



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 청 구 논 문

대단면 쉘드터널 세그먼트 라이닝 두께
최적화 검토에 대한 연구



2007년 08월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

토 목 공 학 과

심 형 준

공 학 석 사 학 위 청 구 논 문

대단면 쉘드터널 세그먼트 라이닝 두께
최적화 검토에 대한 연구

지도교수 정 두 회

이 논문을 공학석사 학위청구논문으로 제출함

2007년 08월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

토 목 공 학 과

심 형 준

심형준의 공학석사 학위논문을 인준함

2007년 08월 30일



주 심

정 진 호 인

위 원

이 환 우 인

위 원

정 두 회 인

목 차

	page
표 목 차	i
그 립 목 차	ii
Abstract	iii
제 1 장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구의 목적	2
1.3 연구방법 및 범위	3
제 2 장 쉘드터널의 문헌분석	4
2.1 국내의 연구동향	4
2.2 일본의 연구동향	5
2.3 유럽·미국의 연구동향	7
제 3 장 쉘드공법의 개요	9
3.1 쉘드공법	9
3.2 쉘드TBM 공법의 특징	11
3.2.1 쉘드TBM 공법의 장점	11
3.2.2 쉘드공법의 단점	11
3.3 쉘드터널의 세그먼트	12
3.3.1 세그먼트의 종류	12
3.3.2 세그먼트의 연결방법	14
3.3.3 세그먼트 라이닝의 기능 및 역할	15

제 4 장 쉘드터널 라이닝 세그먼트 설계기준 검토	16
4.1 국내 설계기준 검토	16
4.2 국외 설계기준 검토	17
제 5 장 대단면 쉘드TBM 세그먼트 라이닝 단면 해석개요	19
5.1 구조해석모델의 선정	19
5.2 수치해석 검토 조건	20
5.3 유한 요소 해석	21
5.3.1 적용 프로그램	21
5.3.2 해석 순서도	22
제 6 장 세그먼트 라이닝 단면해석 결과	23
6.1 세그먼트 라이닝 부재력 계산결과	23
6.2 세그먼트 라이닝 설계단면 안전율 계산결과	27
6.3 대단면 쉘드터널 세그먼트 라이닝 최적두께 제안	34
제 7 장 결 론	35
참고문헌	36

표 목 차

	page
표 3.1 세그먼트의 분류	12
표 4.1 콘크리트 평판형 세그먼트의 형상, 치수	17
표 4.2 해외 라이닝 설계기준 및 사례	18
표 5.1 세그먼트 라이닝 단면 검토 조건	20
표 6.1 부재력 계산결과 (지반반력 5,000 kN/m ³)	23
표 6.2 부재력 계산결과 (지반반력 10,000 kN/m ³)	24
표 6.3 부재력 계산결과 (지반반력 20,000 kN/m ³)	24
표 6.4 대단면 쉘드터널 세그먼트 라이닝의 최적두께 제안도표	34



그 립 목 차

	page
그림 3.1 쉼지기 본체 구성도	10
그림 3.2 세그먼트 연결의 명칭	14
그림 5.1 전주면빔이음스프링 모델(1R-S0)의 구조도	19
그림 5.2 해석 순서도	22
그림 6.1 직경 10m, 심도 1D에서의 부재력 검토결과(지반반력 5,000kN/m ³)	25
그림 6.2 직경 20m, 심도 3D에서의 부재력 검토결과(지반반력 5,000kN/m ³)	25
그림 6.3 직경 20m, 심도 3D에서의 부재력 검토결과(지반반력 10,000kN/m ³)	26
그림 6.4 직경 20m, 심도 3D에서의 부재력 검토결과(지반반력 20,000kN/m ³)	26
그림 6.5 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 10m, 지반반력 5,000 kN/m ³)	28
그림 6.6 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 10m, 지반반력 10,000 kN/m ³)	29
그림 6.7 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 10m, 지반반력 20,000 kN/m ³)	29
그림 6.8 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 15m, 지반반력 5,000 kN/m ³)	30
그림 6.9 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 15m, 지반반력 10,000 kN/m ³)	31
그림 6.10 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 15m, 지반반력 20,000 kN/m ³)	31
그림 6.11 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 20m, 지반반력 5,000 kN/m ³)	32
그림 6.12 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 20m, 지반반력 10,000 kN/m ³)	33
그림 6.13 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 20m, 지반반력 20,000 kN/m ³)	33

Study on optimum thickness of shield tunnel lining segment

Hyeong-Jun Sim

*Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry
Pukyong National University*

Abstract

The shield-driven tunneling method has been widely adopted for the construction of urban underground tunnels in soft and collapsible ground due to its flexibility, cost effectiveness and the minimum impact on ground traffic and surface structures. Recently, jointed segmental precast concrete linings connected by steel bolts are commonly used instead of steel or cast iron segments in most shield-driven tunnels. As the lining of a shield-driven tunnel is not a continuous ring structure due to the existence of joints, the effects of the joints on internal forces and displacements should be taken into consideration in the design of segment lining.

This study suggested an optimum thickness of jointed shield-driven segment lining by the finite element analysis to determine the internal forces and displacements of jointed shield-driven tunnels. Factors considered in the analysis include joint stiffness, soil resistance, number of joints, diameter, and tunnel depth.

Keywords : Shield-driven tunneling, Jointed segmental precast concrete linings, Joint stiffness, Soil resistance, Internal forces, Numerical solutions

제 1 장 서론

1.1 연구배경

산업화에 따른 도시인구의 집중현상은 많은 도시문제를 야기시키고 있으며 그 중 대표적인 것이 교통문제이며 산업활동의 막대한 장애가 되고 있다. 최근의 극심한 도로 혼잡은 노면 교통 및 수송효율을 지속적으로 저하시키며 환경공해를 유발시키는 악순환의 반복으로 이어지고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 대도시의 교통, 수송 수단의 특성으로 대량성, 안정성, 신속성을 고려할 때 수송 수단의 지하화, 즉 지하도로 및 지하철도의 요구가 불가피하게 되고 있다. 우리나라에서는 최근 들어 도심의 지하공간 활용과 원활한 교통소통을 위해 설비시설, 도로 및 지하철 건설에 따른 터널의 수요가 증가되고 있다. 도심은 일반적으로 하천을 중심으로 발달하거나 하천과 해안 주변에 형성된다. 지층구성은 암반층이 아닌 연약지반을 포함하고 있는 경우가 대부분이다. 따라서 도심지에서의 터널공법으로서는 연약지반에서부터 암반층까지 다양한 지반조건에 적용이 가능하고 환경훼손 및 주거 과밀지역의 민원을 최소화할 수 있는 쉘드터널공법이 최적의 대안이라 할 수 있다.

쉘드터널공법은 비교적 연약한 지반에 터널굴착을 할 때, 터널의 외경보다 조금 큰 단면의 쉘드라는 강재의 통을 지중에 추진시켜 내부에 있는 토사의 붕괴나 유동을 방지하면서, 안전하게 굴착·라이닝작업을 행하여 터널을 시공하는 공법이다. 국내에서는 부산 광복동 전력구 공사를 시초로 최근 부산지하철 230공구, 광주도시철도 1호선 TK-1공구, 서울지하철 9호선 909공구, 인천국제공항철도 등에 쉘드터널공법이 적용되었고, 소구경의 전력구 공사에서부터 대형·대단면 지하공간 건설에까지 그 적용범위가 점차 확대되고 있다.

쉘드터널공법에서 터널의 라이닝인 세그먼트는 공사비의 30%를 차지할 뿐만 아니라 터널에 작용하는 하중을 지지하는 주 구조체로서, 연속체가 아닌

이음부를 가지는 구조로 되어져 있다. 현재 국내에서 쉴드터널 라이닝 세그먼트의 해석 및 설계시는 2000년 국제터널협회(International Tunneling Association)에서 발표한 지침서(ITA, 2000)에서 제시된 구조해석 모델들을 주로 이용하고 있다. 이 지침서에서는 이론해부터 수치해석적인 방법까지 각종의 구조해석 모델들을 제시하고 있다. 그러나 대형 대단면의 적용에 필요한 세그먼트 단면설계에 관한 구체적인 언급이 없는 실정이다.

국내의 설계경향은 구조해석 모델이나 설계하중 및 지반정수의 영향 등에 별다른 검증평가 없이 과거의 국내·외 설계 자료에 관행적으로 의존하여 과다설계하고 있는 실정이다.

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 국내외 대·소단면 쉴드터널공법에 적용한 구조계-하중계 모델로 쉴드터널(shield tunnel) 세그먼트 라이닝(segment lining) 단면설계에 영향을 주는 요소에 관한 기존의 연구자료를 고찰하여 2차원 유한요소해석을 실시하여 수치해석 결과를 비교·분석하여 세그먼트 라이닝의 단면두께의 적합성을 평가하였다.

차후, 쉴드터널의 세그먼트 해석 및 단면설계과정에 적용되고 있는 현재의 기법들에 대한 수준과 적용한계를 분석하여 보다 합리적인 설계기법을 개발한 후 현장 적용성에 대한 검증 등을 통하여 실용화하고자 한다.

1.3 연구방법 및 범위

본 연구에서는 쉘드터널의 세그먼트 라이닝용 해석기법에 관한 연구의 일환으로서 우선적으로, 국내·외에서 현재 사용하고 있는 쉘드터널의 세그먼트 단면두께 해석에 대한 적정성을 평가·분석하고, 현장 조건별 적용성을 평가하여 이를 바탕으로 대형 대단면의 지하공간을 쉘드터널을 이용하여 축조하는 경우 라이닝 세그먼트의 단면설계에 있어 간편하게 이용할 수 있는 해석 도표를 제안하고자 한다.



