



Ⅶ. 갱구부설계

1. 서언

터널은 밀폐된 공간에 설치되는 구조물로서 도로의 경우 진·출입시 교통흐름의 연속성 확보가 어렵다. 그 중에서도 갱구는 터널 외측부에 접속되므로 폭원의 감소, 터널벽의 위압감, 휘도 변화에 수반되는 순응성저하 등에 의해 속도저하를 초래할 수 있다. 그러므로 갱구는 차량 주행시 터널 외측으로부터 터널로의 적절한 유도를 수행하여 주행성의 확보, 즉 운전자에 대한 편의성을 확보하고 갱구 주변의 자연경관과 갭문 등과의 조화를 도모하도록 하여야 한다. 또한, 지반공학적 측면에서 터널 갱구는 지반조건이 불안정하여 터널굴착이나 지표면 변화 등으로 인한 비탈면 붕괴가능성이 높으며, 편토압으로 인한 국부적인 응력집중은 그 대책이 어려울 뿐만 아니라 막대한 비용이 소요되기도 하며, 도로 이용시에는 낙석과 눈사태 등 자연 기상재해의 영향을 받기 쉬운 곳이기도 하다.

본 강좌에서는 경제적이고 안전한 터널건설을 위한 갱구부의 위치 선정, 지반공학적 측면에서 갱구부 설계시 고려사항 등을 서술하고 경관측면에서 갭문의 형식과 특징 및 설계 일반사항에 대하여 서술하고자 한다.

* 정희원, (주)삼보기술단 대표이사

** 정희원, (주)삼보기술단 상무이사

2. 갱구부의 위치 및 영역 선정

2.1 갱구부 위치 선정

갱구부는 일반적으로 토피가 낮고 지반의 아칭효과가 발휘되기 어려운 범위까지를 말하고, 토피 1~2D(D는 터널의 직경)를 확보할 수 있는 범위를 표준으로 한다. 갱구부는 지형적으로 열악하여 갱구 설치시의 절토나 터널굴착에 의한 비탈면 붕괴가 유발될 수 있으며, 공용시에 상재하중이나 토압변화의 영향을 받는 경우도 있다. 따라서, 갱구부 계획시에는 자연조건에 대한 사전조사와 공용시의 발생가능한 문제점 등을 고려하여 갱구부의 위치선정을 하여야 하며, 갭문의 위치 및 형식은 일반적으로는 갱구부의 위치에 따라 결정되어진다. 참고로 국내에서 제시되고 있는 갱구부의 위치선정시 고려사항은 다음과 같다 (터널설계기준, 1999).

〈갱구부 위치 선정기준〉

- 터널 중심축선을 지형경사면과 가급적 직교하도록 하며, 이 경우 경사면 하단보다 상부지역에 갱구부가 계획될 때에는 공사용 도로를 확보하도록 하며, 인접구조물과의 관계 등을 고려하도록 한다.
- 터널 중심축선이 지형 경사면에 대해 사각으로 진입하는 경우엔 비대칭 절취 경사면이나 갭문이 형성되게 되므로 횡방향 토피 확보 여부와

편토압에 대한 검토가 요구된다.

- 터널 중심축선과 지형경사면이 평행한 경우는 가급적 피해야 하며, 골짜기 쪽의 토피가 극단적으로 얇아질 경우가 있으므로 전구간에 걸쳐 편토압에 대한 검토와 이에 대한 대책을 수립하여야 한다.
- 골짜기에는 일반적으로 지질구조대가 발달하고 있어 애추 등 미고결층이 두껍게 분포되어 있고 지표수 유입과 지하수위가 높을 때가 많으므로 터널 중심축선이 골짜기로 진입하는 경우는 최대한 피하도록 한다.

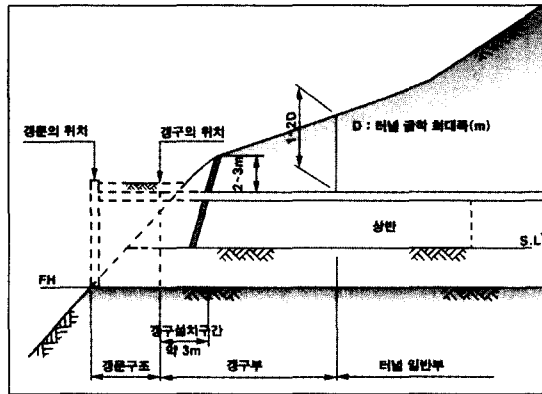


그림 1. 표준적인 갱구부의 범위

2.2 갱구부 영역 선정

갱구부 영역을 선정하는 문제는 보강구간 설정과 관련하여 매우 중요한 문제이나, 현장별로 지형·지반조건이 서로 상이하므로 일률적인 보강의 적용이 어렵다. 현행 국내 설계의 예를 보면 터널천단부에 토사층이 존재할 때 그 위치에 갱구를 선정하는 것을 지양하는 경향이 있으며 천단부 안정을 고려하여 대부분 0.5D(약 6.0m) 이상 되는 위치 및 갱구지형의 편경사를 고려하여 암선 이하에 갱구를 선정하므로 기존 지반이 상당히 절취된 이후에 갱구가 형성되기 마련이다. 계획고 위치에 연암선이 확보된다면 천단부 2~3m 확보위치에 지반보강 그라우팅 등을 감안하여 갱구를 선정해도 가능하게 된다.

