

한계상태 설계법을 이용한 고강도 콘크리트 세그먼트 라이닝 설계

박인준¹, 고성일^{2*}, 황창희³, 오명호⁴, 김영준⁴

A high strength concrete segment lining design using the limit state design code

Inn-Joon Park, Sung-Yil Koh, Chang-Hee Hwang, Myung-Ho Oh, Young-Jun Kim

ABSTRACT The concrete structural design in domestic has based on the allowable stress design (ASD) method and ultimate strength design (USD) method. Recently limit state design (LSD) method has issued and attempted to adopt in geotechnical design. Because ASD method and USD method have restriction in economic design. In this study, the generated member forces were calculated about high strength concrete segment lining based on japanese LSD code. And it compared with domestic USD code for identifying the economic design possibility of LSD and domestic applicability. In analysis results, the aspect of moment had generated similarly each other but the member forces of japanese LSD code were decreased (26.0% of moment and 26.7% of shear force) comparing with USD method. For that reason, possibility of economic segment design with stable condition were identified.

Keywords: Limit state design, ultimate strength design, allowable stress design, high strength concrete segment lining

요약 국내의 콘크리트 구조설계는 허용응력 설계법(ASD) 및 극한강도 설계법(USD)을 사용하고 있다. 허용응력설계 및 극한강도설계법은 경제적인 설계에 제한이 따르기 때문에 최근에 지하구조물의 설계에 극한한계상태 설계법의 채택을 다각적으로 검토하고 있는 상황이다. 이를 뒷받침하고자 본 연구에서는 일본 한계상태 설계법(LSD)에 의거한 국내 고강도 콘크리트 라이닝에 대한 발생 단면력을 산정하였으며, 이를 국내의 극한강도 설계법과 비교함으로써 경제적 설계 결과 도출 가능성 및 국내 적용성을 분석하고자 하였다. 해석결과, 철근량 산정과 밀접한 관계가 있는 최대 모멘트 발생양상은 두 설계법 모두 유사하나, 발생 부재력은 일본 한계상태 설계법이 극한강도 설계법에 비하여 모멘트는 26.0%, 전단력은 26.7%감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통하여 안정성이 확보된 조건에서 경제적인 세그먼트 설계가 가능함을 확인하였다.

주요어: 한계상태 설계법(LSD), 극한강도 설계법(USD), 허용응력 설계법(ASD), 고강도 세그먼트라이닝

접수일(2012.03.28), 수정일(2012.04.11), 게재확정일(2012.04.20)

¹정회원, 한서대학교 토목공학과 교수

²정회원, (주)단우기술단 상무이사

³정회원, (주)단우기술단 대리

⁴정회원, 한서대학교 토목공학과 석사과정

본 논문은 '2012년도 한국터널지하공간학회 학술발표회'의 우수논문으로 선정되어 본 논문집에 게재되었음을 밝힙니다.

*교신저자: 고성일 (E-mail: sungyil@empal.com)

1. 서론

국내의 콘크리트 구조물 설계는 허용응력 설계법(Allowable Stress Design, Working Stress Design Method : WSD)과 극한강도 설계법(Ultimate Strength Design : USD)을 기반으로 하고 있다. 이중 극한강도 설계법은 부재강도(설계강도)가 계수하중을 지지할 수 있는 강도 이상이 되도록 설계하는 개념으로 국내에서는 1988년 건설부령으로 제정된 극한강도 구조기준과 1994년 개정된 극한강도 설계법에 의거하여 국내 모든 콘크리트 구조물에 적용하도록 규정되어 있다.

그러나 최근의 경제적인 구조물 설계·시공 방향에 부응하기 위하여 유럽 및 미국 등지에서 사용되고 있는 한계상태설계법(Limit State Design Method : LSD) 또는 하중저항계수설계법(Load Resistance Factor Design Method : LRFD)에 대한 관심이 높아지고 있으며, 2011년 12월에는 한계상태 설계법 도로교 설계기준이 제정되기에 이르렀다.

