

불포화지반	$ T_{max} $ (KN/m)	%
closed form solution	8.38	-
수치해석	8.56	102.15

불포화지반	$M_{max}$ (KN · N/m)	%
closed form solution	0.46	-
수치해석	0.55	119.57

closed form solution과 수치해석이 불포화 지반에서 큰 차이를 보이지 않았으므로 수치해석에 의한 포화지반과 불포화 지반에서의 모델링을 통하여 포화지반과 불포화지반에서의 터널라이닝의 응답을 비교하는 것 또한 신뢰성을 가질 것이다.

수압을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 모델링은 수압을 고려하지 않은 경우에는 ofunato 지진파에 의한 지반의 변형을 지반에 가해 주었고 수압을 고려한 경우에는 지반위에 90m위치에 수면이 있고 그 수압은 지반에 등분포하중으로 채하되고 지반의 양옆에도 수압이 작용한다고 모델링한 후 대상지반의 변형을 지반에 가해주었다. 위의 두 조건에서 터널라이닝의 응답은 다음과 같다.

표 4. 불포화 지반과 포화지반에서의 응답비교

	불포화지반	포화지반	%
$\frac{dD}{D}$	0.0005138	0.0005524	107.51
$T_{max}$ $KN/m$	8.56	82.20	960.28
$M_{max}$ $KN \cdot N/m$	0.547	6.49	1186.47

### 3. 결 론

지하수위의 변동으로 인한 수압의 변화가 터널라이닝에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수치해석을 수행하였다. 그 결과 포화지반과 불포화지반에서의 응답치는 지름의 변형률에는 큰 차이가 없었으나 축력과 모멘트에서는 9.6~11.9배 정도의 큰 차이를 보였다. 터널의 라이닝에는 축력과 모멘트가 더욱 크게 걸린다는 것으로 터널의 설계 시 터널라이닝에 대해 수압으로 인해 증가한 축력과 모멘트에 대한 고려가 필요하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 주어진 터널라이닝의 물성치를 이용한 터널라이닝의 허용응력과 허용모멘트를 고려하여 수압에 의해 증가한 축력과 모멘트에 대한 안전성 평가가 필요하다.

### 참고문헌

1. JN Wang. (1993). Seismic Design of Tunnel ,Parsons Brinckhoff Quade & Douglas, inc.
2. Youssef M.A Hashash. (2001). seismic design and analysis of underground structures, Illinois University