간 행 물 등 록 번 호
11-1500000-002078-01

수해 예방을 위한

산악지 도로설계 매뉴얼

Road Design Manual of Mountain Area

2007. 7

건설교통부

수해 예방을 위한

산악지 도로 설계 매뉴얼

2007. 7

건 설 교 통 부

매뉴얼 제정에 따른 경과조치

이 매뉴얼은 2007년 7월부터 적용하며, 제정 시점에서 이미 시행중에 있는 설계 용역이나 건설공사에 대해서는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우에는 적용할 수 있습니다.

목 차

제 1 장 총 칙 1

1.1.목적 ·····1

1.2 적용범위 ·····1

제 2 장 산악지 도로 3

2.1 산악지 도로 특성 ·····3

2.2 집중호우에 의한 산악지 도로 피해 유형 ·····5

2.2.1 토석류 및 부유목 등에 의한 도로 피해 ·····5

2.2.2 산지 하천의 침식 작용에 의한 도로 피해 ·····6

2.2.3 횡단 배수시설의 통수 단면 부족에 의한 피해 ·····7

2.2.4 산사태 및 비탈면 붕괴에 의한 도로피해 ·····8

2.2.5 산악지 교량의 피해 ·····10

제 3 장 산악지 도로 계획 및 조사 13

3.1 일반사항 ·····13

3.2 산악지 도로 계획 ·····14

3.2.1 산악지 도로 계획 기준 ·····14

3.2.2 산악지 도로 계획의 고려사항 ·····14

3.2.3 산악지 도로계획 방법 ·····16

3.2.4 산악지 도로의 계곡부 통과 방안 ·····18
3.3 산악지 도로 조사 ·····20
3.3.1 산악지 지형 및 지반조사 ·····20
3.3.2 산악지 수문 및 기상조사 ·····21
3.3.3 비탈면 조사 ·····23
3.3.4 토석류 조사 ·····24
3.3.5 산악지 도로 배수시설 조사 ·····25
3.3.6 생태계 · 위락 · 경관 조사 ·····26
3.3.7 기존 도로 현황 조사 ·····26
3.3.8 토취장, 골재원, 재료원, 사토장 조사 ·····27

제 4 장 산악지 도로 선형 29

4.1 일반사항 ·····29
4.2 산악지 도로 선형 설계 기준 ·····31
4.2.1 산악지 도로 설계 속도 ·····31
4.2.2 산악지 도로의 평면선형 ·····31
4.2.3 산악지 도로의 종단선형 ·····32
4.2.4 산악지 도로의 시거 ·····32
4.3 산악지 도로 선형계획의 주요 고려사항 ·····34
4.4 산악지 특성을 고려한 도로 선형계획 ·····35
4.4.1 자연지형 조건을 고려한 선형계획 ·····35
4.4.2 환경적 조건을 고려한 선형계획 ·····42
4.4.3 사회적 조건을 고려한 선형계획 ·····43
4.4.4 산악지 종단 선형계획의 주요 원칙 ·····45

4.4.5 선형의 조합 ·····47
4.5 자연재해 요소를 고려한 선형 계획 ·····50
4.5.1 집중호우를 고려한 선형계획 ·····50
4.5.2 붕괴지대를 고려한 선형계획 ·····53
4.5.3 안개를 고려한 선형계획 ·····56
4.5.4 적설지역을 고려한 선형계획 ·····58
4.5.5 결빙지역을 고려한 선형계획 ·····58
4.5.6 강풍을 고려한 선형계획 ·····59

제 5 장 산악지 도로 비탈면 및 토석류 63

5.1 일반사항 ·····63
5.2 지반조사 ·····65
5.2.1 조사일반 ·····65
5.2.2 비탈면의 불안정 요인을 갖는 지형 · 지질 조사 ·····68
5.3 비탈면 설계 ·····69
5.3.1 쌓기 비탈면 설계 ·····69
5.3.2 깎기 비탈면 설계 ·····72
5.3.3 산악지 도로 비탈면 배수 ·····75
5.4 비탈면 안전대책 방안 ·····77
5.5 토석류 및 유송잡물 설계 ·····80
5.5.1 토석류 및 유송잡물의 정의 ·····80
5.5.2 토석류 및 유송잡물 차단시설물의 계획 ·····83
5.5.3 토석류 및 유송잡물 발생 조사 ·····83
5.5.4 토석류 및 유송잡물 차단시설의 종류 ·····86

5.5.5 차단시설 예정지 선정 ·····89
5.5.6 차단시설의 결정 ·····90
5.5.7 설치장소의 특성파악 ·····91
5.5.8 설치가능시설의 대안선정 ·····93
5.5.9 최적 대안의 선정 ·····95
5.5.10 토석류 및 유송잡물 차단시설의 유지관리 ·····96

제 6 장 산악지 도로 배수 99

6.1 일반 사항 ·····99
6.2 도로배수시설의 구분 ·····99
6.3 산악지 도로 배수시설의 계획 ·····101
6.4 산악지 도로 배수시설 조사 ·····103
6.5 산악지 도로 배수 시설의 수리 · 수문 ·····104
6.5.1 산악지 도로 배수 시설의 설계빈도 ·····104
6.5.2 설계홍수량 산정 ·····104
6.6 산악지 도로 배수 시설 설계 ·····106
6.6.1 산악지 도로 노면배수시설 ·····106
6.6.2 지하배수시설 ·····107
6.6.3 계곡 하천 수충부 시설 ·····109
6.6.4 산악지 도로의 횡단배수 시설 ·····112
6.7 토석류를 고려한 산악지 도로 배수시설 설계 ·····114
6.7.1 일반사항 ·····114
6.7.2 산악지 도로의 횡단 배수시설의 규격 검토 ·····114
6.7.3 토석류 규모 산정 ·····120

제 7 장 산악지 도로 교량 123

7.1 일반사항 ····· 123
7.2 설계하중 ····· 126
7.2.1 하중의 종류 ····· 126
7.2.2 하중의 설명 ····· 127
7.3 산악지 도로 교량의 기본계획 ····· 132
7.3.1 산악지 도로 교량의 계획일반 ····· 132
7.3.2 산악지 도로의 교량길이 ····· 134
7.3.3 폭설지역의 다리 밑 공간 ····· 136
7.4 기타 ····· 137
7.4.1 제빙염 살포의 영향을 받는 교량대책 ····· 137
7.4.2 교량 세굴 대책 ····· 139

제 8 장 산악지 도로 터널 141

8.1 일반 사항 ····· 141
8.2 산악지 도로 터널 평면선형 계획 ····· 142
8.3 배수 설계 ····· 145
8.4 갱구부 설계 ····· 147
8.5 피암터널 설계 ····· 151

참고문헌 ····· 153
산악지 도로 설계 주요 체크리스트 ····· 157

〈 표 차 례 〉

〈표 3.2.1〉 산악지 도로의 노선계획 선정시 주요 고려사항 ·····15
〈표 3.3.1〉 산악지 도로 노선계획에 필요한 기상조사 ·····23
〈표 3.3.2〉 단계별 토석류 발생가능성 조사항목 ·····25
〈표 4.3.1〉 산악지 도로 선형 계획시 제약요소 및 고려사항 ·····34
〈표 5.2.1〉 광역지반 조사 종류 및 내용 ·····66
〈표 5.2.2〉 물리탐사 적용기준 ·····66
〈표 5.2.3〉 시추조사 적용기준 ·····67
〈표 5.2.4〉 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건의 조사 항목 ·····68
〈표 5.3.1〉 쌓기 비탈면 안정해석시 적용하는 기준안전율 ·····70
〈표 5.3.2〉 비탈면 안정 해석 조건 및 고려사항 ·····71
〈표 5.3.3〉 깎기 비탈면 안정 해석시 적용하는 기준 안전율 ·····72
〈표 5.3.4〉 깎기 비탈면 안정 해석 조건 ·····73
〈표 5.4.1〉 비탈면 보호공 ·····78
〈표 5.4.2〉 비탈면 보강 공법 특성과 적용 예 ·····79
〈표 5.5.1〉 토석류의 발생 형태(지형별 분석) ·····82
〈표 5.5.2〉 토석류 및 유송잡물 차단 시설별 비교 사례 ·····87
〈표 5.5.3〉 차단시설물의 선택 ·····94
〈표 5.5.4〉 차단시설 설치방안 비교 · 검토 ·····95
〈표 6.6.1〉 쌓기부 도수로 설치 간격 ·····107
〈표 6.6.2〉 홍수시 일시적 세굴깊이 산정 ·····109
〈표 6.7.1〉 지하수위 이상에 있는 토석류의 단위 중량 ·····121

〈표 6.7.2〉 토질 상태별 전단 저항각 ·····122
〈표 7.1.1〉 산악지 도로 교량 계획 조건 ·····125
〈표 7.2.1〉 설계 하중 규정 ·····126
〈표 7.2.2〉 지상 적설하중 ·····128
〈표 8.3.1〉 산악지 도로 터널의 배수시설 결빙 방지시설 사례 ·····146
〈표 8.4.1〉 경사 갱문 시공사례 ·····149

〈 그 림 차 례 〉

〈그림 2.1.1〉 산악지 도로 피해 유형 및 대책 개념도 ·····4
〈그림 2.2.1〉 토석류 및 부유목 등에 의한 도로 피해 사례 ·····5
〈그림 2.2.2〉 산지하천 인접 도로 침식과 유실 피해 사례 ·····6
〈그림 2.2.3〉 횡단 배수시설의 피해 사례 ·····7
〈그림 2.2.4〉 산사태 및 비탈면 붕괴 피해도 ·····8
〈그림 2.2.5〉 깎기 비탈면의 낙석 및 표층 유실 피해 사례 ·····9
〈그림 2.2.6〉 쌓기 비탈면 유실 및 노면수 유입 피해 사례 ·····9
〈그림 2.2.7〉 산악 도로 하부 지반 침식에 의한 포장 피해 사례 ·····10
〈그림 2.2.8〉 산악지 교량의 피해 사례 ·····11
〈그림 3.2.1〉 산악지 도로의 계획(안) ·····17
〈그림 3.2.2〉 산악지 도로의 계곡부 통과(안) ·····19
〈그림 4.1.1〉 산악지 도로 선형 계획 흐름 ·····30
〈그림 4.2.1〉 설계속도 및 설계구간 적용 개요도 ·····33
〈그림 4.4.1〉 자연지형 조건을 고려한 선형 계획 ·····35
〈그림 4.4.2〉 터널을 고려해야 할 지역 ·····36
〈그림 4.4.3〉 선형분리를 통한 대규모 비탈면 발생 최소화 ·····37
〈그림 4.4.4〉 산마루 및 계곡부 선형계획시 고려사항 ·····38
〈그림 4.4.5〉 대규모 비탈면 발생 최소화를 위한 터널화(안) ·····39
〈그림 4.4.6〉 급경사 구간 과도한 한쪽 쌓기 발생구간 설계(안) ·····39
〈그림 4.4.7〉 하천통과, 근접구간 비탈면 보호 적용 방법 및 피해 예상 지역 ··40
〈그림 4.4.8〉 산마루 구간 통과 사례 ·····41

