

도로안정성을 고려한 친환경적 터널 갱문 설계 및 시공사례

위용곤¹⁾, 김도형¹⁾, 김영근¹⁾, 김일환²⁾, 권재석²⁾, 이원우²⁾

¹⁾(주)삼보기술단 지반부, ²⁾한국도로공사

초록 : 터널 설계에 있어 갱구부의 위치 및 갱문형식의 선정은 터널 및 갱구사면의 안정성 뿐만 아니라, 주위환경과의 조화 및 자연환경 훼손 최소화 등과 같은 환경적인 측면에서도 매우 중요한 부분이다. 현행 국내의 경우 경제성과 시공성 위주의 갱구부 위치 선정으로 과다 절취구간이 발생되어 환경훼손, 민원문제 발생, 과다한 용지 매입비용 등의 여러 가지 부작용이 발생되고 있다. 또한, 갱문 형식의 선정에 있어서 갱구부의 지형여건 및 제반 환경적 영향을 고려하지 않고 원통절개형과 면벽식 갱문의 획일적인 적용으로 주변지형과의 부조화를 이루는 사례가 다수 발생하고 있으며, 갱구부 상단의 유실된 토석이 완충공간의 부족으로 도로 노면상에 낙하되는 사고가 발생하고 있어 그에 대한 대책이 필요한 실정이다.

이와 같은 문제점을 보완하기 위해 갱구부 절취구간 최소화를 위한 구체적인 최소토포피고 기준을 마련하였으며, 갱구상단 지형경사의 완급, 갱문주위의 배수기능, 낙석·산사태 등의 발생가능성 등을 고려한 새로운 갱문형식을 제안하고 체계적인 검토를 수행하였다. 이를 통해 점차 강화되는 환경보호정책 방향에 부응하고 자연환경 훼손을 최소화하며, 특히 해빙기와 집중호우시 낙석·눈사태로부터 도로의 안전을 확보할 수 있는 터널 갱문부 설계기준을 제시하였다. 또한, 실제 고속도로 터널의 설계 적용사례를 통하여 본 설계기준의 적용성을 분석하였으며, 실제 갱문 시공사례를 소개하여 향후 설계 및 시공에 도움이 되고자 하였다.

주요어 : 터널 갱문부, 갱구부 위치, 갱문형식, 절취구간 최소화, 최소토포피고

1. 서론

터널설계에 있어 갱구부의 위치 및 갱문형식 선정은 터널계획의 근간이 되는 항목이다. 터널 갱구부는 터널이 시작되는 부분으로서 터널 상부에 절취구간이 생성되어 갱구를 형성하게 되므로 터널자체의 안정성뿐만 아니라 갱구사면의 안전성 모두를 고려해야만 한다.

국내의 경우 그동안 경제성 및 시공성 위주의 설계경향에 따라 과다한 절취구간 발생으로 여러 가지 환경문제가 심각하게 대두되고 있으며, 기존의 설계기준을 살펴보면 터널 갱구부 위치선정에 대한 구체적인 기준이 제시되어 있지 않으며, 갱문 설계시 갱구부의 지형여건 및 제반 환경적 영향을 고려하지 않고 면벽식과 원통절개형의 획일화된 갱문형식을 선정함에 따라 주변지형과의 부조화 내지는 대절토사면 발생에 따른 취약성을 내포하고 있어 이에 대한 보완이 요구된다 할 수 있다.

또한 최근 수해로 인한 갱구부의 붕괴사례에서 보듯이 갱구상단부 토석붕괴와 유실 발생시 완충공간의 협소로 도로 노면상에 상부의 토석 등이 낙하되어 도로를 점유하는 등의 피

해가 발생하고 있어 그에 대한 대책이 필요한 실정이다. 터널 갱문부에 대한 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 갱구부 절취최소화를 위한 구체화된 최소토피고 기준과 갱구상단 자연지형 경사면의 완급, 갱문 주위의 배수기능, 낙석·산사태 등의 발생 가능성, 자연지형과의 조화 등을 고려한 새로운 갱문형식(벨마우스 변형, 버드비크형, 아치 면벽형)을 제안하고 그에 대한 체계적인 검토를 수행하였다. 이를 통하여 고속도로 이용차량의 안전하고 원활한 교통소통을 기하고 주위 지형과 조화되어 자연환경 훼손을 최소화하며, 특히 해빙기와 집중호우시 낙석·눈사태로부터 도로의 안전을 확보할 수 있는 터널 갱문부 설계기준을 제시하였으며, 또한 고속도로터널에 대한 실제 설계사례 및 시공사례를 통하여 본 설계기준의 적용성을 분석하고 향후 보완사항을 검토하고자 하였다.

2. 현행 터널 갱구부 설계 현황 및 문제점 분석

본 절에서는 기존의 도로터널 갱구부 설계·시공사례에 대한 조사 및 분석을 통해 발생되고 있는 문제점을 파악하고, 이를 해결하기 위한 새로운 갱구부 설계기준의 제안에 고려되어야 할 사항들을 검토하였다.

2.1 터널 갱구부 설계현황

그림 1 (가), (나)는 국내 터널 154개소를 대상으로 개착구간의 범위에 대한 분석결과를 나타낸 것으로, 1~2D가 가장 높은 비율을 나타내었으며, 90년대 이후에 오히려 개착부의 범위가 2~3D 이상인 경우가 18%로 오히려 높아지는 경향을 나타내어 절취구간이 증가한 추세를 보였다. 그림 1 (다), (라)에서 보는 바와 같이 갱구상단 토피고의 경우 2.0~2.5D가 가장 많았으며, 1.0D이하의 터널은 전체의 10%에 불과하며, 갱구부 토피고가 10m이하인 터널은 시공사례가 없는 것으로 조사되었다.

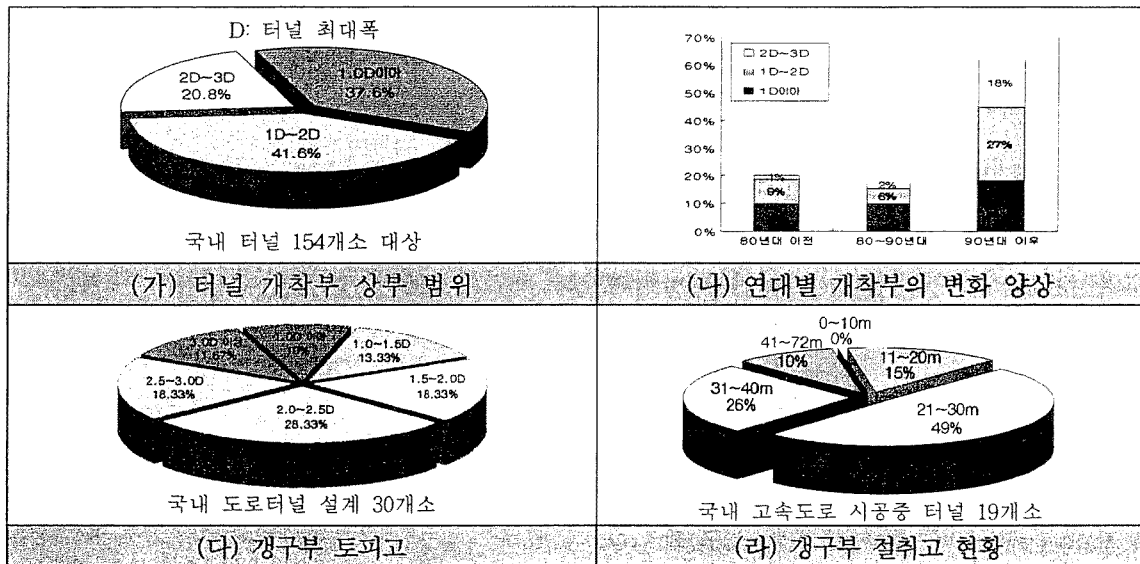


그림 1. 국내 터널 갱구부에 대한 사례 분석

이상의 기존 터널 갱구부 설계 및 시공사례의 분석결과, 터널 천단부의 안정성 확보를 우선시 한 시공성 및 경제성 위주의 계획으로 갱구 천단부에 암반층이 나오도록 평균 토피고 1.0~2.0D 지점에 대부분의 갱구부 계획이 이루어졌다. 따라서 과도한 절취구간이 발생되어 여러 가지 환경문제를 발생시킬 수 있으며, 개착구간의 범위가 오히려 증가하는 추세로 최근 들어 환경보전을 위한 다각적인 노력을 기울이는 사회적 분위기에 역행하고 있는 것으로 조사되었다.