제 2 장 쉘드터널의 문헌분석

2.1 국내의 연구동향

국내에서의 쉘드공법은 1987년 부산광역시 광복동 전력구 공사에 최초로 도입되었다. 그 후 건설공해의 감소와 경제적인 이점 등으로 인해 쉘드터널의 적용영역이 전력구뿐만 아니라 하수관로, 가스관 배관부설, 도시철도 및 지하철 등으로 다양하게 증가하고 있는 추세이다. 그리고 적용지반은 쉘드터널의 도입 초기에는 연약지반을 중심으로 건설되었던 것이 견고한 지층까지 건설영역이 확대되어 차츰 암반터널에 적용되던 NATM 공법과의 경계가 모호한 영역으로까지 확대되었다.

국내에서 다양하게 진행되고 있는 연구동향을 분석하면, 시공단계에 따라 지반거동을 고려한 쉘드터널의 해석과 주변 지반거동예측에 관한 연구 및 쉘드터널 세그먼트 연결부에 관한 연구로 3부분으로 분류할 수 있다.

시공단계에 따른 지반거동을 고려한 연구는 진치섭(1977)에 의해 쉘드터널 해석 시공과정을 쉘드 추진력 및 막장압력에 의한 초기 용기효과, 세그먼트 설치와 테일 보이드 폐합후의 세그먼트의 응력이동과 점성토 지반에서의 압밀로 인한 과잉간극수압의 생성과 소멸과정을 해석단계로 묘사함으로써 탄·점소성 유한요소해석을 실시하여 쉘드터널의 거동 메카니즘 규명에 대한 연구를 수행하였다. 또한 쉘드터널의 시공단계별 해석과정에 따른 하중분담율을 조절하는 반복해석기법을 이용해서 쉘드터널 시공시 발생하는 즉시침하량을 예측하고 현장계측과의 비교연구를 수행하였다. 또한 진치섭(1995)은 터널을 굴착함으로써 교란되는 지반변형에너지를 분석하여 쉘드터널의 안정해석에 관한 연구를 수행하였다.

쉘드터널의 주변 지반거동 예측에 관한 연구는 유충식(1997)에 의해 점성토 지반에서 3차원 유한요소 해석기법을 이용하여 매개변수를 통한 지반거동

메카니즘을 고찰하고 지반거동과 영향요소간의 관계를 나타내는 데이터 베이스를 구축하여 지표침하 예측 모델을 제시하였다. 이인모(2004)는 터널설계 및 시공시 기술자의 경험에 의존되던 지반정수의 최적평가를 위해 터널시공시 측정된 상대변위를 이용하여 지반정수를 결정하는 3차원 터널 역해석 기법을 제안하고 적용성에 관한 연구를 수행하였다.

국내의 연구동향을 분석하면 쉘드터널의 세그먼트를 해석함에 있어 실제 설계 실무자가 설계할 때 마다 적용하기 힘든 3차원 유한요소의 상세해석과 탄·소성 비선형 해석을 통하여 세그먼트나 연결부의 거동을 분석하는 연구목적이 중심인 것을 알 수 있다.

2.2 일본의 연구동향

일본에서 최초로 쉘드공법이 적용된 공사는 1919년에 착공한 우에쓰(羽越)북선 오리와타리(折渡)수도이고, 1926년에 탄군(丹郡)수도, 1936년에 칸몬(關門)철도로 이어진다. 이들 공사 중에서 오리와타리(折渡)수도와 탄군(丹郡)수도는 지압이 너무 커서 도중에 시공을 중단했기 때문에 일본에서 쉘드공법에 의해 최초로 터널이 완성된 것은 칸몬(關門)수도철도이다. 이때까지의 시공사례에서는 팽창성 지반이나 해저의 특수조건하에서만 쉘드공법이 적용되었다.

1960년에 나고야시 고속도로철도 賞王山수도, 1962년에 동경도 하수도국 石神井川하 간선수도, 1963년에 羽田(하네다) 모노레일터널에서 쉘드공법이 적용되었다. 1960년대에 적용한 쉘드공법이 일본 도시터널의 일반공법으로 정착된 시초이다. 또한 1967년 浦和(우라와)시의 유역하수도 시공시, 처음으로 이수식 쉘드공법으로 불리는 밀폐형 쉘드가 개발되어, 현재에는 토압식 쉘드와 함께 쉘드공법의 주류가 되고 있다. 밀폐형 쉘드가 개발됨으로서 터널의 막장이 안정되고 막장 도달전의 지반교란을 크게 감소시킬 수 있게 되었다.

그 후 일본에서는 외국에 비해서 빠른 속도로 쉘드공법이 개량되었고, 임의 단면형상을 가진 쉘드 등의 신기술이 개발되어 지금까지 상당량의 공사가

실시되고 있다.

일본의 쉘드터널 설계시공에 관한 최초의 기준은 1969년에 제정된 「쉘드 공법지침」이다. 이 지침은 하천이나 해저 하부 등 극히 불량한 지반에 적용되었던 쉘드공법을 도시부의 연약지반을 주 대상으로 한 인프라 정비를 위한 일반적인 터널 시공법으로 자리매김하였고, 그 당시까지의 설계 및 시공 사례를 토대로 제정되었다. 연직토압은 전 토피토압 또는 Terzaghi의 이완토압을 적용하고, 수평토압은 시공성을 고려해서 연직토압에 정지토압계수를 곱하는 정도를 기본으로 하였다. 또 지침 적용 시에는 필요에 따라 실험이나 기타 연구를 실시한 후 적절히 수정해서 활용하도록 하였다.

쉘드터널의 라이닝설계에 사용되는 하중을 취급하는 방법을 살펴보면, 1973년에 제정된 일본의 「터널공사용 표준세그먼트」에서는 물을 취급하는 차이점에 따라 점성토나 사질토 등으로 흙을 분류하고, 각각의 지반에 대해서 연직토압과 수평토압의 비가 되는 측방토압계수 λ 와 지반반력계수 κ 의 관계가 구체적으로 명시되어 있다. N 치와의 관계에서 λ 와 κ 의 값을 명확하게 관련지은 것은 1977년에 제정된 일본의 「쉘드터널의 설계시공지침(안)」에서이다. 그 후 λ 와 κ 값의 조합에 약간의 수정이 이루어졌는데, 적용토질에 따라 실제 터널에 작용하는 하중을 계측한 후 이들 자료를 토대로 지반의 성질이나 시공법의 특징을 고려해서 적절한 하중평가를 실시하였는지의 여부는 명확하지 않다. 이는 매우 중요한 사항으로 1960년대부터의 고도성장 시대에 따라 도시부의 쉘드 공사량이 증가하였지만 터널의 안전성을 너무 중시한 나머지 지반조건이나 시공조건 등에 따라 정해진 설계하중 산정법이나 단면력 산정법을 고착화시킨 실정이다.

도시부에서 중간정도 심도의 지반에 라이프라인이 되는 지하구조물이 점차 구축되었는데, 이러한 지반 중에 지하구조물이 폭주하게 되어, 쉘드터널이 다른 구조물과 교차하든지 병설되는 등 근접시공이 되는 경우가 많았다. 이 때문에 단일 터널시공의 경우와는 달리 설계용 하중을 결정할 때에 장래의 터널

주변 환경변화를 고려하여 안전성을 여유있게 확보하는 것을 염두에 둘 필요가 있었던 것도 사실이다.

2.3 유럽 · 미국의 연구동향

Brunel(1818)이 쉴드공법을 최초로 고안하였고, 1860년대에 영국을 기점으로 유럽 각국에서 쉴드공법이 실용화되었다. 미국에서는 1870년대에, 독일에서는 1890년대에, 그리고 러시아에서는 1930년대에 차례로 실용화되어서 시공실적도 증가하였다.

1960년대까지의 설계법과 하중평가 방법에 대해서는 명확하지는 않지만, 국제터널협회(ITA, International Tunnelling Association, 1981)에서 터널의 구조모델에 관한 조사를 실시해서 하중계 평가 및 터널 구조모델의 평가 등에 관한 각국의 기본적인 고찰방법을 보고서로 정리한 바 있다.

유럽 각국은 Muir Wood(1975)가 제창한 2차원 탄성지반상의 일정강성원형(剛性一樣円環) 이론해법을 근거로 한 단면력 산정법을 적용하고 있으며, 이 방법은 지반과 라이닝과의 상호작용을 고려해서 간편하고 직접적으로 라이닝 응력을 구할 수 있는 이점이 있다.

이 방법은 Einstein and Schwartz(1979)에 의해 라이닝의 휨강성과 축강성을 고려할 수 있게 확장되었다. 그 후, 독일의 Duddeck(1980)가 「토사터널지침」으로서의 쉴드터널 설계법을 발표하였다. 이 지침서에 나와 있는 단면력 산정법은 Muir Wood이나 Einstein and Schwartz의 방법을 토대로 터널에 직접 작용시킨 설계용 하중을 간편화시키고, 그 하중을 일정강성원형의 터널구조 또는 세그먼트 이음의 강성저하를 고려한 원형에 작용시켜 라이닝에 발생하는 단면력을 계산하는 방법으로, 라이닝에 작용시킨 설계용 하중 산정과 지반과 라이닝과의 상호작용을 고려한 단면력 산정으로 나뉘어 취급한 점에서는 일본의 단면력 산정법과 동일하다.