국제표준화기구는 공용성 및 신뢰성을 설계기준으로 삼은 한계상태설계법을 건설설계 분야의 국제표준(ISO 2394)으로 채택하고 있으며, 이를 준수하는 것이 WTO체제의 의무사항으로 되어있다. 지반분야 설계에 있어 한계상태설계법의 적용은 유럽지역에서 시작되어, Eurocode7(1994)에서는 설계기준으로 채택되기 시작하였다. 일본의 경우 Geo-code 21(2004)에서부터 성능기반의 한계상태 설계법을 도입하고 있는 상황이다. 반면, 국내의 경우는 한계상태설계법에 관한 국내기술은 아직 학술적인 차원에 머무르고 있었으나, 2012년 도로교 설계기준에서 한계상태 설계법을 제정하였으며, 3년의 유예기간 이후 적용토록 하고 있는 등 한계상태 설계법 적용을 위한 방안 수립이 빠르게 진행되고 있다. 그러나 터널 분야에서는 아직까지 한계상태 설계법의 적용이 연구단계에 머무르고 있어 이에 대한 실무적용을 위한 연구가 전무한 상태이다.

본 논문에서는 이제까지 국내 터널 구조물 설계시 적용되지 않은 한계상태 설계법에 대하여 일본의 세그먼트 라이닝 한계상태 설계 시방서 상의 설계법 및 각종 부분안전계수(partial safety factor)를 고찰하였다. 아울러 쉴드 TBM 세그먼트 라이닝의 고강도 콘크리트(40 MPa) 및 철근(400 MPa)적용 조건에 대하여 현 콘크리트 구조설계 기준에 의거한 국내 콘크리트 구조물 설계법인 극한강도 설계법과 일본 한계상태 설계법의 해석결과를 상호 비교·분석 함으로서, 극한강도 설계에 의한 구조물 대비 한계상태 설계법 적용시의 안정성 및 경제성 확보 차원의 국내 적용성을 분석하고자 한다.

2. 극한강도 설계법 및 한계상태 설계법

2.1 극한강도 설계법(Ultimate Strength Design : USD)

확률개념을 도입하여 재료가 파괴될 때까지의 최대능력을 설계에 반영하는 설계법으로 허용응력 설계법을 발전시킨 설계법인 극한강도 설계법의 주요 사항은 다음과 같다(표 1참조).

2.2 한계상태 설계법(Limit State Design : LSD)

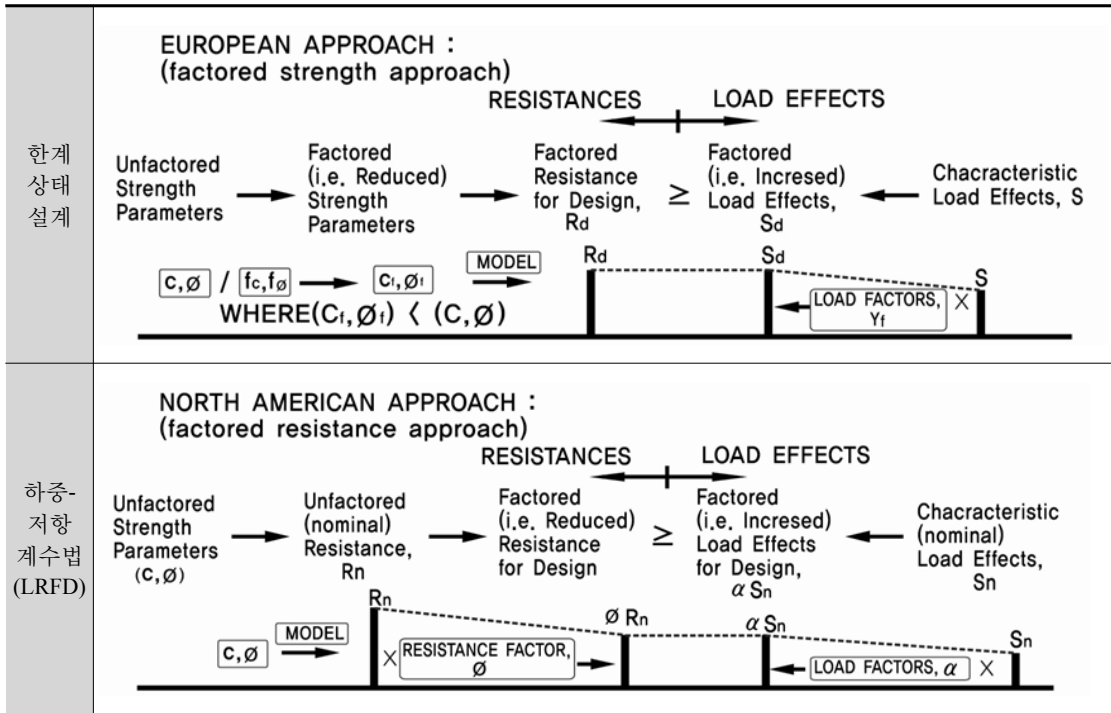
한계상태설계법은 사용기간동안 구조물이 사용할 수 없는 상태, 즉 한계상태에 도달하지 않을 확률을 확보하도록 하는 일종의 확률설계법이다. 즉, 하중조건과 재료의 성질에 따라 통계적인 방법으로 하중값 및 강도특성을 구하고, 이것을 각 하중과 재료의 특성을 고려한 부분안전계수와 관련지어 설계하중 및 설계강도를 구한 후 구조해석을 수행하여 구조물에 대한 극한한계상태 및 사용한계상태를 검토하는 설계법이다.