2.2 국외 갱구부 시공현장과의 비교

터널 갱구부 계획 시에는 지반 및 제반조건에 따라 다양한 검토가 이루어져야 하지만 국내의 경우에는 경제성 및 시공성 위주의 설계로 인한 과도절취구간 발생으로 여러 가지 문제점들이 대두되고 있다. 그림 2 (가)는 현재 국내에서 시공되고 있는 고속도로 터널 현장으로 갱구부의 안정성 확보를 위하여 수십m의 개착부 절취구간을 두고, 또한 갱구부에 1m이상의 인버트를 가지는 터널단면으로 시공되고 있는 현장이다. 이와는 대조적으로 그림 2 (나)는 오스트리아에서 시공중인 현장으로 터널 보조공법(AT-Casing시스템)을 적용하여 갱구부 절취구간의 최소화를 도모하면서 주변 환경훼손을 최대한 방지한 현장이다. 물론, 개착구간의 최소화를 위해서는 추가적으로 발생하게 되는 터널연장 및 터널보강비의 증가로 인한 공사비 증가의 문제점이 발생하게 되지만, 아래 두 현장의 대조적인 모습은 국내의 터널 갱구부 설계 현실에 시사하는 바가 매우 크다.

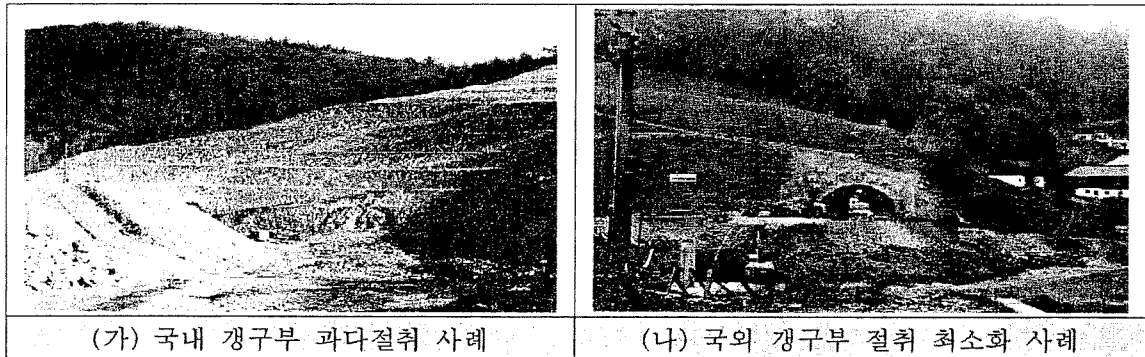


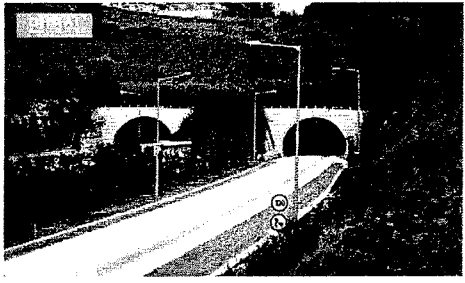

그림 2. 터널 갱구부 시공사례 비교

2.3 기존 갭문형식에 대한 검토

갭문은 지표 비탈면의 낙석 붕괴, 눈사태, 누수 등으로부터 갭문부를 보호하기 위한 것으로서 갭문 구조물 자체의 변위, 침하 등이 생기지 않는 역학적으로 안정된 것이어야 하며, 특히 차량 통과시 공기압의 감소 효과, 소음 방지 및 입출구부 동결융해방지 시설 등을 고려하여 설계하여야 한다. 또한, 갭문 자체의 미관과 주변지형과의 조화 등을 복합적으로 고려하여 갭문형식을 검토하여야 한다. 하지만, 국내에서는 이러한 다각적인 각도에서의 갭문형식에 대한 검토가 이루어지지 않고 면벽식과 원통절개형의 획일화된 설계가 이루어지고 있는 실정이다. 표 1에는 국내 설계에서 주로 적용하고 있는 갭문형식인 면벽식과 원통절개형의 장단점과 적용지형을 정리한 것이다. 현재 도로터널 설계의 경우 주로 지형특성을 고

려하여 이들 갯문형식중의 하나를 채택하고 있어, 보다 다양한 기능과 조형미를 가진 갯문 설계의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

표 1. 국내 주요 갯문형식의 특징

구분	면 벽 식	원 통 절 개 형
개 요 도		
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 터널 갯구부 시공이 용이 • 터널 상부 되메우기 불필요 • 터널 상부에서 유하하는 지표수에 대한 배수 처리가 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 도로와 자연스럽게 접속 유도되므로 운전자에게 안전감을 줌. • 주변 지형과 조화를 이루어 미관이 수려
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 운전자에게 상대적으로 위압감을 줌 • 인위적 구조물 설치에 따른 주변경관과의 조화를 이루기 어려움 • 정면벽의 휘도저하 고려 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 토사유실 발생시 완충공간 협소 • 갯구부 터널 상부에 인위적인 성토 필요 • 특수거푸집이 필요하고 공기가 김 • 터널 상부지표수에 대한 배수처리 필요
적용 지형	<ul style="list-style-type: none"> • 갯구부 지형이 횡단상 편경사진 경우 • 배면 배수 처리가 용이한 지형 • 토류옹벽적 구조물이 요구되는 경우 • 갯구부 지형이 종단상 급경사인 경우 	<ul style="list-style-type: none"> • 지형이 편측 경사가 없고 갯문 전면의 절취량이 적어 개착터널 설치후 자연스럽게 조화를 이룰 수 있는 지형

2.4 기존 터널 갯문부 문제점 분석

2.4.1 최근 갯문부 수해현황 및 원인분석

지난 2002년에 대규모 태풍으로 인하여 고속도로에 많은 피해가 발생하였으며, 특히 집중 호우로 인한 산사태, 낙석, 토사유실 등으로 인하여 고속도로 통행에 큰 지장을 초래하였다. 표 2에는 태풍 루사 및 간무리에 의해 나타난 고속도로상의 터널 갯문부 사고현황을 정리한 것이다. 터널의 경우 대부분이 집중호우로 인한 갯구부 절토사면의 유실로 고속도로 상에 토사가 적치되어 차량의 통행과 안전을 저해하는 것으로 나타났다. 그림 3 (가)는 중앙선 OO터널의 면벽식 갯문 상단에서 발생한 사고 사례로서 갯문이 파손되고 본선이 전면 통제 되는 피해가 발생하였다. 과도한 갯구사면 절취로 인하여 집중호우시 갯구사면이 쉽게 붕괴 되었으며, 갯문구조물이 붕괴된 토사에 대한 적치기능이 미흡하여 유실된 토사가 그대로 도로면에 도달함으로써 도로 기능을 상실하였다. 또한 그림 3 (나)는 경부선 OO터널에서 발생한 낙석 사고로서 낙석이나 토사유실에 대비한 별도의 방지기능을 수행할 수 있는 기능이 없어 부분적인 낙석발생시에도 도로의 안전성을 심각하게 위협하였다.

