

터널의 필러부 폭에 따른 터널거동

Tunnel Behavior According to the Pillar Width

김영수¹⁾ · 권태순[†] · 정일한²⁾ · 김광일³⁾

Kim, Youngsu · Kwon, Taesoon · Jeong, Ilhan · Kim, Kwangil

ABSTRACT : This research area is a greates section of triple tunnels that passes through the fault fractured zone the in the granite area. In this area, tunnel section, pillar width and overburden height are changed consecutively due to declivity of 1 : 4.5 and slope formation of upper part as changed section. That is, stability estimation for each section varying pillar width can be conducted because tunnel diameter changes gradually from 0.5D to 1.0D according to distance of pillar width. We have estimated the stability of pillar width in triple tunnels with monitoring value, and compared the stability with results of numerical analysis.

Keywords : pillar width, numerical analysis, measured value, fault fractured zone

요 지 : 대상 연구지역은 화강암 지역으로서 단층파쇄대가 지나는 대단면 3련 터널이며 변단면 구간으로 1 : 4.5의 하향경사 및 상부 비탈면 형성에 따른 터널단면, 필러폭 그리고 터널 토피고가 연속적으로 변화하는 구간이다. 즉 터널직경이 점차 변하는 구간으로 필러폭이 직경에 따라 0.5D에서 1.0D로 변하므로 필러폭에 대한 각 단면에 대한 안정성 평가를 할 수 있는 구간이다. 3련 터널의 필러부 안정성을 계측치를 바탕으로 평가하였으며 이를 수치해석과 비교해 보았다.

주요어 : 필라폭, 수치해석, 계측, 단층파쇄대

1. 서 론

일반적으로 근접되어 있는 병설터널을 굴착할 때는 터널의 단면형상, 크기, 시공방법, 공경 등에 대하여 충분한 검토를 한 뒤 이격거리를 결정해야 한다. 2련 터널이상의 터널 시공 시 후행터널은 선행터널의 부분적 시공 혹은 완공 후 시공되므로 후행터널은 선행터널과는 상이한 응력상태에서 굴착하게 된다. 즉, 후행터널은 선행터널의 굴착으로 인해 이미 교란된 상태의 지반에 굴착되므로 후행터널의 거동은 선행터널의 거동과 상이하며, 후행터널의 굴착 또한 선행터널의 상호 간섭효과를 야기하여 기존의 선행터널의 역학적 거동에 상당한 영향을 미친다. 따라서 2련 이상의 터널 시공 시 상호 간섭효과를 피하기 위해서는 이격거리를 더 큰 터널의 직경에 해당하는 거리이상으로 유지하여야 한다.

임하댐 비상 여수로는 화강암 지역에서 단층파쇄대가 지나는 지층에 굴착되는 3련 터널로서 시공의 안정성, 터널의 자립성을 확보하기 위하여 일반구간에서 3단면, 연구 대상인 천이부에서는 9단면 굴착공법이 채택되었다(암반공학회, 2007).

임하댐 비상여수로 유입 천이부 구간은 터널직경이 21.9m

에서 16.7m로 필라폭도 직경에 따라 0.5D에서 1.0D로 변경되므로 보강방안이 검토되어야 하는 구간이다. 따라서 필러폭이 변하는 구간 시점부, 중간부, 종점부, 즉 A, B, C단면의 필러부의 천단변위와 내공변위 계측 결과로부터 터널거동에 대하여 고찰하고자 하였다.

2. 현장 계측

2.1 지형 및 지질

임하댐 주변지역의 지질특성은 선캄브리아기의 편마암 및 시대미상의 화강암(안동화강암이라 명명)을 기반으로 경상누층군의 퇴적암류가 부정합적으로 피복 화강암 및 경상누층군의 퇴적암 내에 다량의 장석 함유, 편마암내에 석회암이 분포하고 있다. 동서 방향의 계곡을 따라 발달한 안동 단층의 연장부에 임하댐이 위치하고 있다.

중·남부 일대에 분포하고 있는 임하화강암은 동일 마그마의 분화과정에서 형성되어 장석 함량이 가장 높으나, 부분적으로 석영의 함량이 높고 흑운모의 발달이 미약한 화강암도 일부 분포하며 이들의 접촉 관계는 점이적이다. 전반

1) 정희원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수

† 비회원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 박사수료(E-mail : satsukik@hanmail.net)

2) 비회원, 한국농어촌공사 농어촌개발연구소/시설·시설방재연구분야 연구원

3) 비회원, 한국수자원공사 수자원연구원 연구원

적으로 낮은 산지 및 구릉지를 형성하며 임하댐 인근 화강암에서 절리면을 따라 급속한 풍화진행(비상여수로 유입부) 및 화강암 내의 부분적인 암상변화에 따라 차별 풍화가 진행되어 있다.

그림 1의 상세 지질도에서 보이는 단층대 F4는 폭은 5cm 정도이나 단층과 평행한 절리의 발달로 약 2m 정도의 단층 영향대를 형성하고 N26W/70SW의 자세를 보인다. 전형적인 임하화강암에 비해 정장석의 함량이 줄고 카올리나이트의 함량 증가가 보이는 정장석이 카올리나이트로 풍화된 것으로 보인다. 그림 2는 연구 대상인 지층횡단면도 및 해석 단면도이다.