여기서 유럽 및 일본등에서 사용하는 한계상태설계법과 북미지역에서 사용하는 하중-저항 계수법(LRFD)의 개념상의 차이점을 이해하는 것이 중요한데, 한계상태 설계법의 경우 부분안전계수(partial safety factor)를 저항요소에 해당하는 항목과 하중요소에 해당하는 항목 모두에 적용하는 반면, 하중-저항 계수법의 경우 전체 안전계수(total safety factor)를 사용한다는 점에서 차이를 보인다(표 2참조).

표 1. 극한강도 설계법상의 주요 용어 및 설계계법

주요 용어	설계하중	- 부재설계시 고정하중, 적재하중 등 사용하중에 하중계수를 곱한 하중
	하중계수	- 하중의 공칭값과 실제 하중 사이의 불가피한 차이 및 하중을 작용외력으로 변화시키는 해석상의 불확실성, 환경작용 등의 변동을 고려하기 위한 안정계수
	공칭강도	- 주어진 단면이 계산상 견딜 수 있는 강도로 강도저감계수를 적용하기 전의 강도
	강도저감계수	- 재료의 공칭값과 실제 강도 사이의 차이로서 제작 또는 시공, 내력의 추정 및 해석모델 등에 따른 불확실성을 고려하기 위한 안전계수(저항계수)
	설계강도	- 공칭강도에 강도저감계수(ϕ)를 곱한 강도
	소요강도	- 구조물에 가해지는 사용하중에 각각의 하중계수를 곱한 설계하중(극한하중)을 사용해서 계산한 강도(극한강도)
설계 개념	- 부재의 설계는 계수하중을 사용하여 계산된 소요강도(P_u, M_u, V_u)가 부재단면에서의 설계 강도 즉, 기본가정과 강도계산식 그리고 재료의 강도와 치수의 공칭값을 이용하여 계산된 부재 단면의 강도(공칭강도)에 강도 저감계수(ϕ)를 곱한 설계강도보다 안전하도록 설계 - 설계강도 \geq 소요강도 ($\phi P_n \geq P_u, \phi M_n \geq M_u, \phi V_n \geq V_u$) 여기서 P : 축력, M : 모멘트, V : 전단력	

표 2. 한계상태 설계법과 하중-저항 설계법(LRFD)간의 차이점



2.3 설계에서 설정하는 한계상태

한계상태 설계법에 의한 세그먼트 설계는 쉘드 TBM터널이 운용기간 중에 요구되는 성능을 유지해야 하기 때문에 성능 유지가 될 수 없는 한계상태를 선정하는 것에서부터 출발해야 한다. 즉, 쉘드 TBM터널조건에 부합되는 한계상태는 어떠한 상태이냐에 따른 조건선정에서부터 설계가 시작되는 것이다. 여기서 한계상태란(limit state) 한계에 이른 상황을 의미하는 것으로, 예를 들면 신축건물이 신축초기에는 훌륭한 기능을 발휘한다 하더라도 시간이 지날수록 벽에 금이 가고 물이 새고, 기울어진다 하더라도 붕괴되지 않는다면 비바람은 피할 수 있다. 이러한 측면을 고려한 상태를 사용한계(Serviceability Limit State, SLS)라 부르며 최종적으로 붕괴되지 않아야 하는 한계를 극한한계상태(Ultimate Limit State, ULS)라 한다.