〈그림 4.4.9〉 우회 및 터널설치를 통한 자연환경 훼손 최소화 ·····42
〈그림 4.4.10〉 환경적 조건을 고려한 선형계획 ·····42
〈그림 4.4.11〉 사회적 조건을 고려한 선형계획 ·····43
〈그림 4.4.12〉 내부경관과 외부경관 ·····44
〈그림 4.4.13〉 경관설계시 고려할 주요 경관요소 ·····44
〈그림 4.4.14〉 마을경관 변화를 최소화한 선형 설계 ·····45
〈그림 4.4.15〉 산악지 종단계획 설계 ·····45
〈그림 4.4.16〉 지형을 고려한 선형분리 계획 ·····46
〈그림 4.4.17〉 산악지 도로 분리선형 건설 사례 ·····47
〈그림 4.4.18〉 경관을 고려한 다양한 선형계획 ·····48
〈그림 4.4.19〉 산림 통과구간의 경관을 고려한 선형계획 ·····49
〈그림 4.5.1〉 자연 재해 요소를 고려한 선형 계획 ·····50
〈그림 4.5.2〉 토석류 및 유송잡물 피해예방을 위한 선형계획 ·····52
〈그림 4.5.3〉 붕괴를 고려한 선형 계획 ·····53
〈그림 4.5.4〉 단층에 의한 비탈면 활동 사례 ·····54
〈그림 4.5.5〉 도로의 시인성을 높이기 위한 안전시설물 ·····57
〈그림 4.5.6〉 도로의 시인성을 높이기 위한 안전시설물 설치사례 ·····57
〈그림 4.5.7〉 고도에 따른 풍속 분포 ·····61
〈그림 4.5.8〉 바람이 모아지는 계곡에서의 풍속 분포 ·····61
〈그림 5.1.1〉 산악지 도로 비탈면 설계 흐름도 ·····64
〈그림 5.2.1〉 지반조사 단계별 흐름도 ·····65
〈그림 5.3.1〉 경사진 지반에서 쌓기 단면 ·····69
〈그림 5.3.2〉 한쪽 깎기 · 한쪽 쌓기부 층따기와 배수처리 예 ·····70
〈그림 5.3.3〉 깎기 비탈면 현황도(Face Map) 작성예 ·····74
〈그림 5.3.4〉 비탈면 배수처리 사례 ·····75

〈그림 5.3.5〉 깎기 비탈면 상단 오목부 배수처리 사례 ·····76
〈그림 5.3.6〉 토석류 차단 시설과 횡단배수암거의 연계 처리 사례 ·····76
〈그림 5.5.1〉 토석류 위험구역 설정 사례 ·····86
〈그림 5.5.2〉 토석류 차단시설 사례 ·····89
〈그림 5.5.3〉 토석류 및 유송잡물 차단시설의 선정과정 ·····91
〈그림 5.5.4〉 도로주변의 토석류 차단시설 설치(안) ·····92
〈그림 5.5.5〉 토석류 및 유송잡물 차단시설 설치 사례 ·····94
〈그림 6.2.1〉 도로배수시설의 종류 ·····100
〈그림 6.2.2〉 산악지도로 배수시설 구분 ·····100
〈그림 6.3.1〉 산악지 도로배수시설 계획 흐름도 ·····102
〈그림 6.4.1〉 산악지 도로 배수시설 조사 절차 ·····103
〈그림 6.5.1〉 산악지 도로 배수시설의 설계홍수량 산정 방법 ·····105
〈그림 6.6.1〉 L형과 U형 측구 설치 예 ·····106
〈그림 6.6.2〉 산악지 도로의 암거 설치 규격 ·····108
〈그림 6.6.3〉 지표수 및 지하수 처리 방안 ·····108
〈그림 6.6.4〉 산악지 도로의 하천 수충부 보강 방법 ·····110
〈그림 6.6.5〉 산악지 횡단배수 암거의 유속감쇄공 및 세굴방지시설 사례 ··111
〈그림 6.6.6〉 산악지 도로의 횡단배수시설 설계계획 및 고려사항 ·····112
〈그림 6.7.1〉 횡단배수 암거의 흐름 제원 ·····117
〈그림 7.1.1〉 산악지 도로 교량 계획시 위험요소 지역을 피해야할 경우 123
〈그림 7.1.2〉 산악지 도로 교량 계획 및 설계흐름 ·····124
〈그림 7.2.1〉 유송잡물의 집적되는 단면형상과 유수압의 작용 모형 ·····130
〈그림 7.2.2〉 일반 교량의 경간 길이 ·····131
〈그림 7.2.3〉 사교의 경간 길이 ·····131
〈그림 7.3.1〉 한계령 배수시설 피해현황 ·····133

〈그림 7.3.2〉 산악지 도로 교량 길이 ·····135
〈그림 7.3.3〉 폭설지역의 다리 밑 공간 ·····136
〈그림 7.4.1〉 제빙염 살포의 영향 범위 ·····137
〈그림 7.4.2〉 제빙염 살포의 영향을 받는 교량의 교각 ·····138
〈그림 8.2.1〉 산악지 터널 갱구주변의 위험 요소를 대비한 방호 대책 사례 ··142
〈그림 8.2.2〉 산악지 도로 곡선 터널내 시거확보 폭 ·····143
〈그림 8.2.3〉 공동구 높이와 정지시거의 관계 ·····144
〈그림 8.4.1〉 낙석, 토석류 등 위험 요소를 대비한 사례 ·····148
〈그림 8.4.2〉 산악지 도로 터널의 갱구 형태 ·····148
〈그림 8.4.3〉 국내 경사갱문 설계사례 ·····150
〈그림 8.5.1〉 피암터널 설계 방안 ·····152
〈그림 8.5.2〉 피암터널 형식 사례 ·····152

제1장 총 칙

1.1 목 적

이 매뉴얼의 목적은 산악지 구간에 도로를 신설하거나 개량하는 도로 설계에 관한 사항을 기술함으로써, 산악지의 도로 기능을 원활히 유지하여 이용자의 편의를 도모하고 안전하며 수해를 대비한 도로를 조성하는데 있다.

1.2 적용범위

❑ 이 매뉴얼은 도로법에 의한 고속국도, 일반국도, 국도대체우회도로, 국가지원지방도에서 다음의 경우에 해당하는 지역을 통과하는 도로에 적용한다. 단, 상기 규정에 해당하지 않는 도로의 경우 도로관리청에서 판단하여 동 매뉴얼을 적용할 수 있다.

- 산림청의 산사태 위험지도상 1, 2 등급으로 분류되는 지역
- 표고 400m 이상 산지를 접한 계곡 등 영향권내의 지역
- 산사태 및 토석류 등으로 피해가 발생한 지역
- 산악지를 통과하는 지역으로 건설기술관리법 제5조의 2의 규정에 의한 도로, 수리·수문, 토질및기초, 구조, 지질및지반 분야의 전문가로 구성된 설계자문위원회에서 현행 설계기준보다 배수규격 확대 등 특별히 설계기준 강화가 필요하다고 판단되는 지역

❑ 이 매뉴얼에서 기술한 조건과 다른 특수한 조건은 관계법령이 별도로 정한 경우, 재해의 긴급성, 건설공사의 특성, 도로의 중요성, 지역특성 등으로 인하여 이 매뉴얼에서 기술한 사항을 적용하기 곤란하거나 부적당한 경우에는 도로 관리청에서 별도의 설계기준을 마련하여 적용할 수 있다.

❑ 이 매뉴얼에 제시되어 있지 않는 사항은 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침」, 「도로설계기준」 등 건설교통부 제정 관련 설계기준 및 시방서 등을 적용한다.

- 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침
- 도로설계기준
- 터널설계기준
- 도로교설계기준
- 하천설계기준
- 구조물기초설계기준
- 콘크리트 구조 설계기준
- 건설공사 비탈면 설계기준
- 소하천시설기준
- 환경친화적인 도로건설 지침
- 도로배수시설 설계 및 유지관리지침 등

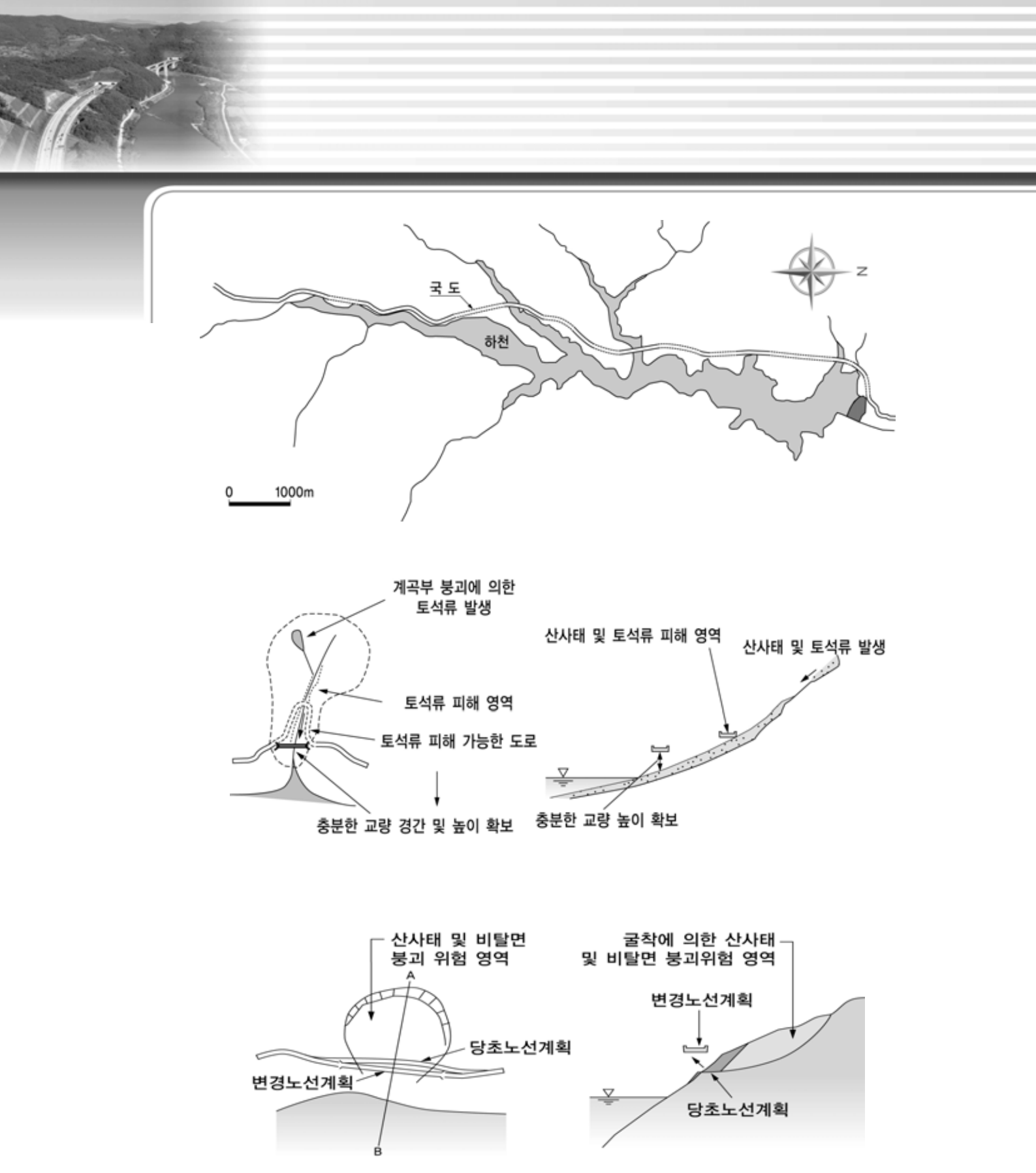
제 2 장 산악지 도로

2.1 산악지 도로 특성

❑ 산악지 도로는 일반적인 도로와 달리 주변의 토지이용 등과 같은 인위적 조건보다는 지형 및 지질, 기상, 동·식물, 경관 등 자연적인 환경조건에 영향을 받는다. 그러므로, 산악지 도로는 기상, 지형 및 지질, 생태계 및 자연경관과 조화를 이루어야 한다.

