

# 도로터널 방재시설 설치지침(건교부)에 따른 피난연결통로 추가설치 검토

-터널 라이닝 구조계산을 중심으로

피난연락갱은 터널에서 화재 또는 긴급상황 발생시 화염 및 가스(매연) 등으로 인한 피해로부터 운전자와 승객을 우선 피난시키기 위한 시설로 매연 확산속도와 대피속도를 고려하여 적정간격으로 설치하며, 구급차 및 소방차의 진·출입으로 피해를 최소화하고 유지관리시에도 이용할 수 있어야 한다.



## 1 개요

최근 들어 교통 및 산업사회의 발달과 함께 도로나 철도 건설의 수요가 증가하고 있으며, 이러한 공간의 활용성과 편의성을 높이고 동시에 안정성 확보에 대한 관심이 증대되고 있다. 우리나라는 국토의 약 2/3가 산악지형으로 철도 및 도로건설에 있어 산맥 등의 지형적 장벽을 극복하는 수단으로 터널의 건설이 불가피한 실정이다. 터널은 철도 및 도로의 선형 확보와 대도시에서의 복잡한 교통망을 원활히 하는데 있어 무엇보다 그 역할이 중요하다고 할 수 있다.

현재 국내에서 건설된 터널은 길이가 대부분 1km미만이지만, 육상교통이 점차 고속화 되면서 주행의 안정성을 위해 터널은 점차 장대화되고, 향후 수적인 증가가 지속될 전망이다. 2004년 4월에 개통된 고속철도의 경우를 보더라도 터널수는 83개소이고, 터널 전체 길이가 무려 189km에 이른다. 그러나 중형비가 작고 외기의 공급이 한정된 특수한 환경하에 있는 터널에서 화재 및 기타의 사고가 발생할 경우 대량의 유독가스와 열기가 급속도로 퍼질 우려가 있다.

대표적인 터널화재 사례로는 1999년 3월 24일 프랑스와 이탈리아를 연결하는 몽블랑 터널에서 트럭의 폭발로 인하여 사망 39명, 부상 30명에 달하는 사상자가 발생하였다.

오스트리아의 키츠슈타인호른에서는 케이블 열차에서 터널을 통과 할 무렵 화재가 발생 155명이 사망하였고, 스위스에서는 생 고타르 터널에서 트럭의 충돌로 인하여 화재가 발생 11명이 사망하였다.

최근 우리나라에서도 대구지하철 화재사고를 비롯하여 터널내 많은 화재로 인한 피해사태가 증가됨에 따라 보다 강화된 터널방재설비 계획을 수립하고 있다.

00도로 현장의 경우, 한국도로공사 “터널방재 시설기준” 및 “소방법 시행령 제28, 29, 30, 32조” 기준에 의거하여 터널의 방재설비 계획이 수립되었으나, 최근 건설교통부 및 도로공사에서 제시한 “도로터널 방재시설 설치지침(건설교통부:2004)” 및 “피난연락갱 설치기준 개선안(한국도로공사: 2003)”의 최신 방

재기준을 적용하여 시공에 반영한 사례를 소개하고, 기존의 방재기준과 달라진 점을 터널연장 L=1,000m미만을 기준으로 비교하고자 한다.

## 2 방재설비계획비교

아래【표 1】과 【표 2】에서와 같이 L=1,000m미만의 터널을 기준으로 볼 때, 기존의 방재설비 기준과 가장 큰 차이를 보이는 것은 대인용 피난연락갱의 설치유무라 할 수 있다. 실제 00도로 현장에서 변경 방재설비 계획에 따라 피난연락갱 시공계획을 수립한 사례에 대해 한국도로공사 “피난연락갱 설치기준 검토(2003.08)”에 의거하여 설계적용할 경우 고려해야할 사항에 대해 알아보하고자 한다.

■ 표 1. 기존 방재설비 계획

방재설비	터널연장	1,000이상	500이상	200이상	200미만	적용	
소방설비	소화설비	소화기구	-	-	-	-	◎
		옥내소화전설비	-	-	-	-	
		물분무 설비	-	-	-	-	
	경보설비	비상경보설비	-	-	-	-	◎
		화재감지기	-	-	-	-	
		비상방송설비	-	-	-	-	
피난설비	비상조명등	-	-	-	-	◎	
	유도표시판	-	-	-	-		
	재연설비	-	-	-	-		
기타시설	소화활동설비	무선통신보조설비	-	-	-	-	◎
		연결송수관설비	-	-	-	-	
		비상콘센트설비	-	-	-	-	◎
	통로설비	비상전화	-	-	-	-	◎
		정보표지판(터널입구)	-	-	-	-	
		비상전원설비	-	-	-	-	◎
기타설비	라디오재방송설비	-	-	-	-	◎	
	CCTV	-	-	-	-		
	피난연락갱	-	-	-	-		
비상주차대	-	-	-	-			

■ 표 2. 변경 방재설비 계획(도로터널 방재시설 설치기준(안); 터널공학회)