최근 유럽 각국의 설계법은 전술한 Muir Wood의 방법이나 Duddeck의 방

법이 주를 이루고 있으며, 독일, 오스트리아, 벨기에, 프랑스 등에서는 설계정수인 지반의 포아송비나 탄성계수 또는 지반반력계수를 부여하는 방법을 간편화시켜서 이들 방법을 사용하고 있다.

한편, 미국에서는 Bull(1946)에 의해 지반과 라이닝의 상호작용을 고려한 단면력 산정방법이 제안되었으나, 그 실용성 여부에 대해서는 불명확하다. 그 후, 연약지반에 시공한 Bay Area Rail Tunnel(BART:1969)의 설계에는 Terzaghi나 Peck이 제안한 이완토압을 사용해서 연직하중을 평가함과 동시에 라이닝에 일정한 휨변형이 발생하도록 하중을 작용시키는 방법을 적용하였다.



제 3 장 실드공법의 개요

3.1 실드공법

실드(shield)의 사전적 의미를 살펴보면 방패, 차폐물, 보호물 등으로 정의하며, 실드공법은 터널 외형단면보다 약간 큰 단면을 갖는 실드기라고 부르는 튼튼한 강재통을 지반속에 추진시켜, 막장부 지반의 붕괴를 방지하면서 안전하게 굴착 및 라이닝작업을 수행하여 터널을 축조하는 공법으로 아래와 같은 순서를 반복해가며 터널을 파나가는 것이다.

- 1) 잭으로 실드를 앞으로 추진하면서 실드막장부에서 세그먼트 1링분의 굴착을 행한다.
- 2) 1링 분의 굴착이 완료되면, 실드 후방부에서 세그먼트 조립기계인 이렉터를 사용하여 세그먼트를 조립한다.
- 3) 실드의 전진으로 실드기 후방에서 발생한 세그먼트 외경과 실드굴착경 사이의 여굴 및 테일보이드(tail void)에 뒷채움을 시행하여 충전한다.

실드기 본체는 그림 3.1에 나타낸 바와 같이, 막장에서부터 후드(hood)부, 거더(girder)부, 테일(tail)부의 3부분으로 구성된다. 후드부는 실드 굴진시 실드 내부에서 막장의 굴착과 동시에 흙막이 역할을 하며, 후드부와 거더부 사이에 격벽이 설치된다. 토압식의 경우는 토사, 이토, 기포 등을, 이수식의 경우에는 이수를 충만, 가압시켜서 막장의 안정을 도모한다. 거더부는 실드 외곽장판을 환상이나 기둥으로 보강하여, 실드잭, 커터헤드(cutter head) 구동장치, 중절장치 및 배토장치 등 굴진을 위한 장비를 설치한다. 테일부는 라이닝체인 세그먼트를 조립하고, 조립한 세그먼트는 굴진을 위한 반력대로 사용하는 공간으로 세그먼트 조립장치와 실드기 외부의 토사, 지하수 및 뒷채움재 등의

유입을 막기 위한 테일썰이 설치된다. 또한 테일부는 세그먼트 조립공간이기 때문에 내부에 보강재를 설치할 수 없어 구조상 가장 취약한 부분이다.

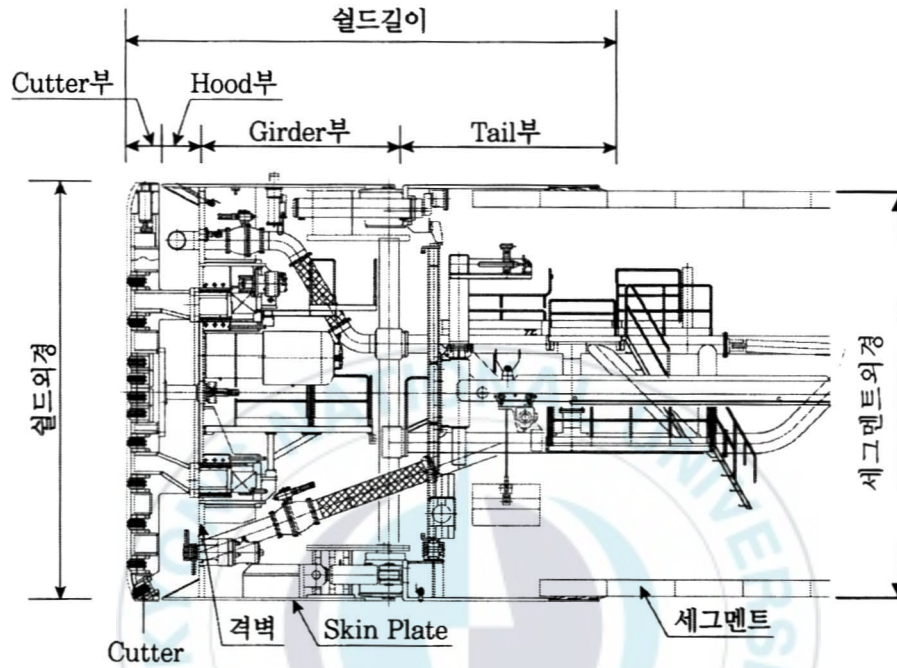


그림 3.1 설드기 본체 구성도

3.2 쉘드TBM 공법의 특징

3.2.1 쉘드TBM 공법의 장점

- 1) 쉘드공법은 작업기지인 발진작업구와 도달작업구 등을 제외하고는 지상 작업이 거의 없으므로 노선을 따라 발생하는 교통장애나 소음 및 진동의 문제를 최소화할 수 있다.
- 2) 지장물의 이설과 보호공을 최소화할 수 있는 공법으로 비교적 단순하고 동일한 작업의 반복으로 자동화를 할 수 있어 공정관리가 쉽다.
- 3) 토피의 두께에 따라 공사비의 변동이 적어 깊은 심도의 터널 축조에 유리하며, 적당한 보호공의 시공으로 건축물이나 하천 등의 하부를 통과하는 터널 시공도 가능하다.

3.2.2 쉘드공법의 단점

쉘드공법은 NATM과 달리 많은 장점이 있는 반면 단점도 가지고 있기 때문에 설계자는 공법선정시 주의해야 한다.

- 1) 쉘드공법은 토피가 적은 경우, 막장의 안정을 피하기 어려워 시공이 곤란하다. 다만 최근에 보조공법의 발전으로 이러한 문제점을 해결할 수 있다.
- 2) 쉘드 장비의 굴진을 위해서 수직작업구인 발진구와 도달작업구가 필요하고, 지상 플랜트 설치를 위한 별도의 작업장이 필요하다.
- 3) 작업기지 주변에서 소음, 진동 등의 환경대책이 필요하며, 극단적인 급곡선 시공은 어렵고, 선형변경에도 한계가 있다.
- 4) 지반에 따라서 터널 시공에 따른 융기, 침하 등의 지반변형에 대한 검토가 필요하다. 압기, 약액주입공법 등의 보조공법 사용시 환경문제를 고려해야 한다.

3.3 쉴드터널의 세그먼트

3.3.1 세그먼트의 종류

현재 쉴드터널에 사용되고 있는 세그먼트의 종류는 재질 및 형상에 따라 표 3.1과 같이 분류된다. 쉴드터널에 있어서 세그먼트 종류를 선정할 때에는 대상으로 하는 터널의 토피, 수압의 크기나 용도에 맞도록 세그먼트의 강도, 변형성능, 내구성, 시공성 및 경제성 등을 충분히 검토할 필요가 있다. 또한, 세그먼트는 링 완성후에 작용하는 토압 및 수압의 하중외에 시공시 추력재의 반력체가 되므로 쉴드기에 설치되어 있는 재의 추력에 대하여 안전성을 확인하는 것이 필요하다.

표 3.1 세그먼트의 분류

분류	명칭	비고
재료	목재 세그먼트	
	강제 세그먼트	steel계 세그먼트
	덕타일(ductile) 세그먼트	주철 세그먼트
	RC 세그먼트	콘크리트계 세그먼트
	합성 세그먼트	강제 + 콘트리트
형상	상자형 세그먼트	일반적인 형태
	평판형 세그먼트	
	코러게이트(corrugate)형 세그먼트	
	호저스키 세그먼트	특수한 형태
	육각형(honeycomb) 세그먼트	
	사다리꼴(trapezoidal) 세그먼트	

특히, RC 세그먼트는 평판형과 상자형 세그먼트로 대별되며, RC 평판형 세그먼트는 휨모멘트에 대하여 축력이 탁월한 조건하에서 콘크리트의 특성을 살린 매우 효과적인 지보구조이다. 그러나 휨모멘트가 탁월한 조건하에 있어서는 소정의 내력을 확보하기 위해 세그먼트 두께가 커지고 중량이 커지는 경

향이 있다. 이에 대하여 RC 상자형 세그먼트는 세그먼트 두께를 확보하면서 중량증가를 억제할 수 있어 철도터널 등의 대구경 터널에 이용되어 왔다.

RC 평판형에서 세그먼트 연결부의 강성은 강제, 덕타일 세그먼트에 비해 높지만 링연결의 볼트 본수가 구조상 많아지므로 교차의 침접효과가 적어 세그먼트 링 전체로서의 강성은 저하된다.