2.2 계측 단면

터널의 기본적인 단면형상은 마제형·원형·난형으로 구분할 수 있으며, 가장 이상적인 터널 단면형상은 원형이나 이는 $K_0=1.0$ 일 때의 적합한 형상이며 일반적인 지중응력상태의 경우 난형이 역학적으로 안정하다(Hoek & Brown, 1980). 최근에 건설되는 대부분의 터널은 난형과 마제형을 많이 채택하고 있다. 난형은 원형보다 구조적으로 취약하고, 마제형보다 굴착량이 작고 다소 비경제적이나 양수압에 안정적이다. 임하댐 여수로의 단면 형상은 다음 그림 3과 같으며, 그림 3은 A, B, C 단면의 터널1, 2, 3 계측위치를 개략적으로 도식화 하였다.

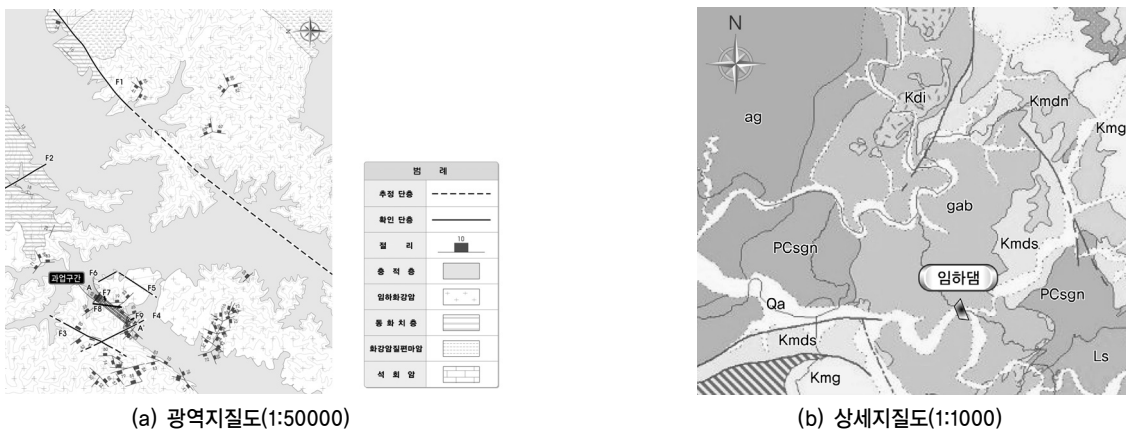


그림 1. 지질도

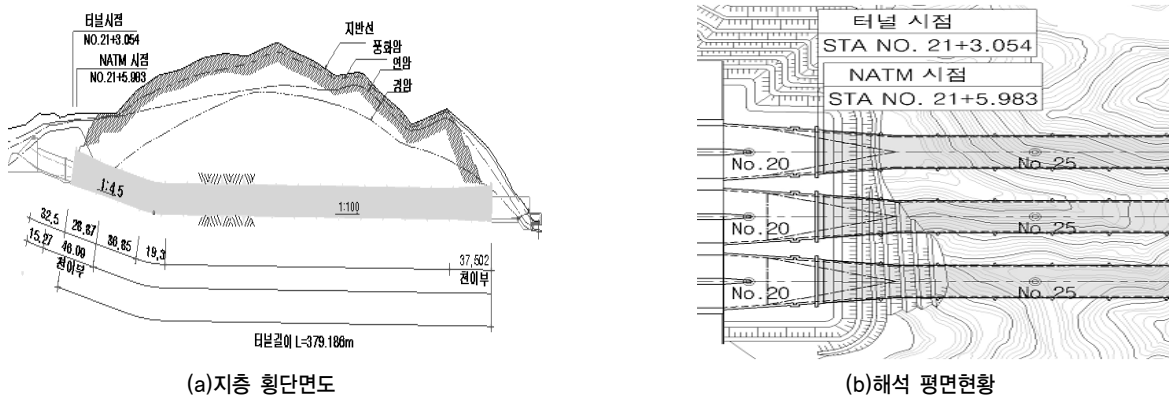


그림 2. 지층 횡단면도 및 해석 평면현황

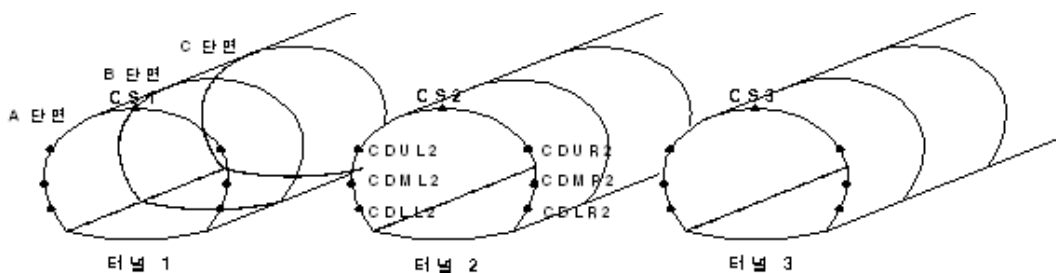


그림 3. 터널1, 2, 3에서의 단면A, B, C의 계측위치 모식도

2.3 계측내용 및 방법

본 연구대상인 터널의 유입부 부근 No 21+10.983~No 22+07.983에서 계측결과와 천단침하와 내공변위 데이터를 이용하였다. 일상계측 A계측 중 천단침하와 내공변위 계측은 터널 굴착시의 안정성, 지보효과의 확인, 미고결층이나 저토피 구간에서 가장 중요한 계측항목이다.