방재설비	터널연장	1,000이상	500이상	200이상	200미만	적용	
소방설비	소화설비	소화기구	-	-	-	-	◎
		옥내소화전설비	-	-	-	-	
		물분무 설비	-	-	-	-	
	경보설비	비상경보설비	-	-	-	-	◎
		화재감지기	-	-	-	-	
		비상방송설비	-	○	-	-	
피난설비	비상조명등	-	-	-	-	◎	
	유도표시판	-	○	-	-		
	재연설비	-	-	-	-		
기타시설	소화활동설비	무선통신보조설비	-	-	-	-	◎
		연결송수관설비	-	-	-	-	
		비상콘센트설비	-	-	-	-	◎
	통로설비	비상전화	-	-	-	-	◎
		정보표지판(터널입구)	-	-	-	-	
		비상전원설비	-	-	-	-	◎
기타설비	라디오재방송설비	-	-	-	-	◎	
	CCTV	-	-	-	-		
	피난연락갱	-	○	-	-	(대인용)	
비상주차대	-	-	-	-			

: 기존적용기준, ○ : 최근기준-2004년도 설계방침안 기준 대비, ◎ : 적용안

## 3 피난연락갱 추가 설치검토

### 3-1. 개요

피난연락갱은 터널에서 화재 또는 긴급상황 발생시 화염 및 가스(매연) 등으로 인한 피해로부터 운전자와 승객을 우선 피난시키기 위한 시설로 매연 확산속도와 대피속도를 고려하여 적정간격으로 설치하며, 구급차 및 소방차의 진·출입으로 피해를 최소화하고 유지관리시에도 이용할 수 있어야 한다.

### 3-2. 피난연락갱 설치기준

한국도로공사 「피난 연락갱 설치기준 검토(2003. 8)」기준에 의거하여 피난연락갱 설치 기준 및 규격은 다음과 같은 사항을 고려하여 선정하였다.

· 피난 연락갱 설치간격

- 1,000m 이상의 2차로 병설터널

➡ 750m 간격으로 차량용 피난연락갱 설치

➡ 차량용 사이에 250m 간격으로 대인용 추가설치

- 500m 이상 1,000m 미만의 2차로 병설터널

➡ 대인용 피난연락갱만 설치하는 것을 원칙으로 하되 터널 전후구간의 우회여건을 고려하여 필요하다고 판단되는 경우 차량용 설치가능

➡ 간격은 배치를 고려하여 300m까지 허용

- 500m 미만

➡ 설치하지 않는 것을 원칙으로 하되 교통특성, 터널조건 등을 고려하여 필요하다고 판단되는 경우 대인용 1개소를 설치할 수 있음

### ■ 표 3. 단면선정

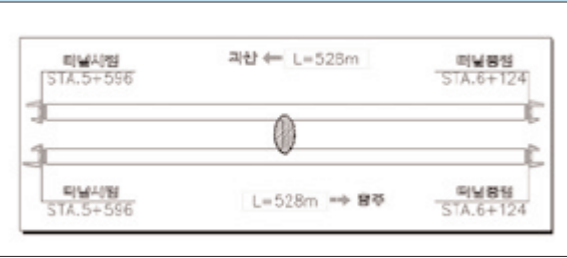
구분	차량겸용	대인전용
단면		
설치규격	4.7(W) × 3.5(H)	2.5(W) × 2.5(H)
공사비	2.2억원(개소, L=20m)	1.5억원(개소, L=20m)
적용		◎

### 3-3. 설계적용사례

· 00터널은 500~1,000m의 터널로 비상시 사람들이 피난

이 가능한 대인전용의 소형(2.5m(폭)×2.5m(높이))으로 설치하는 것으로 계획하였으며, 설치간격은 개선된 피난연결통로설치 기준에 따라 최대 214m로 계획하여 1개소에 설치하는 것으로 하였다.

■ 그림 1. 피난 연락갱 설치 위치도



■ 표 4. 피난 연락갱 개요

피난갱 위치	피난갱 설치간격	피난갱 연장	비 고
Sta. 5+860	214 (500m~1,000m 미만의 2차로 병설터널의 경우 피난갱 설치간격을 300m 가지 허용)	18,992m	대인용

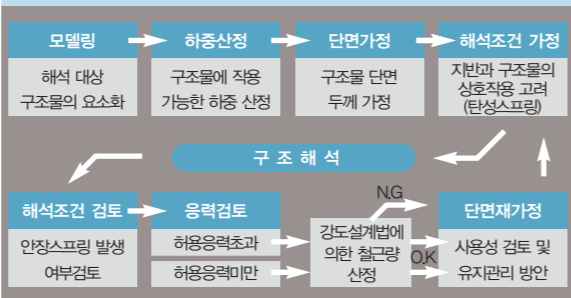
### 3-4. 피난연락갱 라이닝 구조검토

#### 1) 검토개요

- 터널 라이닝 구조물은 사용목적에 따라 구조체로서의 역할적 기능과 비배수터널의 내압기능 그리고 영구구조물로서 내구성 및 미관기능 등을 확보하여야 한다.
- 일반적으로 NATM 공법을 이용한 터널시공에서는 터널 주변 원지반과 지지보재를 영구 복합구조체로서 판단하고 있다.
- 그러나 시간 경과에 따른 1차 지보재의 내구성 저하, 슛크리트 균열, 록볼트의 크립 및 부식 등으로 인하여 발생 가능한 지중응력을 콘크리트 라이닝이 일정 부담할 수 있어야하며 미관과 유지관리 기능 및 장기적인 내구성 확보를 통한 2차 지보재로서의 안정성을 확보해야 한다.
- 본 과업은 연장증가로 인하여 피난연결통로가 추가로 시공되기 때문에 피난연결통로의 콘크리트 라이닝 기능 확보를 위해 암반이완하중의 작용형태와 부직포 폐색에 의한 잔류수압을 검토하였으며 검토 결과를 합리적으로 적용하여 구조계산을 수행하였다.