터널 축방향 변형에 대해서는 링 연결은 변형성능이 강제계의 세그먼트에 비하여 작기 때문에 지반변위에 대한 적응성은 낮다. 링 연결은 볼트 본수가 적기 때문에 종합적인 내력은 작아지고, 링 연결에 인장력이 작용할 가능성이 높아 부등침하나 급곡선 시공 등의 적응성은 강제계 세그먼트보다 뒤떨어진다. 또한, 철근배근의 문제로 테이퍼량을 크게 잡는 것이나 세그먼트 폭을 작게 하는 것이 어려우므로 급곡선부에 RC 세그먼트가 사용되는 일은 적다.

제작성은 제작 정밀도가 형틀의 정밀도에 크게 의존하고 있고 세그먼트 배면의 마무리 정도를 제외하면 다른 세그먼트에 비해 정밀도를 확보하는 것이 가능하다. 그러나 세그먼트 품질의 균일화를 확보하기 위해서는 콘크리트 품질관리를 철저히 하여야 한다. 게다가, 콘크리트 양생에 장시간을 요하기 때문에 세그먼트의 저장장소 등에 큰 면적을 필요로 한다.

RC 세그먼트는 강제계에 비해 중량이 크므로 이렉터등의 터널내 조립설비의 규모가 강제계에 비하여 커진다. 또한, 모서리부에 콘크리트의 흠집이나 크랙 등이 발생하기 쉬워 운반이나 보관에 주의가 필요한 점 등의 시공성은 강제계 세그먼트에 비하여 뒤떨어진다. 경제적으로는 강제나 덕타일 세그먼트, 합성 세그먼트에 비해 싼 가격이다.

3.3.2 세그먼트의 연결 방법

셸드터널의 지보공은 1차 라이닝과 2차 라이닝으로 대별된다. 1차 지보공은 그림 3.2에 나타낸 바와 같이 세그먼트라고 일컬어지는 프리캐스트 부재를 볼트 등을 사용하여 조립한 것이다. 세그먼트는 터널 지보공의 주구조체로서 완성후에 작용하는 전체외하중에 대하여 설계한다. 또 세그먼트는 시공중의 잭추력에 대한 반력체로서도 이용된다. 2차 라이닝은 현장에서 타설하는 콘크리트에 의해 세그먼트의 내측에 구축된다. 그 목적으로는 터널내면의 평활화, 방수, 방식, 방진, 보강 등을 들 수 있다. 일반적으로 2차 라이닝은 무근콘크리트에 의해 구축되는 경우가 많지만, 2차 라이닝을 구조부재의 일부로서 설계하는 경우에는 철근콘크리트 구조로 한다.

셸드터널의 1차 라이닝 시공은 단위 세그먼트를 연결하여 하나의 링을 형성하는 과정을 반복하면서 이루어진다. 원주방향의 연결은 세그먼트간 연결, 터널축방향의 연결은 링간 연결이라고 한다. 일반적으로 세그먼트는 서로 인접하는 링의 세그먼트 연결이 터널 축방향으로는 일치하지 않도록 비켜서 조립하는 이른바 교차구조로 한다. 통상 세그먼트간 연결이음으로 직볼트, 장볼트, 곡선볼트, 통과볼트, 핀·너클 및 콕타방식 등이 있으며, 링간 이음으로 차크·핀, 핀·돌기, 나사체결식 편연결 등이 있다.

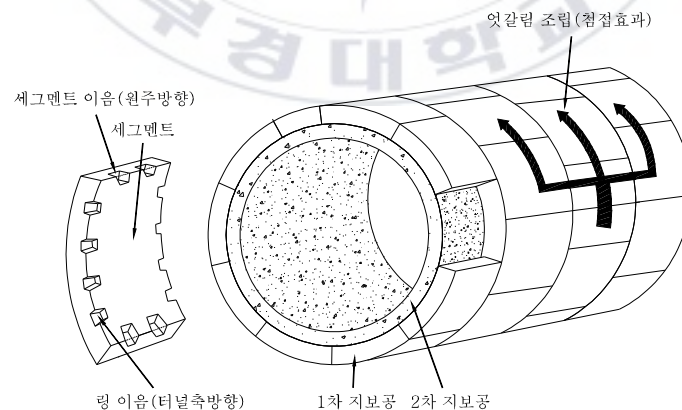


그림 3.2 세그먼트 연결의 명칭

3.3.3 콘크리트 라이닝의 기능 및 역할

일반적으로 터널은 단면에 따라 공사비에 미치는 영향이 가장 크므로 터널의 기능에 따라 가장 적절하고 경제적인 단면을 결정해야 하는 것이 터널설계의 기초 단계에서 가장 중요한 결정요소이다.

셸드터널 세그먼트는 공사중에 설치되어 공사중 안정확보는 물론이고 영구적인 터널라이닝 역할을 하게 된다. 따라서, 세그먼트는 구조적으로는 공사중 지반하중과 수압을 지탱하여야 하며, 제작 공장에서 현장까지의 운반 및 적치 관련 하중, 셸드이렉터 설치시 하중, 셸드추력에 의한 반력 등에 충분히 안정하여야 한다. 또한, 기능적인 측면으로는 소정의 방수기능이 발휘되도록 충분한 방수 성능을 공사중은 물론 장기적으로도 유지할 수 있어야 한다.

세그먼트의 제작비는 일반적으로 터널 공사비의 약 20~40%에 이르므로 셸드 공사에서 중요한 요인이다. 또한, 세그먼트의 치수 및 크기는 셸드 터널의 굴진 속도 및 작업시간에 미치는 영향도 매우 크다.

제 4 장 쉘드터널 라이닝 세그먼트 설계기준 검토

4.1 국내 설계기준 검토

쉘드터널 라이닝 세그먼트 구조 및 형상 설계시 세그먼트의 형상 및 수치를 정하는 중요한 요소와 고려해야할 일반적인 사항은 다음과 같다(표 4.1 참고). 우선 터널설계에 있어서 가장 기본적인 요소인 세그먼트 라이닝의 외경의 크기는 터널의 내공과 라이닝두께로부터 결정된다. 그리고 세그먼트 두께는 터널단면의 크기에 따라 토질조건, 토피, 하중조건 등에서 결정되지만 터널의 사용목적이나 세그먼트의 시공성에 지배되는 경우도 있다. 시공실적에 의하면 세그먼트의 두께는 일반적으로 세그먼트 외경의 4% 전후의 치수범위에 있지만, 본 연구에서 다루고자하는 대구경의 경우 중형 세그먼트에서는 5.5% 전후의 범위로 한다. 또한 세그먼트 폭은 세그먼트의 운반 및 조립상의 편리함, 터널 곡선구간의 시공성, 쉘드테일의 길이 등의 측면에서는 작은 것이 바람직하다. 한편, 터널연장당 세그먼트의 제작비의 저감, 누수 등의 약점으로 되기 쉬운 이음개수나 볼트구멍의 감소, 시공속도 등의 측면에서는 큰 것이 바람직하다. 세그먼트의 폭은 터널단면에 따른 시공실적을 감안하여, 경제성, 시공성을 고려한 뒤에 결정해야 한다. 마지막으로 세그먼트 링의 구성은 수개의 A세그먼트와 2개의 B세그먼트 및 정점부에 마지막으로 조립되는 K세그먼트로 구성되는게 일반적이다. K세그먼트는 터널내측으로부터 삽입되는 것(반경방향 삽입형)과 터널축방향으로부터 삽입하는 것(축방향 삽입형) 및 이 두가지를 겸용하여 사용하는 것도 있다. 터널내측에서 삽입하는 K세그먼트(반경방향 삽입형)의 길이는 A, B세그먼트와 비교해서 작게하는 것이 좋다.

표 4.1 콘크리트 평판형 세그먼트의 형상, 치수

(단위 : mm)

외경	폭	두께	세그먼트 분할
1800~2000	900	100	5분 할
	1000	125	
2150~3350	900	100	5분 할
	1000	125	
		150	
3550~4800	900	125	6분 할
	1000	150	
		175	
		200	
5100~6000	900	175	6분 할
	1000	200	
		225	
		250	
		275	
6300~6900	900	250	7분 할
	1000	275	
		300	
7250~8300	900	275	8분 할
	1000	300	
		325	
		350	

4.2 국외 설계기준 검토

콘크리트 라이닝과 관련된 국외설계기준 및 사례는 아래 표 4.2와 같다. 일본의 경우 국내 암반조건보다 불리한 경우가 많이 보고되고 있으나 라이닝 두께는 20~40cm를 일반적으로 적용하고 있으며 철도에서는 대체적으로 30cm를 주로 적용하고 있다. 또한 유럽에서는 일부 도심지에 건설되는 지하철을 제외하고 30cm를 주로 적용하고 있는 것으로 조사되었다.

표 4.2 해외 라이닝 설계기준 및 사례

구분	적용기준	라이닝 두께(mm)	비 고
일본	산악터널 표준시방서	200~400	· 내공단면에 따라 차등 적용 · 연약파쇄대, 갱구부제외
	NATM 설계 시공지침	250~300	· 단선 250mm 적용 · 복선, 신간선 300mm 적용 · 지반조건 불량시 300mm 이상 적용
	국철 설계표준시안	300	· 단선, 복선 적용 · 지반등급에 무관
유럽	Norwegian Design Guide (Road tunnel)	300	· 허용한계 300±50mm
	오스트리아 연방철도 독일연방철도	300	· 단선, 복선 적용 · 구조해석결과에 따른 무근/철근콘크리트 라이닝 적용
	독일 뮌헨지하철	350	· 단선, 복선 적용
	오스트리아 비엔나 지하철	400	· 철근콘크리트 라이닝 적용

제 5 장 대단면 실드TBM 세그먼트 라이닝 단면 해석개요

수치적 접근방법인 유한요소해석을 통해서 터널에 대한 이론적 해석, 즉 하중분포에 따른 라이닝에 작용하는 응력변화와 변위 등을 해석하였다.

