

KR C-12045

Rev.0, 04. June 2024

터널 세그먼트 라이닝

2024. 06. 04



국가철도공단

REVIEW CHART

[illegible]

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	1
2. 조사 및 계획	1
2.1 조사 및 계획 일반	1
2.2 조사	1
2.3 계획	2
3. 재료	2
3.1 재료일반	2
3.2 재료특성	2
3.3 품질 및 성능시험	2
4. 설계	2
4.1 설계일반	2
4.2 구조해석	2
4.3 세그먼트 구조와 형상 설계	2
4.4 방수설계	2
해설 1. 세그먼트 라이닝의 설계	3
1. 일반사항	3
2. 용어	3
3. 세그먼트 라이닝의 종류 및 재료	7
4. 세그먼트 라이닝의 구조 및 형상 설계	8
5. 하중	10
6. 세그먼트 라이닝의 단면력 및 기타 요소	12
7. 세그먼트 라이닝의 이음 및 체결방식	16
해설 2. 방수설계	9
1. 방수재료 및 특성	19
2. 방수 방법의 선정	20
RECORD HISTORY	2

1. 일반사항

1.1 목적

- (1) 이 기준의 목적은 철도 쉐드터널에서 구조체로 사용되는 철도 터널 세그먼트 라이닝의 설계에 필요한 기술적 사항들을 제시하는 것이다.

1.2 적용범위

- (1) KDS 27 40 10(1.2)를 따른다.

1.3 참고기준

1.3.1 관련법규

- (1) KDS 27 40 10(1.3.1)을 따른다.

1.3.2 관련기준

- (1) KDS 27 40 10(1.3.2)를 따른다.

1.4 용어의 정의

- (1) 세그먼트(Segments): 터널 라이닝을 구성하는 단위 조각의 부재를 말하며, 사용하는 재질에 따라 강재 세그먼트, 철근 또는 강섬유로 보강한 콘크리트 세그먼트 및 합성 세그먼트 등으로 구분하고 주로 쉐드TBM터널에 사용함.
- (2) 접속부(Tunnel intersection): 서로 다른 터널이 접속되는 구간 또는 동일 터널에서 단면의 형태, 규모가 다른 터널 단면이 접속하는 구간.
- (3) 지반(Ground): 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분.
- (4) 지반조건(Ground condition): 터널 주변 지반의 지형, 지질, 지반특성, 수리·수문조건 등을 말함.
- (5) 토피고(Overburden): 터널 천장으로부터 지표면까지 연직높이(두께).

1.5 기호의 정의

- (1) KDS 27 40 10(1.5)을 따른다.

2. 조사 및 계획

2.1 조사 및 계획 일반

- (1) KDS 27 40 10(2.1)을 따른다.

2.2 조사

- (1) KDS 27 40 10(2.2)를 따른다.



2.3 계획

- (1) KDS 27 40 10(2.3)을 따른다.

3. 재료

3.1 재료일반

- (1) KDS 27 40 10(3.1)을 따른다.

3.2 재료특성

- (1) KDS 27 40 10(3.2)를 따른다.

3.3 품질 및 성능 시험

- (1) KDS 27 40 10(3.3)을 따른다.

4. 설계

4.1 설계일반

4.1.1 설계 시 고려사항

- (1) KDS 27 40 10(4.1.1)을 따른다.

4.1.2 하중산정

- (1) KDS 27 40 10(4.1.2)를 따른다.

4.2 구조해석

- (1) KDS 27 40 10(4.2)를 따른다.

4.3 세그먼트 구조와 형상설계

- (1) KDS 27 40 10(4.3)을 따른다.

4.4 방수설계

- (1) KDS 27 40 10(4.4)를 따른다.

해설 1. 세그먼트 라이닝의 설계

1. 일반사항

- (1) 본 해설은 TBM 터널용 원형 세그먼트에 관한 설계 및 제작의 기준이 되는 사항을 제시한 것으로서 책임기술자로부터 구조상으로 문제가 없음을 확인받은 경우에는 원형 이외의 쉘드터널에도 준용할 수 있다.
- (2) 쉘드터널에서는 지반조건 및 터널의 단면형상, 시공법에 따라 쉘드터널의 역학적 거동이 상이하므로 라이닝의 설계 시에 이를 고려하여야 한다.
- (3) 세그먼트 라이닝 설계계산서에는 계산상의 입력조건, 가정 사항, 계산과정 및 계산결과를 명기하여야 한다.
- (4) 세그먼트 라이닝은 강도설계법으로 설계하는 것을 원칙으로 하되, 외국의 검증된 한계상태설계법을 적용할 경우에는 안전계수들의 산정에 유의하여 설계를 수행하여야 한다.
- (5) 강섬유보강 콘크리트 세그먼트는 「KDS 27 10 05(1.3.2)」에 따라 설계되어야 한다. 이때 철근보강과 강섬유보강을 혼합하여 사용할 수 있으며, 각각에 의한 구조적인 보강효과를 고려하여 세그먼트를 설계하여야 한다.
- (6) 세그먼트 설치 시에 균열 발생으로 인한 세그먼트의 파손을 방지하기 위해서는 세그먼트 연결부에 완충재를 적용하는 대책을 고려할 수 있다.
- (7) 세그먼트 운반과 이동 시의 수단, 파손방지 대책 및 사이클 타임을 고려하여 세그먼트의 적재계획을 수립하여야 한다.
- (8) 2차 라이닝이 생략된 쉘드터널에서 화재로 인해 세그먼트 라이닝의 붕괴·붕락이 우려되거나 구조적 기능의 복원이 어려울 것으로 예상되는 경우에는 「KDS 27 10 05(1.3.2)」에 따라 세그먼트 라이닝의 내화설계를 수행할 수 있다.
- (9) 해저구간에 건설되거나 고부식성 환경 조건에 시공되는 경우에는 세그먼트라이닝 표면을 보호하여 내구성을 증진시켜야 한다.
- (10) 기존 설치된 세그먼트가 분리되는 연결통로 접속부 링빔 보강 설계 시 링빔의 제원 및 설치 연장은 지반조건을 고려한 구조안정성 검토결과를 반영하여 선정하여야 한다.

2. 용어

세그먼트 설계에 사용되는 용어는 다음과 같다.

- (1) 라이닝 두께는 터널 횡단면에 있어서 전체 라이닝 두께를 말한다(<그림 1> 참조).