3련 터널의 천단침하와 내공변위에 대하여 3단면 9개 측선에 대해 계측이 실시되었다. 계측치의 분석은 터널 유입천이부의 대표적 3단면으로, 천이부 시점에 단층 파쇄대가 관입되어 있는 A단면(No 21+10.983), 필라 지층변화가 심하다고 판단되는 B단면(No 21+15.983), 종점단면에 단층 파쇄대가 관입되어 있는 C단면(No 22+07.983)이다. 천단변위와 내공변위계에 의한 계측은 각 터널 계측 단면 천단부와 내공변위 좌, 우측에서 그림 3과 같이 수행되었다.

2.4 계측결과

본 연구에서 해석한 지점의 A, B, C단면에 대하여 천단침하, X, Y방향의 내공 변위 중심으로 자료를 정리하였다. 다음 표 1은 각 A, B, C단면에 대한 천단 및 X, Y방향에 내공변위의 최종계측결과이다.

3. 수치해석

3.1 해석 모델링

실제 시공순서에 의한 굴착으로 인한 터널 거동을 묘사하기 위하여 수치해석 자료에 현장 시공절차와 같은 순서로 모델링을 적용하고 Flac 2D를 이용한 2차원 연속체 해석을

수행하였다.

암의 크리프 성질을 나타내기 위해 점탄성 모델을 채택하여야 하지만 재료 역학적 파라메타 선정이 어려우므로 본 연구에서는 토사층과 암반에 널리 사용되고 있는 Mohr-Coulomb 모델을 사용하였고, 하중분담율은 70%, 20%, 10%를 적용하였다.

수치해석에 적용한 단면은 그림 3과 그림 4와 같이 3단면을 하였다. 유입 천이부의 굴착 시공방법은 9단면 굴착이나 수치해석시 시공단계를 줄이기 위하여 3단면 분할굴착으로 하였다.

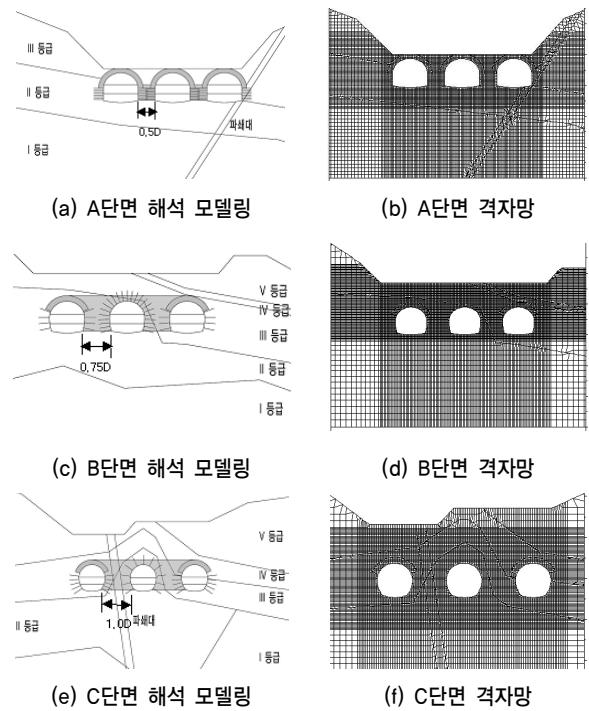


그림 4. A, B, C단면의 해석 모델링과 격자망

표 1. 최종 계측결과

구분		터널1				터널2				터널3			
A	천단 (mm)												
B													
C													
구분	내공	L(mm)		R(mm)		L(mm)		R(mm)		L(mm)		R(mm)	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	CDU	-1.0	-4.0	-1.0	-5.0	-1.0	-3.0	-1.0	-5.0	-7.0	-8.5	-3.0	-5.0
	CDM	-2.0	-4.0	-3.0	-5.0	-3.0	-5.0	-4.0	-4.0	2.0	-4.0	-4.0	-4.0
	CDL	-2.0	-2.0	-2.0	-4.0	-1.0	-2.0	-2.0	-3.0	2.0	-3.0	-1.0	-3.0
B	CDU	-3.0	-3.0	-4.0	-5.0	-3.0	-3.0	3.0	-3.0	-6.0	-6.0	-8.0	-7.0
	CDM	-3.0	-4.0	-4.0	-4.0	3.0	-3.0	-2.0	-3.0	-1.0	-4.0	-7.0	-4.0
	CDL	-2.0	-5.0	3.0	-3.0	-3.0	-3.0	1.0	-3.0	-2.0	2.0	-3.0	-2.0
C	CDU	-1.0	-1.0	-1.0	-3.0	-3.0	-6.0	-2.0	-5.0	-4.0	-4.0	-2.0	-4.0
	CDM	-1.0	-2.0	-2.0	-4.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-3.0	-5.0	-4.0	-2.0
	CDL	3.0	4.0	4.0	-3.0	2.0	-1.0	-1.0	-5.0	-2.0	-2.0	2.0	-2.0

터널해석을 위한 지반경계범위는 터널굴착으로 인한 영향범위 이상까지 설정하여 터널 천단부에서 지표면까지 하였고, 필라부 응력에 영향이 없도록 터널 좌우측 경계는 3D(D는 터널직경)이상, 터널 하부경계까지는 3D이상으로 설정하였다. 해석을 위한 경계조건은 좌우측 경계부는 수평변위를 구속하였고, 하부 경계부는 수직변위를 구속하였다. 그림 4는 A, B, C 해석단면과 매쉬도를 나타낸 것이다.