5.1 구조해석모델의 선정

본 연구에 사용된 구조해석모델은 라이닝 세그먼트의 이음부와 이음부 강성크기를 고려할 수 있고 라이닝 세그먼트와 지반과의 상호작용에 의한 지반 반력을 압축스프링을 이용한 연결요소로서 자동적으로 계산할 수 있는 장점을 가진 전주면빔이음스프링 모델(1R-S0)을 채택하였다. 그림 5.1 로 나타낼 수 있는 전주면빔이음스프링 모델(1R-S0)은 사용자의 편의와 해석결과의 신뢰성을 동시에 만족하며, 설계 실무에 적절한 해석모델로 제안된 구조해석모델이다.

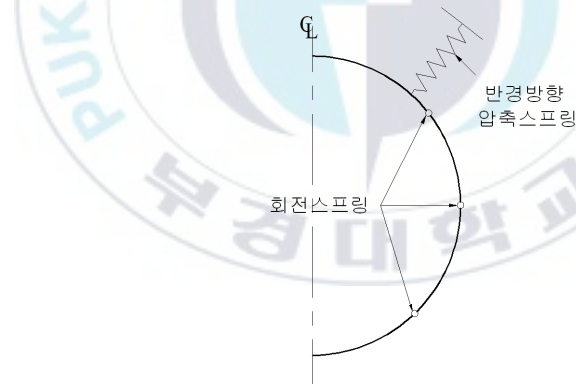


그림 5.1 전주면빔이음스프링 모델(1R-S0)의 구조도

5.2 수치해석 검토 조건

본 연구에서 대단면 지하터널 굴착시 적용되는 쉘드터널의 직경, 토피고, 지반반력의 매개변수의 영향에 따른 세그먼트의 두께를 계산하였다. 수치해석에 적용된 세부조건은 표 5.1에 제시하였다. 일본에서 쉘드TBM의 시공사례 중 최대직경 14.8 m를 기준으로 본 논문에서는 20.0 m의 쉘드TBM의 거동을 연구하였다. 또한 도심지내에서부터 산악지역의 지하공간시공을 감안하여, 표토두께를 직경을 기준으로 최대 직경의 4배를 고려할 수 있도록 하였다. 그리고 굴착시 인접지반과의 상호관계를 고려하기 위해 암반지반에서부터 연약지반까지의 지반반력계수를 모델링시 사용하였다.

표 5.1 세그먼트 라이닝 단면 검토 조건

설계변수	검토조건	대 표 단 면
하중모델	전주면빔이음스프링모델	
직경(D)	5, 10, 15, 20 (m)	
토피고(H)	1D, 2D, 3D, 4D (m)	
지반반력(kN/m³)	5,000 / 10,000 / 20,000	
이음부강성비(λ)	0.1, 1.0	
라이닝두께(t)	250 ~ 550 (mm)	
콘크리트 압축강도(f_{ck})	42 (MPa)	

5.3 유한 요소 해석

5.3.1 적용 프로그램

본 연구를 위해 사용된 유한요소 프로그램은 한국의 (주)마이다스아이티사에서 개발된 MIDAS/CIVIL Ver 5.4로써 정적해석, 동적해석, 지반비선형해석, 좌굴해석 등의 범용 구조해석 프로그램과 교량설계에 필요한 이동하중해석, PSC교, 사장교, 현수교 해석 및 수화열 해석기능을 하나의 프로그램으로 집적한 토목 전용 해석 및 설계가 가능하여 토목전용 구조해석 및 최적설계 시스템 개발에 널리 사용되고 있다.



5.3.2 해석 순서도

본 연구의 해석 순서를 그림 5.2에 나타내었다. 터널의 기능과 건축한계를 고려하여 내공치수를 결정하고 쉘드TBM의 재질 및 형식 단면 그리고 세그먼트 간의 체결방식을 결정한 후 라이닝의 두께를 결정하고 하중을 적용하여 세그먼트 라이닝 두께의 적합성을 검증하는 방식이다.

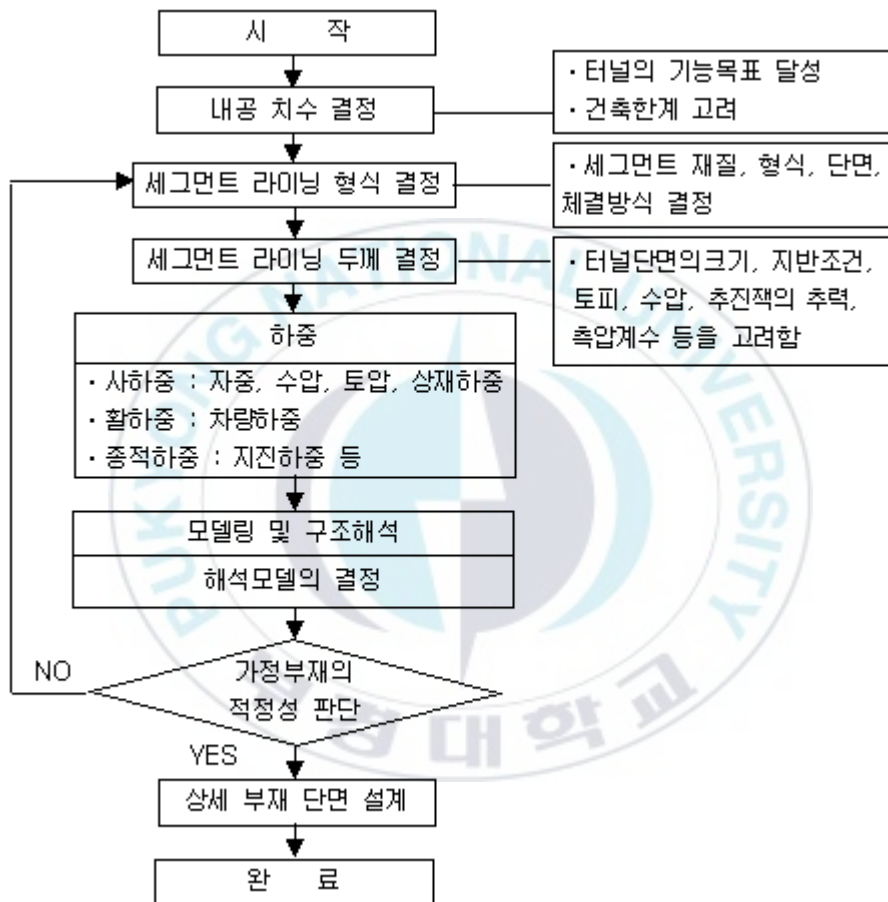


그림 5.2 해석 순서도

제 6 장 세그먼트 라이닝 단면해석 결과

세그먼트 라이닝 적합두께 계산을 위해 5장에 언급한 검토조건으로부터 각 조건별 부재력을 도출한다. 도출된 부재력으로부터 RC 쉘드 세그먼트 라이닝에 대한 단면검토를 수행하였다.

6.1 세그먼트 라이닝 부재력 계산결과

직경 10m ~ 20m의 대단면 쉘드 라이닝 세그먼트가 직경의 3배까지의 심도에서 지반반력에 따라 발생하는 부재력을 표 6.1~표 6.3에 나타내었다. 각 조건별 발생 부재력 중 대심도·대단면 굴착시 검토조건을 발췌해서 그림 6.1 ~ 그림 6.4의 구조해석모델링 개념도와 모멘트, 전단력, 축력도로 각각을 나타내었다.

표 6.1 부재력 계산결과 (지반반력 $5,000 \text{ kN/m}^3$)

직경(m)	심도(H)	모멘트(kN · m)	축력(kN)	전단력(kN)	비고
10	1D	59.01	970.85	45.28	Case 1
	2D	138.81	1502.51	66.46	Case 2
	3D	265.12	2183.45	96.64	Case 3
15	1D	206.36	2169.94	99.08	Case 4
	2D	304.63	3532.38	155.83	Case 5
	3D	543.96	5203.62	229.55	Case 6
20	1D	330.59	3968.97	171.63	Case 7
	2D	486.43	6451.36	283.41	Case 8
	3D	834.11	9555.83	419.51	Case 9

표 6.2 부재력 계산결과 (지반반력 10,000 kN/m³)

직경(m)	심도(H)	모멘트(kN · m)	축력(kN)	전단력(kN)	비고
10	1D	46.35	979.53	44.55	Case 10
	2D	120.64	1513.87	67.02	Case 11
	3D	218.90	2211.78	97.90	Case 12
15	1D	160.13	2194.97	97.28	Case 13
	2D	250.68	3561.71	156.72	Case 14
	3D	427.52	5261.14	231.41	Case 15
20	1D	247.25	4009.75	173.48	Case 16
	2D	394.27	6495.33	284.97	Case 17
	3D	654.58	9635.72	422.44	Case 18

표 6.3 부재력 계산결과 (지반반력 20,000 kN/m³)

직경(m)	심도(H)	모멘트(kN · m)	축력(kN)	전단력(kN)	비고
10	1D	35.84	988.37	42.71	Case 19
	2D	103.09	1525.67	67.50	Case 20
	3D	177.58	2238.24	99.01	Case 21
15	1D	123.90	2216.00	97.57	Case 22
	2D	207.85	3586.54	157.35	Case 23
	3D	342.10	5306.91	232.66	Case 24
20	1D	191.58	4039.70	177.45	Case 25
	2D	331.69	6526.57	286.13	Case 26
	3D	535.81	9692.41	424.68	Case 27