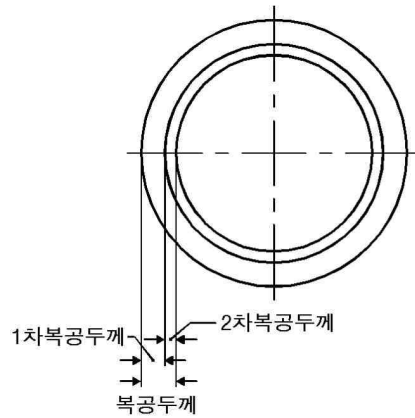


그림 1. 세그먼트 라이닝

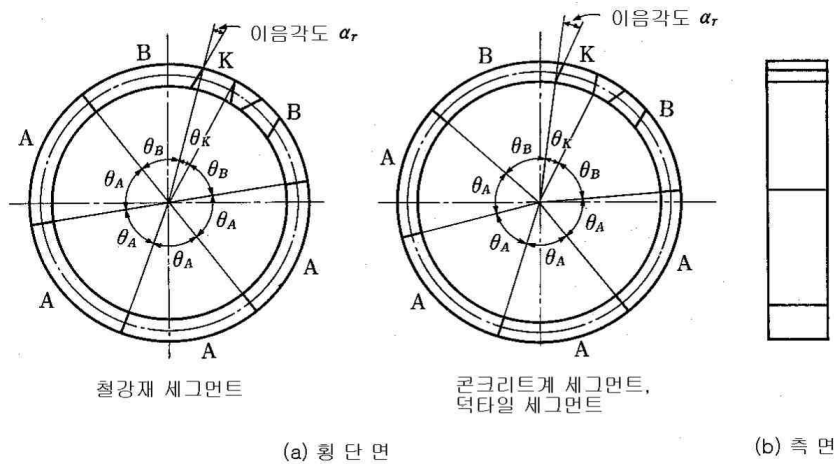


그림 2. 세그먼트 링의 구성

- (2) 상자형 세그먼트는 거더(Girder)와 이음판 또는 종 리브(Rib)에 의해 둘러싸인 요부를 가지는 세그먼트를 말하며, 강재 및 주철제 세그먼트(덱타일 세그먼트)에서는 상자형 세그먼트라 하고, 콘크리트계에서는 중자형 세그먼트라고 한다(<그림 6> 참조).
- (3) 평판형 세그먼트는 채워진 단면을 갖는 평판형의 세그먼트를 말한다(<그림 5>, <그림 6> 참조).
- (4) K형 세그먼트에는 터널반경방향에 테이퍼(Taper)를 두어 터널 내측으로 삽입하는 것(반경방향 삽입형 세그먼트)과 축방향에 테이퍼를 붙여서 축방향으로 삽입하는 것이 있다(축방향 삽입형 세그먼트).
- (5) 분할수는 한 링을 구성하는 세그먼트 수를 말한다.
- (6) 테이퍼 링은 곡선부의 시공 및 선형수정에 사용하는 테이퍼 처리한 링을 말한다. 특히, 폭이 좁은 판상은 테이퍼 플레이트 링(Taper Plate Ring)이라 한다(<그림 3> 참조).

- (7) 테이퍼 세그먼트는 테이퍼 링을 구성하는 세그먼트를 말한다.
- (8) 테이퍼 량(Δ)은 테이퍼 링에 있어서 최대폭과 최소폭과의 차이를 말한다(<그림 3> 참조).
- (9) 테이퍼 각(β)은 <그림 3>에 나타난 각도 β 를 말한다.
- (10) 이음 각도(α_r)는 <그림 2>와 <그림 4>에 나타낸 바와 같으며, 주로 반경방향 삽입형 K세그먼트의 경우에 사용된다.
- (11) 세그먼트 길이는 터널 횡단방향으로 측정한 세그먼트의 호의 길이를 말하며 외주장과 내주장으로 구분하여야 한다(<그림 4> 참조).

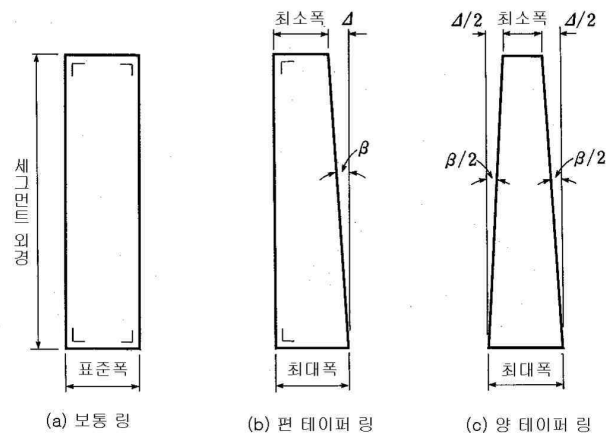


그림 3. 세그먼트 링과 테이퍼 각

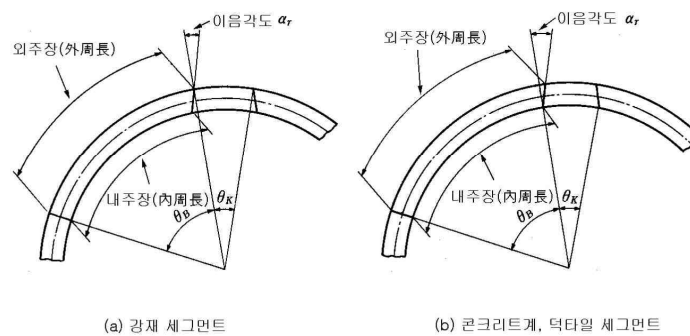


그림 4. 세그먼트 링의 단면



- (12) 세그먼트 폭은 터널 종단방향으로 측정한 세그먼트의 치수를 말한다(<그림 5> 참조).
- (13) 세그먼트 높이(두께)는 터널 종단면의 반경방향에서 측정한 세그먼트 측벽의 높이를 말한다. 평판형 세그먼트에서는 세그먼트 두께라고도 한다(<그림 5> 참조).
- (14) 거더는 상자형 세그먼트의 경우 터널 횡단방향 측벽(강재 세그먼트의 스킨 플레이트를 제외한 측벽)을 말하며, 평판형 콘크리트계 세그먼트에 있어서는 터널의 종단방향의 단면이 된다. 터널에 작용하는 외력에 저항하는 주요부분을 형성하여야 한다(<그림 5>, <그림 6> 참조).
- (15) 이음은 세그먼트 이음과 링 이음으로 구분하며 터널 횡단방향에 세그먼트를 연결하여 링을 형성하는 이음을 세그먼트 이음, 터널종단방향에 링 상호간을 잇는 이음을 링 이음이라고 한다.
- (16) 이음판은 이음의 볼트 집합에 이용하는 판 또는 판상구조를 말한다(<그림 6> 참조).
- (17) 세그먼트의 스킨 플레이트 및 배판은 상자형 세그먼트에 있어서 거더와 이음판 등으로 주변을 지지 받는 판을 말한다. 강재 세그먼트에 있어서는 스킨 플레이트라 하고, 콘크리트계 상자형 세그먼트에서는 배판이라고 한다(<그림 5>, <그림 6> 참조).
- (18) 종 리브는 상자형 세그먼트에 있어서 터널의 종단방향을 따라 삽입하는 보강재를 말한다. 쉴드잭의 추력에 저항함과 동시에 스킨 플레이트에 작용하는 하중을 거더로 전달하여야 한다(<그림 6> 참조).