❑ 산악지는 암반 위에 얇은 토사가 얹어진 지질구조로, 집중 호우시 지반 속으로 스며든 빗물이 암반에 침투하지 못하고, 토사와 암반의 경계면을 따라 흐르면서 산사태, 토석류, 비탈면 붕괴 등 피해가 발생한다. 그러므로 산악지 도로는 산사태, 토석류, 비탈면 붕괴가 발생되거나 예상되는 지역을 회피하거나 지형 및 지질적으로 부득이한 경우에는 터널 또는 교량 등에 의한 방법으로 계획한다.

❑ 산악지 도로는 하천 및 계곡을 횡단하거나 주변을 끼고 건설되므로 풍·수해에 의한 피해 발생 위험이 존재하고 있다. 또한, 산악지 도로는 공사 시점부터 준공까지 수차례의 우기 및 동절기를 거치게 되므로, 터널의 갱구부 또는 일부 대규모 토공구간은 계절적 요인으로 인하여 침식, 동결융해 등에 의한 피해 발생 위험 요소를 지니고 있다.



〈그림 2.1.1〉 산악지 도로 피해 유형 및 대책 개념도

2.2 집중호우에 의한 산악지 도로 피해 유형

2.2.1 토석류 및 부유목 등에 의한 도로 피해

❑ 집중 호우시 우수 흐름에 의해 토사, 자갈, 부유목 등이 원지반에서 분리되어 이동한 토석류 및 부유목 등에 의해 피해가 발생한다. 이와 같은 토석류 및 부유목 등은 도로의 횡단배수 암거 및 배수관, 교량 등에 퇴적되어 횡단배수시설의 통수 단면이 부족하거나 교량 등에 충격하중으로 작용하여 피해를 발생시킨다.

❑ 토석류 및 부유목 등에 의한 도로 피해 대책은 발생지점 주변 및 계곡부에 차단 시설물을 상부지역 또는 도로부지내에 설치하여 피해를 최소화시키는 것이다.

〈그림 2.2.1〉 토석류 및 부유목 등에 의한 도로 피해 사례

2.2.2 산지 하천의 침식 작용에 의한 도로 피해

❑ 산지 하천은 유하거리가 짧고 급경사를 이루고 있어, 짧은 시간에 급류가 발생한다. 따라서 산지하천에 인접한 도로는 급류에 의하여 침식되거나 유실되는 현상이 발생한다.

❑ 집중 호우시 산지 하천은 설계홍수위이상으로 수위가 급상승하면서 도로의 일 부 또는 전부가 완전히 침수되어 지반이 연약화 된다. 연약화된 도로지반은 유속에 의해 쌓기부에 침식이 발생하거나 옹벽 등의 하부 기초부분에 세굴이나 침식이 발생한다. 그러므로 침식 및 세굴 방지를 위하여 쌓기부 또는 기초하부에 사석공 또는 콘크리트 블록 등으로 대책을 수립한다.

〈그림 2.2.2〉 산지하천 인접 도로 침식과 유실 피해 사례

2.2.3 횡단 배수시설의 통수 단면 부족에 의한 피해

❑ 산악지 도로에 설치된 횡단 배수시설은 계곡부 상부에서 발생한 토석류 및 부유목 등이 유입되어 통수능력을 감소시켜 피해가 발생한다.

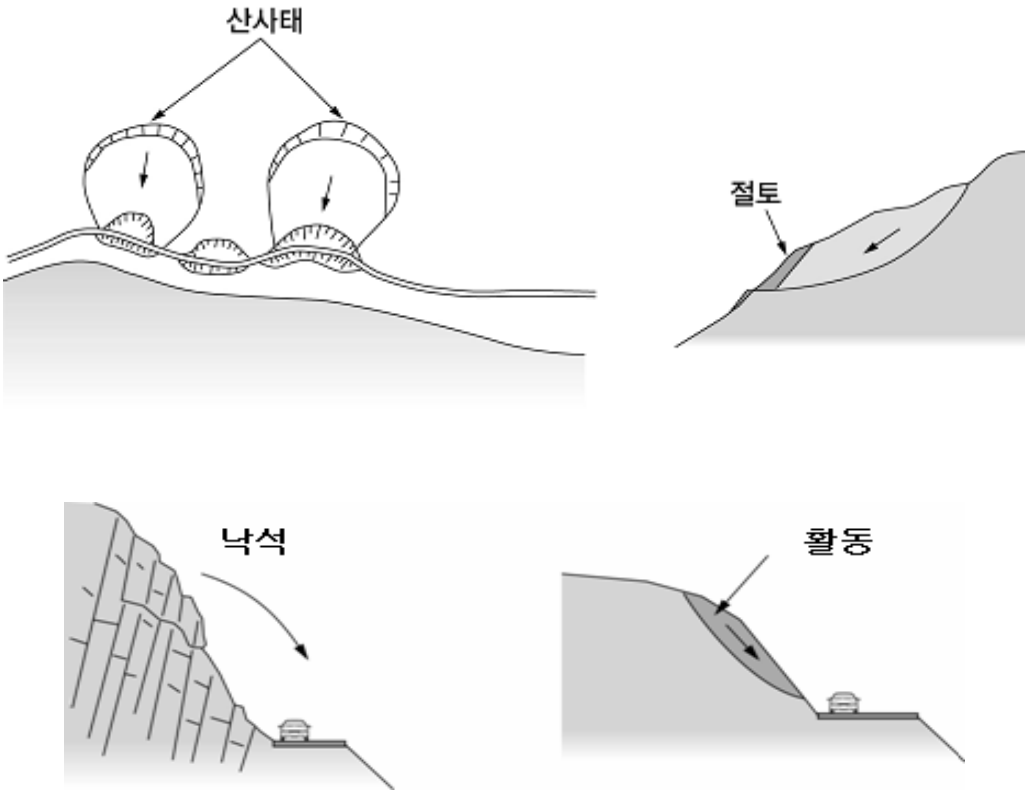
❑ 과거 70~80년대 설계기준이 미비할 때 설치된 횡단 배수시설은 규모가 작고 오랜 시간을 경과하면서 토사가 쌓여 집중 호우시 그 기능을 상실하여 도로에 피해가 발생한다. 횡단 배수시설의 피해 대책은 규모를 확대하고 토사퇴적과 부유목을 고려하여 설계를 하여야한다.

〈그림 2.2.3〉 횡단 배수시설의 피해 사례

2.2.4 산사태 및 비탈면 붕괴에 의한 도로피해

❑ 비탈면 붕괴는 초기의 단단한 토층이 동결융해 작용에 의해 일정한 깊이만큼 느슨한 지반조건을 형성하게 되어 강우시 느슨한 지반과 단단한 지반과의 경계면을 따라 빗물이 흐르고 이로 인한 지반의 전단강도가 상실되어 발생하는 것이다.

❑ 자연 비탈면 또는 깎기 비탈면은 굴착초기에는 비교적 단단한 토층으로 노출되나 장기적으로 동결 융해 작용 및 풍화로 인해 풍화심도가 깊어지게 되어 초기에 안정성이 확보된 구간에서 강우로 인한 자중의 증가 및 전단강도가 상실되게 되며, 지반의 풍화도가 급격히 높거나, 절리가 조밀하게 발달하는 경우에는 원호파괴가 발생되게 된다.



〈그림 2.2.4〉 산사태 및 비탈면 붕괴 피해도

〈그림 2.2.5〉 깎기 비탈면의 낙석 및 표층 유실 피해 사례

❑ 암반위에 쌓기부를 실시한 한쪽 깎기 한쪽 쌓기 구간에서 집중 강우시 계곡부 및 노면수가 쌓기 비탈면으로 유입되어, 암반면 위로 흘러 토사가 세굴되거나 유실되고 상부 토층이 유실되면서 붕괴가 발생한다.

❑ 비탈 암반면 위에 쌓기 구간 또는 인접부에서 토사 및 부유목 등으로 인해 도로노면에 유입되는 노면수를 차단하여 쌓기 비탈면으로 흘러 비탈면이 유실된다.

〈그림 2.2.6〉 쌓기 비탈면 유실 및 노면수 유입 피해 사례

❑ 도로하부지반의 약화는 배수시설이 미비한 도로의 하부층으로 다량의 우수가 유입되어 발생한다. 또한, 집중호우시 우수가 집중되는 지점의 도로에 발생한 균열에 침투되거나 주변 구조물 균열사이로 침투하여 도로 손상 피해를 발생시킨다.

〈그림 2.2.7〉 산악 도로 하부 지반 침식에 의한 포장 피해 사례

2.2.5 산악지 교량의 피해

❑ 집중호우에 의한 수위 상승으로 상부로부터 떠내려 오는 부유목 등의 유송잡물이 교각 및 교량 난간부에 적체되어 월류가 발생하고, 이로인해 상판이 밀리거나 석축 시공구간에 세굴이 발생하여 도로가 유실된다.

❑ 산지하천의 교량은 차량진입을 위해 교량 양측의 진입부에 하폭을 줄여 진입부를 설치하여 교량의 경간장이 좁아서 통수단면이 축소된다. 통수단면이 축소되어 수위상승 및 유속 증가가 발생되어 다리밑 공간이 낮아져서, 상부로부터 발생한 부유목 등의 유송 잡물이 교각 및 교량난간부에 적체되어 주변 국도상으로 월류되어 도로의 피해가 발생한다.

(a) 교량진입부 축소

(b) 교량상판 밀림

(c) 교량 측면 유실

(d) 토석류에 의한 교량 손상

〈그림 2.2.8〉 산악지 교량의 피해 사례

제 3 장 산악지 도로 계획 및 조사

3.1 일반사항

❑ 산악지 도로 계획은 강우특성, 지형 및 지질 특성, 기상특성, 도로 및 교통현황을 조사 분석하여 장래 계획의 도로정비와 관련 문제점 등을 파악하여 수해를 대비한 도로 계획을 수립한다.

❑ 산악지 도로계획 및 조사 내용은 도로의 성격, 규모, 위치, 장래확장계획, 횡단면계획, 설계기준, 수해발생이력, 적설여부 등을 조사하여 수립한다.

❑ 산악지 도로계획은 기존도로 활용여부, 비교노선 등을 설정하고, 해당노선의 주요시설물에 대한 위치와 형식, 안전성, 공법, 지반형태, 붕괴지대, 기상조건, 주요보전지역, 천연기념물 등을 종합적으로 고려하여 기술적, 환경적 검토과정을 거쳐 최적노선을 선정한다.