국내 산지지형을 고려해 볼 때 종단경사 30°를 기준으로 30° 이상되는 지반경사를 갖는 지형은 대부분 토사층이 2~3m로 얇고 굴착즉시 연암 이상의 암질을 확보하므로 이런 지형에서는 강관다단 그라우팅이나 파이프루프 등의 지반보강을 갱구에서 1회(L=12.0m) 실시할 수 있다. 그러나 30° 이하의 지반경사를 갖는 지형에서는 토사층이 두꺼워 천단부 지반보강을 시행해야 하는 경우가 발생되는 데, 이 경우 갱구부의 지반상태를 정확하게 파악하기 위해서 시추조사 공수를 늘려 보다 상세한 지반정보를 획득하도록 한다. 그리고 2~3m 토피의 갱구에서 토피고

가 1~2D되는 갱구부 끝단까지를 갱구부로 정하고 굴착시 암질상태에 따라 지보재를 보강하도록 한다.

3. 갱구부 설계

터널 갱구부는 토피가 적고 지반의 아치형성과 원지반 강도의 효과적인 이용이 어려우며, 전 토피하중이 토압으로 지보공이나 라이닝에 작용하기도 한다. 또한, 작용토압의 방향이 지형조건에 영향을 받으며, 지진피해를 입을 가능성이 있고, 온도변화가 크고 건조수축에 따른 균열이 생기기 쉽다는 점등으로 인해 터널 일반부보다 강한 지보구조로 설계하는 것이 일반적이다. 갱구부 보강에 대한 정량적인 표준화는 장기적인 계획하에 수행하여야 할 사안인 것으로 판단되며, 본 강좌에서는 일반적인 갱구부 안정을 위한 지보패턴 설계와 라이닝 철근보강 및 안정성 검토에 대해 알아보도록 한다.

3.1 갱구부 굴착 및 지보 설계

국내에서 제시되고 있는 갱구부 설계의 지침은 다음과 같다. "터널 갱구부는 원지반 거동이 터널 일반부에 비해 지형, 기상조건이 악화되고 지표면 침하 억제 등의 환경 보존상 제약도 가해질 때가 있으므로

표 1. 갱구부 지보패턴 설치 예(도로설계편람, 2000)

구분	굴착공법	1회 굴진장	강지보재			숫크리트 두께 (cm)	록볼트		라이닝두께		휘폴링			프리 그라우팅 강관다단
			상반 (H)	하반 (H)	설치 간격		길이 (m)	설치 간격 (m)	축벽부 및 아치부 (cm)	인버트부	천공깊이 (m)	횡방향간격 (m)	천공각도 및 직경	
2차로	상·하반 분할	1.0m	100	100	1.0m	16 (강섬유보강)	4	1.5×1.0	30~40	필요시 설치	4~6	0.5~0.6	5°~10° φ=46mm	필요시 채택
	상·하반 분할	0.6m	100	100	0.6m	20	4	1.5×1.0	30~40	필요시 설치				
3차로	상·하반 분할	1.0m	150	150	0.5m	20~30 (강섬유보강)	4	1.5×1.0	40~50	필요시 설치	4~6	0.6	5°~10° φ=46mm	
4차로	상·하반 분할	1.0m	150	150	1.0m	25 (강섬유보강)	4	1.0×1.0	40~50	필요시 설치	4~6	0.6	5°~10° φ=46mm	

각 터널의 갱구조건에 적합한 설계방법을 체계화시키기란 곤란하고 복잡하여.....기본적인 지보구조와 각 터널의 갱구조건에 맞는 적절한 보조공법을 사용하여 설계하는 것을 원칙으로" 하고 있다.

이러한 지침에 따라 갱구부 굴착은 표 1과 같이 도로터널의 경우, 2차선 기준으로 상·하반 분할 굴착에, 1회 굴진장 상·하반 각각 1.0/1.0(m)를 기본으로 하며 지반조건에 따라 연직분할 굴착 혹은 선진도갱 굴착 등을 적용할 수 있다. 표 1에 적용된 갱구보강의 경우 대표적인 보조공법인 휘폴링, 프리그라우팅 및 강관다단 그라우팅을 언급하고 있으나, 실제 설계에 있어서 보조공법은 그 사용목적에 따라 다양하므로 설계시 사용목적 및 경제성, 시공성을 충분히 검토하여 적용하도록 한다. 이러한 사항을 적용한 갱구부 지보패턴의 예를 그림 2에 나타내었다.

갱구부는 굴착이 진행됨에 따라 지반이 안정을 잃고 비탈면 붕괴, 과도한 지표침하, 막장붕괴 및 편도압에 의한 지보재 항복 등의 문제가 발생할 수 있으므로 예상되는 문제점을 사전에 파악하여 법면방호 옹벽, 배토공, 가압성토, 사면볼트 및 휘폴링, 앵커설치, 물빼기공, 지반주입에 의한 막장안정대책, 가인버트에 의한 차단벽공법, 파이프루프 등을 적절히 적용하도록 한다. 갱구부에 적용하는 일반적인 법면보호공을 그림 3에 도시하였다.