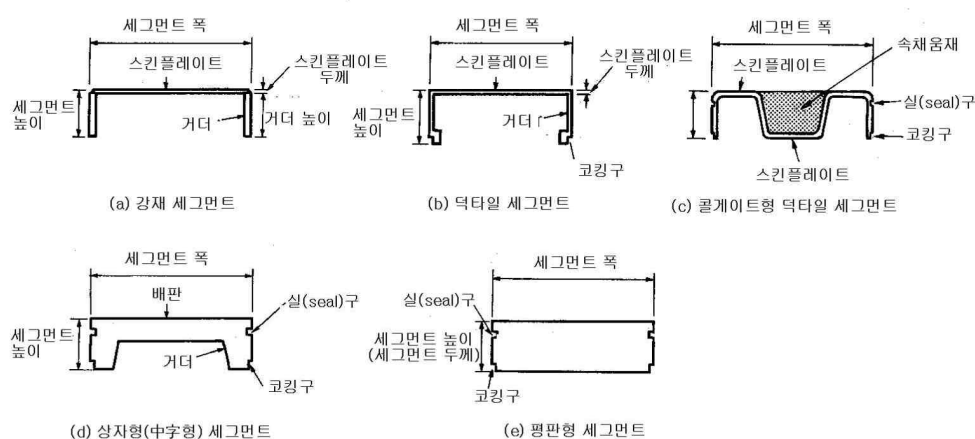


그림 5. 세그먼트 단면

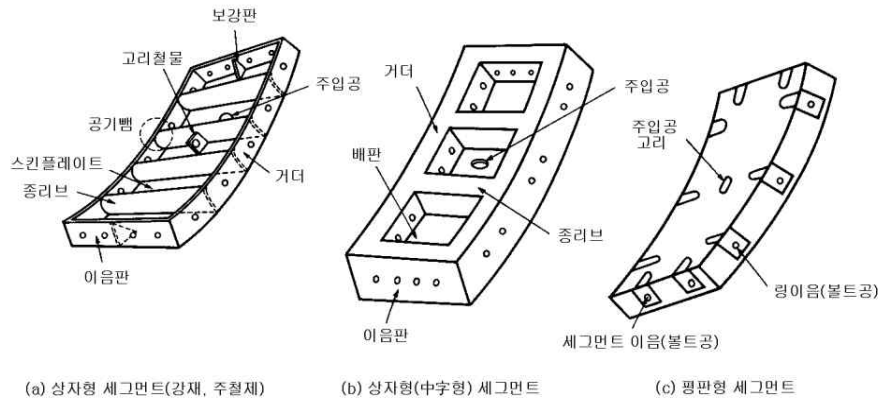


그림 6. 세그먼트 각부의 명칭

- (19) 횡 리브는 상자형 세그먼트에 있어서 터널의 횡단방향에 따라 넣은 보강재를 말한다.
- (20) 세그먼트 이음 볼트는 링을 형성하기 위해 세그먼트 상호의 연결에 사용하는 볼트를 말한다.
- (21) 링 이음 볼트는 링 상호의 연결에 사용하는 볼트를 말한다.
- (22) 코킹 구는 코킹을 위해 세그먼트의 측벽의 내측에 따라 설치한 홈을 말한다(<그림 5> 참조).
- (23) 실(Seal)구는 실재를 첨부하기 위해 세그먼트의 측벽에 따라 설치한 홈을 말한다(<그림 5> 참조).
- (24) 주입공은 배면주입용 호스를 장착하기 위해 세그먼트에 설치한 구멍을 말한다(<그림 5> 참조).
- (25) 고리는 이렉터에 매달기 위해 세그먼트에 설치한 철물을 말하며, 콘크리트계 세그먼트에서는 주입공과 겸용하는 경우가 많다(<그림 6>(a), (c) 참조).
- (26) 보강판 강재 세그먼트에 있어서 이음판을 보강하는 삼각형상의 판을 말한다(<그림 6>(a) 참조).

3. 세그먼트 라이닝의 종류 및 재료

세그먼트의 종류는 재질에 따라 크게 콘크리트, 강재, 합성(콘크리트+강재 또는 주철) 세그먼트로 분류하고 형상에 따라 상자형, 평판형 세그먼트로 분류할 수 있으며 터널의 용도, 세그먼트의 강도, 내구성, 시공성 및 경제성을 충분히 고려하여 선정하여야 한다.

세그먼트에 사용하는 재료는 한국산업규격(KS)을 표준으로 하며 무근 및 철근 콘크리트에 관해서는 국토교통부 제정 ‘콘크리트 구조설계기준’ 및 ‘콘크리트 표준시방서’의 규정에 따르며, 세그먼트 라이닝에는 철근보강콘크리트, 강섬유보강 콘크리트



트(Steel- Fiber Reinforced Concrete, SFRC) 및 합성 세그먼트(Composite segment)가 있으며 보강효과를 고려하여 현장여건에 맞는 재질을 계획하여야 한다.

4. 세그먼트 라이닝의 구조 및 형상 설계

세그먼트 구조 및 형상 설계시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 세그먼트의 강도, 구조, 형상 등은 터널의 목적, 지반조건, 시공법 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- (2) 상자형 또는 평판형 세그먼트를 볼트이음으로 조립한 링 구조는 강성이 같은 링으로 고려할 수 있으며, 재질에 따라 콘크리트, 강재 및 합성세그먼트로 구별하여 설계하여야 한다.
- (3) 세그먼트의 사용목적, 시공성, 경제성, 내구성 및 방수성을 고려하여 세그먼트의 형상치수와 분할방식을 설계하여야 한다.
- (4) 세그먼트의 이음구조는 조립의 확실성과 작업성을 고려하여 결정하여야 한다.
- (5) 세그먼트는 원칙적으로 수밀성을 확보하여야 한다.
- (6) 뒤채움 주입을 균등하게 행하기 위해 각 세그먼트에는 1개소 이상의 주입공을 설치하는 것을 기준으로 한다. 주입공의 지름은 사용하는 주입재를 고려하여 결정하여야 하지만, 일반적으로 내경 50mm를 기준으로 하며, 주입공을 고리로 사용하는 경우는 작업성은 물론, 작업의 안정성도 고려하여 주입공의 지름과 위치를 결정하여야 한다.
- (7) 소구경의 철제 세그먼트를 손으로 조립하는 경우는 고리를 필요로 하지 않으나 일반 세그먼트에서는 운반 및 조립을 위한 고리를 설계하여야 한다.
- (8) 세그먼트의 이음각도는 단면력의 전달과 조립 작업성을 고려하여 결정하여야 한다.
- (9) 테이퍼 링은 터널 선형 및 시공성 등을 고려하여 설계하여야 한다. 세그먼트의 구조 계산 시 편의를 위하여 기호는 다음과 같이 정의하며 사용 예는 <그림 7>, <그림 8>과 같다.