표 2. 터널 갱문부 수해현황 (2002. 8~9. 태풍 간무리/루사)

노선명	터널명	수해현황	원인	비고
영동선	대관령1터널 하행, 시점 상행, 종점	· 갱구부 절토면 토사유실 (40m ²) · 본선 추월차로 및 길어깨부 토사적치	· 집중호우로 인한 절토사 면 유실	태 풍 루 사
	대관령5터널 상행, 시점	· 갱구부 절토면 토사유실 (130m ²) · 길어깨부 토사적치		
동해선	동해1터널 (23.5k, 강릉)	· 토사유실(30m ²) · 길어깨부 토사적치	· 집중호우로 인한 갱구부 측면 토사유실	태 풍 루 사
중앙선	현곡터널 출구부 갱문상단	· 토사유실(400m ²) · 녹생토유실(600m ²) · 갱문파손(30m ²) · 본선 전면통제	· 집중호우로 인한 갱문부 절토사면 붕괴유실	태 풍 간무리



그림 3. 터널 갱문부에서의 토사유실 및 낙석

이러한 피해 사례를 분석한 결과, 터널 갱구위치 선정시 안정성 및 경제성에 치중하여 갱문부를 짧게 계획함으로써 주변지형과의 부조화 및 대절토사면 발생으로 인하여 안정성을 확보하지 못하였으며 갱문 상단부 토석붕괴와 유실발생시 완충기능을 발휘하지 못하여 노면상에 바로 낙하될 수 있는 위험성을 가지고 있었다. 특히, 갱문 상단부의 낙석방지책 또는 파라팻트는 갱구 배면의 소규모 토석 붕괴시에도 그 기능을 발휘하지 못하는 것으로 판단되었다.

2.4.2 기존터널 갱문부 문제점

기존 갱문부 설계의 문제점을 종합해 보면, 대부분 갱구부 지형여건을 고려하지 않고 면벽식과 원통절개형으로 획일화되어 있으며 경제성 위주의 설계·시공경향으로 갱문 상단부 과다절취로 인한 도로의 안정성 확보에 문제가 있는 것으로 검토되었다. 또한, 과다한 환경훼손의 문제와 개착터널의 되메우기부의 다짐불량으로 인한 수해시 안정성 확보의 취약성을 가지고 이으며, 면벽식 갱문의 경우 터널 진입부의 자연스러운 유도기능이 미흡하여 운전자가 터널 진입시 심리적 불안감을 느낄 수 있는 것으로 판단되었다.

3. 기존 터널 갱구부 설계기준(2002년) 검토

한국도로공사에서는 2002년에 터널 갱구부의 과다절취로 인한 환경영향평가 협의 지연 사례가 빈발하여 이에 대한 대책으로, 기술적으로 가능한 환경보전 방안을 검토하면서 환경 친화적인 터널 갱구부 설계기준을 제안하였다. 이 때 검토된 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 도로선형 계획시 고려사항

대각기 비탈면(갱구배후 비탈면, 좌우측 비탈면)이 발생하지 않도록 도로선형 계획시부터 터널 위치에 대한 적극적인 검토 필요

2) 갱구 위치 선정 기준

○ 설계시

토피고 2~3m가 확보되는 지점으로부터 토피고 1D 내에서 지형·지질조건 등을 검토하여 훼손이 최소화될 수 있는 위치를 선정

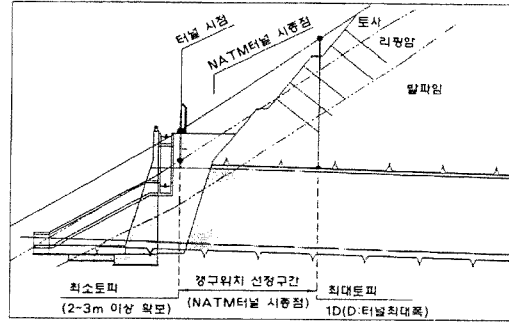


그림 4. 터널 갱구부 위치 선정(2002년)

○ 시공시

훼손구간이 설계시보다 증가 할 경우 환경보전방안에 대한 시공계획을 검토하여 시행하여야 하고, 공사비 절감을 사유로 하는 터널연장의 축소는 지양

위와 같이 터널 갱구부 설계기준(2002년)은 과다절취 등과 같은 자연환경 훼손문제를 해결하고자 선형검토시 갱구위치의 적정성을 검토하고, 설계시 갱구부 최소토피고를 1D이하로 제안하여 갱구사면 절취최소화를 유도하고, 시공시 상세조사를 실시하도록 하여, 기존의 터널갱구부에 대한 문제점을 개선하고 보완하도록 하고 있다. 표 3에 터널 갱구부 설계기준(2002년)을 정리하였다.

표 3. 터널 갱구부 설계기준(2002년)

항 목	갱구부 설계기준 (2002년)
검토방향	· 갱구사면 과다절취 지양, 자연지형복원 ⇒ 환경친화적 설계
갱구위치	· 계획시 : 터널갱구위치 상세검토 · 설계시 : 최소토피고 2~3m에서 1D 범위 · 시공시 : 시공전 사전조사 및 검토시행
갱문형식	· 검토 없음
기 타	· 개착터널구간의 자연복원(복토)

그러나, 이러한 갱구부 설계기준 개선에서는 갱구부 환경훼손의 최소화를 위한 설계기준 정립을 위하여 최소토피고 기준을 2~3m에서 1D의 범위로 제안하였으나, 보다 강화된 환경 친화적인 최소토피고의 구체적인 기준이 필요하게 되었다. 또한, 갱구사면의 훼손에 따른 갱구부 사면에서의 토사유실, 낙석 등으로 인한 도로 안전성에 대한 문제 보완을 위한 갱문형식의 검토가 이뤄지지 않아 이 부분에 대한 상세한 추가 검토가 필요하다고 판단되었다.

4. 도로안전성을 고려한 친환경적 터널 갱문부 설계기준(2003년)

4.1 기존 갱문부 설계 문제점 해소 방안

개선된 갱문부 설계기준에서는 터널 갱문부에 발생가능한 문제점들을 해결하기 위하여 갱구부 절취최소화를 위한 더욱 구체화된 최소토피고 기준을 제시하고 갱구상단 자연지형 경사면의 완급, 갱문 주위의 배수기능, 낙석·산사태 등의 발생 가능성, 자연지형과의 조화 등의 복합적인 요소를 고려한 새로운 갱문형식을 제안하고 그에 대한 체계적인 검토를 수행하였다.

1) 갱구위치 선정

갱구는 계곡의 수로 등과 교차하지 않고, 도로 중심선과 자연지형의 경사면이 직각 교차하는 것이 바람직하며 가급적 교차각이 60°이상 되도록 계획시 선형 설계

2) 갱문형식 선정

갱구 상단 자연지형 경사면의 완급이 갱문 주위의 배수기능, 낙석·산사태 등의 발생 가능성 및 자연지형과의 조화 등이 갱문부 설계의 주된 요인이므로 갱구부 지형 여건을 기초로 제시된 갱문부 설계기준에 준한 갱문형식을 선정

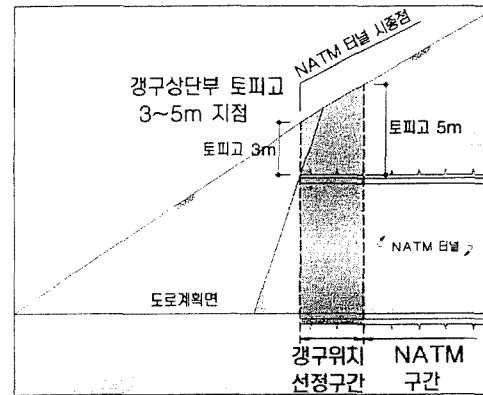


그림 5. 터널 갱구위치 선정(2003년)

3) 갱구부 절취 최소화

점차 강화되는 환경보호정책 방향에 부응하고 갱구부 사면의 안정성 확보를 위해 갱구 상단부 토피고가 3m~5m 정도 확보되는 지점에 갱구 형성을 표준으로 설계하되 갱구부의 토질여건상 토피고 5m 이내에서 갱구 형성이 어려울 경우는 별도 검토 결과에 따라 설계할 수 있으며, 토사부 등 일정구간에서는 지반보강 후에 굴착하는 방안을 검토 (그림 5)

4.2 갱구부 및 갱문 설계기준

본 설계기준안에는 각 갱구부 현장의 지반조건 등을 종합적으로 고려하여 설계자가 갱문형식을 채택하도록 유도하되 지형경사에 따른 분류를 하나의 예로 제시하였다.

4.2.1 갱구 상단의 자연경사면이 완만한 경우

1) 지형여건 분석

자연 경사면의 경사도가 30°미만으로 비교적 완만하고 강우시 유속이 느리며 산사태, 낙석 발생시 붕괴 토석의 에너지가 비교적 약한 지형으로 도로의 종단 선형상 일정구간 절취 후 갱구에 접속하게 되는 경우에 다음과 같은 개선안을 제시하였다.