### 2) 설계흐름

■ 그림 2. 설계흐름도



### 3) 구조해석 적용 프로그램

- 본 과업구간내 시공되는 피난연결통로(대인용) 라이닝에 대하여 범용 구조해석 프로그램인 SAP2000을 적용하여 구조물의 안정성 검토를 수행하였으며, 해석결과 부재응력이 허용응력을 초과하는 경우 RC-MANIA를 이용하여 강도설계법을 수행하였다.

■ 표 5. 구조해석 적용 프로그램

프로그램	개 요	비 고
SAP 2000	· 2차원 및 3차원 프레임요소, ASOLID요소, PLATE요소, SHELL요소 및 AXISYMMETRIC요소 등을 이용한 선형 정적 및 동적해석이 가능한 범용 구조해석 프로그램	· 구조물의 단면력 및 변위산정
RC-MANIA	· 구조해석 결과를 근거로 보, 슬래브, 벽체, 기둥 등의 단면을 설계하는 프로그램	· 강도설계법에 의한 철근량 검토

### 4) 지반 모델링

- 일반적으로 콘크리트라이닝 해석에서 사용되는 지중골조모델(Embedded Frame Model)은 콘크리트를 보요소의 연속체로, 지반과의 상호작용은 탄성스프링으로서 모델링하며 해석과정의 임베드먼트는 콘크리트 라이닝 중심선에 직각방향으로 설치되는 스프링요소로서 모델링 된다. 터널주변의 지반스프링계수는 Woelfer 공식에 의해 산정하였다.

$$K_s = \frac{E_s}{R} L \quad (* \text{인장력이 작용하는 스프링 : 지반반력계수 } 0)$$

$K_s$ : 단위접선길이당 스프링계수,  
 $E_s$ : 주변지반의 변형계수  
 $R$ : 등가라이닝의 콘크리트 반경  
 $L$ : 부재길이



### 5) 설계기준

- 참고문헌 및 관련시방서
  - 용역 설계서 · 콘크리트 구조설계기준(건설교통부)
  - 도로교 설계기준(건설교통부) · 도로교 표준시방서(건설교통부)
  - 터널 표준시방서(건설교통부) · 구조물기초 설계기준(건설교통부)
  - 도로 설계편람(건설교통부) · 국도건설공사 설계실무요령(건설교통부)

### 6) 재료 및 강도특성

■ 표 6. 재료 및 강도특성

구 분	단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	강 도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	포아송비
철근 콘크리트	2.50	260,000	240	0.180
철근(SD35)	7.35	2,000,000	3,000	0.25~0.30

### 7) 최소 피복두께

- 철근 최소 피복두께는 최외단 철근의 바깥표면으로부터 콘크리트 표면까지의 길이를 말하며 최소 피복은 철근의 산화방지, 내회구조 형성, 부작응력 확보를 통하여 터널 구조물의 내구성 증진을 목적으로 한다.

■ 표 7. 최소 피복두께

구 분	최소 피복두께	
흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀있는 콘크리트	8cm	
흙에 접하거나 외기에 노출되는 콘크리트	· D29 이상 철근	6cm
	· D25 이하 철근	5cm
	· D16 이하 철근, 지름 16mm 이하의 철선	4cm
외기나 흙에 접하지 않는 콘크리트	· D35를 초과하는 철근	4cm
	· D35 이하인 철근	2cm
	· $f_c k \geq 400 \text{ kg/cm}^2$ 이상인 경우 1cm 저감 가능	4cm
	-	2cm

※콘크리트 라이닝의 피복두께는 최소 4cm가 되도록하는 것이 타당하며, 10cm 이상으로 하는 것은 바람직하지 못하다.(도로설계 실무편람, 건설교통부)

### 8) 작용하중의 평가 및 산정

- NATM 공법을 적용한 터널은 암반이 가진 강도를 적극 활용하며 1차 지보재(스프링, 록볼트)를 지보 주체로 사용하지만 시간 경과에 따른 1차 지보재의 내구성 저하로 인하여 콘크리트 라이닝 구조물에 암반이완하중 등의 기타 외력이 작용하므로 이에 대한 평가가 요구된다. 그러므로 본 해석에서는 피난연결통로의 특성을 고려하여 작용암반이완하중의 형상을 검토하였으며 또한 장기

적으로 발생가능한 부직포 폐색현상에 의한 잔류수압을 라이닝 구조물 해석시 적용하였다. 암반이완하중은 Rose에 의해 수정된 Terzaghi 암반이완하중도표로부터 산정하여 2차 지보재로서의 터널 라이닝 구조물의 안정성을 확보하였다.