·EC, ES, ED : 콘크리트, 강재 및 주철제 재료의 영(Young)계수

·I : 단면이차 모멘트

·M, N, Q : 휨 모멘트, 축력 및 전단력을 뜻한다.

· η : 휨 강성(EI)의 유효율

· ζ : 휨 모멘트의 할증율

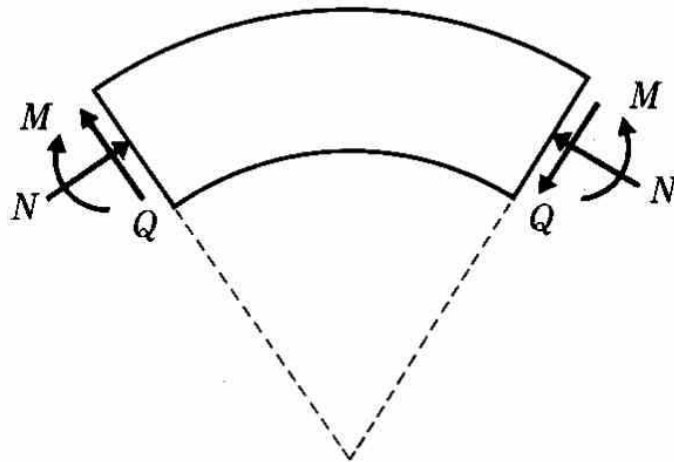


그림 7. 휨 모멘트, 축력, 전단력

- R_0, R_c, R_i : 일차라이닝의 외주반경, 도심반경 및 내주반경
- h : 라이닝두께($h_1, h_2 \cdots$ 일차라이닝, 이차라이닝의 두께)
- B : 세그먼트 폭
- θ : 세그먼트 단면력 계산 등 계산위치의 각도(터널 천단부에서 시계방향을 정으로 하는 중심각)
- $\gamma, \gamma', \gamma_w$: 흙의 단위중량, 흙의 수중단위중량 및 물의 단위중량
- H : 라이닝 외주상의 꼭대기 점에서 측정한 토피
- H_w : 라이닝 외부상의 꼭대기점에서 측정한 정수면의 높이
- P_0 : 상재하중
- W : 터널 종단방향 단위길이 당 라이닝의 자중($W_1, W_2 \cdots$ 일차라이닝, 이차라이닝의 자중)
- g : 터널 종단방향 단위길이의 라이닝에 있어서 라이닝의 도심선에 따른 단위길이 당의 자중($g_1, g_2 \cdots$ 일차라이닝, 이차라이닝의 자중)
- p : 연직방향의 하중강도
- q : 수평방향의 하중강도
- λ : 측방토압계수
- k : 지반반력계수
- δ : 라이닝의 변위, 라이닝의 외력으로 향하는 것을 정(+)으로 한다.
- c : 흙의 점착력
- ϕ : 흙의 내부마찰각
- α : 이음 각도
- β : 테이퍼 각
- $\theta_A, \theta_B, \theta_K$: A, B, K 세그먼트의 중심각(<그림 7>, <그림 8> 참조)

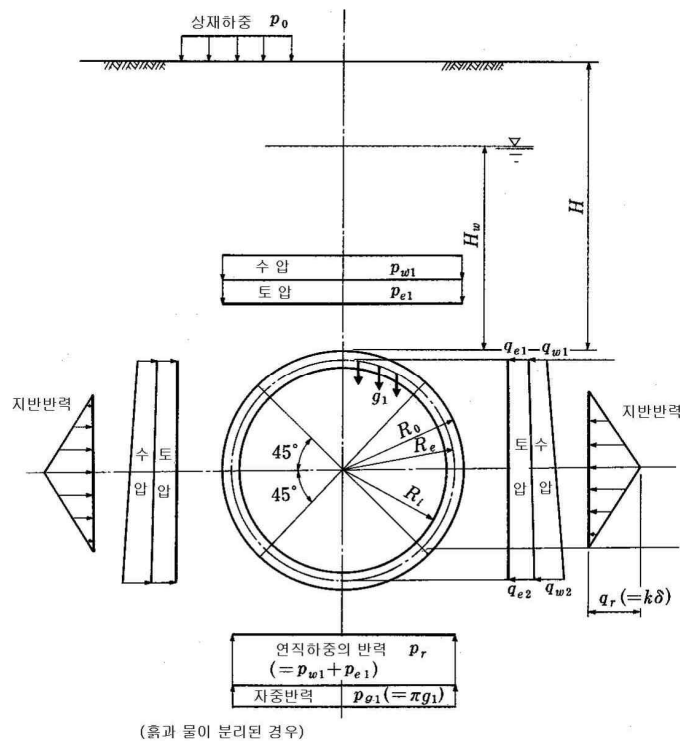


그림 8. 관용계산법에 있어서 기호사용의 일례

5. 하중

세그먼트 라이닝에 작용하는 하중을 산정할 경우에는 세그먼트 제작, 이동 및 운반 하중뿐만 아니라, 세그먼트 설치 시의 하중, 추진책의 추력, 뒤채움그라우팅 하중, 후방 대차하중과 같은 시공 단계의 하중과 연직 및 수평지반압, 수압, 자중, 상재하중의 영향, 지반반력, 내부하중과 같은 운용 중의 하중을 고려하여야 한다. 또한 기타 하중조건으로 접속부 분리시의 영향, 세그먼트 인근 보강그라우팅 영향, 병설터널의 영향 및 지반침하의 영향을 고려할 수 있으며, 내진해석 시에는 지진하중을 고려하여야 한다. 또, 세그먼트 라이닝은 축력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재이므로, 철근보강 콘크리트 세그먼트의 균열 검토 시에는 사용상태의 외력에 의한 축력과 휨모멘트를 고려하여 산정된 철근의 응력으로 균열 검토를 수행하여야 한다.

- (1) 연직토압은 라이닝의 정부에 작용하는 등분포하중으로 한다. 그 크기는 터널의 토피, 외경 및 지반의 조건들을 고려할 수 있는 테르자기(Terzaghi)식 등의 일반 계산식들을 이용하여 구하여야 한다.
- (2) 수평토압은 라이닝 양 측부 횡단면상의 도심 지름에 걸쳐서 수평방향으로 작용하는 등변분포(사다리꼴)하중으로 하고, 그 크기는 연직방향의 토압에 측방토압계수를 곱하여 산정하여야 한다(<표 1> 참조).