2) 갱문부 설계 - 벨마우스(Bell Mouth) 변형

갱문은 터널 측벽부의 되메우기 및 자연지형과의 조화를 위하여 단면을 45°내외로 절단한 형태로 하며, 단면 절단부를 나팔형태로 추가 연장 처리한다. 나팔의 형태는 라이닝 내부 천정부에서 높이 1.5m, 수평길이 3m의 경사로 처리하고 측벽 밑단에서 연직으로 높이 0.9m가 되도록 부

드럽게 변하는 변화 벌림으로 처리한다. 터널 라이닝 콘크리트 외측상단은 복토 끝 지점부터 노출처리하고 측벽부만 되메움한다. 갱구 상단 막장 절취부는 표준 성토구배(1:1.5~1.8)의 경사면으로 복토하고 하단부에서 4m 높이까지는 1:1.3 구배로 돌붙임 시행 또는 옹벽을 설치함으로써 개착터널하부 지반조건에 대한 안정성 확보 및 경제성을 고려하여 개착터널 내민부 연장을 적정 조정한다. 또한, 터널부와 일반도로 구간 길어깨폭 변화구간에 대하여는 가드레일 또는 옹벽을 접속설치율 1/10을 적용하여 설치함으로써 Smooth한 접속처리가 되도록 한다. (그림 6 참조)

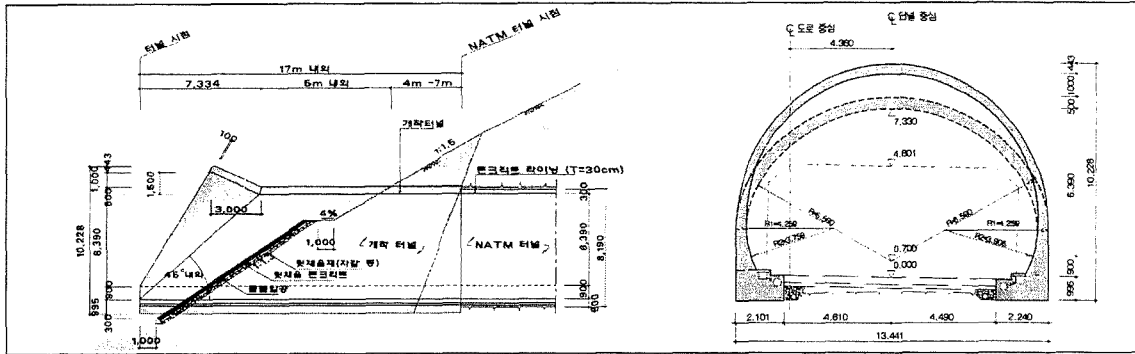


그림 6. 벨마우스 변형 갱문

3) 접속옹벽, 측구, 되메우기

터널 갱문부 전면에 옹벽 설치시에는 옹벽은 노면으로부터 0.9m 높이로 하여 나팔처리한 라이닝 단면과 연결하여 적정한 연장으로 길어깨 폭원 변화구간 접속설치율 1/10 적용하여 설치한다. 옹벽 뒷면에 측구를 옹벽 상단에서 30cm 하단부에 측구상단과 일치하도록 설치하며 측구단면 규격은 U형 측구를 표준으로 하되 배수유역 면적을 고려하여 규격을 결정한다. 개착터널 라이닝 배면은 막장 절취부 복토 구배로 연결하여 계획한다.

4.2.2 갱구 상단의 자연경사면이 급한 경우

1) 지형여건 분석

자연 경사면의 경사도가 30°이상으로 비교적 급하고 강우시 유속이 빠르고 낙석·산사태 발생시 붕괴 토석의 에너지가 비교적 강한 지형으로 도로의 종단 선형상 절취구간이 짧게 발생한 후 갱구에 접속하게 되는 경우에 대하여 다음과 같은 개선안을 제시하였다.

2) 갱문부 설계 - 버드비크(Bird Beak)형

갱문 형식은 터널 상단 원지반의 낙석이나, 산사태·눈사태로부터 차도부를 보호하기 위하여 연직으로 단면을 절개한 후 단면 절단부를 나팔형태로 추가 연장 처리한다. 나팔의 형태는 라이닝 천단부에서 높이 1.5m, 수평길이 5.0m의 경사로 처리하고, 측벽 하단부 끝단에서 수평으로 길이 0.9m가 되도록 부드럽게 변하는 변화 벌림으로 처리한다. 터널 라이닝 콘크리트 외측상단은 복토 끝 지점부터 노출처리하고 측벽부는 되메움한다. 갱구상단 막장 절취부는 표준성토구배(1:1.5~1.8) 경사면으로 복토하고 하단부에서 4m 높이까지는 1:1.3 구배로 돌붙임 시행 또는 옹벽을 설치함으로써 개착터널하부 지반조건에 대한 안정성 확보 및 경제성을 고려하여 개착터널 내민부 연장을 적정 조정한다. 또한, 터널부와 일반도로 구간의 길어깨폭 변화구간에 대하여는 가드레일 또는 옹벽을 접속설치율 1/10을 적용하여 설치함으로써 Smooth한 접속처리가 되도록 한다. (그림 7 참조)

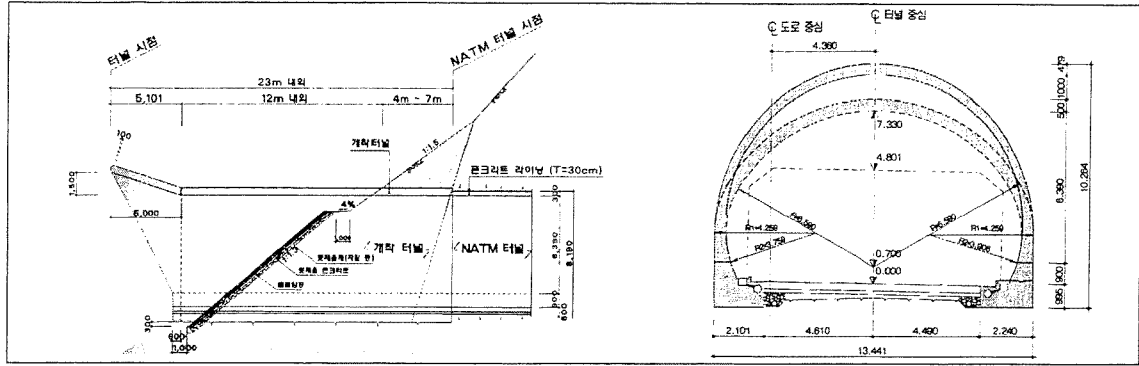


그림 7. 버드비크형 갭문

3) 접속옹벽, 측구, 되메우기

터널 갭문부 전면에 옹벽 설치시에는 옹벽은 노면으로부터 0.9m 높이로 하여 나팔처리한 라이닝 단면과 연결하여 적절한 연장으로 길어개 폭원 변화구간 접속설치율 1/10 적용하여 설치한다. 옹벽 뒷면에 측구를 옹벽 상단에서 30cm 하단부에 측구상단과 일치하도록 설치하며 측구단면 규격은 U형 측구를 표준으로 하되 배수유역 면적을 고려하여 규격을 결정한다. 개착터널 라이닝 배면은 막장 절취부 복토 구배로 연결하여 계획한다.

4.2.3 기타 지형의 경우

1) 지형여건 분석

갭구가 불가피하게 편토압 지형에 위치하는 경우 또는 기타 옹벽형 갭문 구조가 유리한 지형인 경우 별도의 갭문형식으로 설계한다.

2) 갭문부 설계 - 아치(Arch) 면벽형

갭구별 지형조건에 따라 안전성, 미관 및 경제성이 확보되도록 갭문형식을 설계에 적용한다. 옹벽형 갭문구조가 미관 및 낙석·토사유출에 대한 대응측면에서 유리한 경우에는 갭구부 측면 절취를 최소화할 수 있는 Arch 면벽형 갭문으로 설계에 적용한다.