3.2 해석에 사용한 지반정수

유입부 천이 부분의 굴착공법은 9분할 상중양도갱신진공으로 적용되었다. 터널 1의 A, B 단면은 암반등급은 II, RMR은 42.19~80.57, Q값은 0.73~81.18로 적용되었고 굴진장은 1m이며, C단면 암반등급은 III, RMR은 41~60, Q값은 10.7~1.8로 적용되었고 굴진장은 1.5m이다. 터널 2의 A, B단면 암반등급이 III등급, RMR은 41~60, Q값은 10.7~1.8이며 굴진장은 2.0m이며 C단면의 암반등급은 암반등급이 III등급, RMR은 41~60, Q값은 10.7~1.8이며 굴진장은 2.0m이다. 터널3의 A, B단면의 암반등급은 IV, RMR은 18.88~69.31, Q값은 0.02~14.85로 적용되었고, 굴진장은 1.0m이며, C단면 암반등급은 V, RMR은 20이하, Q값은 0.3 이하이며 굴진장은 1.2m이다.

비상 여수로 3번 터널의 굴진에 따른 필라부분의 간섭효과와 터널거동을 분석하기 위하여 시공순서에 따라 해석 단계를 터널 1 굴착 후 터널 2, 터널 3의 굴착 순으로 수행하였고 필라 보강공법으로는 압력식 그라우팅 록볼트 공법이 적용되었다. 본 연구에서 사용한 변형계수는 경험식에 의한 암반등급별 변형계수 산정법과 현장 시험 결과를 토대로 결정하였으며 해석을 위한 지반 물성치(강창민, 2008)는 다음 표 2와 표 3과 같다.

표 2. 지반등급에 따른 해석 물성치

구 분	단위중량 (kN/m ³)	포아송비 (ν)	탄성계수 (MPa)	마찰각 (°)	점착력 (MPa)
지반등급 I	27.0	0.23	20,000	46	3.50
지반등급 II	26.0	0.25	10,000	43	1.50
지반등급 III	25.0	0.27	5,000	40	0.90
지반등급 IV	24.0	0.28	1,000	35	0.3
지반등급 V	23.0	0.30	300	32	0.03

표 3. 보강에 따른 해석 물성치

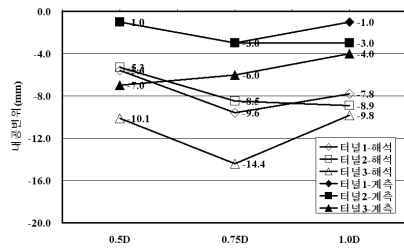
구 분	단위중량 (kN/m ³)	포아송비 (ν)	탄성계수 (MPa)	마찰각 (°)	점착력 (MPa)
지반등급 II	26.0	0.25	11,000	46	3.50
지반등급 III	25.0	0.27	7,500	43	1.50
지반등급 IV	24.0	0.28	2,000	40	1.17

4. 수치해석과 계측결과 비교분석

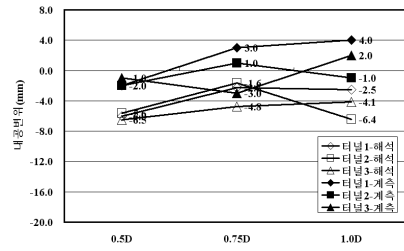
4.1 필러폭 변화에 따른 변위 비교

그림 5는 필러폭에 따른 X 방향 내공변위를 비교한 것이다. 그림 5의 (a)에서 계측 터널 1은 A단면인 0.5D에서 -1.0mm 이고 B단면인 0.75D에서 -3.0mm, C단면인 1.0D에서 -1.0mm 이며, 터널 2는 터널1과 0.75D까지는 동일한 변형을 보이나 파쇄대와 근접한 1.0D에서 -3.0mm로 나타났다. 터널 3의 계측은 파쇄대와 근접한 0.5D에서 -7.0mm로 0.75D -6.0mm, 1.0D는 -4.0mm로 나타났다. 계측의 결과로부터 알 수 있듯이 파쇄대와 근접한 계측위치의 변위가 상대적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 계측과 해석의 경향을 비교하면 터널 3의 0.5D 단면을 제외한 0.75D와 1.0D에서는 비슷한 거동을 나타내고 있다.

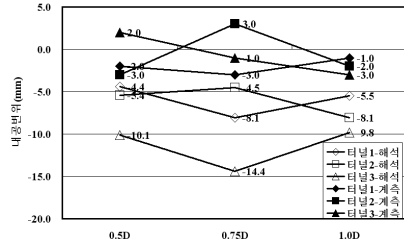
그림 (b)에서 터널 3의 0.75D단면, 그림 (c)에서 터널 2의 0.75D단면의 계측과 수치해석 결과가 다른 거동을 보이거나 터널 1과 터널 3의 계측과 수치해석의 거동은 유사하게 나타나고 있다. 그림(d)에서 터널 1의 0.5D와 0.75D는 계측과 해석이 유사한 거동을 보이거나 1.0D에서는 계측이 -2.0mm, 해석은 -6.9mm로 계측과 해석이 서로 다른 거동을 보인다. 그림 (e)에서 계측과 해석은 서로 약간의 차이를 보이고는 있지만 터널의 거동은 유사하게 나타나고 있는 것으로 나타났다. 그림 (f)에서 터널 3의 계측은 0.75D에서 변위 -3.0mm 을 나타내나 해석은 -4.8mm로 나타나 서로 다른 경향을 보이거나 터널 1과 터널 2의 거동은 비슷하게 나타났다. 터널의 필러부의 이격거리가 0.5D로 짧고 세 단면의 지반 형상이 각기 다르고 복잡하며 토피고가 얇아서 계측과 해석의 결과도 차이가 나는 것으로 보이며 또한 0.5D와 1.0D단면에서 단층 파쇄대가 지나가고 있어 그 영향으로 인하여서도 계측