표 1. 측방토압계수(λ) 및 지반반력계수(k)

흙과 물의 구분	흙의 종류	λ	$k(kN/m^3)$	N치에 의한 기준
흙과 물 분리	매우 잘 굳은 사질토	0.35~0.45	30~50	$30 \leq N$
	고결된 사질토	0.45~0.55	10~30	$15 \leq N < 30$
	느슨한 사질토	0.50~0.60	0~10	$N < 15$
	굳은 점성토	0.35~0.45	30~50	$25 \leq N$
	단단한 점성토	0.45~0.55	10~30	$8 \leq N < 25$
	보통의 점성토	0.50~0.60	5~10	$4 \leq N < 8$
흙과 물 일체	보통의 점성토	0.55~0.65	5~10	$4 \leq N < 8$
	부드러운 점성토	0.65~0.75	0~5	$2 \leq N < 4$
	매우 부드러운 점성토	0.70~0.85	0	$N < 2$

- (3) 수압은 터널시공 중이나 향후 유지관리시의 지하수위의 변동을 고려하여 안전한 설계가 될 수 있는 지하수압을 선정하여야 한다. 여기서 연직방향의 수압은 등분포하중으로 하고 크기는 라이닝 정부의 경우 정점에 작용하는 정수압, 저부의 경우는 저점에 작용하는 정수압을 기준으로 한다. 수평방향의 수압은 등변분포하중으로 하고 그 크기는 정수압으로 하여야 한다.
- (4) 자중은 라이닝 횡단면에 있어서 라이닝의 도심선에 맞게 등분포하는 연직방향의 하중으로 하여야 한다. 라이닝의 자중은 다음 식으로 계산할 수 있으나 상자형 세그먼트처럼 자중의 분포가 도심에 따라 똑같지 않은 경우에는 평균중량을 이용하여야 한다.

$$g = \frac{W}{2\pi \cdot R_c} (t/m^2)$$

여기서, W 는 터널 종방향라이닝의 단위 길이당 중량(t/m), R_c 는 라이닝의 도심반경(m)을 말한다.

- (5) 상재하중에 의한 토압의 영향은 지중의 응력전달을 고려하여 결정하여야 한다.
- (6) 지반반력은 지반변위와 독립적으로 결정되는 반력과 지반변위에 종속하여 결정되는 반력으로 구별하여 적용할 수 있다.
- (7) 내부하중은 라이닝의 내측에 작용하는 하중으로, 터널시공 중과 후로 분류하여 고려하여야 한다. 시공 중의 경우, 쉴드의 후방대차, 토사함 등 시공에 관련한 모든 설비가 내부하중으로 작용하므로 이에 따른 구조의 안전성이 확인되어야 한다.
- (8) 시공시 하중은 세그먼트의 조립에서부터 테일 보이드(Tail Void)에 주입한 뒤채움주입재 등이 경화할 때까지 세그먼트에 작용하는 하중으로 쉴드잭의 추력, 뒤채움주입압, 이렉터 조작하중 등에 대하여 검토하여야 한다. 이중 쉴드잭의 추력은 세그먼트 단면력 설계에 매우 중요한 요소로 작용하여야 한다.



- (9) 지진활동의 영향이 우려되는 경우는 중요도에 따라 터널의 입지조건, 지반조건, 당해 지역의 지진동, 터널의 구조, 형상 및 치수, 그 외 필요한 조건을 고려하여 설계하여야 한다.
- (10) 터널에 근접하여 병설하는 경우에는 토질조건, 터널의 상호위치, 터널크기 등을 조사하여 하중에 상호간섭의 영향을 받는지를 검토하여야 한다.
- (11) 쉘드터널 시공시 또는 완성 후에 다른 구조물의 근접시공이 예상되는 경우, 그 영향을 충분히 검토하여야 한다.
- (12) 연약지반 중에 터널을 축조하는 경우에는 반드시 지반침하의 영향을 검토하여야 한다.

6. 세그먼트 라이닝의 단면력 및 기타 요소

세그먼트 단면력은 그 구조특성을 고려하여 계산하여야 하며 적용하는 일반적인 관용계산법과 이를 일부 수정한 수정관용계산법은 <표 2>와 같다.

세그먼트 구조 및 형상설계 시 세그먼트의 형상치수를 정하는 중요한 요소와 고려하여야 할 일반적인 사항은 다음과 같다(<표 3, 표 4> 참조).

- (1) 세그먼트 링의 외경의 크기는 터널의 내공과 라이닝두께로 부터 결정된다. 세그먼트의 외경의 치수는 터널설계에 있어서 가장 기본적인 요소이다.
- (2) 세그먼트의 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, 대구경의 중자형 세그먼트에서는 5.5% 전후의 범위로 하여야 한다.
- (3) 세그먼트의 폭은 세그먼트의 운반 및 조립상의 편리함, 터널 곡선구간의 시공성, 쉘드테일의 길이 등의 측면에서는 작은 것이 바람직하다. 한편, 터널연장 당 세그먼트의 제작비의 저감, 누수 등의 약점으로 되기 쉬운 이음개소나 볼트구멍의 감소, 시공 속도 등의 측면에서는 큰 것이 바람직하다. 세그먼트의 폭은 터널단면에 따른 시공실적을 감안하여 경제성, 시공성을 고려한 뒤에 결정하여야 한다.
- (4) 세그먼트링의 구성은 수개의 A세그먼트와 2개의 B세그먼트 및 정점부에 마지막으로 조립되는 K세그먼트로 구성되는게 일반적이다. K세그먼트는 터널내측으로 부터 삽입하는 것(반경방향 삽입형)과 터널 축방향으로부터 삽입하는 것(축방향 삽입형) 및 이 두 가지를 겸용하여 사용하는 것도 있다. 터널내측에서 삽입하는 K세그먼트(반경방향 삽입형)의 길이는 A, B세그먼트와 비교해서 작게 하는 것이 좋다.
- (5) 링 이음은 시공 시 하중을 고려하여 터널 축방향의 연속성이 확보될 수 있도록 검토하여야 한다. 단 힌지계 세그먼트링에서는 세그먼트의 조립에서 뒤채움 주입재가 경화하기까지 변형을 방지하기 위해 그 구조특성을 침해하지 않는 이음을 사용함과 동시에 변형방지의 보조수단도 강구하여야 한다.