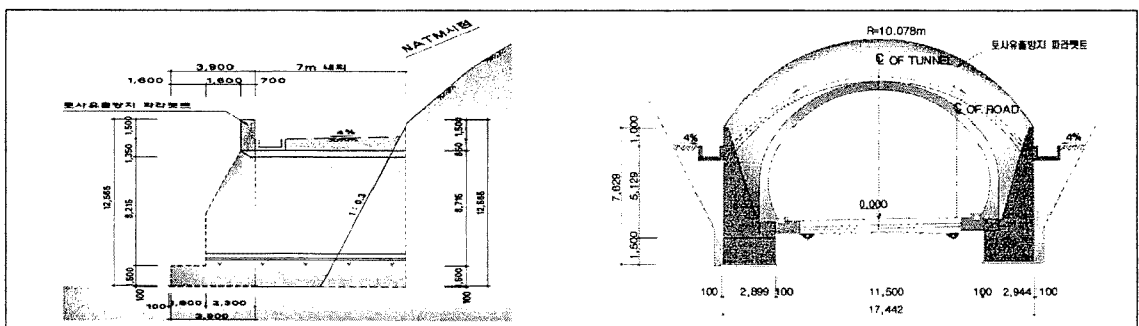


그림 8. 아치 면벽형 갭문

3) 아치형 설계요소

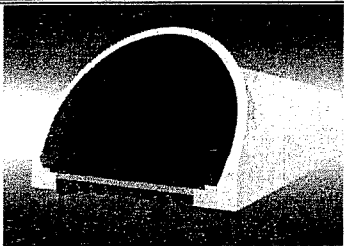
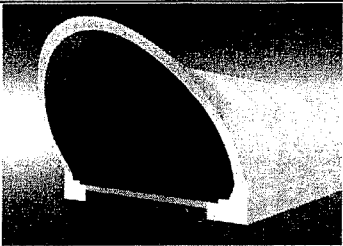
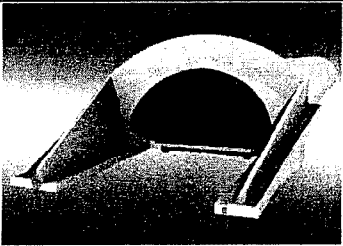
개착터널 길이는 집중호우로 인한 토석유실 및 표면수에 대한 추가적인 안전성 확보측면을 고려하여 7m를 표준으로 하되 갭문 상단부의 절토 사면 높이, 토사층 두께, 암질 등을 감안하여 가감한다. 갭문 파라펫트 높이 결정시 집중호우로 인한 토석 붕괴·유실시 갭문

월류로 인한 교통차단예방 기능에 효과적인 규격검토 후 적용하며 일반적으로 중앙부 1.5m에서 측면부 1.0m 높이로 변하는 규격을 표준으로 설계 적용한다. 배수 계획시에는 배수기능이 확실하고 유지관리가 용이한 U형 측구를 원칙으로 하되 배수유역 면적을 고려하여 규격 결정하고 특별히 미관을 고려하여 배수관 매입형식을 선정시에는 충분한 배수용량 검토 후 적정 규격을 확보하도록 한다. 또한, 기타 고려사항으로 측구 설치부 복토 부위는 충분한 다짐 시행하도록 한다. (그림 8 참조)

4.2.4 개선된 갯문형식의 특성

본 검토에서는 도로 안전성을 고려한 3개의 개선된 터널 갯문형식을 제안하였으며, 이 갯문형식들의 주요특성과 장단점 그리고 적용지형에 대하여 표 4에 정리하여 제시하였다.

표 4. 개선된 갯문형식의 주요 특성

구분	벨마우스 변형	버드비크형	아치 면벽형
개요도			
장단점	<ul style="list-style-type: none"> · 도로와 자연스러운 접속유도로 운전자에게 안전감 줌 · 자연사면이 완만한 지형으로 조화를 이뤄 미관 수려 · 유실된 토사의 완충기능 · 상부에 인위적인 성토 필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 도로와 자연스러운 접속유도로 운전자에게 안전감 줌 · 주변지형과 조화로 미관 수려 · 유실된 토사의 완충기능 · 상부에 인위적인 성토 필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 터널 상부에 인위적인 되메우기량이 적음 · 터널 진입시 운전자에게 다소 위압감을 줌 · 인위적인 구조물 설치로 주변지형과의 조화가 미흡
적용지형	<ul style="list-style-type: none"> · 갯구상단 완사면(30° 미만) · 강우시 유속영향 적음 · 낙석·산사태 우려 적음 · 갯구NATM위치 선정 (최소토포: 3~5m) 	<ul style="list-style-type: none"> · 갯구상단 급사면(30° 이상) · 강우시 유속 영향이 큼 · 낙석·산사태 우려 많음 · 갯구NATM위치 선정 (최소토포: 3~5m) 	<ul style="list-style-type: none"> · 갯구상단 급사면(30° 이상) · 편도압 예상지역 · 토류용벽식 구조물이 유리한 경우 · 별도 배수처리 필요 지형

4.3 터널 갯문설계별 공사비 검토

위에서 제안한 갯문설계기준의 최소토포피고 기준 2~3m에 준하여 터널갯구부를 위치시킬 경우에 NATM시·중점 부분의 갯구상단에 지반 자체적으로 안정성 확보가 어려운 토사 및 리핑암이 위치하게 될 수 있으며 또한 저토포피공간이 발생할 수 있으므로 지반의 안정성 확보를 위하여 부수적인 터널보조공법의 적용이 필요하게 된다. 그러나, 각 현장의 지반조건 및 제반사항이 달라지므로 안정성 해석을 포함한 다양한 요소들을 고려한 설계자의 합리적인 보조공법 선정과 보강물량 산정이 요구된다. 아래의 표 5에서는 현재 보편적으로 설계시 검토되는 보조공법들의 특징을 간략하게 소개하였다. 이러한 보조공법의 설계는 공사비 증액의 주된 요인이 되므로 세부적인 검토가 필히 수행되어야 한다.

표 5. 터널보조공법 비교

구분	강간보강 그라우팅	FRP 보강 그라우팅	대구경 강관보강 그라우팅	AT-Casing System
공법 개요	터널막장 전면의 굴착면 주변에 소구경 강관을 적절한 간격으로 삽입하고 주입재에 의한 지반고결로 강관과 주변지반을 일체화시켜 Beam Arch를 형성하여 안정성 확보	강관 자중에 의한 시공성 저하와 부식성 문제를 해결하기 위해 중량이 가볍고 내부식성이 좋은 FRP관을 터널막장면 주변에 천공후 삽입하고 주입재를 주입하여 터널굴착면의 안정성 확보	비교적 강성이 큰 대구경 강관을 전용장비를 이용하여 천공 및 설치하고 그라우팅 주입후 강관하부를 굴착, 강지보를 강관에 밀착 시공하여 안정성 확보	직천공식 보강 그라우팅 공법중의 하나로 파이프 드릴비트와 링 드릴비트로 구성된 특수한 천공장치를 이용하여 천공과 동시에 강관을 삽입한후 주입재를 주입하여 터널굴착면 안정성 확보
개요도				
시공 장비	Crawler Drill등	SM575, SM505, Crawler Drill등	SM575, SM505등 터널 전용장비사용	일반 점보드릴사용
보강재	강관 (φ50~60mm, t=3~5mm)	FRP관 (φ60mm, t=5mm)	강관 (φ114mm, t=6mm)	강관 (φ76~114mm, t=3~5mm)
특징	<ul style="list-style-type: none"> · 공사비 비교적 저렴 · 지반이완/과다여굴 방지 · 지하수 과다유입시 완벽한 차수효과 기대곤란 · 소형천공장비로 이동용이 	<ul style="list-style-type: none"> · 중량이 가벼워 취급용이 · 내부식성으로 내구성 향상 · 주입관과 간격재가 일체화 되어 품질향상 효과기대 · 취성재료로 변위가 클 경우 절단 가능성 있음 	<ul style="list-style-type: none"> · 전용천공장비 사용으로 시공정밀성 우수 · 강성이 큰 대구경 강관을 사용하므로 보강효과 우수 · 강관이 단본 · 최근 직천공식도 적용 	<ul style="list-style-type: none"> · 천공장비 : 일반점보드릴 · 천공과 동시에 강관을 주입하므로 시공공정이 간단 · 3m강관을 연결사용 · 링드릴비트가 일회용 소모품
적용성 검토	· 풍화대 또는 터널천단부에 기반암이 얇게 분포해 있는 구간	· 풍화대 또는 파쇄가 심한 지반에서 터널막장면의 안정성 확보를 위하여 적용가능	· 저토평구간 및 터널주변 지반이 풍화대층이며 터널 근접지역에 주요시설물이 있는 구간	· 천공홀의 자립이 어려운 토사층 및 갱구부에 적용가능

또한, NATM터널의 연장 증가로 인한 공사비 증액요인과 갱구부 절취의 최소화로 인한 토공비 감소 등의 여러 가지 요인들을 분석하여 개략적인 공사비를 비교 검토하였다. 이를 위해, 최소토평고 기준 2~3m를 확보하는 위치에 갱구부를 위치시킨 경우와 1D의 토평고를 확보하는 위치에 갱구부를 위치시킨 경우에 대하여 아래의 사항을 가정한 후 갱문형식별 개략적인 공사비를 산정하였다.