■ 표 8. 암반이완하중

암 반 상 태	RQD	암반하중 높이 Hp(m)	비 고
1. 경질의 무결암	95 ~ 100	0	스프링이나 표핑이 일어날 경우에만 얇은 라이닝
2. 경질의 층상 혹은 편상(SCHISTOSE)			스프링 방지를 목적으로 간단한 지보 암반 하중은 위치에 따라 불규칙하게 변할수 있음
3. 과상, 보통정도의 절리가발달	85 ~ 95		0 ~ 0.25B
4. 보통정도의 블록상, 균열상	75 ~ 85	0.25B ~ 0.20(B + H)	측압이 없음
5. 심한 블록상,균열상	30 ~ 75	(0.20 ~ 0.60)(B + H)	측압이 아주작거나 없음
6-1. 완전히 파쇄되었으나 화학적으로 신선	3 ~ 30	0.60 ~ 1.10(B + H)	상당한 측압
6-2. 모래와 자갈	0 ~ 30	1.10 ~ 1.40(B + H)	· 지하수 유출로 터널 바닥이 약화되는 경우, 철재 지보의 비탄성침대를 설치하거나 원형철재 지보를 설치해야 함
7. 압축성 암반 보통 정도의 심도	NA	(1.10 ~ 2.10)(B + H)	· 큰 측압이 작용하며 인버트 버팀대가 필요, · 원형 철재지보가 사용되는 것이 좋다.
8. 압축성 암반, 대심도	NA	(2.10 ~ 4.50)(B + H)	
9. 팽창성 암반	NA	(B + H)값에 관계없이 250t까지 지보를 사용	· 원형 철재지보가 필요, · 극단적인 경우 가축성

### 9) 하중조합 및 적용하중

■ 표 9. 하중조합(콘크리트 구조설계기준)

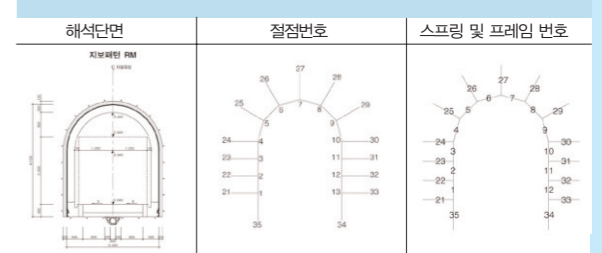
해석단면	하중종류 및 하중조합	
피난연결통로	1	1.54×자중 + 1.8×암반이완하중 + 1.8×잔류수압
	2	0.99×자중 + 1.8×암반이완하중 + 1.8×잔류수압
	3	1.00×자중 + 1.0×암반이완하중 + 1.0×잔류수압

■ 표 10. 패턴별 적용하중

구 분	이완하중고 (m)	암반이완하중 (t/m <sup>2</sup> )	잔류수압 (t/m <sup>2</sup> )	비 고
피난연결통로	0.4(H+B)=3.164	5.997	1.423	· Terzaghi 이완하중도표 H : 터널높이, B : 터널폭 · 통상적으로 암반하중에서 사용되는 1/3×H 사용

### 10) 피난연결통로 콘크리트 라이닝 설계

■ 그림 3. 해석개요 및 단면특성



■ 표 11. 해석개요 및 단면특성

구분	B(m)	H(m)	A(m²)	I(m⁴)	해당부재	비고
1	1.000	0.300	0.300	0.00225	1~12	라이닝
2	-	-	1.0	1.0	21~35	스프링

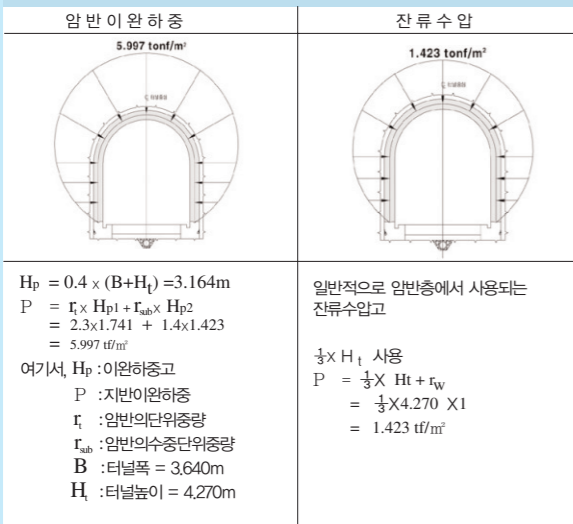
- 하중조합

- CASE I : 1.54 × 자중 + 1.8 × 암반이완하중 + 1.8 × 잔류수압
- CASE II : 0.99 × 자중 + 1.8 × 암반이완하중 + 1.8 × 잔류수압
- CASE III : 1.00 × 자중 + 1.0 × 암반이완하중 + 1.0 × 잔류수압