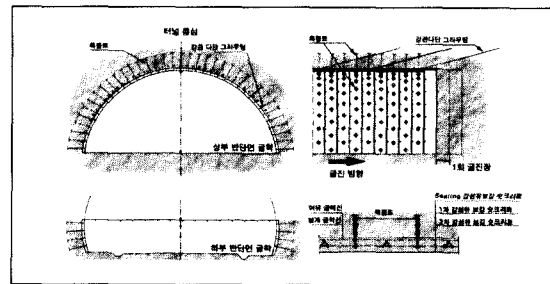
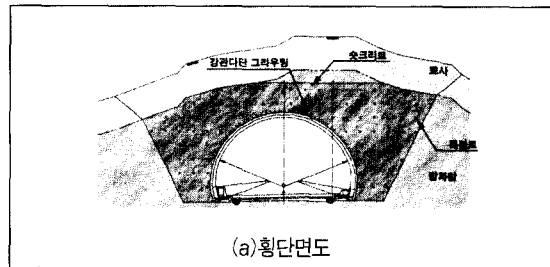
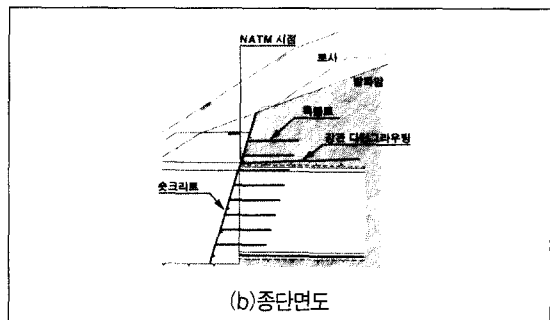


그림 2. 갱구부 지보패턴 예



(a) 횡단면도



(b) 종단면도

그림 3. 일반적인 갱구 법면 보강 패턴

3.2 갱구부 라이닝 설계

3.2.1 개요

갱구부는 터널 시작시에 굴착되어 터널이 관통되고 콘크리트라이닝 타설이 완료되는 시점까지 가장 오랫동안 유지되는 부분이다. 특히 3차원적인 복잡한 응력상태에서 시공을 하게 되며, 토사지반의 불균등한 분포 가능성 및 지진시에 주변환경에 의한 영향을 받기 쉬운 구간으로 각종 계측이 집중되고 있다. 계측결과를 확인하여 보면 대부분의 경우 콘크리트 라이닝 타설시에 지반의 변형은 수렴되었다고 할 수 있으며, NATM의 기본 개념에 의하면 2차복공은 내장의 의미만 갖게 된다고 본다.

그러나, 구조해석시에도 자중, 온도하중, 암반이완 하중, 잔류수압과 지진하중 등 고려할 대상이 많아 현장여건에 따라 허용응력값을 초과하는 경우가 종종 발생하며, 장기적인 안목에서 하중으로 작용할지 모르는 갱구부 지반에 대해 2차복공 부분에서 철근을 보강하는 방안을 검토하여야 한다. 또한, 큰 편도압을 받는 경우에는 라이닝의 설계두께를 증가시키거나 철근콘크리트 등으로 콘크리트라이닝 강성을 증대시키는 대책을 마련하여야 하며, 수동토압이 적절하게 작용하여 전체적으로 좌우의 균형이 유지되도록 인버트 콘크리트를 타설하여 콘크리트 라이닝이 폐합단면이 되게 하는 등의 대책이 필요하다.

3.2.2 라이닝 구조해석

철근콘크리트 구조물의 설계방법은 부재의 파괴상태 또는 파괴에 가까운 상태에 기초를 둔 강도설계법과 콘크리트를 탄성체로 보고 탄성이론을 적용한 허용응력설계법의 두 가지 방법으로 나누어지는데 일반적으로 국내 도로터널의 구조물 설계기준은 라이닝 콘크리트의 경우에 허용응력 설계법을 따르고 있다. 설계에 적용되는 하중조합은 콘크리트라이닝의 자중, 지반이완하중, 배수터널의 경우 배수재의 기능 저하로 인한 잔류수압, 온도변화에 따른 온도하중 및 기타 하중 등이 작용하고 있으므로, 이 하중들을 조

합하여 구조검토를 수행한 후 철근보강을 계획하는 것이 갱구부 라이닝 안전에 바람직하다.

표 2. 작용하중 및 하중조합 예

하중	하중분포도	설명
자중		<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 내부 라이닝의 자중 - 라이닝 콘크리트의 두께에 따른 사하중
지반이완하중		<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 굴착에 의한 암반 이완 하중 - 터널(공동) 형성으로 인한 주변 지반의 이완된 암반이 터널내부로 이동하려는 경향으로 라이닝에 하중으로 작용 - 지반 자체 지지력 고려시
잔류수압		<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 잔류수압 - 배수 터널일지라도 배수재 등의 기능 저하로 인해 지하수가 지반내 잔류시 하중으로 작용
전도피하중		<ul style="list-style-type: none"> ⊙ 굴착에 의한 토압 하중 - 터널(공동) 형성으로 인해 주변 토사지반이 터널내부에 전(全) 토피 하중으로 작용 - 지반 자체 지지력 미고려시
하중조합		경우Ⅰ : 1.54×자중 경우Ⅱ : 1.54×자중 + 1.8×잔류수압 경우Ⅲ : 1.54×자중+1.8×지반이완하중+1.8×잔류수압 경우Ⅳ : 0.7×(1.54×자중+1.8×지반지지력을 고려하지 않은 전도피하중+1.8×잔류수압)

3.3 갱구부 안정성 검토

설계된 갱구부 지보구조 및 굴착공법 등의 적정성에 대해 각종 해석적 기법을 동원한 안정성 검토가 수행되고 있다. 본 강좌에서는 이러한 내용들 중 최근 수행되고 있는 몇 가지 특징할 만한 사항들을 기술하였다.

3.3.1 3차원 갱구부 안정성 검토

갱구부는 지형조건상 3차원 응력조건을 따르며, 계곡부 및 편도압 지형 아래 터널이 위치할 경우 지형적인 영향으로 인하여 터널 주변 지반 및 지보재에 비대칭 응력이 작용하거나 부분적으로 응력집중이 발생하며 결국에는 지보재의 국부적인 파괴를 가져올 수 있다.