이러한 한계상태에 대한 기본 개념을 쉘드 TBM에 고려하는 경우, 사용한계 상태 및 극한한계 상태는 다음과 같이 선정될 수 있다.

표 3. 극한한계상태 예

Ultimate limit state for rupture of a section	State when destruction occurs in a segment itself or a joint section
Ultimate limit state for rupture of a structure	State when a tunnel collapse due to rupture of a section
Ultimate limit state for deformation	State when the load bearing capacity is lost following deformation of structure or its member
Ultimate limit state for stability	State when stability is lost due to tunnel up-lifting etc

2.3.1 쉘드 TBM터널의 극한한계상태

터널이 붕괴되거나 라이닝에 큰 변형이 발생하여 터널로서의 기능이나 안전성을 잃은 상태를 극한한계상태로 설정하여, 터널 내하능에 관한 검토를 목적으로 하는 한계상태이다. 일본의 『터널표준시방서-2006 : 쉘드터널편』에서는, 세그먼트 본체나 이음부의 단면 파괴 한계상태 및 부력 등에 대한 한계상태를 라이닝 설계시 고려해야 하는 극한한계상태로 정하고 있다.

2.3.2 ② 쉘드TBM터널의 사용한계상태

사용목적에 따라 요구되는 기능을 유지할 수 있도록 터널의 사용성이나 내구성에 관해 설정하는 한계상태이다. 세그먼트라이닝의 주단면에 대해서는 응력도나 균열, 변형에 대한 한계상태를, 이음부에 대해서는 응력도나 변형에 대한 한계상태를 설정하여야 한다. 세그먼트 내구성에 관한 한계상태는 시간 경과에 따른 재료의 열화로 인해 성능이 저하되는 것으로, 설계사용기간을 경과한 시점까지 소요 내구성을 확보할 수 있게 하는 것이 내구성에 관한 사용한계상태라고 할 수 있다.

한계상태 설계법에 의한 라이닝 설계의 흐름은 그림 1에 나타난 것처럼, 쉘드 TBM터널의

표 4. 사용 한계상태 예

Serviceability limit state for cracking	State when durability, watertightness of a segment are spoiled due to corrosion of rebar or water leakage from cracks
Serviceability limit state for deformation	State when required inner space like the structural gauge for tunnel usage is spoiled due to excessive deformation
Serviceability limit state for joint opening	State when water tightness, durability of a joint are spoiled due to enlargement of gap at segment joint provided in the design to keep the tunnel watertight
Serviceability limit state for local damage	State when it becomes inappropriate to use tunnel due to damage in members