- 지형경사 30° 미만의 완경사와 30°이상의 급경사로 편경사가 없는 지형으로 가정
- 각 지층은 평행하게 발달한 것으로 가정
- 비교조건 : - 토평고 3~5m 및 1D이상 확보한 경우의 공사비 비교
 - 갱문형식에 의한 공사비 비교
 - 갱구부 배면비탈면 보강공법 : FRP 또는 록볼트 보강

표 6과 표 7에서 보듯이 본고에서 제시된 갱문부 설계기준(2003년)에 의하여 최소토평고 3~5m를 확보하는 지점에 갱구부를 위치하고 벨마우스 변형 및 버드비크형 갱문형식을 적용한 1안의 경우에는 2안과 비교했을 때 개착구간의 축소에 의한 토공비의 감소영향이 있으나 터널보강비와 터널구조물비의 증가로 인한 공사비가 대략 1억원 정도가 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 검토는 공사비에 대한 정량적인 수치에 의미를 부여할 순 없으나, 갱구부 개착구간 최소화에 따른 공사비 증감의 대략적인 추이를 판단할 수 있는 제공한다. 다시말해, 갱구부 절취구간 최소화에 따른 설계개선에 따라 필연적으로 발생되게 되는 터널보강비 및 구조물비의 증가가 전체 공사비의 변화에 매우 큰 요소로 작용하게 된다. 터널보조공법과 갱문형식의 선정시 갱문부의 안정성을 확보하면서 경제적인 설계를 도모하기 위해서 갱구부 지반조건에 대한 상세한 사전조사 및 세부적인 구조검토를 통한 갱문부 설계가

함께 이루어져야 할 것이다.

표 6. 지형경사 30° 미만의 완경사 지형

구분	종단면	횡단면	공사비 검토
1안			<p>총공사비 : 6.17억원</p>
	<ul style="list-style-type: none"> · 갱구부 최소토피고 3m 확보 · 갱문형식 : 벨마우스 변형 		
2-1안			<p>총공사비 : 3.37억원</p>
	<ul style="list-style-type: none"> · 갱구부 최소토피고 1D 확보 · 갱문형식 : 면벽형 		
2-2안			<p>총공사비 : 5.25억원</p>
	<ul style="list-style-type: none"> · 갱구부 최소토피고 1D 확보 · 갱문형식 : 원통절개형 		

표 7. 지형경사 30° 이상의 급경사 지형

구분	종단면	횡단면	공사비 검토
1안			<p>총공사비 : 5.53억원</p>
	<ul style="list-style-type: none"> · 갱구부 최소토피고 3m 확보 · 갱문형식 : 버드비크형 		
2-1안			<p>총공사비 : 2.98억원</p>
	<ul style="list-style-type: none"> · 갱구부 최소토피고 1D 확보 · 갱문형식 : 면벽형 		
2-2안			<p>총공사비 : 3.79억원</p>
	<ul style="list-style-type: none"> · 갱구부 최소토피고 1D 확보 · 갱문형식 : 원통절개형 		

5. 개선된 설계기준에 의한 갯문부 설계사례

본 절에서는 제안된 터널 갯문부 설계기준을 실제 도로터널 설계에 적용한 사례를 들어 그 적용성을 검토하였다.

5.1 갯구위치 선정

본 설계에서는 환경보호정책 방향에 부응하고 갯구부 사면의 안정성 확보를 위해 갯구상단부 토피가 3m~5m정도 확보되는 지점에 갯구형성을 표준으로 검토하였다. 표 8에 본 설계구간의 터널현황을 정리하였다.

표 8. 터널 현황

구 분		㉠ 터널	㉡ 터널
터널연장	주문진 방향	971m	550m
	속 초 방향	996m	543m
종단경사	주문진 방향	+0.5000%	+1.1000%
	속 초 방향	-0.6100%	-0.6100%
갯문형식	주문진 방향	시점 : 벨마우스 변형 종점 : 아치 면벽형	시점 : 아치 면벽형 종점 : 벨마우스 변형
	속 초 방향	시점 : 벨마우스 변형 종점 : 아치 면벽형	시점 : 아치 면벽형 종점 : 벨마우스 변형
통 행 방 식		일방향 통행(2차로)	일방향 통행(2차로)
피난시설 및 비상주차대		대인용 피난연락갱 4개소	대인용 피난연락갱 2개소

표 9. 갯구위치 선정 비교(㉠터널 시점부)

구 분		1 안 (토피고 3m)	2 안 (터널상단 기반암전)
종단면도			
훼손면적		495 m ² / 539 m ²	896 m ² / 976 m ²
개략공사비	토 공	0.1 억원 / 0.1 억원	0.5 억원 / 0.5 억원
	갯구보강	4.3 억원 / 4.0 억원	3.2 억원 / 2.2 억원
	NATM	2.0 억원 / 2.0 억원	- 억원 / - 억원
	개 착	1.5 억원 / 1.5 억원	1.5 억원 / 1.5 억원
	계	7.9 억원 / 7.6 억원	5.2 억원 / 4.2 억원
검 토 의 견		갯구위치 선정시 갯문부 설계기준(안)인 최소토피고 3m와 천단부 안정성 확보가 가능한 위치를 비교검토 하였으며, 2안에 비해 경제성에서 다소 부담되나 자연훼손 면적 최소의 친환경적인 1안으로 선정	
선 정		㉠	

표 9는 본 터널에서의 갯구위치 선정을 위한 비교를 나타낸 것으로 터널갯문부 설계기준을 준수하여 토피고가 3M 되는 지점을 갯구위치로 하는 안과 기존의 방법대로 갯구터널

상단에 기반암이 나타나는 지점을 갱구위치로 하는 안을 선정하여, 각각의 경우에 대한 훼손면적, 보강방법, 공사비 등을 비교 검토하여 최적의 갱구위치를 선정하고자 하였다. 갱구사면 안정에는 FRP 보강그라우팅을 적용하였으며, 갱구부 터널 보조공법으로는 대구경 강관보강 그라우팅을 적용하여 안정성을 확보하도록 하였다.

5.2 갱문형식 선정

갱문형식은 갱구상단 자연지형 경사면의 완급, 갱문주위의 배수기능, 낙석·산사태 등의 발생 가능성 및 자연지형과의 조화 등을 고려하여 검토하여야 하며, 본 설계에서는 터널 갱문부 설계기준에서 제시한 3가지의 개선된 갱문형식을 비교검토 하여 선정하였다.