표 2. 관용계산법 및 수정관용계산법에 의한 세그먼트 단면력의 계산식(예)

하 중	휨 모멘트	축 력	전 단 력
연직하중 ($p_{e1} + p_{w1}$)	$M = \frac{1}{4}(1 - 2\sin^2\theta)(p_{e1} + p_{w1})R_c^2$	$N = (p_{e1} + p_{w1})R_c \cdot \sin^2\theta$	$Q = -(p_{e1} + p_{w1})R_c \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$
수평하중 ($q_{e1} + q_{w1}$)	$M = \frac{1}{4}(1 - 2\cos^2\theta)(q_{e1} + q_{w1})R_c^2$	$N = (q_{e1} + q_{w1})R_c \cdot \cos^2\theta$	$Q = (q_{e1} + q_{w1})R_c \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$
수평삼각형하중 ($q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}$)	$M = \frac{1}{48}(6 - 3\cos\theta - 12\cos^2\theta + 4\cos^3\theta)(q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1})R_c^2$	$N = \frac{1}{16}(\cos\theta + 8\cos^2\theta - 4\cos^3\theta)(q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1})R_c$	$Q = \frac{1}{16}(\sin\theta + \sin\theta \cdot \cos\theta - 4\sin\theta \cdot \cos^2\theta)(q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1})R_c$
수평지반반력 ($q_r = k \cdot \delta$)	$(0 \leq \theta < \frac{\pi}{4} \text{ 인 경우})$ $M = (0.2346 - 0.3536\cos\theta)k \cdot \delta \cdot R_c^2$ $(\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \text{ 인 경우})$ $M = (-0.3487 + 0.5\sin^2\theta + 0.2357\cos^3\theta)k \cdot \delta \cdot R_c^2$	$(0 \leq \theta < \frac{\pi}{4} \text{ 인 경우})$ $N = 0.3536\cos\theta \cdot k \cdot \delta \cdot R_c$ $(\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \text{ 인 경우})$ $N = (-0.7071\cos\theta + \cos^2\theta + 0.7071\sin^2\theta \cdot \cos\theta)k \cdot \delta \cdot R_c$	$(0 \leq \theta < \frac{\pi}{4} \text{ 인 경우})$ $Q = 0.3536\sin\theta \cdot k \cdot \delta \cdot R_c$ $(\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \text{ 인 경우})$ $Q = (\sin\theta \cdot \cos\theta - 0.7071\cos^2\theta \sin\theta)k \cdot \delta \cdot R_c$
자중 ($P_{g1} = \pi \cdot g_1$)	$(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \text{ 인 경우})$ $M = \left(\frac{3}{8}\pi - \theta \cdot \sin\theta - \frac{5}{6}\cos\theta\right)g \cdot R_c^2$ $(\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi \text{ 인 경우})$ $M = \left(-\frac{1}{8}\pi + (\pi - \theta)\sin\theta - \frac{5}{6}\cos\theta - \frac{1}{2}\pi \cdot \sin^2\theta\right)g \cdot R_c^2$	$(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \text{ 인 경우})$ $N = \left(\theta \cdot \sin\theta - \frac{1}{6}\cos\theta\right)g \cdot R_c$ $(\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi \text{ 인 경우})$ $N = \left(-\pi \cdot \sin\theta + \theta \cdot \sin\theta + \pi \cdot \sin^2\theta - \frac{1}{6}\cos\theta\right)g \cdot R_c$	$(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \text{ 인 경우})$ $Q = \left(\theta \cdot \cos\theta + \frac{1}{6}\sin\theta\right)g \cdot R_c$ $(\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi \text{ 인 경우})$ $Q = [(\pi - \theta)\cos\theta - \pi \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta - \frac{1}{6}\sin\theta]g \cdot R_c$
세그먼트 링 수평지름점의 수평방향변위 (δ)	<p>(라이닝 자중에 의한 지반반력을 고려하지 않은 경우) :</p> $\delta = \frac{\{2(p_{e1} + p_{w1}) - (q_{e1} + q_{w1}) - (q_{e2} + q_{w2})\}R_c^4}{24(\eta \cdot EI + 0.0454k \cdot R_c^4)}$ <p>(라이닝 자중에 의한 지반반력을 고려하는 경우) :</p> $\delta = \frac{\{2(p_{e1} + p_{w1}) - (q_{e1} + q_{w1}) - (q_{e2} + q_{w2}) + \pi g\}R_c^4}{24(\eta \cdot EI + 0.0454k \cdot R_c^4)}$ <p>여기서, EI 는 단위폭당 휨강성임</p>		

주) 일본 터널표준시방서(철도공법편) · 동해설(2006)에서 발췌



표 3. 강재 세그먼트의 형상 치수(단위 : mm)

외 경	폭	두께	세그먼트 분할
1800~2000	750	75 100	6 분 할
2150~2550	900 1000	100 125	6 분 할
2750~3350	900 1000	100 125 150	6 분 할
3550~4050	900 1000	125 150 175	7 분 할
4300~4800	900 1000	150 175	7 분 할
5100~5700	900 1000	175 200 225	7 분 할
6000	900 1000	200 225	7 분 할
6300~6900	900 1000	250 275	7 분 할
7250~8300	900 1000	300 325 350	8 분 할

표 4. 콘크리트 평판형 세그먼트의 형상, 치수(단위 : mm)

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

- (6) 볼트 지름에 비하여 볼트 구경이 너무 크면 세그먼트에 큰 결함을 발생시켜 시공 시 하중증가의 원인이 될 수도 있으므로 주의하여야 한다.
- (7) 세그먼트를 볼트로 결합하는 경우, 볼트구경의 표준은 <표 5> 및 <표 6>에 나타낸 바와 같다. 볼트 대신에 핀을 사용하는 경우, 구경의 여유는 <표 5>를 따른다.

표 5. 상자형 및 평판형 세그먼트

볼트경 (mm)	16	18	20	22	24	27	30	33	36
볼트공경 (mm)	19	21~23	23~25	25~27	27~29	30~32	33~36	36~39	39~41



표 6. 중자형 세그먼트

볼 트 경(mm)	27	30	33
볼트구경(mm)	32~33	35~38	38~41

- (8) 테이퍼 링은 곡선용과 선형수정용으로 분류할 수 있으며, 일반적으로 곡선용 테이퍼 링을 선형수정용으로도 이용할 수 있다.
- (9) 선형수정용의 테이퍼 링 수는 설계의 대상이 되는 터널 구간 내에 준비해야 하는 모든 링 수에서 곡선용의 테이퍼 링 수를 제외한 나머지 링 수의 5% 정도를 기준으로 하여야 한다.
- (10) 테이퍼 링의 최대 폭은 강재 세그먼트에서는 표준 폭과 비슷하든지 또는 그것보다 작은 것으로 하여야 한다.
- (11) 테이퍼량은 세그먼트 폭, 세그먼트의 외경곡선반경 및 곡선구간에서의 테이퍼 링의 사용비율과 함께 테일 클리어런스 등을 고려하여 결정하여야 한다. 테이퍼 량, 테이퍼 각의 일반기준치는 <표 7>과 같다.