❑ 산악지 도로구간은 지형이 험준하고 경사도가 급하므로 각종 현장조사를 철저히 실시하고, 노선선정 단계부터 도로, 토질 및 기초, 지형 및 지질 분야, 경관 및 환경 분야, 수리·수문 분야 전문가 등의 자문을 통하여 수해를 대비한 도로계획이 되도록 한다.

3.2 산악지 도로 계획

3.2.1 산악지 도로 계획 기준

❑ 산악지 도로 계획의 기준

- 산악지 도로는 교통량이 적고 폭은 협소하지만 도로 인접 지역 주민의 생활에 필요한 도로이므로, 재해특성, 지역특성, 교통특성, 환경특성 등을 고려하여 횡단 구성 및 노선계획을 한다.
- 산악지 도로 계획은 지역상황에 따라 도로 구조 시설 기준을 적용하며, 도로구조를 조사·검토하여 지형여건에 적합한 도로시설물이 되도록 한다.

❑ 산악지 도로구조

- 산악지 도로는 도로의 폭이 협소하므로, 도로구조 검토시 기존의 도로를 적극 활용한다. 또한, 교통안전과 자동차 통행기능을 확보하기 위하여 구간에 따라 대피소의 설치나 선형개량, 시거확보 등과 같은 국부적인 개량을 검토한다.
- 산악지 도로구조 검토는 지형여건과 교통여건, 재해 등을 고려하여 단면과 폭원구성 및 상·하행선 분리방안 그리고 터널 및 교량 설치 방안 등을 검토한다.

3.2.2 산악지 도로 계획의 고려사항

❑ 산악지 도로 노선 선정은 해당 도로의 종류 및 기능을 고려하며 관계기관(환경부, 산림청, 소방방재청, 문화재청, 국립공원관리공단, 관련지자체 등)과의 협의와 국가 정책 방향 등을 고려한다.

❑ 산악지 도로의 노선 선정의 주요 고려사항은 〈표 3.2.1〉과 같으며, 산악지 도로의 목적, 지형 및 지역여건 등을 상호보완적으로 고려한다.

〈표 3.2.1〉 산악지 도로의 노선계획 선정시 주요 고려사항

대분류	중분류	주요고려사항
인문·사회적 요소	인문· 사회	• 주요 관계기관과의 협의 (환경부, 산림청, 소방방재청, 문화재청, 국립공원관리공단 등) • 광업권/폐광 • 기타 민원소지 여부
	문화재	• 보전가치가 있는 자연경관(수목, 암괴 등) • 매장 문화재, 유적, 절, 묘지 등
기술적 요소	교통기능	• 통행의 질(통행의 쾌적성) • 설계속도 • 운전자 기능 • 보행자 여부 • 자전거 시설여부 • 종단경사
	안전	• 수해발생에 대한 안전대책 • 안전시설 소요여부 • 기후(바람, 안개, 비, 눈)에 대한 안전대책 • 공사중 교통처리대책(가도, 가교, 중장비 운영 가능성 등)
	기술	• 비탈면 경사 • 현장 접근성 • 시공/가능성/안전성 • 유지관리의 용이성 • 지질/기상 • 터널/교량의 위치 및 길이 • 지장물 • 종·평면 선형의 조화 • 횡단면 구성요소
경제적 요소	경제	• 공사기간 • 건설비(공사비) • 유지관리비 • 편익의 크기
환경적 요소	환경	• 소음·진동 • 대기오염 • 일조 • 상수원 • 자연생태계(동·식물) • 자연조건의 변화 • 토양 오염 • 지하수
경관적 요소	경관	• 경관 침해 • 주변 경관과의 조화 • 여가 기능

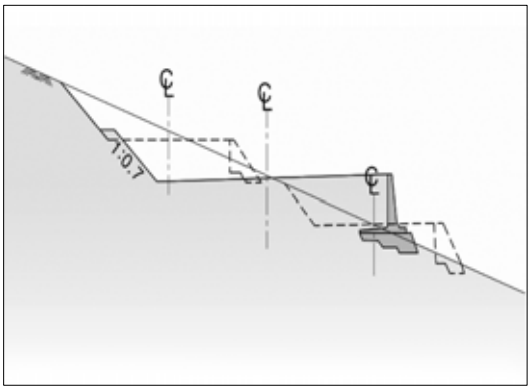
3.2.3 산악지 도로계획 방법

❑ 산악지 도로의 횡단면도의 구성이 단-단면인 경우, 대규모 깎기와 쌓기가 발생할 수 있으며, 산사태 및 낙석발생 등의 원인이 된다. 따라서, 경우에 따라 지형여건 등을 고려하여 상·하행선을 분리하고, 노선에 대해서 평면선형과 종단선형을 독립시켜 안전한 도로설계가 되도록 계획한다.

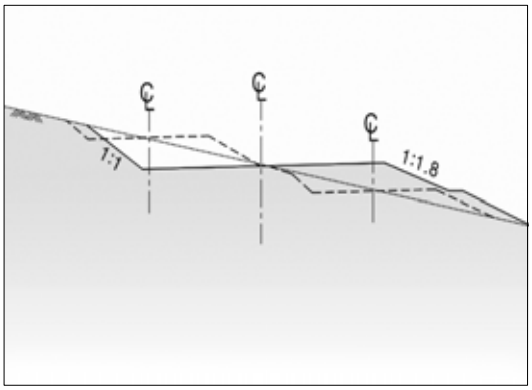
❑ 산악지 도로의 횡단면도 구성이 복-단면인 경우, 단-단면 설계보다 용지를 다소 많이 필요로 하고, 지형여건과 구조물 공법 등을 적용하여 비탈면 높이를 줄 일 수 있으며 환경 친화적인 도로의 노선을 선정할 수 있다.

❑ 산악지 도로의 노선 선정시 단면계획 방법에서 복-단면의 상·하행선 분리 도로의 특징은 다음과 같다.

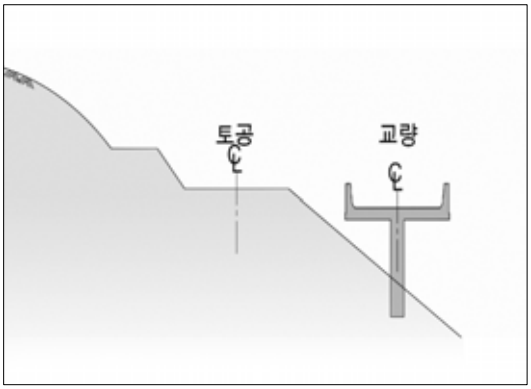
- 도로 노선 진행 방향에 대해 여건이 양호한 종단경사를 가진다.
- 집중호우 등으로 인하여 산사태 및 낙석 등에 대한 사전에 차단할 수 있는 도로 횡단 계획이 가능하다.
- 유적지, 생태보전지역 등 그 외의 제약 조건 지점을 피하기 쉽다.
- 일방향의 도로를 우선 건설하여 공용 개시하는 것이 가능하다.
- 단계 시공시에 공용중인 도로에 교통장애 등의 영향이 비교적 적다.
- 중앙분리대를 넘는 충돌사고 등을 감소시킬 수 있다.
- 중앙분리대 폭이나 높이변화에 따라 안정성과 쾌적성이 향상되어 운전자의 시각을 편하게 한다.
- 경관이나 환경파괴를 최소화한 노선선정이 가능하다.
- 대향차로로부터의 현광, 소음 등을 최소화시킬 수 있다.
- 상·하행선의 종단 변화부는 우수흐름에 지장을 초래할 수 있으므로 U형 개거 등으로 적절하게 처리한다.



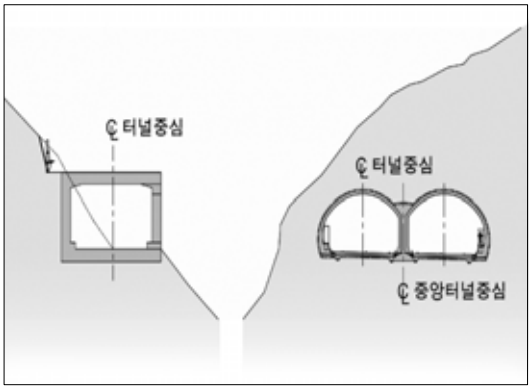
(a) 구조물 계획



(b) 토공 계획



(c) 교량 계획



(d) 터널 계획

〈그림 3.2.1〉 산악지 도로의 계획(안)

3.2.4 산악지 도로의 계곡부 통과 방안

❑ 산악지 도로의 계곡부 통과 방법은 평면선형을 직선으로 계획하고, 유역면적, 토석류 발생영역 등을 고려한다. 집중호우 등으로 인하여 도로의 유실 및 침수 등이 우려되는 산악지 계곡부는 산사태 및 토석류 등을 고려하여 규격이 큰 횡단배수시설(횡단배수관 및 횡단배수 암거) 또는 교량 등으로 검토하며 기존의 배수계획 방향에 지장이 없도록 한다.

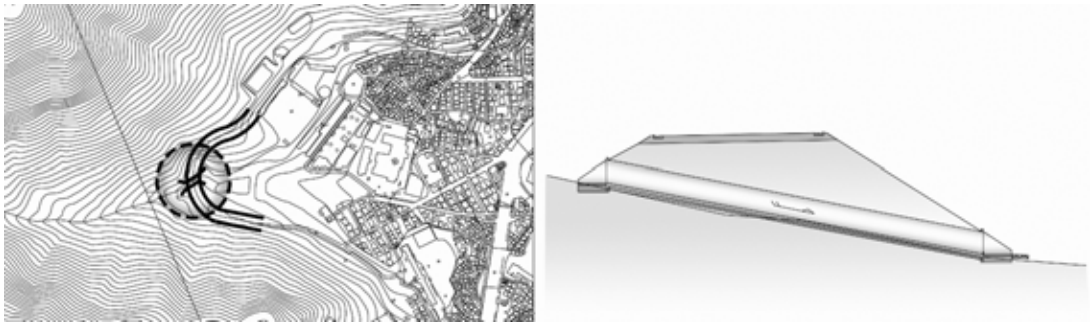
❑ 산악지 도로 배수시설은 산악지의 지형, 유역 등을 고려하여 수리·수문, 도로, 지질 및 지반, 구조 분야의 전문가 자문을 통하여 배수시설을 계획한다. 특히, 집중호우 등에 의한 도로 피해 지역은 도로관리청의 설계자문위원회를 통하여 배수시설을 계획을 한다.

❑ 산악지 도로배수시설 설치 지점의 산사태 및 토석류 등 피해 발생 여부를 조사하여 집중호우 등에 의한 도로시설물 피해원인이 되지 않도록 계획한다.

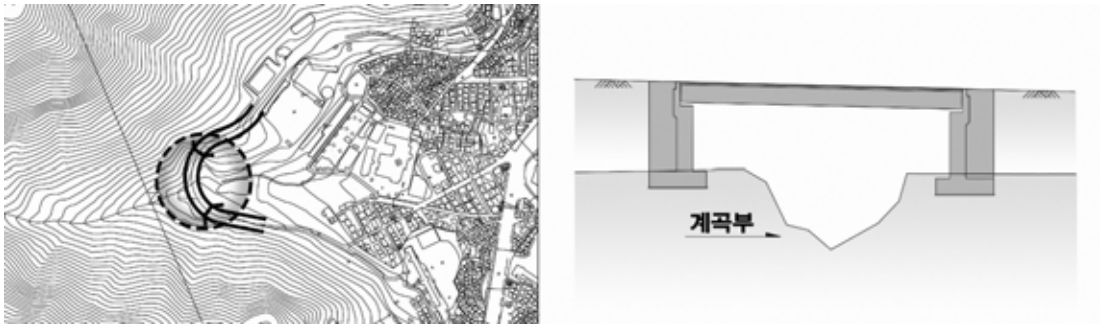
❑ 산사태 및 토석류 발생이 예상되는 계곡부 통과 지점은 산지 경사도, 식생상태, 지질 상태 등을 고려하여 피해 발생 우려지역의 도로부지내에 차단시설물의 설치를 검토하며, 도로부지외의 지역은 관계기관과 협의한다.