따라서, 2차원 평면상의 터널해석 및 갱구부 비탈면에 대한 안정성 검토와 더불어 3차원 수치해석의 적용이 필수적이라고 할 수 있다. 3차원해석을 통해 지보재에 걸리는 응력에 대한 검토를 시공단계별로 실시함으로써 적용 지보패턴의 적정성 확인 및 추가 보강여부를 검토하여 보다 합리적인 시공에 기초자료로 이용할 수 있다.

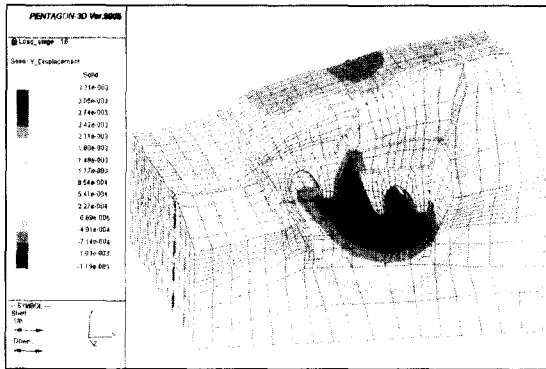
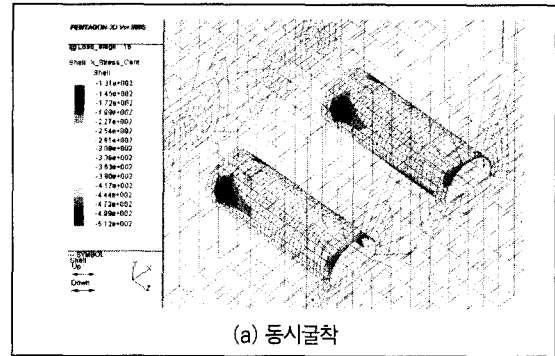


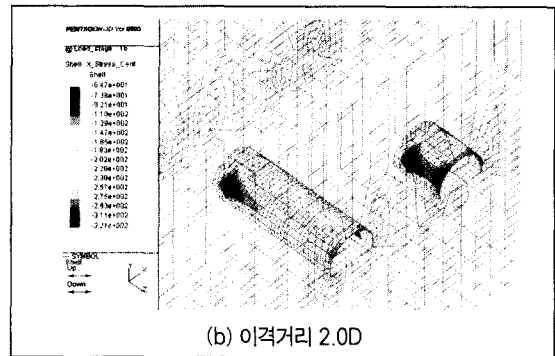
그림 4. 3차원 갱구부 안정성 해석 예

3.3.2 병설터널의 종방향 이격거리 산정

앞서 언급한 바와 같이 갱구부는 3차원적인 응력 재배치가 발생하는 지역으로 터널굴착에 따른 응력 재배치가 일반구간보다 복잡하게 발생한다. 특히, 쌍굴터널의 경우 두 개의 터널을 동시에 굴진할 경우 응력변화가 중첩되는 구간이 발생하여 예상한 것보다 큰 응력집중이 발생할 가능성이 있다. 따라서, 터널굴진에 따른 영향범위를 산정하여 인접터널에 영향을 미치지 않도록 이격시켜 시공할 수 있는 지침을 마련하는 검토가 수행되고 있다.



(a) 동시굴착



(b) 이격거리 2.0D

그림 5. 갱구부 굴착시 종방향 이격거리 검토

3.3.3 갱구부 내진 검토

상부토피가 큰 본선 터널 구간은 지반의 진동과 유사하게 터널이 진동하게 되므로 지진의 영향이 상대적으로 적다. 특히 대심도 터널의 경우에는 지진에 대한 동적해석 결과도 정적해석과 유사하게 나타나는 것으로 알려지고 있다(한국지진공학회, 1999). 그러나 터널의 일부가 노출된 갱구부에 대해서는 지진의 영향이 미칠 가능성이 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

갱구부의 내진검토에 가장 많이 사용하는 동적해석법은 지반조사결과로부터 동적 지반물성치를 산정하고 갱구 및 주변 지반을 모델링한 후에, 지반운동 증폭현상을 고려한 시간이력 지진하중을 해석대상의 내부 또는 경계면에 입력하여 지반 및 구조물의 거동 및 지보재에 발생하는 단면력을 구하는 방법이다. 그림 6은 동적해석법에 의한 갱구부 내진 검토 과정이다.