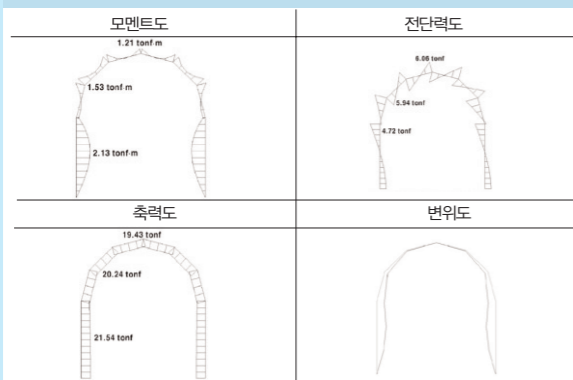
■ 표 12. 스프링 계수 산정(Woelfer공식 이용)

스프링 번호	부재길이 L(m)	지반탄성계수 E(tf/m²)	터널반경 R(m)	스프링계수 K <sub>s</sub> (tf/m²)	비고
21, 33	0.322	240,000	5.00	1,543	K <sub>s</sub> = $\frac{E}{R}$ L
22, 23, 31, 32	0.643	240,000	5.00	3,086	
24, 30	0.723	240,000	5.00	3,486	
25~29	0.802	240,000	1.55	12,418	
34, 35	0.595	240,000	5.00	2,856	

■ 그림 4. 적용하중 개요도



■ 그림 5. 해석결과

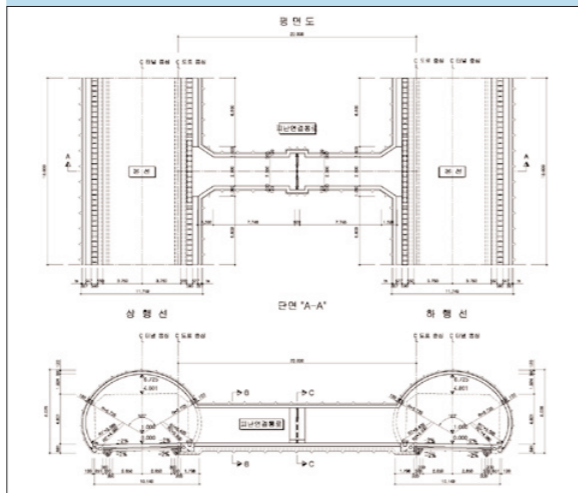


■ 표 13. 해석단면력

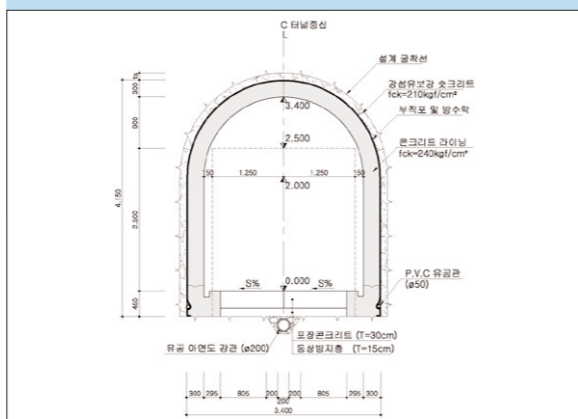
검토위치	극한단면력			공칭단면력			적용철근량	
	Mu (tf·m)	Pu (tonf)	Vu (tonf)	σMn (tf·m)	σPn (tonf)	σVn (tonf)	주철근	전단철근
천단부	1.210	19.430	6.060	19.786	317.702	22.308	D19@125	D13@400 다리수 2.7EA
어깨부	1.530	20.240	5.940	21.589	285.622	22.339		
측벽부	2.130	21.360	4.720	23.778	238.427	22.383		

- 결과분석
- 해석대상 : 피난연결통로(RM)
- 적용하중 : 자중, 지반이완하중(5.997tf/m²), 잔류수압(1.423t/m²)
- 최대 단면력이 발생하는 CASE I 의 하중조합을 철근량 산정에 적용
- 결과분석 : 콘크리트 자체의 강도만으로 부족하여 철근을 보강하여 검토한 결과 만족

■ 그림 6. 본선~피난연결통로 일반도



■ 그림 7. 피난연락갱 표준단면도



■ 철근량산정

○ 천단부 설계

검토조건

fck = 240.0 kgf/cm²    fy = 3000.0 kgf/cm²  
 Øc = 0.70            Øv = 0.80            α = 0.80

극한 모멘트 Mu = 1,210 tf·m    극한 축력 Pu = 19,430 tonf  
 단면의 두께 H = 30,000 cm    단위폭 B = 100,000 cm  
 유효 깊이 D = 25,000 cm    피복두께 Dc = 5,000 cm  
 작용 편심 e = 6,227 cm

인장축 철근 Ast = 22,920cm²

1단 (dc = 5cm) : D 19 @ 12.5 cm

압축축 철근 Asc = 22,920cm²

1단 (dc = 5cm) : D 19 @ 12.5 cm

평형상태 검토

c = 6000 / (6000 + fy) \* d = 16,667 cm  
 k1 = 0.850    a = k1 \* c = 14,17 cm  
 Cck = 0.85 \* fck \* B \* H = 612000.0 kgf  
 소성중심 x = (Cck \* H/2 + fy \* Asc \* dc + fy \* Ast \* d) / (Cck + fy \* Asc + fy \* Ast)  
 = 15,00 cm

콘크리트 Cc = 0.85 \* fck \* a \* b = 289000.0 kgf  
 압축철근 Cs = (fs - 0.85 \* fck) \* Asc = 64084.3 kgf  
 (esc > ey →) fs = fy = 3000.00 kgf/cm²