● 지형여건에 맞는 도로평면계획

● 암거 또는 횡단배수관으로 도로평면계획



● 계곡부는 교량으로 계획



〈그림 3.2.2〉 산악지 도로의 계곡부 통과(안)

3.3 산악지 도로 조사

3.3.1 산악지 지형 및 지반조사

❑ 산악지 도로의 지형 조사는 다음과 같다

- 지형·지질의 보전가치 조사

  보전가치가 있는 지형·지질유산 중 문화재로 지정된 것은 보호·보존되지만 아직 지정되지 않은 것은 현황조사 결과에 따라 보전가치가 높을 경우, 보전을 우선적으로 검토한다.

- 지역의 특이한 지형형상(습지, 계곡 등)조사

  산악지 도로 계획 구간이 산사태 및 토석류 등 집중호우시 붕괴 위험요소가 많은 지역인지 또는 지반이 퇴적된 지층으로 구성되었는지 등을 조사한다.

- 수해 피해 조사

  산악지 도로는 집중호우에 의한 피해가 발생되므로, 피해 및 원인을 조사 분석하여 도로 시설물에 대한 안정성이 확보되도록 노선계획에 반영한다.

- 지반 안정성 조사

  산악지에 위치한 도로의 해당지역의 지형 및 지질현황, 지반침하, 지하공동, 붕괴 위험성, 계곡부, 지반특성 등을 조사한다.

❑ 산악지 도로의 지반조사는 다음과 같다.

- 산악지 도로 지반조사의 범위와 내용은 「구조물기초설계해설」에 의하여 실시하며, 발주자와 협의하여 결정한다.
- 주요 구조물인 터널 및 장대교는 각 구조물당 1개소 이상, 비탈면은 「건설공사 비탈면 설계기준」의 지반조사에 의해 수행하여 구조물 및 토공계획에 반영한다.
- 지질 및 지반조사는 지형, 지질구조, 암질, 토질, 지하수 등의 사전조사를 실시하며, 사전 조사 결과는 본 조사의 기본 자료로 활용한다. 지반 조사

시에는 안전사고 및 재해, 환경오염, 교통혼잡, 민원 등의 발생에 유의해야 한다.

- 지표지질 조사를 통하여 단층, 습곡, 절리 등 지질 구조도를 작성하고 암석의 분포상태나 특성을 파악하여 지질 재해의 가능성을 검토하며, 표층지반, 암질, 지질구조(퇴적층 여부 등), 암반거동, 지표수 및 지하수, 비탈면 붕괴, 토석류 발생이력 등을 포함한다.

3.3.2 산악지 수문 및 기상조사

❑ 수리·수문조사

- 수문 자료 수집은 축척 1/5,000~1/25,000 지형도를 이용하여 유역면적과 구조물의 설치예정 위치별로 유량을 추정한 후 현지조사를 실시하여, 과거의 최고 홍수위, 기존 구조물의 규격 및 기타 필요한 자료를 수집한다.
- 산악지 도로 노선이 하천을 횡단하거나 하천에 인접한 경우, 자연하천의 유로를 차단하거나 하천면적을 감소시켜 재해유발위험에 노출될 수 있다. 따라서, 사업계획 초기부터 사전조사를 실시하며 다음과 같은 항목을 조사한다.

  • 배수유역 및 하천의 특성, 하천의 유역면적
  • 범람원의 특성
  • 수문자료 및 수해 발생자료
  • 계획 홍수위, 계획 하폭, 계획 경사
  • 도로와의 교차각 허용 한계
  • 집중 호우 등으로 인한 산사태, 토석류 발생조사를 실시하여 해당지역에 노선이 통과될 경우, 홍수 흔적선 조사

❑ 산악지 계곡부의 배수구역 조사

도로노선이 산악부를 통과할 경우, 수리·수문 전문가와 함께 계곡부와 배수구역의 배수영향을 조사하며, 산악지의 지형 특성 등을 고려하여 배수시설물을 계획한다.

❑ 주변 환경 영향 조사

도로를 통과하는 지역에서 계획노선 및 인근의 상수원보호구역, 취수장, 정수장 등과 공장, 사업장 등 주요 오염발생원의 분포 및 발생 상황, 하수종말처리시설, 오수정화시설, 분뇨처리시설 및 기타 처리시설에 대하여 현황 조사를 실시한다.

- 수질보전 관련 용도지역 또는 시설물의 조사
- 토사유출에 따른 하천, 습지 등의 생태계에 미치는 영향 조사
- 지하수 영향조사

❑ 산악지 기상조사

- 산악지 도로를 둘러싼 기상 조건은 도로 설계와 공사의 시공, 개통 후의 유지, 관리, 교통안전과 소통 등에 영향을 미치므로, 기상자료를 조사 분석한다.
- 〈표 3.3.1〉은 산악지 도로 노선 계획에 필요한 주요 기상 조사 항목으로, 특히, 눈이 많이 오는 지역은 눈사태 등의 장애 요인에 대해 노선 계획 후에도 별도의 상세한 조사가 필요하다.

〈표 3.3.1〉 산악지 도로 노선계획에 필요한 기상조사

조 사 항 목	조 사 사 항
강우 조사	• 일강우량 및 수해발생 조사 • 현지 답사 및 탐문 조사에 의한 산사태 및 토석류 발생 빈도 등 • 연간 맑게 갠 일수 • 계획노선주변 홍수흔적 조사
수해발생 조사	• 현지답사 및 관련기관 탐문조사에 의해 피해정도 등 조사
산사태 및 토석류 조사	• 현지 답사 및 탐문 조사에 의한 산사태 정도, 발생 빈도 등
한냉 조사	• 동절기 평균 기온 • 동절기 강우 일수
농무 조사	• 안개 발생 빈도 및 농도
강풍 조사	• 연간 강풍 발생 빈도 분포
강적설 조사	• 연간 최대 적설 높이 • 연간 제설 일수 • 적설 기간

3.3.3 비탈면 조사

❑ 산악지 도로의 비탈면은 자연지반의 불규칙한 변화, 지반조사 및 분석 등의 한계성으로 인하여 공사 중 붕괴를 근원적으로 방지할 수 없으나, 설계·시공 단계에서 사전조사를 철저히 시행하여 대규모 비탈면 붕괴발생을 최소화하며, 주요 고려사항은 다음과 같다.

◉ 대규모 깎기부(높이 20m이상)는 시추조사를 2개소 이상을 실시한다. 단, 필요에 따라 조사 수량을 늘려 적용한다. 경우에 따라 시추공을 이용한 화상정보조사와 시추공전단시험 등을 실시하여 그 성과분석 등을 안정해석(배수처리계획 포함)에 반영한다. 단, 현장 여건상 시추조사를 할 수 없는 경우 지표지질조사, 물리탐사 등의 대체 조사를 시행할 수 있다.

- 터널과 비탈면 공법 비교검토

  터널시공에 필요한 최소 토피고(암질이 양호한 암반 1.0D이상, 불량한 암반 및 토사층 1.5~2.0D이상)가 확보되는 구간

- 개착식 암거와 비탈면 공법 비교 검토

  산악지형이 급경사(1:1.0~1:0.5이상)를 이루고 있어 비탈면 설계시 대규모 자연훼손 및 장기적인 비탈면 유지관리 문제 예상구간

3.3.4 토석류 조사

❑ 산림의 벌목과 개발 등에 따른 산의 황폐화로 토석류 발생의 위험성이 증가하므로, 산악지 도로 계획 노선 주변의 기존의 절취 비탈면 및 자연비탈면에 대하여 조사한다.

❑ 토석류는 일반적으로 계곡경사 15° 이상, 상류의 집수면적이 50,000㎡ 이상으로 토석이 퇴적된 계곡 또는 과거에 토석류를 일으킨 적이 있는 계곡에서 많이 발생하며, 경사도 10° 이하 3° 이상의 지형에서 정지한다.

❑ 토석류는 노선주변의 강우특성과 관련이 있으므로, 조사시 강우자료 등을 고려하여 토석류 발생 조사를 한다.

❑ 토석류의 조사는 현지답사를 통해 토석류 발생 빈도, 규모, 토사의 성상, 유출범위, 지층의 변화 등 계곡부 주변 조사를 실시한다.

〈표 3.3.2〉 단계별 토석류 발생가능성 조사항목

조 사 항 목	계획 단계	대책방안의 설계단계	관리 단계
1) 토석류 발생에 관한 조사 (a) 노선을 따라 토석류 발생 예측 지점 조사 (b) 토석류 발생의 빈도조사 (c) 토석류를 발생시키는 강우 조건 추정을 위한 조사 (토석류 한계선의 작성)	○ ○	○	○
2) 토석류의 규모, 성질을 추정하기 위한 조사 (a) 유출 토사량 조사 (b) 토석류의 최대 입경 조사	○	○ ○	
3) 토석류 범람구역 추정에 관한 조사	○		○
4) 설치된 토석류 방지 시설의 유무 및 제원에 관한 조사 등 (토석류 발생 예상지점도의 작성)	○	○	○

3.3.5 산악지 도로 배수시설 조사

❑ 산악지 도로 배수시설은 측구, 도수로, 집수정, 횡단배수시설 등으로 구성되며, 집중호우에 의한 우수가 노면배수와 침투수의 차단, 침투된 물의 지하배수, 도로 인접지로 신속하게 배수처리 되도록 한다.

❑ 도로 배수시설이 충분한 통수단면과 내구성, 안전성, 유지관리의 편리성 등을 고려하여 다음과 같은 조사를 수행한다.

- 수문조사, 과거 홍수이력 등
- 지형(집수면적) 및 지표면의 피복상황
- 기상, 강우
- 토질, 지질, 투수성
- 지하수면의 위치와 용수의 유무

- 기존도로의 배수시설
- 지역주민 및 관계기관 탐문조사
- 배수유역의 장래 토지이용 계획 등

· ·

3.3.6 생태계 위락 경관 조사

❑ 생태계 조사

산악지에 도로가 건설되면 주변지역에 존재하는 생태계에 많은 영향을 미치게 되고, 경우에 따라 광범위한 생태계를 훼손시킬 수 있으므로 「환경친화적인 도로건설 지침」 등의 관련 지침을 적용한다.

❑ 위락 조사

위락시설조사 대상지역은 계획노선을 중심으로 좌·우측 1 km를 조사지역으로 설정하고 대상지역내의 주요 위락시설 분포현황, 이용실태 등을 조사한다.

❑ 경관 조사

경관조사의 조사항목 및 조사내용은 주요 경관지의 분포상황, 주요 전망점에서의 전망 상황 및 자연환경 보전상 특히 필요한 야외 레크리에이션 부지의 상황에 대해 조사한다.