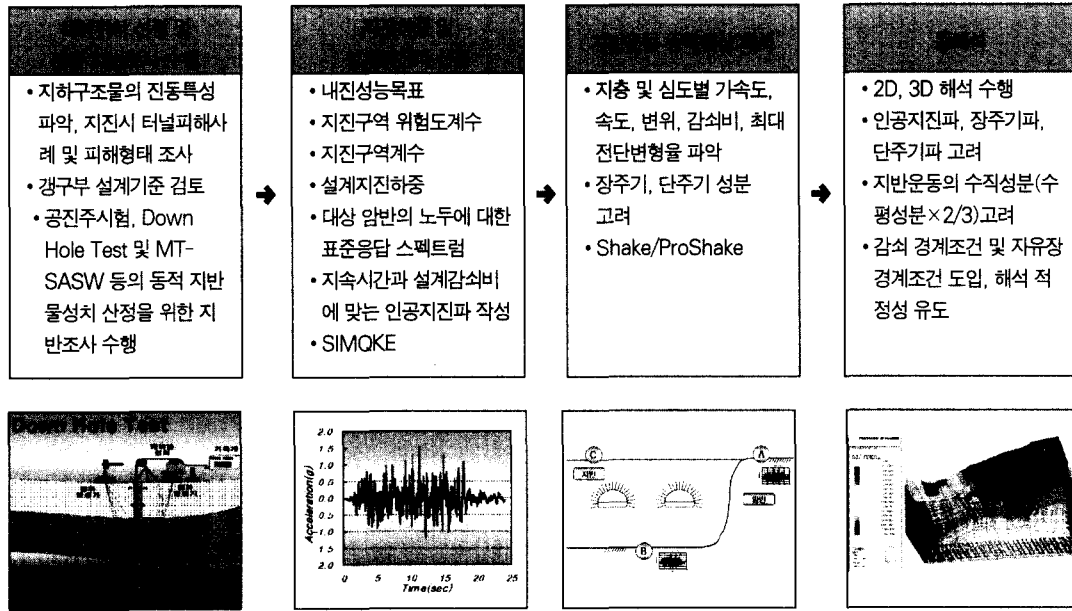


그림 6. 갱구부 내진 해석 절차

4. 갱문 형식 및 경관 설계

4.1 갱문의 형식과 특징

갱문은 갱구를 방호하는 것으로 지반조건, 기상조건, 선형의 중요성 등을 고려하여 지표사면으로부터의 토사붕락, 낙석, 눈사태 등으로부터 갱구부를 보호하며 갱구부 배면에 위치한 비탈면을 역학적으로 안정화시키는 물론이러니와 주변환경과의 조화를 고려하여 설계하여야 한다.


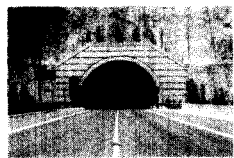
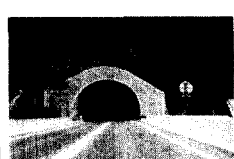




갱문의 형식에는 완성된 형상에 따라 크게 면벽형과 돌출형으로 분류된다. 면벽형은 갱문배면에 토압을 받는 구조이며, 구조상 중력식과 날개(Wing)식으로 나누어진다. 중력식은 지형적으로 편도압이 작용하고 압성토나 겸용벽을 병용할 때 적용된다. 날개식은 상기의 경우를 제외하고 일반적으로 많이 사용되는 형식인데, 복공 콘크리트와 강결할 필요가 있다.

돌출형은 지반 절토량을 최소화하고 터널본체와

동일한 내공단면이 터널갱구부에 연속해서 원지반에 돌출한 형식이며, 그 형상에 따라 파라페트식, 원통절개식, 벨 마우스식(Bell Mouth) 등이 있다. 이런 형식은 콘크리트 면벽이 작기 때문에 주변경관과 조화되기 쉬우며, 휘도상의 조화가 뛰어나기 때문에 입구부 조명설계에 유리하고, 심리적 압박감이 적어 주행성이 우수하다는 등의 이점을 가진 반면, 적설지에서의 원통절개식·벨 마우스식은 갱문으로 눈이 날아들기 쉽고 천단부에 눈차양을 설치해야 하거나 노면에 눈이 쌓이기 쉬운 점 등의 보고도 있어, 그 선정에 있어서는 현지조건이나 유지관리 등을 고려하여 종합적으로 검토할 필요가 있다.

국내에서 현재까지 설계 및 시공된 터널 갱구부를 조사하여 갱문의 특징을 표 3에 나타내었다.

표 3. 터널 갱문의 형식과 특징

구분	형식과종류	지반조건	시공성	경관 / 사예
면		<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 경사가 급한 지형이나 토류 응벽적 구조를 필요로 하는 경우 • 배면 배수처리가 용이하고 낙석이 많다고 예상되는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> • 지반이 불량할 경우 절토비탈면을 충분히 보호 	<ul style="list-style-type: none"> • 중량감이 있어 주행상의 압박감이 일부 느껴짐. • 국내 대다수 터널 적용
		<ul style="list-style-type: none"> • 양측면을 절토할 경우 • 배면토압을 전면적으로 받는 경우 • 적설량이 많은 경우에는 방설공을 병용 	<ul style="list-style-type: none"> • 지반이 불량할 경우 절토비탈면을 충분히 보호 • 배근이 많아 시공시간이 많이 소요 	<ul style="list-style-type: none"> • 정면부의 질감처리(미장)를 통하여 경관미를 고려함 • 일본의 프나바 터널
		<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 지형이 완만한 경우 • 좌우 측면의 절토가 비교적 적은 경우 	<ul style="list-style-type: none"> • 지형에 따라 아치부 두께가 커지기도 함 • 다소의 보호성토가 필요함 	<ul style="list-style-type: none"> • 아치부의 곡선효과를 통하여 주행시 중압감 감소형식 • 일본의 나카미네 터널
형		<ul style="list-style-type: none"> • 지형적으로 밀미된 곳이나 좌우에 다른 구조물이 적은 경우 • 완경사 지형 및 갱주 주변 지질이 비교적 안정된 경우, 적설지역에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 터널본체공은 수m까지 갱주부로 연결해야 함 	<ul style="list-style-type: none"> • 주행시 위압감이 적고 주변지형과의 조화 양호 • 영동고속도로 진부1터널
		<ul style="list-style-type: none"> • 압성토를 시공한 경우로 갱주 주변 지반이 불량한 경우 • 적설지에도 가능 • 갱주 주변 지형의 절취 등 성형이 가능한 경우 	<ul style="list-style-type: none"> • 지형·지질이 안정된 경우가 장 경제적이지만, 압성토를 할 경우 두께가 두꺼워 짐 	<ul style="list-style-type: none"> • 주행시 위압감이 적고 주변지형과의 조화 양호 • 일본의 쿠라키 터널
		<ul style="list-style-type: none"> • 갱주 주변이 완경사인 경우 • 주변지형을 조경할 필요가 있는 경우 • 적설지는 피하도록 함 	<ul style="list-style-type: none"> • 거푸집 및 배근에 시간이 많이 들고 경비도 많이 든다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 주행시 위압감이 적고 주변지형과 조화되므로 면벽식 다음으로 적용사례가 많은 형식 • 중앙고속도로 치악3터널 등 다수
출		<ul style="list-style-type: none"> • 갱주 주변이 개활지이며 터널 형상을 강조하고자 할 경우 • 적설지는 피하도록 함 	<ul style="list-style-type: none"> • 특수거푸집이 필요하고 공기가 길며 경비가 많이 소요 	<ul style="list-style-type: none"> • 주행시 위압감이 작고 주변지형과 조화 • 영동고속도로 영동1터널