인장철근 Ts = fy \* Ast = 68760.0 kgf

평형축력 Pb = Cc + Cs - Ts = 284324.3 kgf

평형모멘트 Mb = Cc(x-a/2) + Cs(x-dc) + Ts(d-x)  
 = 3616360.0 kgf·cm

평형편심 eb = Mb / Pb = 12,72 cm  
 e < eb → 압축파괴영역

공칭 강도

e\_min = 2,93 cm < e = 6,23 cm  
 → 철근의 응력을 Trial & Error Method로 계산한다.  
 c = 23,12 cm로 가정하면.. a = k1 \* c = 19,65 cm  
 fsc = 3000.00 kgf/cm²,    fst = 487,2 kgf/cm²

Pn = 0.85 fck \* a \* B + Asc \* fsc - Ast \* fst  
 = 453859.7 kgf  
 Mn = 0.85 fck \* a \* B \* (x-a/2) + Asc \* fsc \* (x-dc) - Ast \* fst \* (d-x)  
 = 2826581.0 kgf·cm  
 e' = Mn/Pn = 6,228 cm ≙ e = 6,227 cm → say O.K.

강도 검토

ØPn = 317,702 tonf ≥ Pu = 19,430 tonf ∴ O.K  
 ØMn = 19,786 tf·m ≥ Mu = 1,210 tf·m ∴ O.K

전단력 검토

Øv \* Sc = Øv \* 0.53 \* (1 + 0.0071 \* Pu / Ag) \* √(αck) \* B \* D / 1000 = 17,18 tonf  
 Su <= 0.5 \* Øv \* Sc ... 전단철근 필요없음  
 사용 전단철근 : 규격(Ds) = D13

다리수(Ns) = 2.7 EA 수평

간격(s) = 40 cm

사용간격 s = 40.0 cm > 최소간격 = min(60cm, 0.5D) = 12.5 cm ... 부족

사용철근량 Av = 철근 개당 면적 \* 철근수(Ns) = 3.42 cm²

Øv \* Ss = Øv \* Av \* σy \* D / (s \* 1000) = 5.13 tonf

Øv \* Sn = Øv \* Sc + Øv \* Ss = 22.31 tonf > Su = 6.06 tonf

∴ O.K

○ 어깨부설계

검토조건

fck = 240.0 kgf/cm²    fy = 3000.0 kgf/cm²  
 Øc = 0.70            Øv = 0.80            α = 0.80

극한 모멘트 Mu = 1,530 tf·m

극한축력 Pu = 20,240 tonf

단면의 두께 H = 30,000 cm    단위폭 B = 100,000 cm

유효 깊이 D = 25,000 cm    피복두께 Dc = 5,000 cm

작용편심 e = 7,559 cm

인장축 철근 Ast = 22,920cm²

1단 (dc = 5cm) : D 19 @ 12.5 cm

압축축 철근  $A_{sc} = 22,920\text{cm}^2$

1단 ( $d_c = 5\text{cm}$ ) : D 19 @ 12.5 cm

**평형상태 검토**

$$c = 6000/(6000+f_y) \cdot d = 16.667 \text{ cm}$$

$$k_1 = 0.850 \quad a = k_1 \cdot c = 14.17 \text{ cm}$$

$$C_{ck} = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot B \cdot H = 612000.0 \text{ kgf}$$

$$\text{소성중심 } x = (C_{ck} \cdot H/2 + f_y \cdot A_{sc} \cdot d_c + f_y \cdot A_{st} \cdot d) /$$

$$(C_{ck} + f_y \cdot A_{sc} + f_y \cdot A_{st})$$

$$= 15.00 \text{ cm}$$

$$\text{콘크리트 } C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot a \cdot b = 289000.0 \text{ kgf}$$

$$\text{압축축철근 } C_s = (f_s - 0.85 \cdot f_{ck}) \cdot A_{sc} = 64084.3 \text{ kgf}$$

$$(\text{esc}) \rightarrow f_s = f_y = 3000.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{인장철근 } T_s = f_y \cdot A_{st} = 68760.0 \text{ kgf}$$

$$\text{평형축력 } P_b = C_c + C_s - T_s = 284324.3 \text{ kgf}$$

$$\text{평형모멘트 } M_b = C_c(x-a/2) + C_s(x-d_c) + T_s(d-x)$$

$$= 3616360.0 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\text{평형편심 } e_b = M_b / P_b = 12.72 \text{ cm}$$

$$e < e_b \rightarrow \text{압축파괴영역}$$

**공칭 강도**

$$e_{\text{min}} = 2.93 \text{ cm} < e = 7.56 \text{ cm}$$

→ 철근의 응력을 Trial & Error Method로 계산한다.

$$c = 21.24 \text{ cm로 가정하면.. } a = k_1 \cdot c = 18.05 \text{ cm}$$

$$f_{sc} = 3000.00 \text{ kgf/cm}^2, \quad f_{st} = 1062.3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_n = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot B + A_{sc} \cdot f_{sc} - A_{st} \cdot f_{st} = 408031.2 \text{ kgf}$$

$$M_n = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot B \cdot (x-a/2) + A_{sc} \cdot f_{sc} \cdot (x-d_{cc}) -$$

$$A_{st} \cdot f_{st} \cdot (d-x)$$

$$= 3084206.0 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$e' = M_n / P_n = 7.559 \text{ cm} \approx e = 7.559 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \text{say O.K.}$$