3.3.7 기존 도로 현황 조사

❑ 기존도로 현황조사는 다음과 같다.

- 개량 및 신설 노선대의 종단경사 및 지형상태 파악
- 기존 도로의 교통 및 도로 관련 시설현황 조사
- 시·종점의 교차로의 평면 및 입체시설 검토
- 주변 개발 현황 지장물 및 토지이용 상태 조사

- 지역 개발현황과 연계된 신설 및 확장도로 계획 조사
- 기존 도로의 횡단면도와 폭원 조사
- 기존 도로의 포장상태 및 구조물 등 조사

3.3.8 토취장, 골재원, 재료원, 사토장 조사

❑ 토취장, 골재원, 재료원, 사토장 등 조사항목은 다음과 같다.

- 토취장 및 사토장의 위치, 규모 등 조사
- 기존 골재원의 위치, 종류, 골재 생산 추이 등 조사
- 계획지역 인근에 기존 골재원이 없는 경우, 골재원으로 개발할 수 있는 지역, 생산 가능량 등 조사
- 해당 지방자치단체에서 수행하고 있거나 또는 추진 예정중인 각종 공사장에서 발생할 토공량, 암굴착량, 사토량 등 조사
- 토취장, 골재원, 재료원, 사토장은 매장량, 생산 가능량, 향후 추이 등을 집중 검토하여 공사기간까지 사용할 수 있는 후보지를 선정 제시
- 공사시 시공성 및 경제성을 갖도록 토취장, 골재원, 재료원, 사토장 후보지는 노선 시점에서 종점까지 고르게 분포하도록 조사
- 관련기관 인·허가를 통한 사토처리 계획 수립

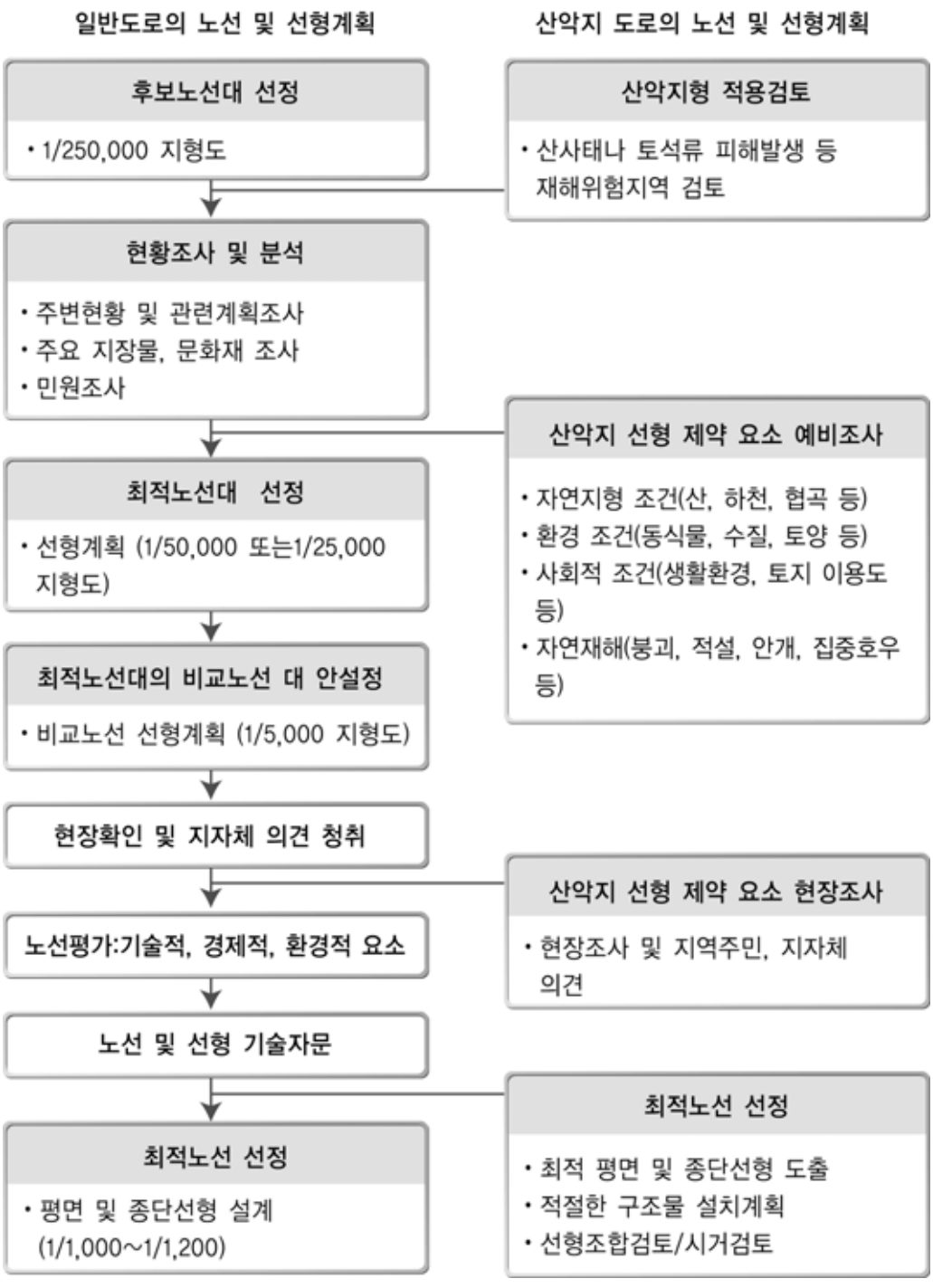
제 4 장 산악지 도로 선형

4.1 일반사항

❑ 산악지 도로는 집중 호우 등 기상조건과 지형·지질적인 산악지의 특성을 고려하며, 재해예방형 도로건설을 위한 도로선형 계획은 관련기준 및 지침을 적용하여 재해발생이 최소화되도록 계획한다.

❑ 산악지 도로는 계곡부의 산사태 및 토석류, 대규모 비탈면 붕괴 등 자연재해 발생 가능성과 취약 지점에 대하여 철저한 조사를 실시한다.

❑ 산악지 노선계획 및 선형설계는 산림청 산사태 위험지도 상 1, 2등급으로 분리되는 지역과 표고 400m 이상의 산지를 접한 계곡 등 영향권 지역의 취약구간을 파악하고, 대규모 깎기 및 쌓기량이 지나치게 많은 구간은 선형분리, 구조물 통과 또는 우회방안, 구조물 처리 방안 등을 고려하여 노선계획 및 선형 설계에 적용한다.



〈그림 4.1.1〉 산악지 도로 선형 계획 흐름

4.2 산악지 도로 선형 설계 기준

❑ 산악지 도로선형 설계는 지형·지질적 요소 등으로 인하여 경제적 제약이 심할 경우, 관련기준으로 정해진 최소 기준치를 준수하며, 경제성을 고려하여 주행상의 안전성과 쾌적성이 확보되도록 최소 규격이상의 양호한 선형요소를 적용하여 경관적, 심리적, 인간공학적인 측면을 고려한다.

❑ 특히, 산악지 도로의 선형설계는 설계기준 값 이상의 선형 요소를 감안할 것인가를 판단하여 재해예방적인 설계가 가능하도록 한다.

❑ 산악지 도로는 일괄적으로 선형설계기준을 적용하기보다 설계기준 속도를 유연하게 적용할 수 있도록 설계구간을 두어 속도를 완화하도록 한다.

4.2.1 산악지 도로 설계 속도

❑ 산악지 도로를 고려한 설계 속도는 기존의 도로 개량, 수해복구, 국립공원 등 지형상황 및 경제성 등을 고려하여 「도로설계기준」의 산지부 속도에서 시속 10~20 km 범위 안에 감한 설계속도를 적용할 수 있다.

❑ 산악지 도로의 설계구간에서 동일한 설계기준이 적용되어야 하는 최소 설계구간 길이는 2 km 이상으로 한다.

4.2.2 산악지 도로의 평면선형

❑ 산악지 도로의 직선평면선형 계획은 산과 산사이에 존재하는 넓은 계곡부 및 장대교 또는 터널 설치구간 등에 한해 사용하며, 다음과 같은 특징이 있다.

- 해당구간을 최단거리로 연결할 수 있고 설계 등의 작업이 편리하다.
- 급격히 변화하는 산악지에 순응한 선형계획이 어렵다.

- 너무 긴 직선은 도로의 단조로운 연속성에 의해 운전자의 집중력 저하 등을 불러일으켜 사고 발생의 원인이 된다.

❑ 산악지 도로의 곡선 평면선형은 원곡선으로 산악지에 순응하는 평면선형계획에 적합한 선형 구성요소로서 다음과 같은 특징이 있다.

- 험준한 산악지에서 불가피하게 평면곡선반경을 최소치에 가깝게 적용해야 할 경우, 일련의 선형요소를 검토하여 일관성 있게 적용한다. 전체적으로 일부 구간이 짧게 그리고 산발적으로 존재하는 일이 없도록 한다.
- 부득이한 구간이 발생하는 경우, 점차적으로 평면곡선반경을 서서히 낮추어 운전자가 자연스럽게 특별구간으로 유도하는 선형을 유지토록 한다.

4.2.3 산악지 도로의 종단선형

❑ 산악지 도로는 지형적 특성을 고려하여 지형 변화에 적합하게 설계속도와 종단경사를 적용하며, 너무 긴 직선의 하향 종단경사 구간이 발생하지 않도록 한다.

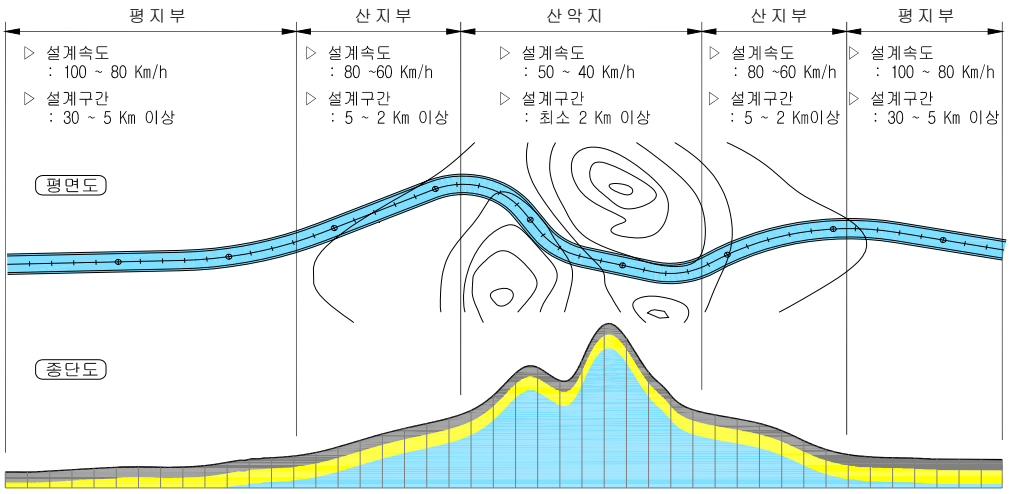
❑ 산악지 도로의 종단 선형은 지형상황, 주변 지장물 및 경제성을 고려하여 필요하다고 인정되는 경우, 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침」의 산지부 비율에 1 % 를 더한 값 이하로 적용한다.