4.2 갱문의 형식에 따른 구조설계

갱문의 구조설계에는 소요하중 외에 필요에 따라 지진, 온도변화, 콘크리트의 건조수축 등의 영향을 고려하여 설계하여야 한다. 이런 하중을 갱문의 형식에 따라 적절히 조합하는데, 특히 돌출형의 경우 일반적으로 토피가 얇으며 복공의 일부가 노출되어 있어 지진, 온도변화, 콘크리트의 건조수축의 영향을 받기 쉽다.

4.2.1 면벽형 갱문의 설계

중력식 갱문은 구조상 터널본체로부터 독립되어 외력에 저항할 수 있는 형식이 되어야 한다. 하중으로는 갱문배면의 되메움 흙에 의한 상재하중과 주동 토압이 작용하는 경우 전도, 활동 및 지지력에 대해 소요안전율이 확보될 수 있도록 외력에 대해 충분히 저항할 수 있는 단면으로 설계하여야 한다. 또한 갱문의 기초부분은 기능상 보통 연암에 위치하도록 하는데 현장상황에 따라서 안정계산에서 기초부의 토압을 무시할 수 있다. 수직벽은 계산결과 무근 콘크리트의 단면으로 만족되는 경우에 있어서는 시공순서, 불확실한 외력 등이 작용할 수 있으므로, 철근에 의한 보강을 수행함이 바람직하다.

날개식 갱문은 터널본체에 강결된 판구조물로 설계하는데, 날개(Wing) 설계에 있어서 토압을 되메움 토에 의한 정지토압으로 고려한다. 그 외의 하중으로는 시공중 매립토의 고결 등을 고려하여 과재하중 1.0tf/m²을 필요에 따라 적설하중으로 고려한다. 더불어, 날개식은 일반적으로 지진의 영향을 고려하지 않는다.

4.2.2 돌출형 갱문의 설계

돌출형 갱문은 터널본체와 동일한 내공단면인 아치 쉘버트(Arch Culvert)가 터널갱구부에 연속하여 설치된 갱문으로 완성후 성토에 의한 상재하중, 토압 그외 설하중이 추가되므로 이런 하중을 고려하여 단면력 및 지반 지지력의 계산을 수행한다. 또한, 아치

쉘버트 구조의 일부가 되메움토로부터 노출되는 경우는 온도변화, 건조수축, 지진의 영향 등을 받기 쉬운 상태로 이를 고려하여 설계한다.

4.3 국내 갱문의 형식별 시공사례

국내 터널갱문 설계를 적용유형별과 시공시기에 따른 갱문형식을 비교하면 다음과 같다. 통계처리를 위해 사용한 터널 갱문형식은 국내 주요도로의 약 167개 터널이다.

4.3.1 국내 터널설계 갱문형식과 복합형 갱문형식의 비교

기 시공된 터널 갱문의 형식 통계자료로 미루어보아 현재까지 국내에서는 면벽형 및 돌출형 갱문이 설계에 있어 주류를 이루고 있으며, 그 외 원통절개식과 파라페트식, 돌출형과 반중력식을 복합하여 설계한 복합형 갱문도 다수를 차지하는 것으로 나타났다.

갱문형식		개수
면벽형		241
돌출형		79
복합형	돌출식 + 중력·반중력식	10
	원통절개식 + 파라페트식	8
	돌출식 + 원통절개식	2
	돌출식 + 아치날개식	1