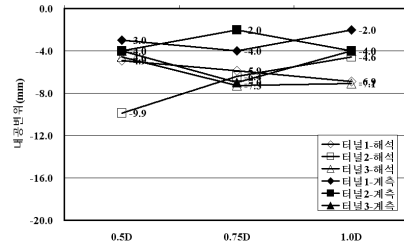
(a) CDUL-X 방향 내공변위



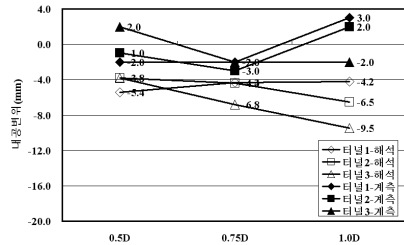
(b) CDUR-X 방향 내공변위



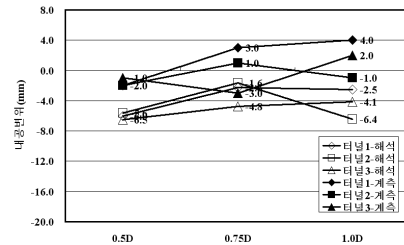
(c) CDML-X 방향 내공변위



(d) CDMR-X 방향 내공변위

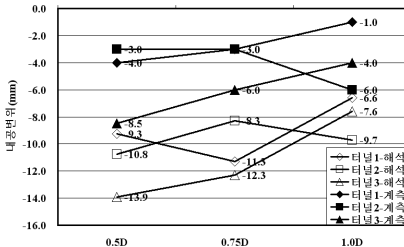


(e) CDLL-X 방향 내공변위

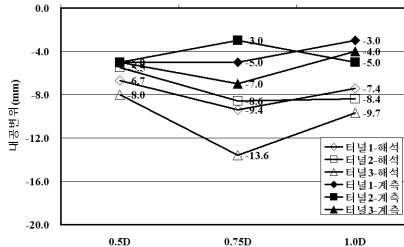


(f) CDLR-X 방향 내공변위

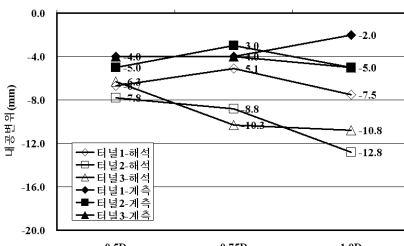
그림 5. 필터폭 변화에 따른 X방향 내공변위



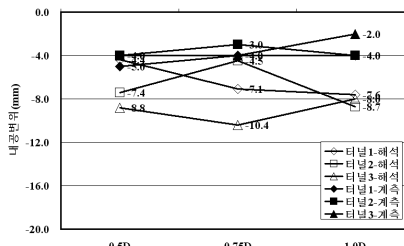
(a) CDUL-Y 방향 내공변위



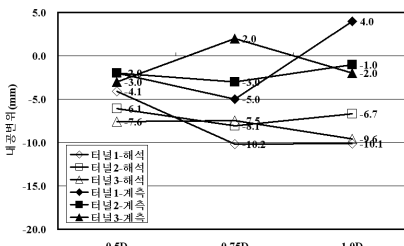
(b) CDUR-Y 방향 내공변위



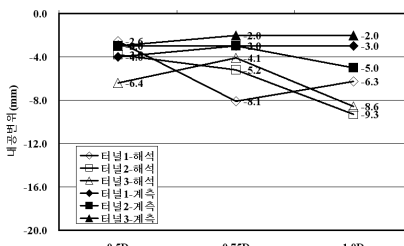
(c) CDML-Y 방향 내공변위



(d) CDMR-Y 방향 내공변위



(e) CDLL-Y 방향 내공변위



(f) CDLR-Y 방향 내공변위

그림 6. 필터폭 변화에 따른 Y방향 내공변위

과 해석의 결과가 상이하게 나타나는 것으로 사료된다.

그림 6은 필러폭에 따른 Y 방향 내공변위 비교한 것이다. 그림 6의 (a)에서 계측 터널 1과 터널 2의 1.0D의 변위가 각각 -1.0mm, -6.0mm로 나타나 차이가 많이 나며 터널 2와 터널 3은 유사한 거동을 보이고 있는 것으로 나타났다. 그림 (b)에서 터널 2를 제외하고 계측과 해석의 결과에서 수치적으로는 차이가 나나 경향은 비슷하게 나타났다. 그림 (c)에서 터널 2는 계측과 해석이 유사한 거동으로 나타났으나 터널 1과 터널 3은 서로 다른 경향을 보인다. 그