표 7. 테이퍼 량, 테이퍼 각

세그먼트의 외경 $2R_0$	$2R_0 < 4m$	$4m \leq 2R_0 < 6m$	$6m \leq 2R_0 < 8m$	$8m \leq 2R_0 < 10m$	$10m \leq 2R_0 < 12m$
테이퍼량(mm)	15~45	20~50	25~60	30~70	32~80
테이퍼 각(°)	15~60	15~45	10~35	10~30	10~25

- (12) 12m를 넘는 대구경 쉘드나 특수형상의 경우는 미리 책임기술자와 협의한 다음 테이퍼 량, 테이퍼 각을 별도로 정하도록 하여야 한다.

7. 세그먼트 라이닝의 이음 및 체결방식

세그먼트 이음에는 세그먼트를 원통방향으로 결합하는 세그먼트 이음과 종단방향으로 연결하는 링 이음이 있다. 세그먼트라이닝의 주 구조가 되는 세그먼트 본체 및 이음구조는 터널 공용 후에 필요한 기능은 물론 시공 중의 안전을 만족할 수 있도록 설계하여야 한다. 볼트 이음의 경우 갱구부를 제외한 구간은 체결을 풀어 지반 내에서 세그먼트가 자연스럽게 구속되도록 하는 경우도 있다. 갱구부의 영구 체결용 볼트는 스텐인리스 재료를 사용하여 부식을 방지하도록 하여야 한다.

- (1) 세그먼트의 이음은 <그림 9>와 같이 분류되는 세그먼트 링의 단면력 계산방법에 따라 계산하여야 한다.

- ① 강성일체 링
- ② 다(多) 힌지계 링
- ③ 빔-스프링 모델 링

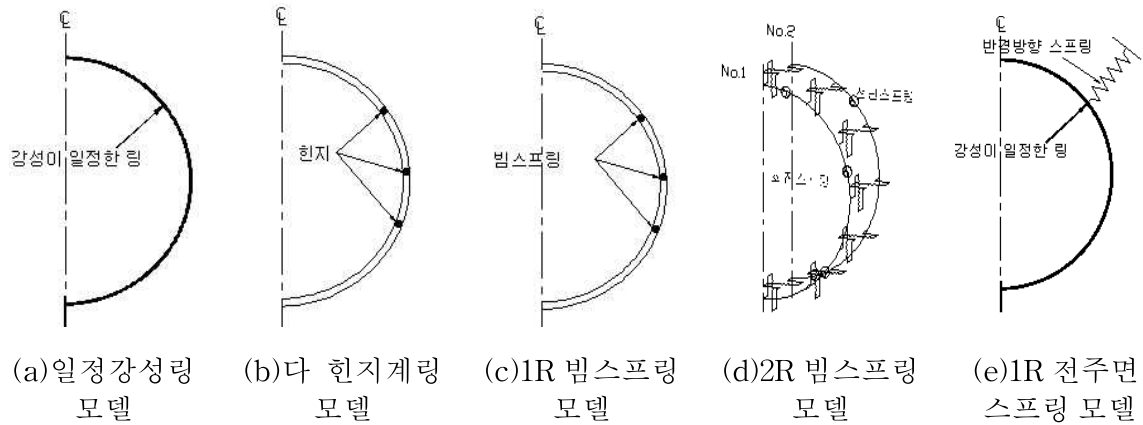
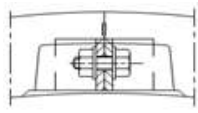

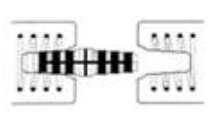
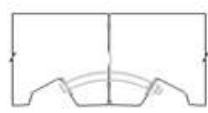


그림 9. 세그먼트 이음부에 대한 모델

표 8. 세그먼트 이음부 체결방식

구분	Bolt 박스 방식	경사 Bolt 방식	Pin 방식(삽입형)	곡 Bolt 방식
단면 형상				
체결력	체결력이 아주 높다	체결력이 낮다	체결력이 아주 낮다	체결력이 높다
조립성	조립이 간편하고 시공성이 좋으며 조립 후 제거해체 작업이 용이	조립공정이 비교적 간단하며 조립 후 제거해체 작업이 용이	조립공정은 비교적 간단하나 조립 후 제거해체 작업이 불가능	조립공정이 비교적 복잡하나 조립 후 제거해체 작업이 용이
정밀도	조립정밀도 양호	조립정밀도 보통	조립정밀도 불량	조립정밀도 보통
누수 문제	2열의 지수재와 체결력이 높아 누수가 적다	1열의 지수재와 체결력이 낮아 누수가 많다	2열의 지수재와 체결력이 낮아 누수가 많다	1열의 지수재지만 체결력이 높아 누수가 적다
안정성	볼트박스 설치로 구조적으로 취약하나 Jack 추진력에 대한 대응성이	볼트 체결력이 낮아 완전체결이 되지 않을 경우, 세그먼트의 조립틈 발생으로 안정성 확보에 불리	급곡선 시공시 세그먼트의 마찰 및 조립틈 등의 발생으로 및 안정성 확보에 불리	안정성이 높고 Jack 추진력에 대한 대응성이 좋다
경제성	고가	비교적 저렴	비교적 고가	비교적 저렴



- (2) 링 이음 : 링 이음은 시공시 하중 등을 고려하여 터널 축방향의 연속성이 확보될 수 있도록 검토하여야 한다. 다 힌지계 세그먼트 링에서는 세그먼트의 조립에서 뒤채움 주입재가 경화하기까지 변형을 방지하기 위해 그 구조특성을 침해하지 않는 이음을 사용함과 동시에 변형방지의 보조수단도 강구하여야 한다.
- (3) 볼트 이음 : 볼트 지름에 비하여 볼트 구경이 너무 크면 세그먼트에 큰 결함을 발생시켜 시공시 하중증가의 원인이 될 수도 있으므로 주의하여야 한다.

해설 2. 방수설계

세그먼트라이닝은 지하수압에 견딜 수 있고 방수가 될 수 있도록 반드시 세그먼트간의 이음부, 볼트구멍, 뒤채움 주입구에 방수설계를 수행하여야 한다.

- (1) 세그먼트라이닝은 터널의 구조적 기능과 방수기능을 가져야 한다. 세그먼트 이음부의 방수, 배면 뒤채움 등으로 대표되는 쉘드TBM 터널의 방수공사는 터널굴진 중 세그먼트의 거치작업과 동시에 이루어진다. 쉘드TBM 터널의 방수품질은 방수재료의 성능, 방수공정 외에도 굴진정밀도와 세그먼트 조립상태 등의 모든 공정에도 관련성이 깊다. 허용오차범위 내에서의 세그먼트 조립은 구조적 측면이나 방수측면에서도 매우 중요하다.
- (2) 세그먼트라이닝에서 지하수의 침투경로는 뒤채움 주입층, 세그먼트, 콘크리트라이닝의 3단계로 구성된다. 뒤채움 주입은 효과적인 차수방법이지만 품질관리가 어려워 통상 설계단계에서 차수효과를 고려하지는 않는다. 세그먼트 이음부의 방수기술이 미흡했던 과거에는 2차 라이닝이 적용되었지만, 최근에는 차수목적으로는 거의 적용하지 않는다. 다만, 수로터널인 경우 표면의 조도계수를 향상시키기 위하여 적용되는 사례는 있다.
- (3) 아직 국내에는 적용사례가 없지만 현장타설 콘크리트라이닝(ECL : Extruded Concrete Lining 공법)의 방수작업은 터널굴진과 보강작업이 완료된 후에 별도로 수행된다.