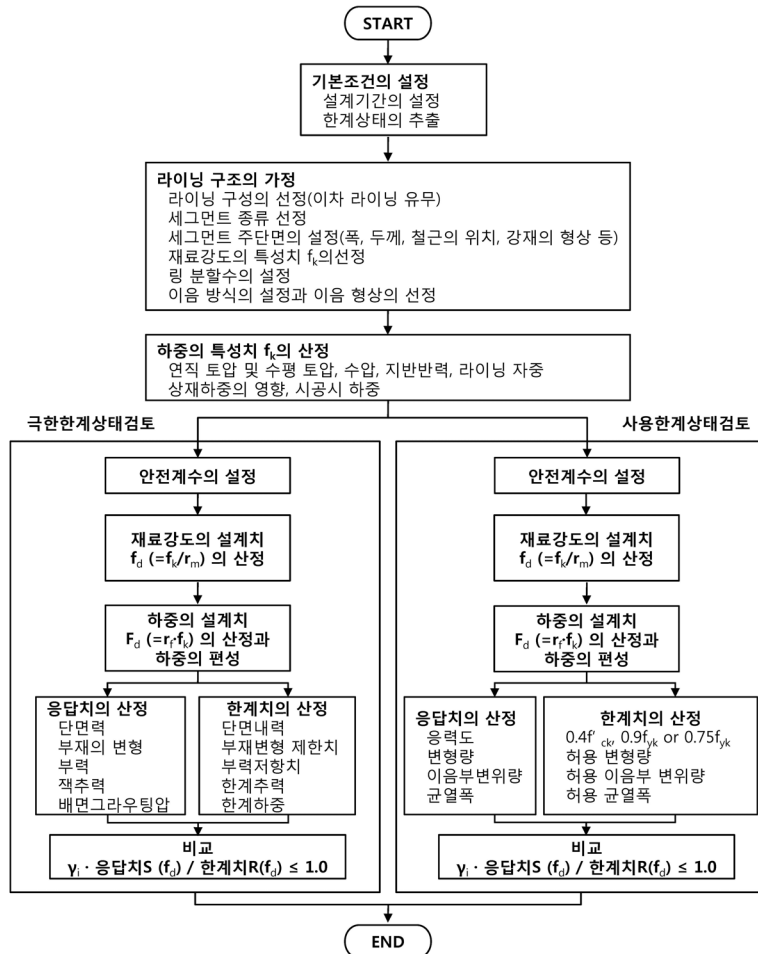


그림 1. 쉘터널 한계상태설계 흐름도

사용기간 중에 요구되는 성능을 관리하고, 그 기간 중에 터널이 요구하는 성능을 유지할 수 없게 된다고 생각할 수 있는 한계 상태를 설정하는 것부터 시작된다. 터널의 한계 상태는 터널이 붕괴하는 것이나 터널이 큰 변형을 일으켜 안정을 상실하거나, 터널의 용도에 맞는 사용성을 저하시키는 것에 있다고 생각할 수 있다.

2.4 한계상태에서 고려하는 안전계수

일본 한계상태 설계법상에서 쉘트BTM 세그먼트라이닝 설계시에 고려해야하는 안전계수는, 재료계수, 부재계수, 하중계수, 구조해석계수 및 구조물계수의 5종류로 이루어져 있으며, 각각의 안전계수 개념 및 적용치는 다음과 같다.

－ 하중계수

하중의 산정방법의 불확실성과 장래 하중의 변화, 각 하중의 특성치가 한계상태에 미치는 영향을 고려하여 결정하는 안전계수로서 다음의 값에 따라 선정한다.

한계상태	토 압		측방토압 계수	수압	지반반력 계수	자중	상재 하중	기타
	이완 토압	전토압						
극한한계	1.10~1.30	1.05	0.8~1.0	0.9~1.0	1.0~1.1	1.0~1.1	1.0~1.3	1.0~1.3
사용한계	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

－ 재료계수

재료강도의 변화, 공시체와 실 구조물과의 재료강도의 차이, 재료강도가 한계상태에 미치는 영향을 총체적으로 고려하여 결정하는 안전계수로서 다음의 값에 따라 선정한다.

한계상태	재료계수				
	콘크리트		철근	주철근	볼트
	세그먼트	현장타설			
극한한계	1.2	1.3	1.00	1.05	1.05
사용한계	1.0	1.0	1.00	1.00	1.00

－ 부재계수

단면력 산정 시의 불확실성과 부재가 한계상태에 도달할 때 구조물 전체에 끼치는 영향을 고려하여 결정하는 안전계수로서 다음의 값에 따라 선정한다.

한계상태	부재계수					
	본체부			세그먼트 이음부	링 이음부	스티럽 설치부분
	휨	압축	전단			
극한한계	1.10	1.30	1.30	1.10	1.15	1.30
사용한계	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

－ 구조해석계수

구조 해석 결과의 오차나 불확실성을 고려하기 위한 안전계수로서 다음의 값에 따라 선정한다.

한계상태	구조해석계수
극한한계상태	1.0~1.1
사용한계상태	1.0

– 구조물계수

구조물의 설계단면력과 설계단면내력과의 비교 시 한계상태에 도달했을 때의 사회적 영향과 경제성 등을 고려하기 위한 안전계수로서 다음의 값에 따라 선정한다.

한계상태	구조물계수
극한한계상태	1.0~1.3
사용한계상태	1.0

이제까지 일본의 한계상태 설계법에서 제시하고 있는 안전계수를 살펴보았으나, 일본의 한계상태 설계법이나 유럽의 Eurocode에서 제시하고 있는 안전계수는 실제의 구조물에 발생하는 오차, 즉, 생각할 수 있는 모든 변동을 고려한 후에 설정할 필요가 있는 값임에 따라 다양한 재료시험결과나 현장계측 결과 및 이론적·경험적 데이터의 심도있는 분석을 통하여 선정되어야 한다는 것을 염두에 두어야 한다.