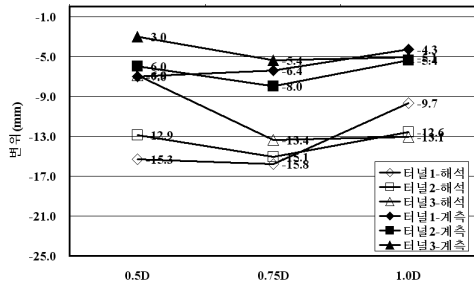


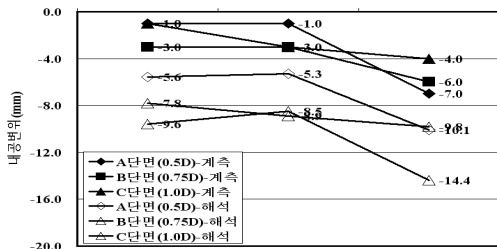
그림 7. 필러부 변화에 따른 천단변위

림(d)에서 터널 1의 0.5D에서 계측과 해석 모두 -4.0mm 변위를 지나 서로 다른 거동을 보이며 터널 3은 유사한 경향을 나타낸다. 그림 (e)에서 터널 1의 계측변위가 1.0D에서 4.0mm이고 해석은 -10.1mm로 비교적 큰 차이를 보인다. 터널 2는 계측과 해석이 서로 비슷한 거동을 보이나 터널 3은 서로 다른 경향을 나타내고 있다. 그림 (f)의 계측결과로부터 터널 1과 터널 3의 거동은 비슷한 경향을 나타내고 있으나 계측과 수치해석의 거동이 서로 다른 것을 알 수 있다.

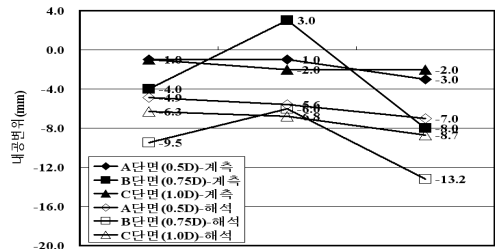
그림 7은 필러폭에 따른 천단변위를 비교한 것이다. 계측에서 보면 터널 3을 제외한 터널 1과 2가 0.5D단면에서 천단변위가 크게 나타났으며 계측과 해석은 전반적으로는 비슷한 경향을 나타내고 있다.

4.2 터널 위치에 따른 변위 비교

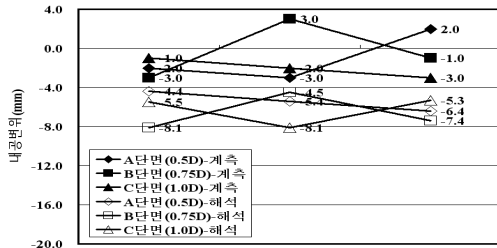
그림 8은 터널 위치에 따른 X 방향 내공변위 비교한 것이다. 그림 (a)의 필러폭이 0.5D인 A단면 터널 3에서 -7.0mm, 필러폭이 0.75D인 B단면은 -6.0mm, 필러폭이 1.0D인 C단