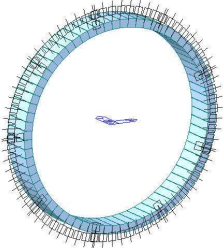
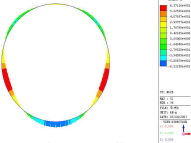
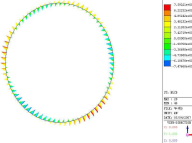
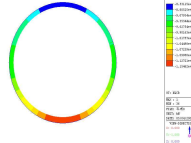
Case 1	작 용 하 중		
	모 멘 트(kN · m)	전 단 력(kN)	축 력(kN)
			
	59.01	45.28	970.85

그림 6.1 직경 10m, 심도 1D에서의 부재력 검토결과(지반반력 5,000kN/m³)

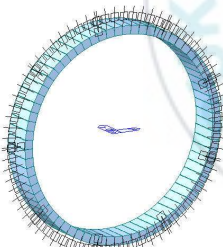
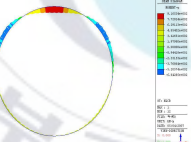
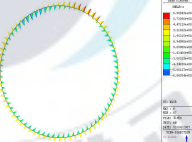
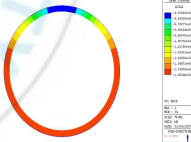
Case 9	작 용 하 중		
	모 멘 트(kN · m)	전 단 력(kN)	축 력(kN)
			
	834.11	419.51	9555.83

그림 6.2 직경 20m, 심도 3D에서의 부재력 검토결과(지반반력 5,000kN/m³)

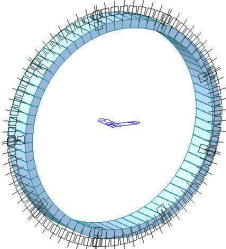
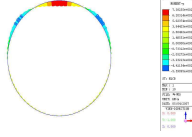
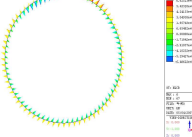
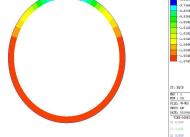
Case 18	작 용 하 중		
	모 멘트(kN · m)	전 단 력(kN)	축 력(kN)
			
	654.58	422.44	9635.72

그림 6.3 직경 20m, 심도 3D에서의 부재력 검토결과(지반반력 10,000kN/m³)

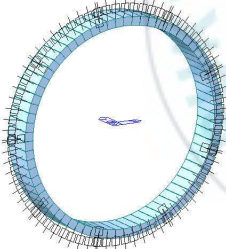
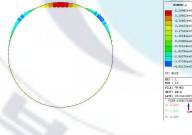
Case 27	작 용 하 중		
	모 멘트(kN · m)	전 단 력(kN)	축 력(kN)
			
	535.81	424.68	9692.41

그림 6.4 직경 20m, 심도 3D에서의 부재력 검토결과(지반반력 20,000kN/m³)

6.2 세그먼트 라이닝 설계단면 안전율 계산결과

6.1절에서 검토된 각 조건별 부재력을 바탕으로 세그먼트 라이닝의 단면검토를 실시하여 안전율을 계산하였다. 그 결과를 그림 6.5 ~ 그림 6.13의 안전율 변화 곡선으로 나타내었다.

직경 10m의 비교적 소단면에서의 세그먼트 라이닝 두께는 기존에 사용되던 250mm~300mm에 충분한 안전율을 확보하는 것으로 나타났다. 그러나 세그먼트 라이닝의 직경이 증가되고, 쉴드 라이닝 설치심도가 깊어지는 경우 기존의 설계시 적용하던 두께로 공학적으로 필요한 안전율을 확보하지 못하는 것으로 나타났다.



지반반력 5,000, 10,000, 20,000 kN/m³의 지반조건에 직경 10 m의 쉘드 TBM 적용시 세그먼트 두께에 따른 안전율 결과를 그림 6.5, 그림 6.6, 그림 6.7에 각각 나타내었다. 세그먼트 라이닝 두께 200~300 mm의 범위에서 적정 설계안전율을 확보하는 것으로 나타났다.

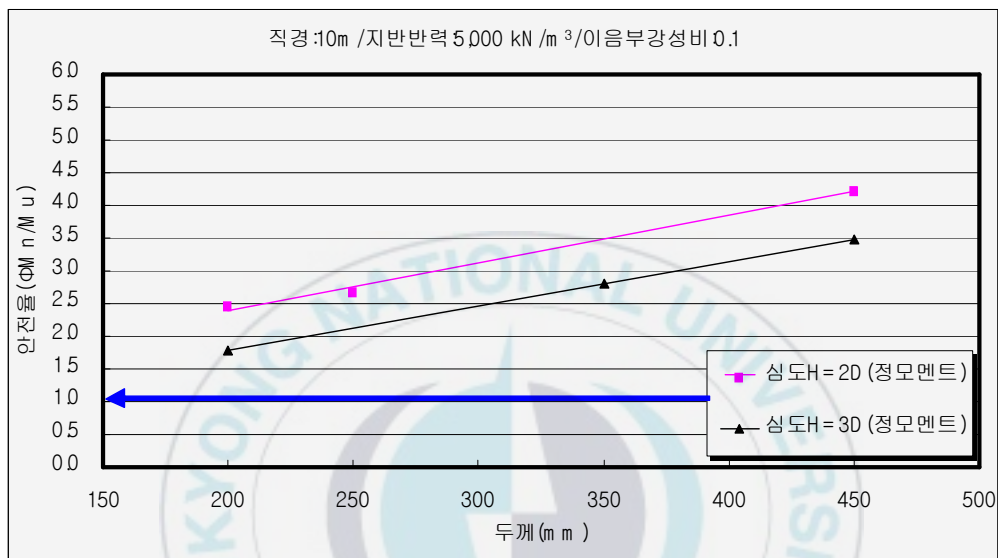


그림 6.5 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 10m, 지반반력 5,000 kN/m³)

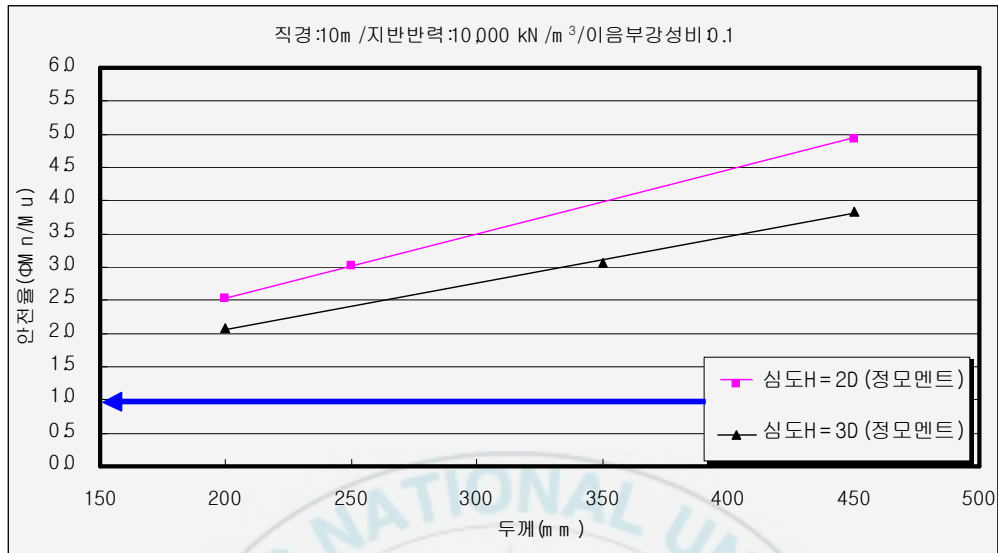


그림 6.6 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 10m,지반반력 10,000 kN/m³)

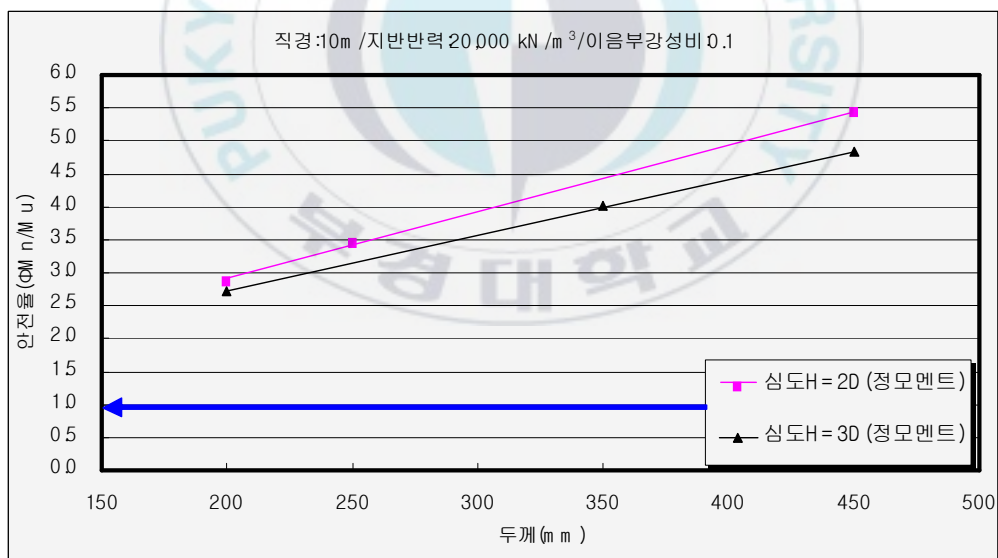


그림 6.7 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 10m,지반반력 20,000 kN/m³)

그림 6.8 ~ 그림 6.10은 굴착직경 15 m에 대해서 쉘드TBM의 세그먼트 라이닝의 두께에 대한 안전율을 지반반력 5,000, 10,000, 20,000 kN/m³의 지반 조건에 각각 적용하여 나타내었다. 굴착되는 심도가 깊어짐에 따라 기존의 300 mm의 라이닝 두께가 안전율을 확보하지 못함을 보이고 있다.