3. 극한강도 및 한계상태설계법 수치해석 및 부재력 검토

세그먼트라이닝 설계에 있어서 극한강도설계법과 한계상태설계법의 비교연구를 위한 기초연구의 일환으로 동일 조건에서 수치해석을 수행한 후 부재력을 검토하였다. 본 안정성 검토시의 해석 단면은 기존에 극한강도설계법으로 설계·시공이 완료된 국내지하철공사 현장 사례 중, 대표단면을 선정하여 검토하였다.

3.1 세그먼트 라이닝 대표단면 및 하중 선정

검토단면 및 터널주변 지반조건은 다음과 같다(그림 2). 대부분 풍화토지반을 통과하는 터널로 국내지하철터널 건설시 빈번하게 조우하는 지반을 대표할 수 있는 풍화토 지반조건이기 때문에 검토대상 현장으로 선정하였다. 대표단면상의 연직방향 하중 및 수평방향 하중을 그림 2와 같이 선정하였으며, 이외에 세그먼트 자중, 연직토압, 수평토압, 지반반력, 수압 등을 주요 하중으로 적용하였다. 수압 적용시 건기시와 우기시의 지하수위 변화를 고려하여 최대수위를 적용하였다. 세그먼트라이닝은 숏크리트를 타설하고 2차라이닝을 타설하는 기존 터널과 달리 공장에서 제작된 세그먼트를 조립하고 세그먼트 배면에 그라우팅을 실시한다. 풍화토 지반조건에서는 지반변형에 따른 세그먼트 라이닝의 변형 및 작용하중을 적절히 고려해야 하므로 배면그라우팅 주입재와 풍화토 지반의 2층 변형 특성을 고려할 수 있는 Muir Wood식을 이용하여 지반반력계수를 산정하였다.

표 5. 터널 주변지반 설계정수

	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kN/m ²)	내부마찰각 (°)	탄성계수 (kN/m ²)	포아송비	지반반력 계수 (kN/m ³)
매립층	18.0	-	30	12,000	0.32	-
풍화토	19.0	20	32	20,000	0.35	3,850

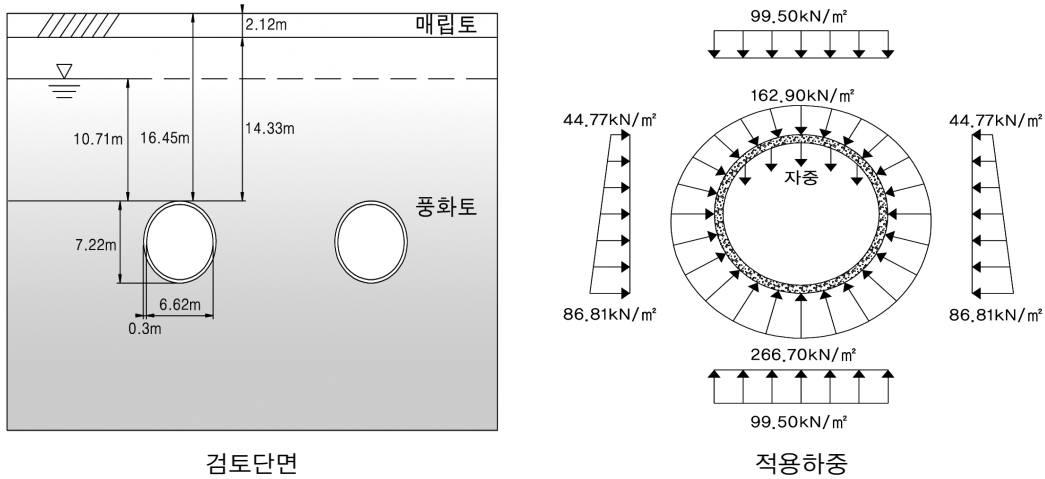


그림 2. 검토단면 및 해석적용 하중조건

표 6. 세그먼트라이닝 주요 구조세목

세그먼트라이닝 외경	7.220 m	세그먼트라이닝 분할조건	6+k
세그먼트라이닝 내경	6.620 m	세그먼트라이닝 이음조건	곡볼트
세그먼트라이닝 두께	0.300 m	콘크리트 설계강도(fck)	42 MPa
세그먼트라이닝 폭	1.500 m	철근 설계강도(fy)	400 MPa

산정한 지반반력계수 및 터널 주변 지반조건은 아래와 같다(표 4). 세그먼트라이닝의 직경 및 두께는 국내지하철터널 조건을 대표할 수 있는 외경 7.22 m, 두께 0.3 m로 선정하였으며, 상세 세그먼트라이닝 구조세목은 표 5와 같다.