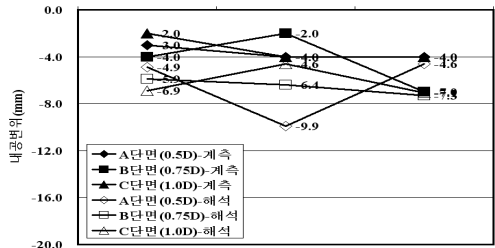
(a) CDUL-X방향 내공변위



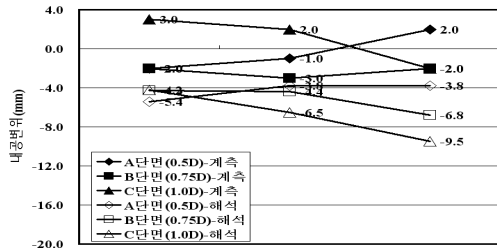
(b) CDUR-X방향 내공변위



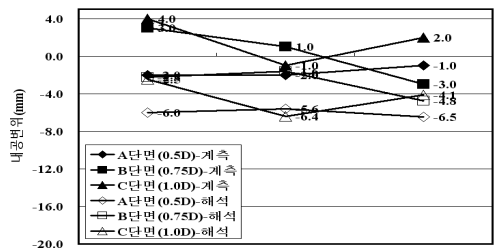
(c) CDML-X방향 내공변위



(d) CDMR-X방향 내공변위

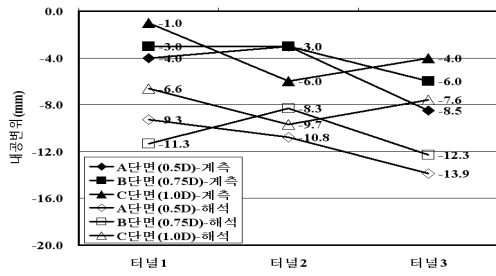


(e) CDLL-X방향 내공변위

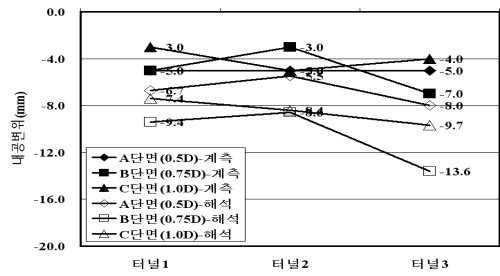


(f) CDLR-X방향 내공변위

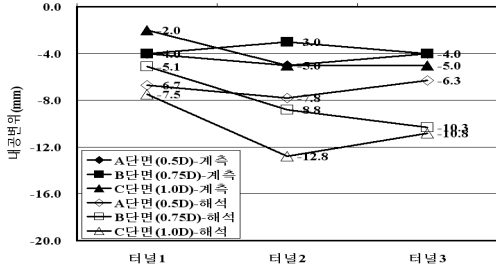
그림 8. 터널 위치에 따른 X방향 내공변위



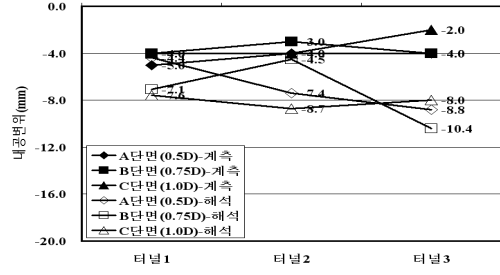
(a) CDUL-Y방향 내공방향



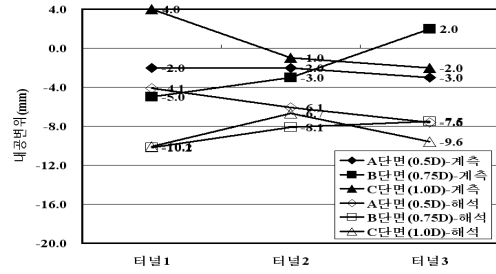
(b) CDUR-Y방향 내공방향



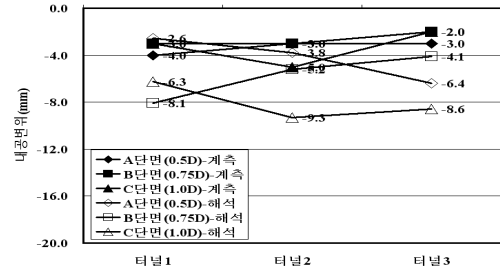
(c) CDML-Y방향 내공변위



(d) CDMR-Y방향 내공변위



(e) CDLL-Y방향 내공변위



(f) CDLR-Y방향 내공변위

그림 9. 터널 위치에 따른 Y방향 내공변위

면은 -4.0mm로 계측되었으며 수치해석의 거동과 비교적 유사하게 나타났다. 그림 (b)에서 터널 2의 0.75D 변위가 3.0mm로 용기한 것으로 계측되었으며 0.5D, 0.75D, 1.0D 단면 모두 계측과 수치해석 거동이 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그림 (c)에서 터널 2의 0.75D(B)단면이 3.0mm로 나타났으며 계측과 수치해석 거동이 비교적 유사하게 나타났으나 0.5D와 1.0D 단면에서 터널 3은 계측과 다른 거동을 보이고 있다. 그림 (d)에서 0.5D단면 터널 2의 해석치가 -9.9mm이며 실제 계측 결과와 다른 거동을 나타내고 있다. 그림 (e)에서 계측과 해석이 유사한 거동을 나타내며 0.5D 단면의 터널 1이 2.0mm, 터널 2가 1.0mm의 계측치로 계측과 수치해석에서 서로 다른 거동을 보이거나 0.75D, 1.0D 단면에서의 경향은 비교적 유사한 거동을 나타내고 있다. 그림 (f)에서 0.5D, 0.75D, 1.0D 단면 계측과 수치해석의 거동이 유사하게 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 9는 터널 위치에 따른 Y 방향 내공변위 비교한 것이다. 그림 (a)에서 1.0D 단면 터널 2가 -6.0mm변위로 나타났으며 0.75D단면 터널 3에서 -6.0mm로 나타났으며 계측

과 수치해석 결과와 전반적으로 유사한 거동을 보인다. 그림 (b)에서 B단면(0.75D)의 계측과 해석의 변위를 나타냈으며 계측과 해석의 전체 경향은 비교적 유사하다. 그림 (c)에서 A단면과 C단면이 계측과 해석을 비교하면 유사한 경향을 나타낸다. 그림 (d)의 계측 결과에서 터널 3보다 터널 1의 계측변위가 약간 큰 값을 보이며 1.0D(C)단면은 계측과 수치해석을 비교하여 볼 때 비교적 유사한 거동을 나타내고 있다. 그림 (e)에서 1.0D단면 터널 1이 4.0mm로 나타났으며 해석결과와 서로 다른 경향을 나타내고 있다. 그림 (f)에서 계측결과 수치해석 결과와 유사한 거동을 나타낸다.

그림 10은 터널 위치에 따른 천단침하를 비교한 것이다. 천단변위 계측결과는 터널 3에서 세 단면 다 변위가 비슷하게 나타났으며 0.5D단면의 터널 1이 -7.0mm로 비교적 크게 발생한 것으로 나타났다. 0.75D단면과 1.0D단면은 수치해석 결과는 계측과 비교하여 일정한 차이를 보이고 있지만 전반적인 거동은 유사하게 나타나고 있다.

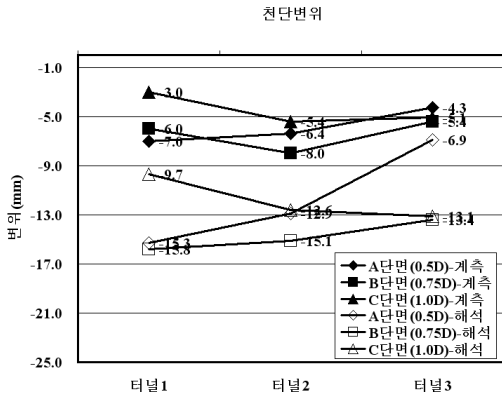


그림 10. 터널 위치에 따른 천단변위

4.3 고찰

본 연구에서는 정확한 해석결과의 산정보다 이격거리 및 파쇄대에 따른 터널 거동을 파악하여 계측결과와 비교 분석함에 있다. 터널의 내공변위, 천단침하 계측 결과로부터 알 수 있듯이 파쇄대가 근접한 터널의 경우 다른 터널에 비하여 파쇄대의 영향으로 상대적으로 변위가 크게 발생하고 있는 것으로 나타났다. 하지만 보강으로 인하여 발생한 내공변위, 천단침하는 매우 작은 변형거동을 나타내고 있으며 전반적으로 안정한 상태를 유지하고 있음을 알 수 있다.