4.2.4 산악지 도로의 시거

❑ 산악지 도로는 잦은 산마루 및 계곡부 등의 통과로 인한 평면 및 종단선형의 조건이 불리하며, 교량 및 터널 등이 자주 발생하고 복-단면 도로 등의 특성으로 인한 주행조건이 불리하다.

❑ 따라서 산악지 도로의 전구간의 시거는 운전자의 주행안전성과 쾌적성을 높이는 중요한 설계요소로, 운전자의 안전을 위하여 그 도로의 설계속도에 따라 필요한 시거길이를 전구간에 걸쳐서 확보한다.

❑ 산악지 도로의 앞지르기 시거는 양방향 2차로 도로에서 그 도로의 효율적인 운영을 위하여 도로의 설계속도에 따라 필요한 길이를 적정한 간격으로 확보한다.



〈그림 4.2.1〉 설계속도 및 설계구간 적용 개요도

4.3 산악지 도로 선형계획의 주요 고려사항

❑ 산악지 도로 선형 계획은 산마루, 협곡, 다설지역, 생태보호지역 등 산악지의 지형 여건과 선형 제약조건 등을 반영하며, 〈표 4.3.1〉은 산악지 도로 선형 계획시 제약요소와 고려사항이다.

〈표 4.3.1〉 산악지 도로 선형 계획시 제약요소 및 고려사항

선형 제약 요소		주요 고려사항	선형설계 반영사항
자연 지형 조건	• 산 또는 산마루	• 산마루의 통과위치 • 터널 편토압	• 터널통과 또는 우회 절취통과
	• 대규모비탈면 발생지	• 한쪽깎기, 한쪽쌓기,활동 • 편측 비탈면 높이, 편토압	• 터널 및 토공 통과 • 피암터널 계획
	• 하천(호수,소류지)	• 교량 가설 지점 결정	• 하천에 영향을 최소화한 교량위치 선정
	• 협소하고 좁은 계곡	• 좁은계곡 통과위치 • 계곡의 횡단위치 • 분리 선형	• 어떤 계곡 및 어떤 쪽의 비탈면을 통과할 것인지 판단 • 구조물 및 토공 통과
환경 조건	• 동식물	• 녹지자연도 8등급, 생태계 보전지역, 조수보호구역, 생태자연도 1등급 등	• 생태계연결 및 녹지축 보존 • 우회 또는 통과방안 검토 • 동물이동통로 계획고려
	• 자연환경 보호지역	• 보호하는 자연환경	• 우회 또는 보존방안 결정
	• 수질	• 수환경상 보존지역	• 우회 또는 보존방안 결정
	• 중요한 자연경관지역	• 천연기념물, 백두대간	• 자연환경보존 및 경관설계기법
	• 토양	• 양질토양 분포지역	• 깎기 · 쌓기 최소화 및 균형을 고려
사회 조건	• 생활환경	• 발파영향(소음, 진동)	• 이격거리확보
	• 토지이용도	• 지역간 단절	• 영향완화
	• 위락,경관	• 수려한 자연경관	• 우회 또는 보전방안 결정
자연 재해	• 붕괴지역	• 대규모 및 부분적인 슬라이딩이 생기는 지대	• 좁은 장소에서 횡단 • 우회 또는 보강 후 통과
	• 적설지역	• 폭설, 결빙지역	• 제설작업을 고려한 선형계획
	• 안개(다무)지대	• 안개다발지역	• 시거확보 및 안전시설을 고려한 선형계획
	• 결빙	• 일조량, 편경사 검토	• 결빙예방을 고려한 선형계획
	• 집중호우	• 과거 집중호우 피해분석	• 집중호우에 대비해 하폭, 배수시설 설치계획을 고려한 선형계획 • 토석류 및 유송잡물 차단을 고려한 선형계획
	• 바람	• 최근 기상 조사자료 및 방풍벽설치	• 안전시설을 고려한 선형계획

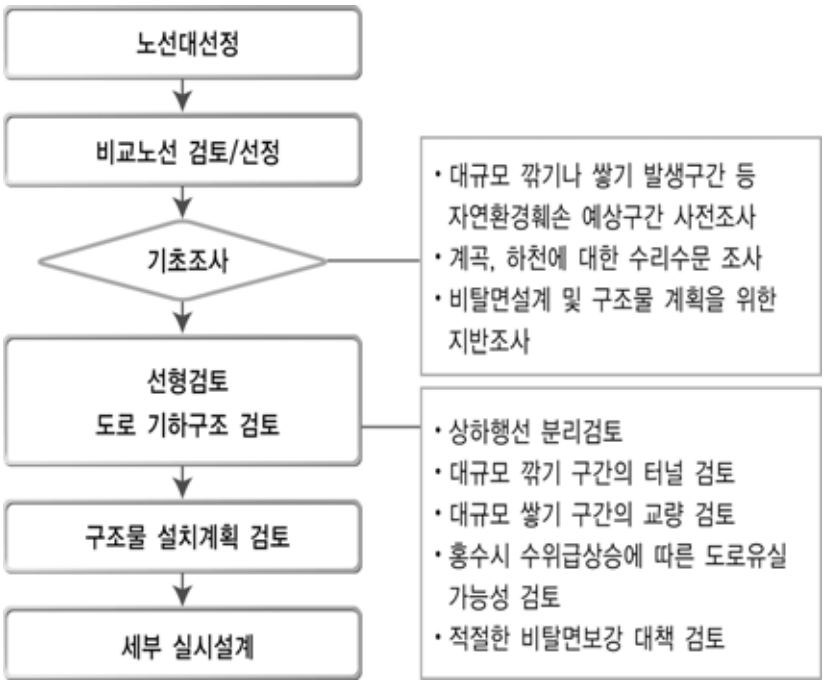
4.4 산악지 특성을 고려한 도로 선형계획

4.4.1 자연지형 조건(지형, 협곡, 하천 등)을 고려한 선형계획

❑ 산악지 도로의 평면선형 계획

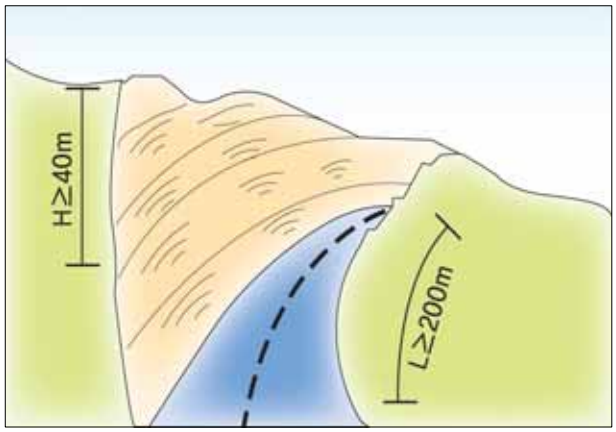
- 도로 건설은 선형적으로 연속되는 사업으로 영향 범위가 긴 구간에 걸쳐서 나타나게 되고, 지형·지질은 한번 훼손되면 복구되기 어려우므로 노선계획의 초기부터 세심한 주의가 요구된다.

- 지형·지질 측면에서 자연환경 훼손을 저감할 수 있는 선형설계는 보전가치가 있는 지형·지질인 경우 노선을 우회하는 방안, 터널설치, 땅깎기·흙쌓기 규모 축소 등으로 그 영향을 완화하는 방안을 평면선형 설계시 고려한다.

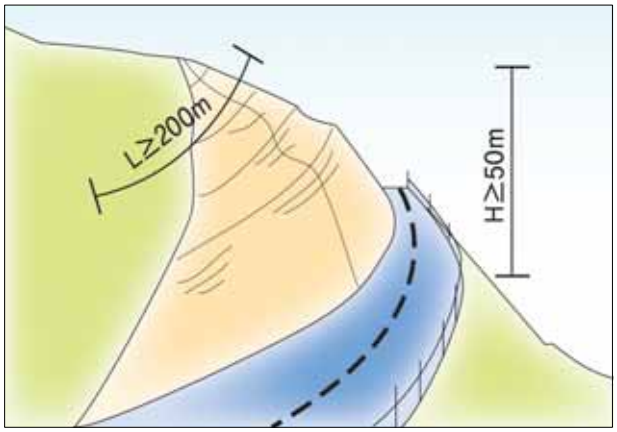


〈그림 4.4.1〉 자연지형 조건을 고려한 선형 계획

- 산악지 도로 평면선형 계획시 터널화를 고려하여야 하는 지역
  - 땅깎기 높이가 40m 이상, 연장 200m 이상 발생하는 지역
  - 한쪽 비탈면 높이가 50m 이상, 연장 200m 이상 발생하는 지역
  - 땅깎기 높이가 40m, 연장이 200m 이하인 경우라도 노선 및 주변지형 특성 등에 따라 필요한 지역
  - 녹지자연도가 8등급 이상인 지역
  - 자연경관이 아주 수려한 곳(국립공원·도립공원 등)



(a) 땅깎기 높이 40m 이상, 연장 200m 이상

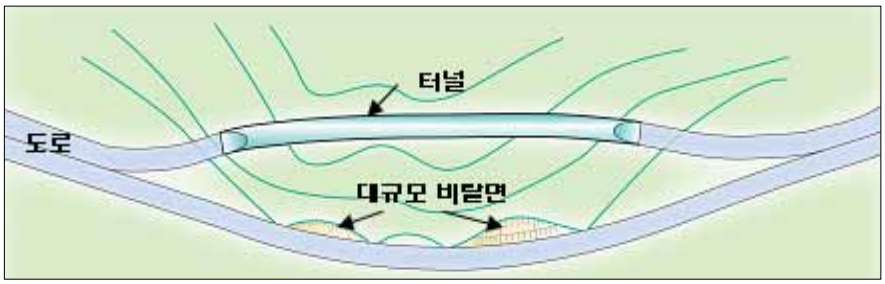


(b) 한쪽 비탈면 높이 50m 이상, 연장 200m 이상

〈그림 4.4.2〉 터널을 고려해야 할 지역

◉ 대규모 비탈면 발생지역 평면선형 계획

- 노선의 평면선형을 적절히 조정하거나 분리하는 방안 및 터널 등의 가능성을 검토한다.
- 땅깎기 비탈면높이를 줄일 수 있는 비탈면보강 및 녹화공법을 검토한다.
- 대규모 비탈면 발생이 불가피할 경우에는 재해 및 지반공학적 측면에서 안정성 검토를 수행하고, 피암터널, 방호벽 등의 방호대책을 강구한다.