3.2 극한강도설계법 및 한계상태설계법 적용인자

검토 시 적용한 극한강도설계법과 한계상태설계법 검토과정상에서 각각의 설계법별 적용인자는 표 6 및 표 7과 같다.

표 7. 극한강도 설계법 해석 적용인자

하중계수	소요강도	$U=1.2D+1.6(\alpha_h H_v+H_h)$ $U=0.9D+1.6(\alpha_h H_v+H_h)$ $U=1.0D+1.0H_v+1.0H_h$ - 사용하중 상태 여기서, D : 고정하중 H_v : 흙·지하수 등의 자중에 의한 연직방향하중 H_h : 흙·지하수 등의 횡압력에 의한 수평방향하중 α_h : 토피의 두께에 따른 연직방향 하중 H_v 에 대한 계수
	사용성검토	$U=1.0D+1.0H_v+1.0H_h$
강도저감계수	인장지배 단면 : 0.85 압축지배 단면 : 0.65 변화구간 : $\phi=0.65+(e_t-0.002)\times 200/3$	

표 8. 한계상태설계법 해석 적용인자(극한한계상태)

재료계수	콘크리트			철근	주철근	볼트
	세그먼트	현장타설				
	1.20	1.30				
부재계수	본체부			세그먼트 이음부	링 이음부	스티럽 설치부분
	힘	압축	전단			
	1.10	1.30	1.30			
하중계수	토압		측방토압계수	수압	지반반력계수	자중
	이완토압	전토압				
	1.30	1.05				
구조해석계수	1.1					
구조물계수	1.3					

3.3 극한강도 및 한계상태설계법 해석결과 분석

극한강도 설계법과 한계상태 설계법으로 구조해석한 결과는 다음과 같다(표 9 및 그림 3, 4). 표 9은 최대모멘트가 발생한 부재에서의 모멘트와 축력 결과이고, 그림 3, 4에서는 설계법 별 최대축력, 최대모멘트 및 최대전단력을 비교하였다.

표 9. 극한강도 설계법 및 한계상태 설계법 구조해석 결과

구 분	P(kN)	M(kN·m)	V(kN)
극한강도 설계법	1,335.47	217.07	228.62
한계상태 설계법	737.25	160.69	167.6

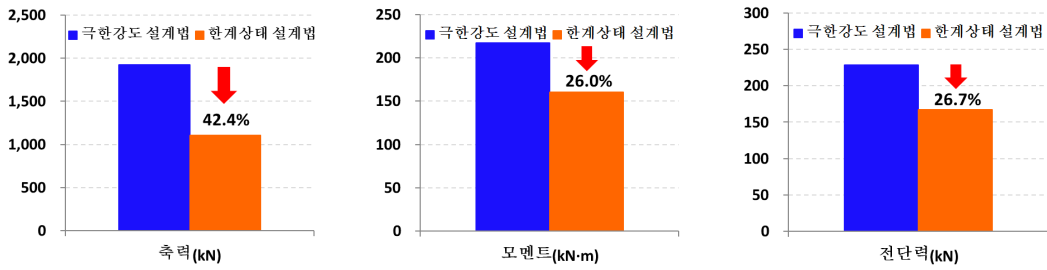


그림 3. 설계법별 최대부재력

구분	축력도	모멘트도	전단력도
극한강도설계법	<p>Max(Axial force) 1,925.00kN</p>	<p>Max(Moment) 217.07kN · m</p>	<p>Max(Shear force) 228.62kN</p>
한계상태설계법	<p>Max(Axial force) 1,107.63kN</p>	<p>Max(Moment) 160.69kN · m</p>	<p>Max(Shear force) 167.60kN</p>