1) 벨마우스 변형 갱문형식 선정

㉠터널 시점부의 경우 지형경사가 23~25°로 30°미만의 완경사에 해당하는 구간으로 갱문형식으로서 완충구간이 7m, 마우스 칼라 상단의 1.5m로 도로안정성이 우수하며, 조형미가 양호한 벨마우스 변형 갱문을 선정하였다.(표 10 참조)

표 10. ㉠터널 시점부 갱문형식 비교

구 분	벨마우스 변형	아치 면벽형
평 면 도		
중 단면도		
개착터널 연장	15 m	5 m
검 토 내 용	환 경 성	갱구위치 선정시 토피교 3m확보(사면보강)로 환경훼손 최소화
	도로안정성	우수(완충구간:7.0m, 상단Collar:1.5m) 우수(완충구간:5.0m, 상단Collar:1.5m)
	지형 조건	완사면(30°미만)지형으로 조화 및 주행성에서 벨마우스 변형 우수
	미 관	우 수 양 호
개략공사비	7.9억원	6.9억원
선 정	◎	

2) 아치 면벽형 갱문형식 선정

㉡터널 시점부의 경우 지형경사가 33~35°로 30°이상의 급경사에 해당하는 구간으로 갱문형식으로서 Arch 면벽형과 Bird Beak형을 비교 검토하였다. 지형조건만으로는 Bird Beak형이 유리하지만 터널연장이 증가하게 되어 두 터널사이의 이격거리가 짧아져 바로 근접된 다

른 터널에서의 오염물질 재유입과 같은 환기상의 문제가 발생할 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 완충구간 연장 5m, 파라팻트 높이 1.5m로서 도로안전성 측면을 보완하고, 공사비 측면에서 비교적 유리한 Arch 면벽형을 갱문형식으로 선정하였다.

표 11. ㉞터널 시점부 갱문형식 비교

구 분	아치 면벽형	버드비크형
평면도		
종단면도		
개착터널 연장	5 m	20 m
검 토 내 용	환 경 성	갱구위치 선정시 토피고 3m확보(적극적 사면보강)로 환경훼손 최소화
	도로안정성	우수(완충구간:5.0m, 파라팻트:1.5m) 우수(완충구간:12m, 상단Collar:1.5m)
	지형 조건	급사면(30°이상)지형으로 미관 등을 고려 Bird Beak형 유리
	환 기	Bird Beak형 채택시 오염물질 재유입에 의한 영향 발생
	개략공사비	2.9억원
선 정	◎	

6. 개선된 설계기준에 의한 갱문 시공사례

본 절에서는 터널 갱문부 설계기준(2003년)에서 제안된 갱문형식을 적용하여 실제 시공중인 현장에서 설계변경을 수행한 사례를 소개하여 향후에 이루어질 설계 및 시공에 도움이 되고자 하였다. 고속도로 이용차량의 안전하고 원활한 교통소통, 주위 지형과 조화되어 자연 환경 훼손을 최소화하며, 특히 해빙기와 집중호우시 낙석·눈사태로부터 도로의 안전을 확보할 수 있도록 기존에 설계된 갱문형식을 시공중에 변경한 현장의 사례이다. 대구~포항간 고속도로 건설공사 제6공구 사동2터널 시·종점부 현장과 제7공구 기계터널 시점부 현장의 갱문형식 변경사항은 표 12와 같다.

표 12. 갱문형식 변경

공구	터널명	시점부	갱문형식		비고
			당초	변경	
6	사동2터널 (3차로)	시점부	원통절개형	버드비크형	
		종점부	원통절개형	버드비크형	
7	기계터널 (2차로)	시점부	원통절개형	벨마우스 변형	

6.1 갯문구조물 구조계산

먼저, 갯문 구조물에 대한 상세 구조검토를 수행하여 현장의 지반조건에 부합하고 갯문구조 자체의 안정성을 확보할 수 있는 갯문구조물 설계를 도모하였다. 갯문구조물의 구조계산은 개착구간에 대하여 개착터널 하부의 지반조건과 개착터널의 자중, 되메움 토피고에 따른 토압, 차량하중, 온도하중 등을 고려하여 3차원 Shell요소를 이용한 3차원 구조해석을 수행하였다. 표 13은 각 갯문구조물의 해석시 고려된 제반 사항들을 나타낸다.

표 13. 갯문구조물 구조계산 개요

사업명	해석 단면	해석단면 하부지반	성토고(m)
사동2터널 (6공구 : 사리~수성)	버드비크형 개착터널(3차원)	토사(인버트설치)	3.0
기계터널 (7공구 : 수성~봉계)	벨마우스 변형 개착터널(3차원)	풍화암	3.0

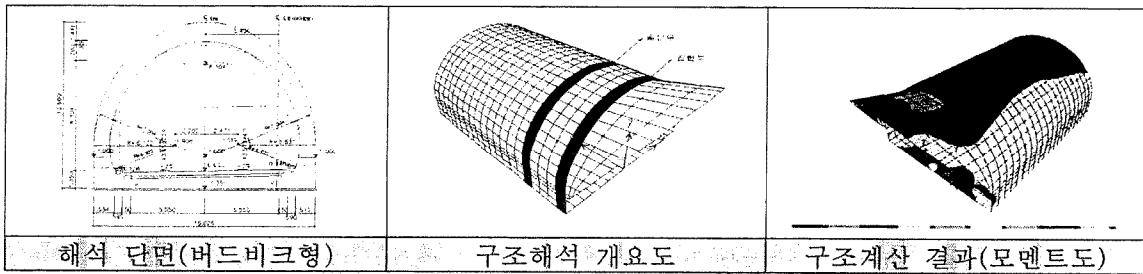


그림 9. 버드비크형 갯문 구조계산

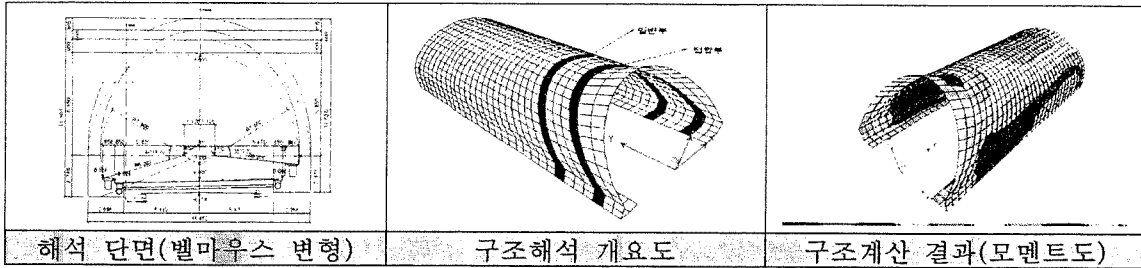


그림 10. 벨마우스 변형 갯문 구조계산

그림 9와 그림 10은 각 갯문구조물의 단면과 해석결과를 나타낸다. 구조검토후 얻어진 결과를 바탕으로 각 현장 제반조건에 부합하며 구조적으로 안정성을 확보할 수 있는 갯문구조물의 라이닝 콘크리트 두께와 철근보강량을 산정하게 된다. (표 14 참조) 그러나, 당 설계 변경의 현장은 개착터널 일부구간의 시공이 완료된 상태여서 기존에 설계되어진 터널제원을 근간으로 하고 갯문형식 변경으로 인한 변동사항을 고려하여 구조검토를 수행하였다.

표 14. 갯문구조물 철근보강 현황

구분	라이닝두께	일반부	Collar 부
벨마우스 변형	90cm	내측 : D19 / C.T.C 100 외측 : D25 / C.T.C 100	내측 : D22 / C.T.C 150 외측 : D22 / C.T.C 150
버드비크형	120cm	내측 : H25 / C.T.C 125 외측 : H29 / C.T.C 125	내측 : H16 / C.T.C 175 외측 : H19 / C.T.C 200

벨마우스 변형 및 버드비크형 갱문의 구조계산 결과 Mouth Collar가 붙는 접합부에 되메움하중과 자중에 의한 국부적인 응력집중영역이 발생하는 것으로 나타나 이에 대한 상세검토를 추가적으로 수행하였다.

앞으로 수행되어질 갱문 구조물의 구조계산시에는 Mouth Collar가 붙는 접합부의 천단부에서 인장력이 종방향으로 일정영역 발생하는 것이 예상되므로 구조적 취약부인 접합부에 대한 상세한 구조검토가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 갱문구조물 하부지반의 지지력 검토가 병행되어야 하며 침하량 산정을 통한 갱문구조물의 부등침하에 대한 안정성을 확보해야 한다.

6.2 갱문구조물 시공사례

여기서는 실제 앞 절에서 상세구조 검토후 설계된 갱문구조물을 실제 현장에서 시공한 사항을 소개하고자 한다.