비상 여수로의 필러부의 터널 거동을 파악하기 위하여 2차원 수치해석을 수행하였으며 내공변위, 천단침하에 대하여 살펴본 바 계측 결과에 비하여 수치해석결과가 전반적으로 큰 값을 나타내고 있으나 대체적인 경향은 비교적 유사한 것으로 나타났다. 수치해석과 계측결과가 서로 차이가 나는 것은 계측기의 설치시기에 의하여 발생하는 계측과정에서의 오차 및 해석에 적용한 지층조건, 물성치 등의 부적합성에 의하여 발생하는 것으로 사료된다.

기존의 문헌(김학문, 1997 ; 황정순 등, 2005)에 의하면 필러부 폭이 1.5D 이상이 되어야 변위에 대해서 다소 안정적인 것으로 평가하고 있다. 상기의 계측 결과와 해석 결과를 살펴보면 본 연구대상의 터널 간 이격거리가 0.5D ~ 1.0D로 터널 이격거리가 짧은 3련 터널이고 A, B, C단면의 지반 형상이 각각 다르고 복잡하며 저토포고 구간 등의 원인으로 인하여 계측과 해석의 결과도 차이가 나는 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 0.5D와 1.0D단면에서 단층 파쇄대가 지나가고 있는 것도 큰 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.

5. 결 론

터널 계측항목 중 측정빈도가 가장 많고 안전관리와 직결되는 계측항목은 천단침하와 내공변위라 할 수 있다. 따

라서 여수로 유입 천이부 대표단면에서 필러폭이 변하는 구간 A, B, C단면의 천단변위와 X와 Y방향에 대한 내공변위에 대하여 계측치를 분석하고 수치해석을 통하여 파쇄대에 따른 터널 거동에 대하여 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 필러폭에 따른 X 방향 내공변위 비교한 것을 살펴볼 때 필러폭 0.75D에서 전반적으로 변위가 크게 나타났으며, Y 방향 내공변위는 터널 2의 1.0D에서 변위가 다소 많이 나타난다. 천단변위는 터널 3을 제외한 터널 1과 2의 0.5D에서 크게 나타났으며 전반적으로는 비슷한 경향을 나타내고 있다.
- (2) 터널 위치에 따른 X 방향 내공변위에서는 계측과 해석 비교 시 경향은 유사하게 나타났으며, Y 방향 내공변위는 C단면의 터널 2의 변위가 전체적으로 크게 나타났으며 계측과 해석결과는 서로 비슷한 경향을 보인다. 터널 위치에 따른 천단변위는 B단면의 터널 2의 변위가 크며 터널 3에서는 세 단면 모두 근접한 침하량을 보이고 있다.
- (3) 터널의 계측결과로부터 파쇄대에 근접하여 있는 터널의 경우 다른 터널에 비하여 상대적으로 큰 변위를 보이고 있는데 이는 파쇄대가 터널 거동에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 본 연구대상인 터널 1, 2, 3의 A, B, C 단면 모두 터널 굴착 주변지반의 보강으로 내공변위와 천단침하에서 모두 작은 변형거동을 나타내어 시공단계에서 안정적인 상태를 유지하고 있음을 알 수 있다.
- (4) 필러부 폭 1.5D 이상이 되어야 변위에 대해서 다소 안정적으로 평가되고 있는데 위의 그래프에서 계측치와 해석치를 살펴볼 때 본 연구대상의 터널 간 이격거리가 0.5D에서 1.0D로 터널 이격거리가 짧은 3련 터널이고 단층 파쇄대의 영향으로 인하여 필러폭의 영향보다 단층대의 영향을 많이 받은 것으로 사료된다.
- (5) 추후 터널 계측 결과뿐만 아니라 터널 시공 시 막장관찰 등을 통하여 얻는 계측결과와 터널 거동을 비교 분석함으로써 지반 조건에 따른 보다 적절한 터널의 설계, 시공이 이루어지도록 하여야 하며 매개변수 연구를 통하여 굴착주변 지반의 및 터널 거동을 파악하여야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 강창민 (2008), 대단면 근접 병설터널 필라 구간 보강방안 적용 및 안정성 평가, 석사학위논문, 경북대학교, pp. 84~88.
2. 김학문 (1997), 쌍굴터널 굴진에 따른 주변지반의 거동과 간섭효과, *한국암반공학회지*, Vol. 7, No. 2, pp. 136~142.
3. 암반공학회 (2007), 임하댐 비상여수로 지질보고서 - 터널 안정성 평가, pp. 24~31.
4. 황정순, 이흥규, 박석호, 이용기 (2005), 병설 터널 시공에 따른 필러의 안정성 평가기법 제시, *2005년 대한토목학회 정기 학술대회 논문집*, pp. 5575~5578.
5. 日本機械學會 (1980), *山岳トンネルの新技術*, 土木學社, 東京 pp. 6~18.
6. Hoek, E. (1968), *Rock Mechanics in Engineering Practice*, John & Wiley, London, pp. 50~60.
7. Hoek, E. and Brown, E. T. (1980), *Underground Excavation in Rock*, Institution of Mining and Metallurgy, London, pp. 55~80.
8. Hoek, E., Kaiser, P. K. and Bawedn, W. F. (1995), *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, pp. 110~135.

(접수일: 2009. 5. 21 심사일: 2009. 7. 8 심사완료일: 2009. 9. 23)