그림 4. 극한강도 설계법 및 한계상태 설계법 구조해석 결과도

구조해석 결과, 철근량 산정과 밀접한 관계가 있는 최대 모멘트가 세그먼트 라이닝 천단부에서 발생하고 있는 것은 일본 한계상태 설계법과 국내 극한강도 설계법이 유사하나, 한계상태 설계법으로 검토 시 극한강도 설계법보다 부재력은 전체적으로 감소하는 것을 볼 수 있다(표 8, 그림 3). 세그먼트라이닝 두께 300 mm 조건임을 감안할 때 극한강도 설계법과 한계상태 설계법에서 산정된 축력은 세그먼트에 축방향 압축파괴를 일으킬 만한 큰 부재력이 아니므로 모멘트에 의한 휨인장 파괴에 의해 구조조건이 결정될 것으로 예측할 수 있다. 모멘트 값은 한계상태 설계법으로 검토시 극한강도 설계법에 비해 26.0% 감소하였고, 전단력은 26.7% 감소하였으므로 한계상태 설계법으로 철근량 산정시 주철근 및 전단철근의 감소가 예상된다.

4. 결 론

본고에서는 터널분야에서 연구가 미흡하였던 한계상태 설계법의 설계 결과에 대하여 일본의 한계상태 설계법과 국내의 극한강도 설계법간의 해석결과를 비교·분석하였다. 한계상태 설계법이라는 구조물별 한계조건에 대한 안전율을 고려함으로써, 발생 가능 한계상태를 설정하는 것으로부터 설계가 진행되며, 국내 터널설계 시공 여건을 고려한 부분 안전계수 설정을 위한 기초연구의 일환으로 일본의 세그먼트 라이닝 한계상태 설계 시방서 내용 중, 극한한계상태에 대한 설계법 및 부분안전계수를 고찰하였다. 국내지하철현장에서 빈번히 나타날 수 있는 조건이라 판단되는 쉴드 TBM대상 지반조건에 대하여 극한강도 설계법과 한계상태 설계법의 비교·검토 결과, 모멘트 및 전단력이 한계상태 설계법에서 약 26% 감소하는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 분석한 일본의 한계상태 설계법은 유럽의 전 지역에서 사용하는 Eurocode와 달리 적용 국가가 일본에 국한된 설계법임에 따라, 국제적으로 범용화 될 수 있는 한계상태 설계법은 아니라는 점을 주지하여야 하나, 한계상태 설계법을 이용할 경우 안전성을 확보하는 조건에서 경제적으로 세그먼트 설계결과가 도출될 수 있음을 확인할 수 있었다.

따라서 국내에서도 향후 콘크리트 구조물에 대한 한계상태조건의 세그먼트 설계강도 선정 방법 및 부분안전계수(partial safety factor)에 대한 지속적인 연구를 통하여 경제적인 쉴드 TBM설계를 위한 방안 수립이 요구되는 바이다.

감사의 글

본 논문은 한국건설교통기술평가원의 건설기술혁신사업인 “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술(과제번호: 10기술혁신E091) - 2세부과제: 고성능 세그먼트 라이닝의 한계상태설계법 국내적용성 분석”의 일환으로 작성되었습니다. 또한 본 연구는 한서대학교의 일부 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김재홍, 이재훈 (2000), “철근콘크리트 휨부재 및 압축부재의 재료저항 계수 적용에 관한 연구”, 콘크리트 학회 논문집, 제12권, 제2호, pp. 21-30.
2. 국토해양부 (2012), “도로교설계기준(한계상태설계법)”, 한국도로교통협회.

3. 일본철도종합연구소 (1997), “토목구조물 설계 표준·동해설 - 실드터널편”, pp. 195.
4. 한국콘크리트학회 (2007), “콘크리트 구조설계기준 해설”, pp. 59-63.
5. European Committee for Standardization(1994), “Eurocode7: geotechnical design”.
6. International Organization for Standardization(1998), “International standard ISO/DIN 2394, general principles on reliability for structures”.
7. Japanese Geotechnical Society (2002), “The JGS foundation design guideline (Geo-code 21 ver.2), foundation design codes and soil investigation in view of international harmonization and performance based design”, pp. 399-449.
8. Japan Society of Civil Engineers (2006), “Standard specifications for tunneling - 2006 : shield tunnels”, pp. 213-257.
9. 日本土木學會 (2010), “セグメントの設計 ～ 許容応力設計法から限界状態設計法まで～”, pp. 111-173.