**강도 검토**

$$\phi P_n = 285,622 \text{ tonf} \geq P_u = 20,240 \text{ tonf} \quad \therefore \text{O.K.}$$

$$\phi M_n = 21,589 \text{ tf} \cdot \text{m} \geq M_u = 1,530 \text{ tf} \cdot \text{m} \quad \therefore \text{O.K.}$$

**전단력 검토**

$$\phi_v \cdot S_c = \phi_v \cdot 0.53 \cdot (1 + 0.0071 \cdot P_u / A_g) \cdot \sqrt{\alpha c k}$$

$$*B \cdot D / 1000 = 17.21 \text{ tonf}$$

$$S_u < 0.5 \cdot \phi_v \cdot S_c \dots \text{전단철근 필요없음}$$

$$\text{사용 전단철근 : 규격(Ds)=D13 다리수(Ns)=2.7 EA}$$

$$\text{수평간격(s)=40 cm}$$

$$\text{사용간격 } s = 40.0 \text{ cm} > \text{최소간격} = \min(60\text{cm}, 0.5D)$$

$$= 12.5 \text{ cm} \dots \text{부족}$$

$$\text{사용철근량 } A_v = \text{철근 개당 면적} \cdot \text{철근수(Ns)}$$

$$= 3.42 \text{ cm}^2$$

$$\phi_v \cdot S_s = \phi_v \cdot A_v \cdot \sigma_y \cdot D / (s \cdot 1000) = 5.13 \text{ tonf}$$

$$\phi_v \cdot S_n = \phi_v \cdot S_c + \phi_v \cdot S_s = 22.34 \text{ tonf} > S_u$$

$$= 5.940 \text{ tonf} \quad \therefore \text{O.K.}$$

◎ **측벽부**

**검토 조건**

$$f_{ck} = 240.0 \text{ kgf/cm}^2 \quad f_y = 3000.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\phi_c = 0.70 \quad \phi_v = 0.80 \quad \alpha = 0.80$$

$$\text{극한 모멘트 } M_u = 2,130 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$\text{극한 축력 } P_u = 21,360 \text{ tonf}$$

$$\text{단면의 두께 } H = 30,000 \text{ cm}$$

$$\text{단위폭 } B = 100,000 \text{ cm}$$

$$\text{유효 깊이 } D = 25,000 \text{ cm}$$

$$\text{피복두께 } D_c = 5,000 \text{ cm}$$

$$\text{작용 편심 } e = 9,972 \text{ cm}$$

$$\text{인장축 철근 } A_{st} = 22,920\text{cm}^2$$

$$1\text{단 } (d_c = 5\text{cm}) : \text{D 19 @ 12.5 cm}$$

$$\text{압축축 철근 } A_{sc} = 22,920\text{cm}^2$$

$$1\text{단 } (d_c = 5\text{cm}) : \text{D 19 @ 12.5 cm}$$

**평형상태 검토**

$$c = 6000/(6000+f_y) \cdot d = 16.667 \text{ cm}$$

$$k_1 = 0.850 \quad a = k_1 \cdot c = 14.17 \text{ cm}$$

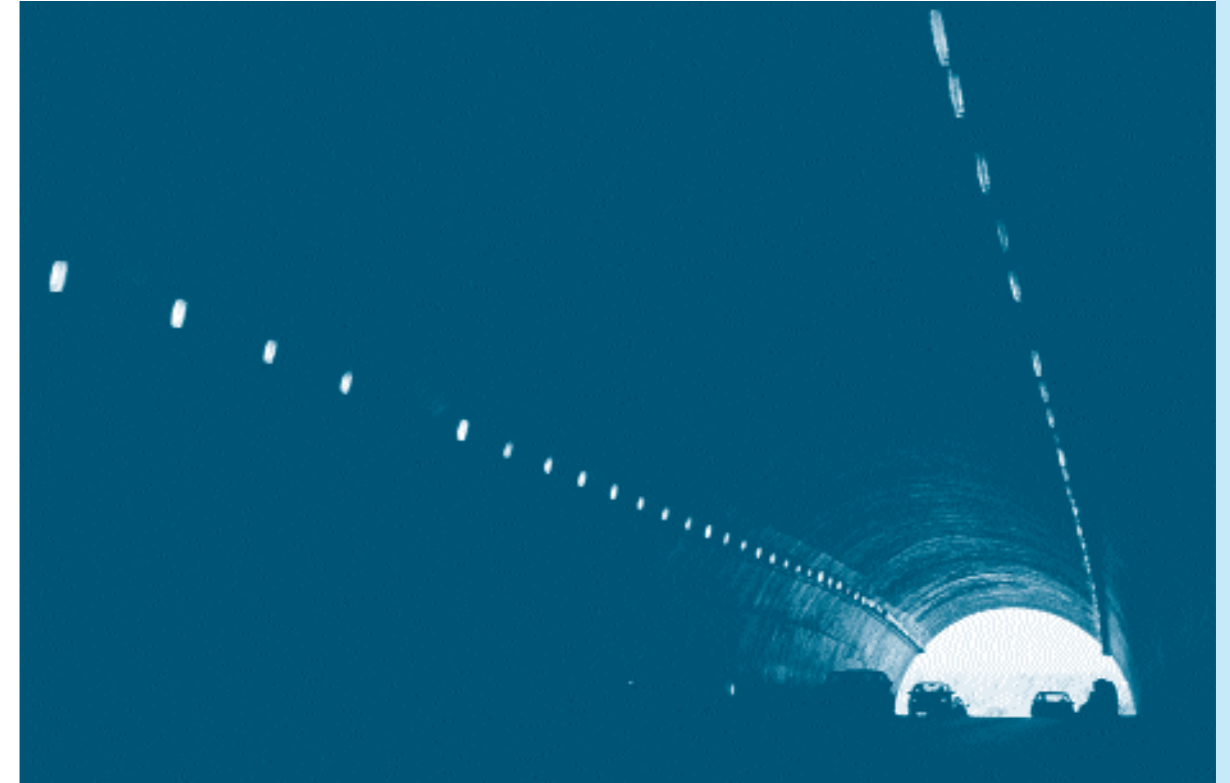
$$C_{ck} = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot B \cdot H = 612000.0 \text{ kgf}$$