1. 방수재료 및 특성

- (1) 실(Seal)재는 합성고무계, 복합고무계, 수팽창 고무계 등이 있으며, 현장 조건을 고려하여 수밀성, 내구성, 압착성, 복원성 및 시공성 등이 우수한 재료를 선택하여 설계하여야 한다.
 - ① 실(Seal)의 재질은 미가황 부칠고무계, 합성고무계, 합성수지계, 수팽창계 등이 있다. 수팽창계로는 지하수와 반응하여 체적 팽창하는 흡수성폴리머를 천연고무 또는 우레탄 등을 혼합한 것이 일반적으로 이용되고 있다(김용일 등, 2003).
 - ② 실재는 다음과 같은 특성을 가져야 한다.
 - 가. 설계상 허용되는 이음부 오차에 대하여 수밀성을 확보하여야 한다.
 - 나. 설계상 고려되는 작용수압에 대하여 수밀성을 확보하여야 한다.
 - 다. 쉘드 잭에 의한 반복 추력이나 세그먼트의 변형에 따라서 수밀성을 잃지 않아야 한다.
 - 라. 쉘드 잭의 추력 및 볼트 체결에 내력을 가져야 한다.



- 마. 세그먼트 조립의 정밀도에 영향을 미치지 않아야 한다.
 - 바. 세그먼트 조립시 및 완성 후에 세그먼트 자체에 영향을 미치지 않아야 한다.
 - 사. 내후성, 내약품성이 우월한 것이어야 한다.
 - 아. 부착시의 작업성이 좋아야 한다.
- (2) 코킹재는 에폭시, 치오클레, 요소수지계 등의 재료가 있으며, 현장 조건을 고려하여 적합한 재료로 설계하여야 한다.
- ① 코킹 방수 : 실제로는 완전방수가 되지 않고 터널 완성 후 누수 발생의 가능성이 있는 세그먼트 이음줄 눈에 코킹재를 충전하여 방수하여야 한다. 2열 실재 방수가 적용되는 세그먼트에는 코킹방수를 생략할 수도 있다. 코킹방수는 내측 이음부에 폭 3~10mm, 깊이 10~20mm의 홈을 설치하고 방수재를 압입하는 방식이다.
- ② 코킹 방수재는 에폭시계와 실리콘계가 주로 사용되며 필요한 성질은 다음과 같다.
- 가. 수밀성은 물론 내약품성, 내후성(耐朽性)이 뛰어나야 한다.
 - 나. 습윤상태에서도 시공성이 뛰어나야 한다.
 - 다. 신축성과 복원성이 풍부하여야 한다.
 - 라. 경화 시 수분의 영향이 적어야 한다.
 - 마. 시공 후 즉시 경화하여야 한다.
 - 바. 경화 후 신축성이 적어야 한다.
- (3) 2차 라이닝을 시공하지 않을 경우에는 터널의 용도와 환경 조건을 고려하여, 세그먼트 라이닝의 내구성을 확보하기 위한 부식 방지 대책을 적용할 수 있다.
- (4) 작업구, 피난연락통로 등 타 구조물과의 접속부에서 세그먼트의 지수성을 확보할 수 있도록 방수설계를 수행하여야 한다.

2. 방수방법의 선정

방수방법의 선정 시에는 쉘드TBM 터널의 사용목적과 작업환경에 적합한 방법을 선정하여야 한다. 세그먼트 라이닝의 방수방법에는 실링, 코킹, 볼트체결 등의 형식이 있으며, 사용목적과 현장여건에 부합하도록 한 가지 또는 여러 가지의 방법을 조합하여 설계할 수 있다.

방수공은 터널의 사용목적에 따라 작업환경에 적합한 방법으로 계획하여야 한다. 터널은 지하수위 하부에 구축되는 경우가 많으므로 세그먼트의 이음면에는 지하수압에 견딜 수 있는 방수공이 필요하다. 터널 내부로의 누수는 완성된 터널의 기능이나 유지관리에 문제를 발생시키므로 주의가 필요하다(일본토목학회, 2005). 쉘드TBM의 방수공에는 실(Seal), 코킹(Cocking) 및 볼트(Bolt) 등이 있으며, 목적에 따라 실 공만으로는 하는 경우와 실 공과 다른 방수공을 조합하여 계획하는 경우가 있다.

- (1) 실 방수 : 세그먼트 우각부는 실재의 부착에 주의가 필요하며 세그먼트 운반시에 실재의 손상이 발생하지 않도록 하여야 한다. 고수압 또는 내압이 작용하는 경우에는 실 설치를 확실하게 하기 위하여 실재를 이중으로 한다든지 세그먼트 우각부의 밀착성을 확보하기 위하여 심이 없도록 가공하는 것도 사용되고 있다.
- (2) 볼트 방수 : 볼트 체결구를 통하여 지하수가 침투되기 쉬우므로 볼트 체결을 풀어 뒤채움 주입작업을 하는 경우에는 작업완료 후 볼트와셔와 볼트공 사이에 플라스틱 마개 등의 패킹재로 누수를 방지하여야 한다. 일반적으로 합성고무나 합성수지성의 링 형상이 이용되며 우레탄계의 수팽창 재료도 있다. 볼트공에 사용되는 패킹재에 필요한 특성은 다음과 같다.
- ① 신축성이 좋고 수밀성을 잃지 않아야 한다.
 - ② 볼트 체결력에 견뎌야 한다.
 - ③ 내구성을 갖추어 열화되지 않아야 한다. 볼트 체결 후 시간이 경과하면 체결력이 감소하는 것도 있는데 패킹재의 크리프 영향도 적지 않다.



RECORD HISTORY

Rev.0('24.06.04) 상위기준(KDS 등)과 체계일치, 현행화 등 시행을 위한 건설기준 고도화
용역 검토사항 등을 반영한 KR CODE 체계 개편 및 개정(기준심사처-715호,
'24.06.04)

KR CODE 개편사항		
당 초		개 정
KR C-12040 콘크리트 라이닝	⇒ (코드 분할)	KR C-12040 터널 현장타설 라이닝
		KR C-12045 터널 세그먼트 라이닝