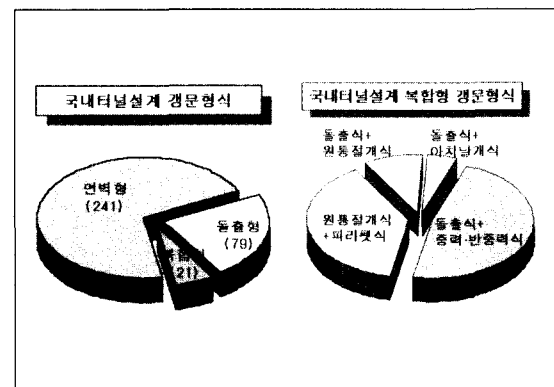


그림 7. 국내 갱문형식 적용유형

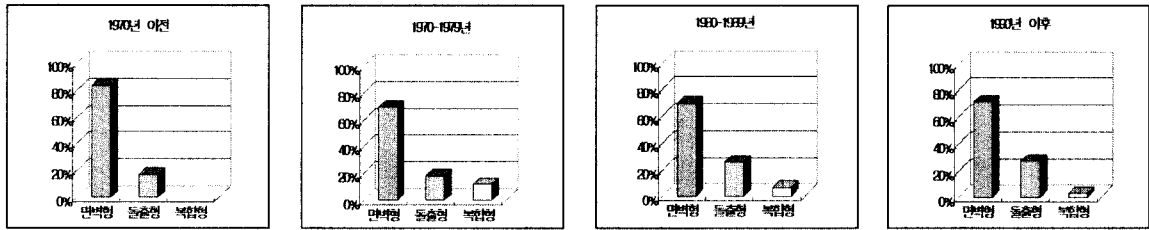


그림 8. 국내 갱문형식의 시기별 적용 유형

4.3.2 국내 갱문형식의 시기별 적용유형

국내에서 터널에 적용된 갱문형식은 그림 8에서 보듯이 전체적으로 면벽형이 주종을 이루고 있음을 알 수 있으며, 1980년대 이후 돌출형 및 복합형 갱문의 설계사례가 점차로 증가하고 있다. 이는 구조물 자체의 아름다움과 구조적 안정성 즉, 기능성을 중점으로 설계하던 전 시대의 설계방법으로부터 자연경관과의 조화를 고려한 설계로 이전되고 있음을 의미한다고 하겠다.

5. 기능성을 고려한 갱구부 설계

5.1 조도순응시설

교통통행을 목적으로 하는 터널에서는 운전자가 높은 휘도(입의의 면을 입의의 방향에서 본 투영면적당 광도로서 단위는 cd/m^2)의 야외로부터 상대적으로 낮은 휘도의 터널에 진입하게 되므로 시각의 순응(順應)이 따라가지 못해 입구가 암흑으로 보인다. 이를 해소하기 위해서 터널 내부에도 상당히 높은 휘도를 유지해 주어야 한다. 이는 많은 전력소모와 시설비를 수반하게 된다.

일광에 의한 야외의 휘도차는 아주 커서 맑은 하늘은 $8,000 \sim 16,000 cd/m^2$, 직사광선에 의한 도로 노면은 $3,000 \sim 5,000 cd/m^2$ 인 반면 비오는 날의 휘도는 흐림의 정도에 따라 수백 cd/m^2 내외 정도이므로 휘도의 변화가 상당히 크다. 하루 중에도 기후의 변화나, 태양의 고도 등에 의해서 상당폭의 휘도변화가

자주 발생한다. 터널입구의 조명은 외부의 휘도의 변화에 상관되므로 이러한 것을 고려하여 조명시설과 유지 및 제어를 적절히 시행함으로써 교통환경에 필요한 조명의 목적을 충족하고 불필요한 조명을 억제하여 에너지의 절약을 도모할 필요가 있다.

터널조명은 크게 입구부 조명, 기본부 조명, 출구부 조명, 접속도로 조명으로 구성된다. 주간에 도로를 주행하는 운전자는 높은 야외 휘도에 순응된 상태에서 터널에 접근하기 때문에 상대적으로 휘도가 낮게 조명된 터널은 암흑과 같이 잘 조명되지 않는다. 이러한 장애를 해결하기 위하여 입구부분에 상당히 높은 휘도의 조명이 필요하게 된다. 그림 9는 터널조명의 구간별 휘도분포를 나타내고 있다. 암순응을 위해서 터널 입구부인 갱구부에서 필요로 하는 휘도가 가장 큼을 알 수 있다. 터널 진입시 발생하는 입구부와 출구부의 눈부심현상(블랙홀 현상과 실루엣 현상)을 방지하고 갱문의 미적 기능성을 도모하기 위하여 국내에서 설계·시공되고 있는 대표적인 조도순응시설의 예를 그림 10에 나타내었다.