표 15. 벨마우스 변형 칼라부 작업 순서

① 라이닝폼 설치 및 좌표 표기	② Collar부 내측 거푸집 설치	③ Collar부 철근배근
④ Collar부 외측 거푸집 설치	⑤ 콘크리트 타설 및 양생	⑥ 외부 방수처리

표 15는 벨마우스 변형 Collar부의 작업순서를 나타내며, 본선 라이닝폼을 개착구간에 설치한 후 Collar부분의 거푸집을 설치하는 공정이 매우 까다롭고 작업시간이 오래 소요되게 된다. 또한, 거푸집 시공의 효율성을 위해 설계 단계시 3차원 도면작업에 의한 Mouth Collar부의 상세 좌표가 요구되게 된다.

표 16. 벨마우스 변형 칼라부 소요공정


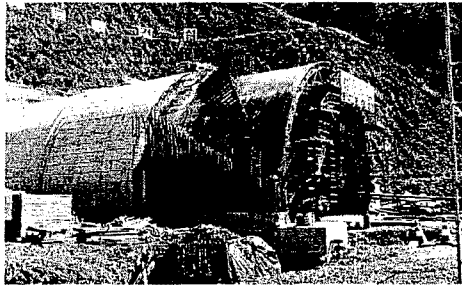
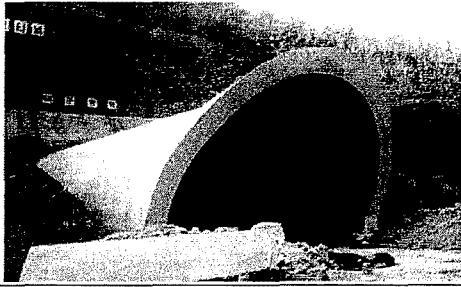
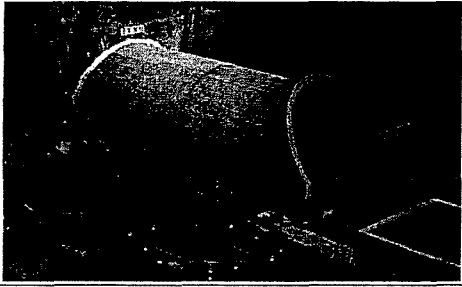
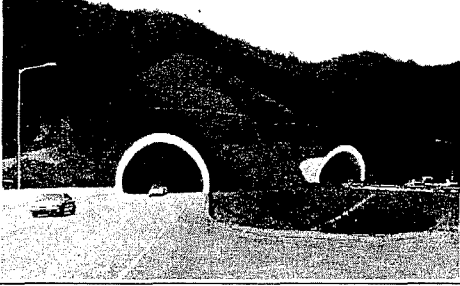

구분	소요일수
마우스칼라 내부폼 설치	15일
철근조립	5일
거푸집 설치	4일
콘크리트 타설 및 양생	6일
거푸집 해체	4일

표 17. 장비 및 인원투입 현황

장비명	규격	대수	직종	인원	비고
카고크레인	11ton	1	목공	6인	
펌프카	27m	1	철근공	8인	
바이브레타	8m	2	조공	2인	
계		4	계	16인	

표 16은 당초에 원통절개형 갯문으로 설계되어 갯문구조물의 Collar부분을 제외한 부분까지 시공이 된 상태에서 벨마우스 변형 갯문으로 변경하면서 소요된 공정을 타내며, 표 17은 장비 및 인원 투입현황을 나타낸다. 표 18은 버드비크형과 벨마우스 변형 갯문 구조물의 시공사진과 조감도를 나타낸다.

표 18. 갯문구조물별 시공사진 및 조감도

구분	버드비크형 갯문	벨마우스 변형 갯문
Collar부 거푸집 제작		
갯문구조물 완성 사진		
갯구부 시공완료후 조감도		

위에서 소개된 설계변경 현장은 설계기준의 최소토포고 기준 3~5m를 확보하는 위치에 갯구부를 위치시킨 것이 아니라 다소 과도한 절취구간이 발생되어진 전형적인 도로터널 현상이다. 그러나, 위 표의 조감도에서도 볼 수 있듯이 개선된 갯문형식으로 변경하여 해빙기와 집중호우시 낙석·눈사태로부터 야기된 토사유출에 대하여 충분한 완충기능을 가져 도로의 안전성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

7. 결론 및 향후과제

본 고에서는 기존 터널갯문부의 문제점을 해결하기 위하여, 고속도로 이용차량의 안전하고 원활한 교통소통을 기하고 주위지형과 조화되어 자연환경 훼손을 최소화하며, 특히 해빙기와 집중호우시 낙석·눈사태·산사태로부터 도로의 안전을 확보할 수 있는 갯구위치 선정의 정

량적 기준(최소토피고 3~5m)과 개선된 갱문형식(벨마우스 변형 외 2종류)을 제시하였다.

본 기준을 터널 갱문설계에 적용함으로써 예상되는 개선효과로는 자연훼손 최소화를 통한 주변 자연지형과의 조화를 최대한 실현한 개선된 갱문형식의 제시로 환경성 측면에서 환경 훼손면적이 기존의 설계대비 약 80~90%가 저감 가능하여 갱문주변 지형과 조화되어 수려한 미관으로 운전자의 심리적 안정감을 줄 수 있으며, 안전성 측면에서 갱문부 낙석·눈사태·산사태로부터 공용중인 도로의 안전성 확보가 가능하다는 것이다. 그러나, 부수적으로 터널보강비와 갱문 구조물비의 증가가 발생하게 되므로 설계자는 각 현장의 제반조건에 가장 부합하는 보조공법의 선정과 갱문형식의 결정으로 환경적인 측면에서나 경제적인 측면에서도 합리적인 갱문부 설계가 이루어지도록 하여야 한다.

이러한 설계기준은 터널갱구위치 선정 및 갱문형식 선정시 적용할 수 있는 하나의 판단 기준으로서 세부적인 설계시에는 보다 종합적이고 다각적인 검토를 바탕으로 합리적인 판단을 수행하여야 하며, 다음의 사항을 유의하도록 하여야 한다.

- 1) 갱구위치 선정은 터널 천단부 최소토피고 3~5m를 기준으로 우선 선정하나 갱구위치 선정시 다양한 지형 및 지질조건에 따라 다른 터널 상단 저토피부 연장 과다발생시 해석적 검증에 의한 갱내 보강범위 및 보강공법 선정과 그에 따른 공사비 검토를 충분히 수행 후 적절한 갱구부 위치를 선정하여야 한다.
- 2) 갱문형식 선정은 확실적인 면벽형 또는 돌출형 적용을 지양하고 주변 자연지형 및 지질조건 등을 고려하여 갱구부 사면이 완경사인 경우 벨마우스 변형, 갱구부 사면이 급경사인 경우 버드비크형, 토류 옹벽 구조가 필요한 경우 아치 면벽형, 기타 특수지형 및 지질조건인 경우 별도의 갱문형식 검토 후 적용하여야 한다.

이번에 제시한 터널 갱문부 설계기준은 터널설계·시공시 직면하게 되는 다양한 지형 및 지반조건을 모두 충족시킬 수는 없는 것이므로 향후 지속적인 보완을 수행하여 계속적인 개선안을 만들어 나가야 할 것이다. 갱구부 적정보강 방안, 급격한 횡단변화 지형의 되메움 방안, 갱문부 돌쌓기 및 조경석 쌓기를 통한 안정화 방안, 갱구 토석 유실량 검토를 통한 Mouth Collar 및 파라펫트의 규격결정 등의 보완대책이 필요할 것이다.

향후 터널 갱구/갱문에 대한 설계 및 시공과정을 통하여 보다 체계적이고 정량적이며, 공학적으로 검증받은 터널 설계기준이 만들어지도록 보완노력을 지속적으로 수행하여야 한다.

참고문헌

1. 한국도로공사 설계처, 『터널 갱문부 설계기준 검토』, 설계도 10201-70, 2003. 03
2. 한국도로공사 기술관리실, 『환경친화적인 고속도로 건설을 위한 터널 갱구부 설계기준 검토』, 기술환 13304-3, 2002. 01
3. 건설교통부(2000), 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침
4. 한국도로공사, 도로설계요령(2002)
5. 한국도로공사(2003), 고속도로 터널설계 실무자료집
6. 건설교통부(1999), 터널설계기준
7. 친환경적인 저토피 터널굴착 공법, 터널기술 제4권, 제3호, 2002년 9월