$$\text{소성중심 } x = (C_{ck} \cdot H/2 + f_y \cdot A_{sc} \cdot d_c + f_y \cdot A_{st} \cdot$$

$$d) / (C_{ck} + f_y \cdot A_{sc} + f_y \cdot A_{st})$$

$$= 15.00 \text{ cm}$$

$$\text{콘크리트 } C_c = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot a \cdot b = 289000.0 \text{ kgf}$$



$$\text{압축축철근 } C_s = (f_s - 0.85 \cdot f_{ck}) \cdot A_{sc} = 64084.3 \text{ kgf}$$

$$(\text{esc}) \rightarrow f_s = f_y = 3000.00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{인장철근 } T_s = f_y \cdot A_{st} = 68760.0 \text{ kgf}$$

$$\text{평형축력 } P_b = C_c + C_s - T_s = 284324.3 \text{ kgf}$$

$$\text{평형모멘트 } M_b = C_c(x-a/2) + C_s(x-d_c) + T_s(d-x)$$

$$= 3616360.0 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\text{평형편심 } e_b = M_b / P_b = 12.72 \text{ cm}$$

$$e < e_b \rightarrow \text{압축파괴영역}$$

**공칭 강도**

$$e_{\text{min}} = 2.93 \text{ cm} < e = 9.97 \text{ cm}$$

→ 철근의 응력을 Trial & Error Method로 계산한다.

$$c = 18.65 \text{ cm로 가정하면.. } a = k_1 \cdot c = 15.85 \text{ cm}$$

$$f_{sc} = 3000.00 \text{ kgf/cm}^2, \quad f_{st} = 2043.6 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_n = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot B + A_{sc} \cdot f_{sc} - A_{st} \cdot f_{st}$$

$$= 340609.7 \text{ kgf}$$

$$M_n = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot B \cdot (x-a/2) + A_{sc} \cdot f_{sc} \cdot (x-d_{cc})$$

$$- A_{st} \cdot f_{st} \cdot (d-x) = 3396839.0 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$e' = M_n / P_n = 9.973 \text{ cm} \approx e = 9.972 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \text{say O.K.}$$

**강도 검토**

$$\phi P_n = 238,427 \text{ tonf} \geq P_u = 21,360 \text{ tonf} \quad \therefore \text{O.K.}$$

$$\phi M_n = 23,778 \text{ tf} \cdot \text{m} \geq M_u = 2,130 \text{ tf} \cdot \text{m} \quad \therefore \text{O.K.}$$

**전단력 검토**

$$\phi_v \cdot S_c = \phi_v \cdot 0.53 \cdot (1 + 0.0071 \cdot P_u / A_g) \cdot \sqrt{\alpha c k}$$

$$= 17.25 \text{ tonf}$$

$$S_u < 0.5 \cdot \phi_v \cdot S_c \dots \text{전단철근 필요없음}$$

$$\text{사용 전단철근 : 규격(Ds)=D13 다리수(Ns)=2.7 EA}$$

$$\text{수평간격(s)=40 cm}$$

$$\text{사용간격 } s = 40.0 \text{ cm} > \text{최소간격} = \min(60\text{cm}, 0.5D)$$

$$= 12.5 \text{ cm} \dots \text{부족}$$

$$\text{사용철근량 } A_v = \text{철근 개당 면적} \cdot \text{철근수(Ns)}$$

$$= 3.42 \text{ cm}^2$$

$$\phi_v \cdot S_s = \phi_v \cdot A_v \cdot \sigma_y \cdot D / (s \cdot 1000) = 5.13 \text{ tonf}$$

$$\phi_v \cdot S_n = \phi_v \cdot S_c + \phi_v \cdot S_s = 22.38 \text{ tonf} > S_u$$

$$= 4.720 \text{ tonf} \quad \therefore \text{O.K.}$$