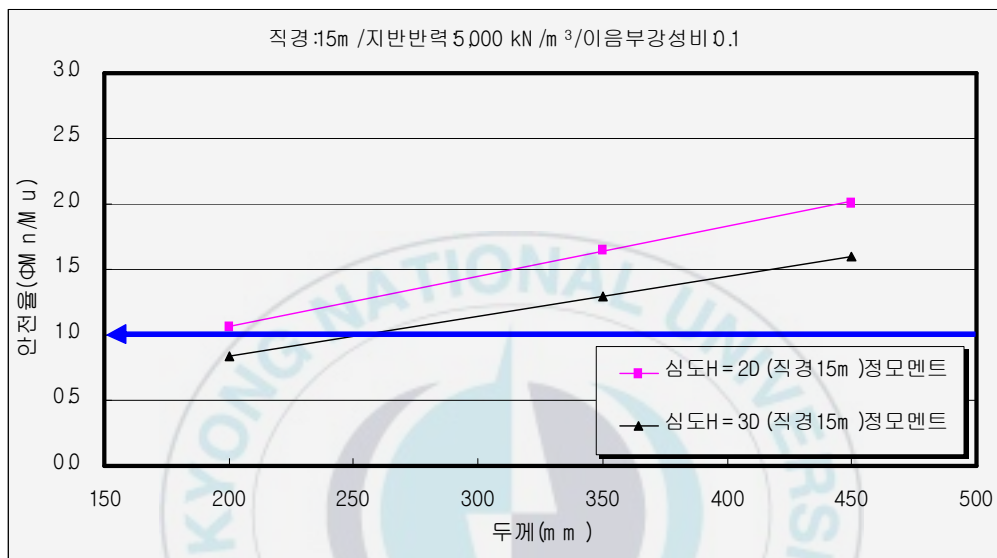


그림 6.8 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 15m, 지반반력 5,000 kN/m³)

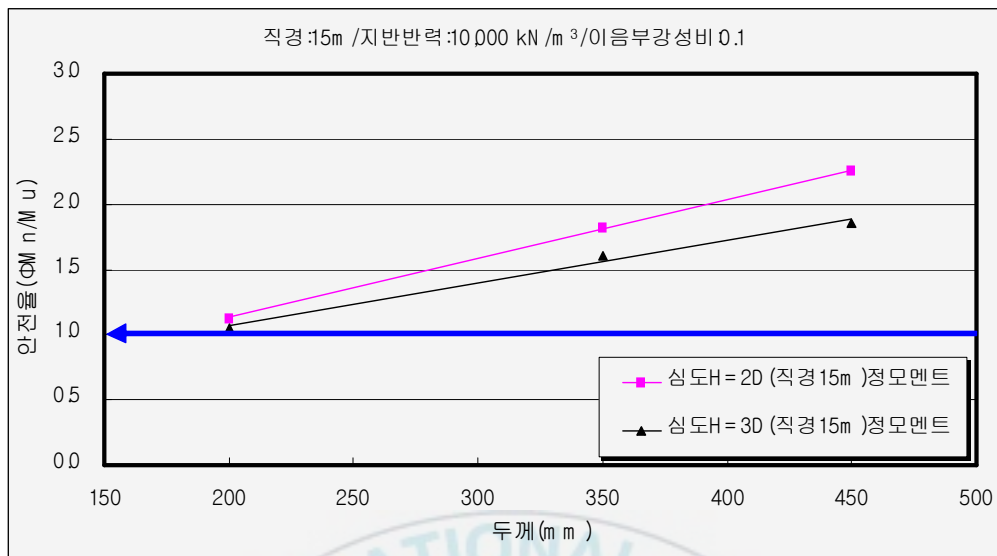


그림 6.9 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 15m,지반반력 10,000 kN/m³)

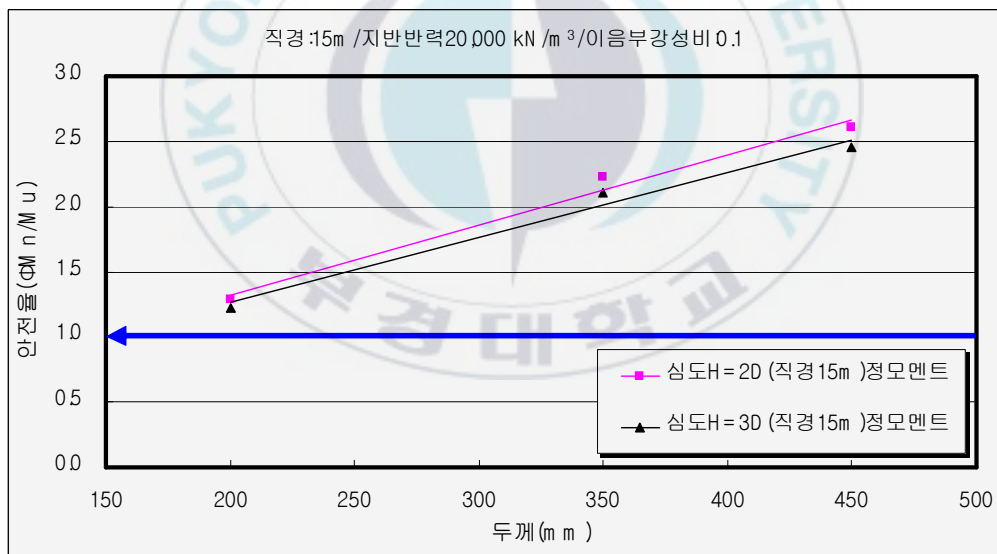


그림 6.10 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 15m,지반반력 20,000 kN/m³)

국내 뿐 아니라 외국에서도 사례가 드문 대단면·대심도 쉘드 TBM의 세그먼트 라이닝 두께에 대한 안전율을 지반반력 5,000, 10,000, 20,000 kN/m³에 대해 각각 그림 6.11 ~ 그림 6.13에 나타내었다. 분석결과 지반반력과 심도에 상당히 큰 폭의 안전율 변화를 보이고 있었으며, 세그먼트 라이닝의 단면두께가 500 mm 이상에서 설계안전율을 확보하는 것으로 나타났다.

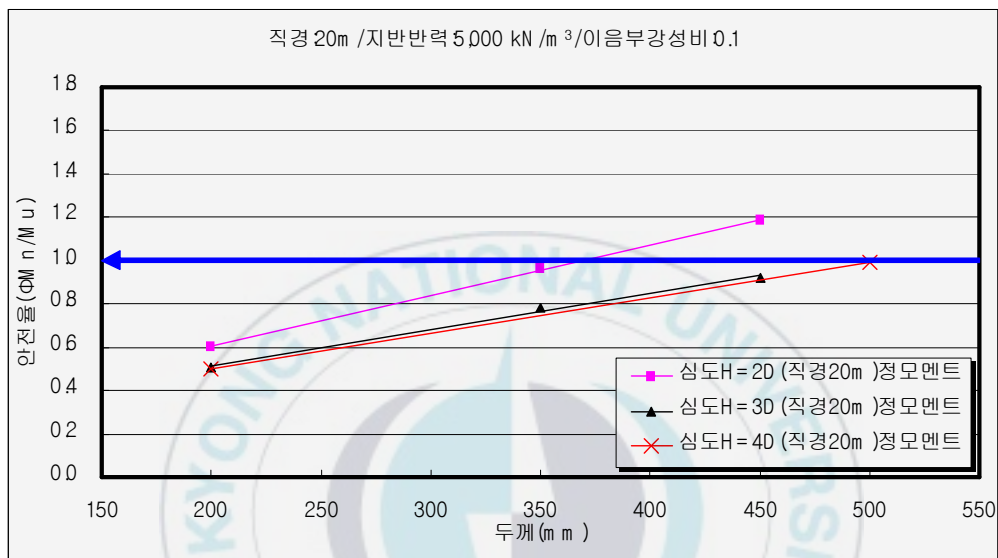


그림 6.11 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 20m, 지반반력 5,000 kN/m³)