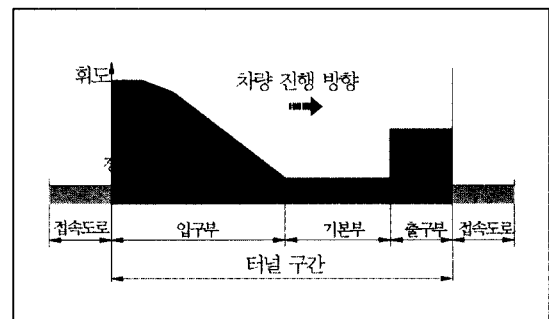


그림 9. 터널구간내 휘도분포

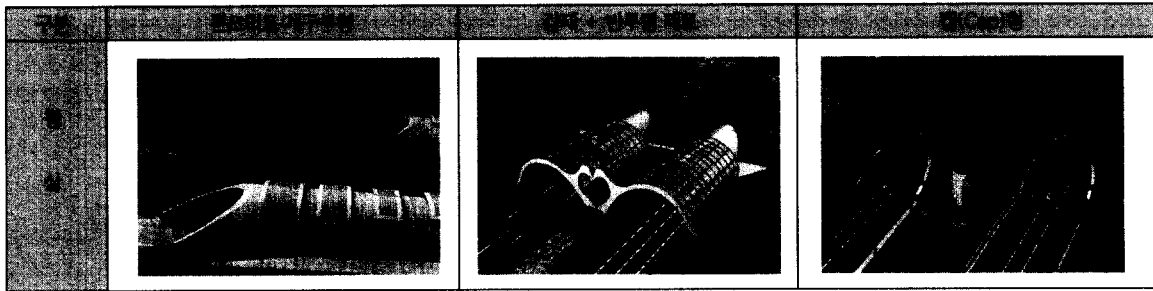


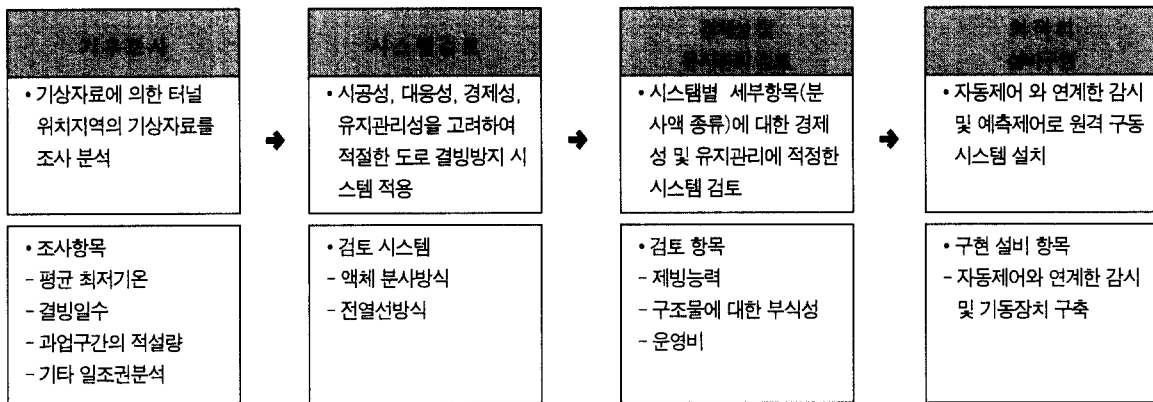
그림 10. 대표적인 조도순응시설

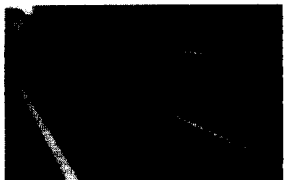

5.2 용설설비

대부분의 터널 갱구부는 갱문 형식과 갱구부 방향에 대한 기후상태(눈, 서리 등)에 따라 교통사고에

큰 영향을 주므로 그에 따른 적절한 결빙방지 시스템을 고려하며, 이 때 갱구부 주변에서의 사고예방 및 차후 유지관리 측면을 고려하고 신속한 제설작업 수행이 가능한 경제적인 설계를 하도록 한다.

5.2.1 설계 방향

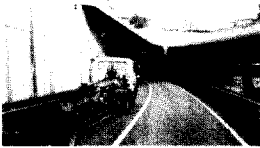
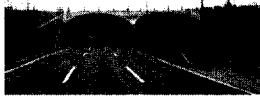


구분	용설효과평가	장기 효과평가	기타 고려사항
<div style="text-align: center;">  </div>	<div style="text-align: center;">  </div>	<ul style="list-style-type: none"> 일정시간 경과후 용설 교통사고 및 도로면 재포장시원전 재시공 별도의 수전시설 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 입·출구부 교량부분은 분사액에 의한 교량부식과 주변 지역에 오염확산을 고려하여 적절한 설계를 고려함
<ul style="list-style-type: none"> 용설액을 도로노면에 설치한노즐을 통해 도로에 분사 분사즉시 용설효과발생 고장 및 보수유지는 해당부위만 교체 			

5.3 기타 가능성을 고려한 갱구부 설계

최근의 터널설계의 기본방향은 터널의 안정성뿐만 아니라 터널 사용자의 편의성을 고려하고 주변 환경

과 조화를 이루도록 하는 데에 중점을 두고 있다. 특히 갱구부와 같이 기존 도로와 직접적으로 맞닿는 시설물의 경우, 다양한 편의시설의 배치 등을 활용할 수 있다.

항목	빛물 유입방지 및 조도순응시설	생태계 보호용 아치형 갱문	기타기능 설계
사례			<ul style="list-style-type: none"> • 입·출구부 소음 감소시설 • 갱구부 간접조명방식 • 갱구부 충격흡수 가드레일 설치 • 입구부 동결방지 대책 : 터널상부 성토재로 모래 사용(배수)
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 지하차도 갱문위를 구조물로 처리하여 빛물 유입방지 및 조도순응 기능 목적 • 곡선효과로 주행시 진입감이 좋은 일본 동경의 지하차도 입구에 	<ul style="list-style-type: none"> • 동물이동통로를 감안한 2 - ARCH 터널 예 • 원통절개식+돌출식을 가미한 일본 터널 갱문에 	

6. 결론

지금까지 살펴본 바와 같이, 갱구부 설계에 있어서는 갱구부근의 지형·지질·기상 등의 자연조건과 기존구조물과의 간섭 등 제반문제에 대하여 지반공학적으로 적절한 보강대책이 수립되어야 한다. 본 강좌에서는 갱구부의 위치선정, 콘크리트라이닝 설계를 위한 갱구부 영역선정 및 갱구부의 지보설계 및 현장의 조건을 반영한 다양한 안정성 해석방법에 대해 알아보았다. 또한, 국내에서 설계·시공되고 있는 갱문의 형식을 알아보고 각 형식별 특징을 지반공학 적 관점과 경관측면에서 고찰하였다.

최근 친환경적인 건설문화에 대한 관심이 높아짐에 따라 터널에 대한 수요가 늘어나고 있는 추세이다. 따라서, 터널의 상징적인 구조물이라 할 수 있는 갱구부 계획시 구조적인 안정성을 확보함은 물론이려니와 주변 경관과의 조화를 이루어 인간과 자연이 공존할 수 있는 자연친화적 개념을 도입하여야 할 것으로 생각한다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), "도로설계편람 I", 제 6 편 터널, pp.613-1~613-17
2. 대한터널협회(1999), "터널설계기준", pp.56~59
3. 이은풍(1999), "교통도로 TUNNEL 조명의 이해(I)", 기술사, vol. 32, no. 6, pp.130~134
4. 한국도로공사(1995), "고속도로 터널설계실무자료집", pp.341~342
5. 한국도로공사(1992), "도로설계요령", 제 4 권 터널편, pp.137~151
6. 한국지진공학회(1999), "지중구조물의 내진설계", pp. 276