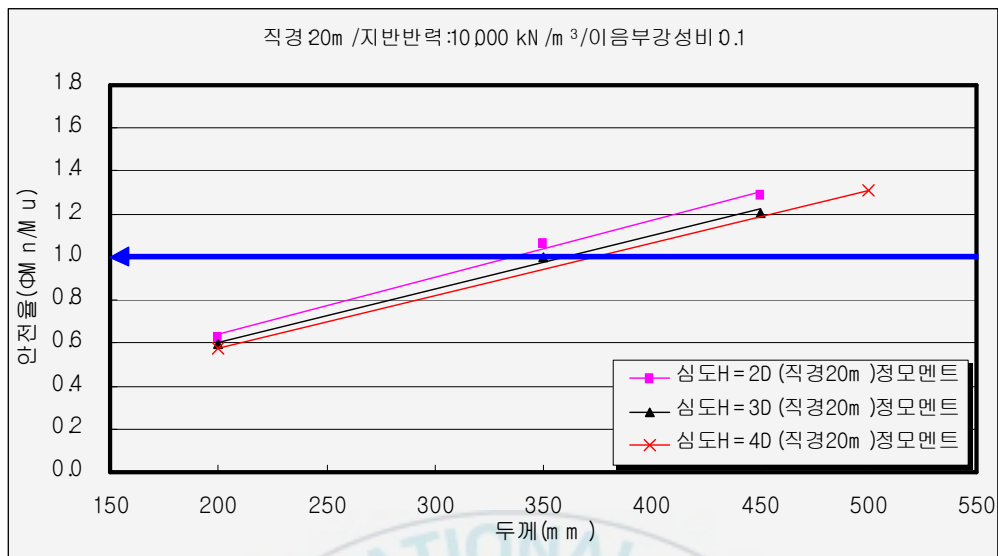


그림 6.12 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 20m,지반반력 10,000 kN/m³)

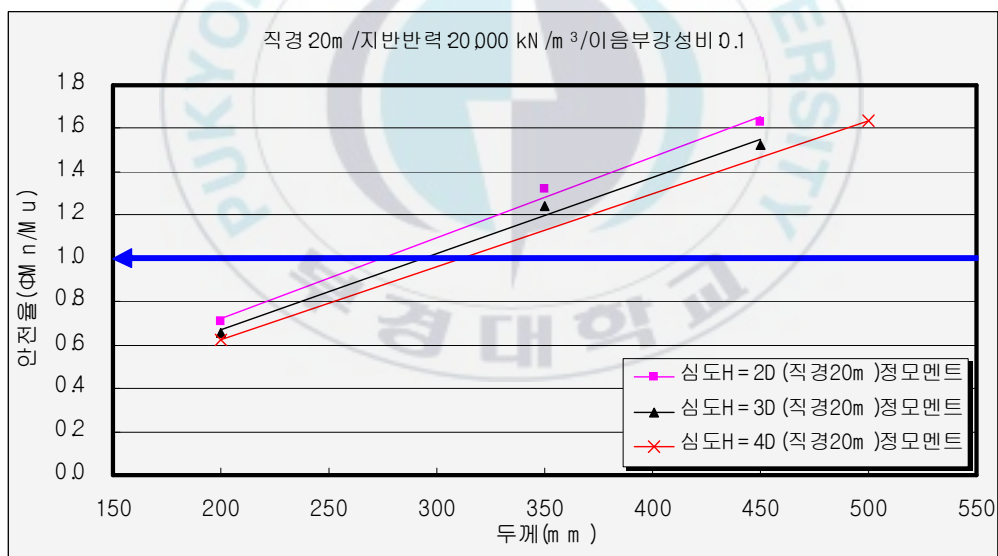


그림 6.13 세그먼트 두께별 안전율 검토(직경 20m,지반반력 20,000 kN/m³)

6.3 대단면 쉴드터널 세그먼트 라이닝 최적두께 제안

6.1절과 6.2절의 분석결과를 바탕으로 지반반력에 따른 대단면과 대심도 쉴드터널 세그먼트 라이닝의 최적두께를 도표화하여 표 6.4에 나타내었다.

표 6.4 대단면 쉴드터널 세그먼트 라이닝의 최적두께 제안도표

내공 (D, m)	지반반력 ($k, kN/m^3$)	내공직경(D)를 기준으로 한 심도		
		$2D$	$3D$	$4D$
5m	5,000	275 ~ 300mm	300 ~ 325mm	350 ~ 400mm
	10,000	250 ~ 300mm	275 ~ 300mm	300 ~ 350mm
	20,000	200 ~ 250mm	250 ~ 300mm	300 ~ 325mm
10m	5,000	300 ~ 350mm	350 ~ 400mm	400 ~ 450mm
	10,000	250 ~ 350mm	300 ~ 350mm	350 ~ 400mm
	20,000	220 ~ 250mm	250 ~ 300mm	300 ~ 370mm
15m	5,000	350 ~ 400mm	400 ~ 500mm	500mm 이상
	10,000	300 ~ 400mm	350 ~ 450mm	450mm 이상
	20,000	300 ~ 350mm	330 ~ 450mm	400mm 이상
20m	5,000	500mm 이상	600mm 이상	700mm 이상
	10,000	470mm 이상	550mm 이상	700mm 이상
	20,000	450mm 이상	500mm 이상	650mm 이상

제 7 장 결 론

본 연구에서는 쉘드 세그먼트 라이닝의 이음부와 굴착지반과의 상호영향까지 모두 고려할 수 있도록 전주면빔이음스프링모델(1R-S0)의 구조해석모델을 도입하여 지반반력, 직경, 심도의 변화에 따른 쉘드터널 세그먼트 라이닝의 부재력을 평가하였다. 계산된 부재력을 통해서 유한요소해석을 실시하여 대단면·대심도 터널굴착에 따른 예비설계시 세그먼트 라이닝 단면의 최적두께도표를 제안하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기존의 소구경 터널굴착시 쉘드TBM 공법을 대단면·대심도 터널굴착시 세그먼트 라이닝에 작용하는 부재력을 검토하였다. 직경 15m이상의 대단면과 내공직경을 기준으로 심도 3D이상의 대심도 터널굴착에 있어 세그먼트 라이닝의 부재력은 증가하는 경향을 보였다.

2. 쉘드TBM 굴착시 굴착지반과의 상호관계를 나타내는 지반반력계수에 대해 세그먼트 라이닝의 거동을 분석한 결과 지반반력계수가 감소할 수록 라이닝 부재력은 증가하는 경향을 보였다. 이는 연약지반에 쉘드TBM 굴착시 지보재로서 세그먼트 라이닝의 두께 선정에 있어 면밀한 조사가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

3. 직경 10m이하의 소구경 쉘드터널 세그먼트 라이닝으로 국한되어왔던 예비설계조건을 10m이상 최대 20m직경까지 고려할 수 있는 쉘드TBM 세그먼트 라이닝 두께산정도표를 제시하였다. 이것을 대단면 적용시 예비설계자료로서 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

1. 정경환, 유창도, 조성호, 황부성, 한경태, 김태효, 정두희(2004) 일본과 국내의 실드세그먼트 경향비교, 한국터널공학회, 정기 학술대회 논문집, pp.175~196.
2. Bull, A.(1944) Stress in The Linings of Shield-Driven Tunnels, ASCE TRANSACTION, No.2275, pp.443~530.
3. Duddeck, H.(1980) Empfehlungen zur berechnung von tenneln im lockergestein, DIE BAUTECHNIK, pp.349~356.
4. Yukinori Koyama(2003) Present status and technology of shield tunneling method in Japan, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 18, pp.145~159.
5. International Tunnelling Association Working Group No. 2.(2000) Guidelines for the Design of Shield Tunnel Lining, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 15, No. 3, pp.303~331.
6. Japan Society of Civil Engineers.(1977) The design and construction of underground structures.
7. K.M. Lee, X.Y. Hou, X.W. Ge and Y. Tang.(2001a) An analytical solution for a jointed shield-driven tunnel lining, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., Vol. 25, No. 4, pp.365~390.
8. K.M. Lee and X.W. Ge.(2001b) The equivalence of a jointed shield-driven tunnel lining to a continuous ring structure, Can. Geotech. J., Vol. 38, No. 3, pp.461~483.
9. Muir Wood, A.M.(1975) The Circular Tunnel in Elastic Ground, Geotechnique, Vol. 25, No. 1, pp. 115-127.

감사의 글

지반공학연구실에 들어온 지도 벌써 3년이라는 시간이 흘렀습니다. 인생에 있어 또 하나의 시작을 하려는 지금 지난 연구실 생활을 돌이켜 보며 곁에서 지켜보고, 도움을 주신 분들께 감사의 마음을 글로서 전하려 합니다. 제 인생에 있어 지난 3년여의 대학원생활이 아쉬운점도 있지만 정말 많은것을 배우고 생각하게 하고 예전보다 많은것들을 일깨워준 소중한 시간들이었습니다.

지난 3년여 동안 지도교수로서 다양한 경험과 기회를 제공해 주시고 학문의 길을 가르쳐 주신 정두희 교수님께 먼저 깊은 감사의 인사를 올립니다. 학업연구에 바쁘신 와중에서도 세밀하게 논문을 심사해 주시고, 조언과 충고를 아끼지 않으신 정진호 교수님, 이환우 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

항상 웃음으로 격려해주시며 논문이 완성되기까지 항상 옆에서 많은 도움을 주시고 어려해동안 동고동락한 지반공학연구실의 애숙누님, 도영, 중식, 찬우외 선후배님들에게도 감사드립니다.

그리고 같이 지반공학연구실에서 학업을 같이한 SK 박재담소장님, 김동희형, 재용, 규상, 승현에게도 감사드립니다.

지난 3년동안 현장생활을 하면서 학업에 매진을 할수있게 도와주신 (주)대우건설 부산 트럼프월드 센텀2차 현장의 현장소장님이하 모든 직원분들께 감사드립니다.

항상 못난 동생을 옆에서 챙겨주고 도와준 우리 큰형 수영, 작은형 재현 그리고 형수님, 조카 민규에게 감사드리고, 당신보다도 더 아끼시는 못난 아들 때문에 평생을 바치시느라 이제는 흰머리 히끗하신 우리 아버지, 어머니께 깊은 감사를 드리며 이 논문을 바칩니다.

심 형 준 올림