〈그림 4.4.3〉 선형분리를 통한 대규모 비탈면 발생 최소화

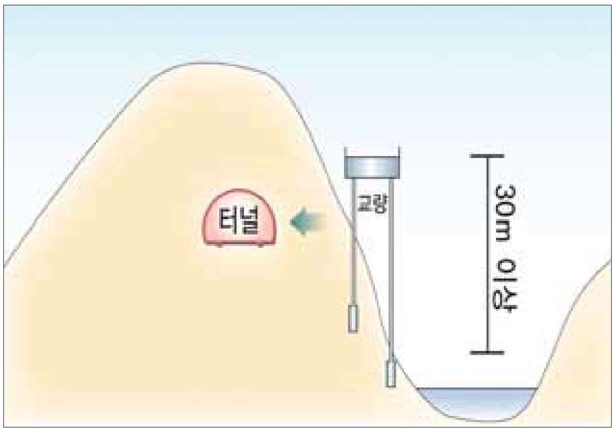
◉ 하천 통과구간을 고려한 평면선형계획

- 도로건설사업은 하천을 횡단하거나 하천 또는 호소에 인접하여 건설되는 경우, 자연하천의 유로를 차단하거나 하천면적을 감소시키는 등 영향이 발생한다.
- 또한, 노선이 하천에 인접한 경우에는 자연재해의 피해를 입거나 재해유발위험에 노출될 수 있으므로 수질 관련 보호지역 우회통과방안과 수로차단에 대한 대책을 수립하며 그 영향을 최소화하도록 선형 계획을 수립한다.
- 하천 통과 지역의 침식 가능성을 막고 물의 자연흐름에 미치는 영향을 줄이기 위해 제방에 미치는 영향이나 수로를 만드는 것을 최소화 한다.
- 도로의 유출수가 직접 자연 하천으로 들어가는 것을 최소화한다.
- 하상 지장물에 의한 홍수시 수위 급상승에 따른 도로유실을 고려한 평면 및 종단선형을 계획한다.

◎ 산마루 및 계곡부 통과 평면선형계획

- 계곡이나 협곡을 통과하는 도로는 선형계획을 점차적으로 크게 또는 작게 하거나 평면 및 종단선형을 인지할 수 있게 계획한다.
- 교량 교각이 30m 이상이 되면 오히려 터널보다 공사비가 증가되며 구조상의 안정성도 고려해야 한다. 또한, 적설지에서는 겨울철 교통단절 등을 고려하여 합리적인 대안을 채택한다.

(a) 운전자가 선형의 변화를 사전 예측 가능하도록 유도한 선형계획



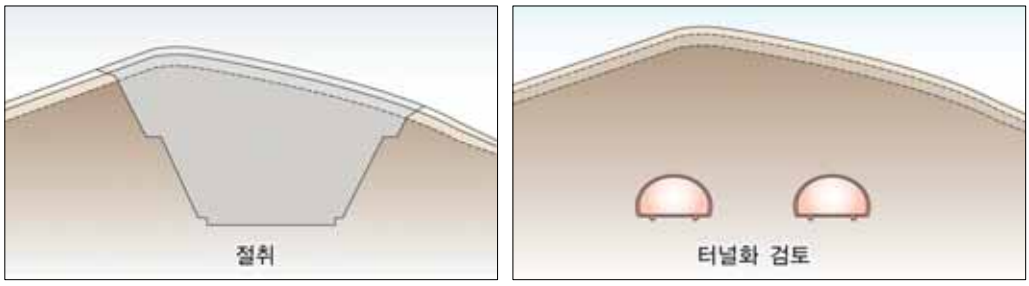
(b) 교량 교각이 30m 이상인 경우 선형조정을 통한 터널 검토

〈그림 4.4.4〉 산마루 및 계곡부 선형계획시 고려사항

❑ 산악지 도로의 종단선형 계획

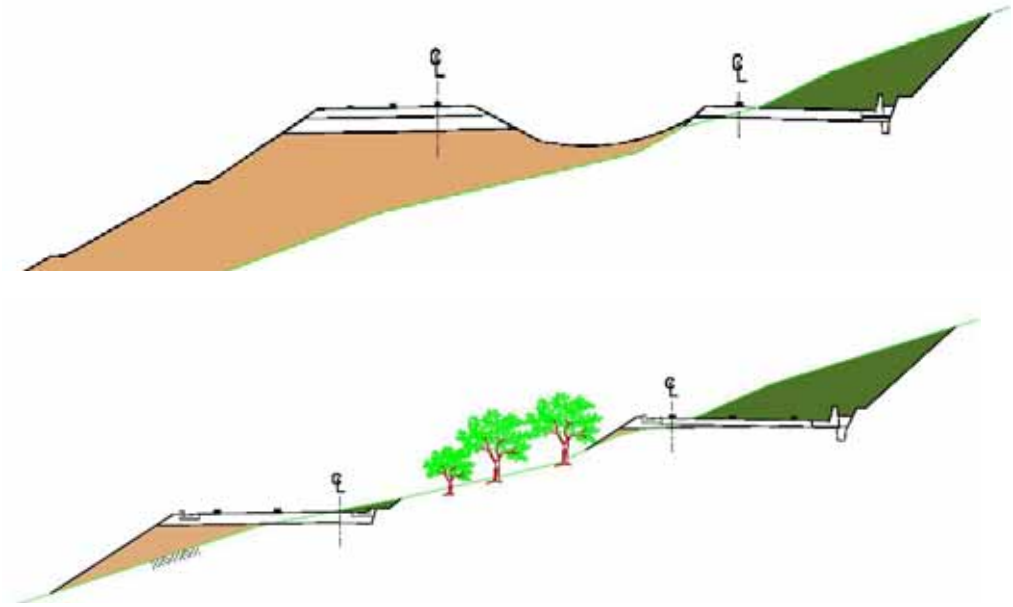
◉ 대규모 비탈면 발생지역 종단선형계획

• 대규모 종단경사를 조정하여 터널 가능성을 검토한다.



〈그림 4.4.5〉 대규모 비탈면 발생 최소화를 위한 터널화(안)

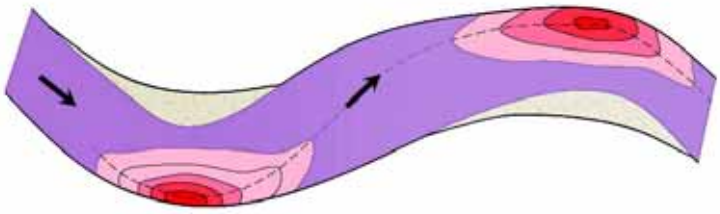
• 급경사로 되어 있는 계곡의 경우, 현장여건과 조화되고 지형훼손을 줄일 수 있는 방안을 검토한다.



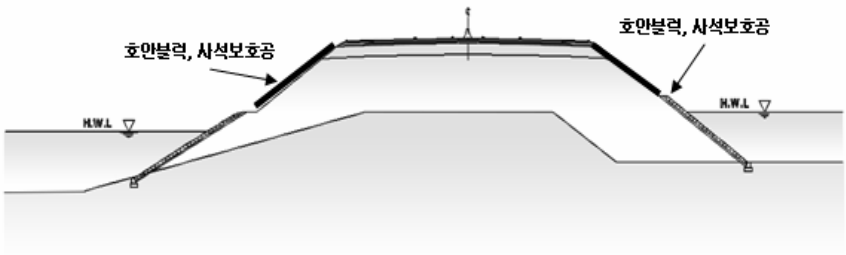
〈그림 4.4.6〉 급경사 구간 과도한 한쪽 쌓기 발생구간 설계(안)

● 하천구간 통과를 고려한 종단선형계획

- 수원 및 수질에 영향이 우려되는 상수원 보호구역, 수변구역 등의 지역을 불가피하게 통과할 경우, 수질 및 유로의 변경 등 환경에 대한 영향이 최소화되도록 한다.
- 이때, 도로변 완충녹지 설치, 교량설치 등 적정 저감대책을 강구하여 선형을 계획하고, 주변과 조화되는 교량형식, 재해영향성 등을 고려한다.



(a) 급사행하도의 수충부 피해발생 지역



(b) 하천통과 비탈면 보호(안)

〈그림 4.4.7〉 하천통과, 근접구간 비탈면 보호 적용 방법 및 피해 예상 지역

● 산마루구간 통과구간 종단선형계획

- 산마루를 통과하는 터널 선형은 계획고가 낮아짐으로 종단경사가 완화되어 산악지의 험난함이 극복되어지나 공사비가 증가한다. 또한, 토공계획은 높은 지점을 통과함에 따라 종단극복을 위한 노선연장 증가 및 선형

이 불리하며, 자연환경훼손이 불가피하므로 교통량, 도로의 기능, 산악지의 험준함 등을 고려하여 통과방안을 선정한다.

(a) 영동고속도로(신) 대관령구간
구조물 통과 ⇒ 공사비고가, 종단경사완화

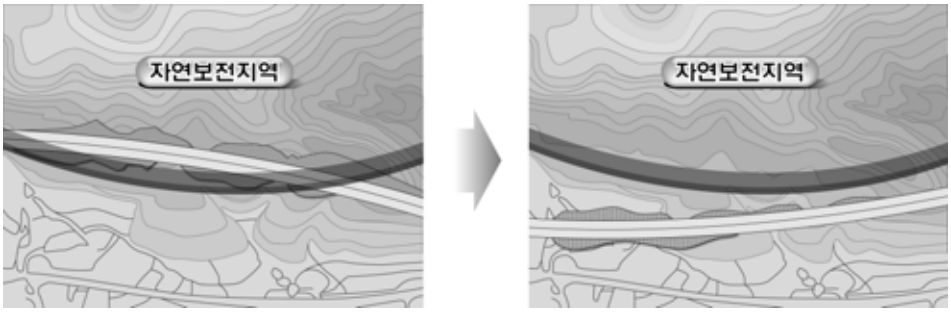
(b) 영동고속도로(구) 대관령구간
토공 통과 ⇒ 노선연장증가, 선형불리

〈그림 4.4.8〉 산마루 구간 통과 사례

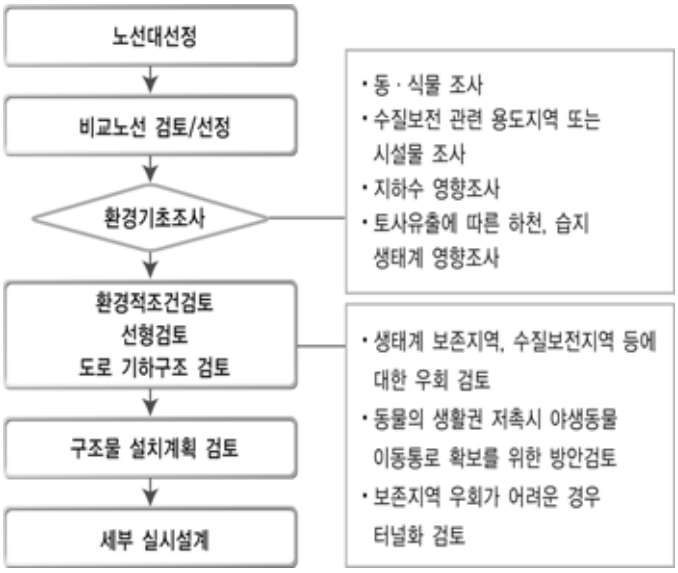
4.4.2 환경적조건(동 식물, 자연환경, 보호지역 등)을 고려한 선형계획

❑ 동물의 생활·행동권 등을 고려하여 야생동물 이동통로 확보를 위한 방안을 고려하며, 생태적·환경적으로 보전가치가 있는 녹지자연도 8등급 이상 지역, 녹지자연도 7등급중 과도하게 훼손되는 지역, 생태계보전지역, 생태자연도 1등급권역, 조수보호구역, 습지보호지역 등은 가능한 범위 내에서 우회하는 방안으로 평면선형 설계를 한다.

❑ 자연생태계 보전대상지역의 우회가 어려운 경우선형조정 후 터널화를 검토하여 가능한 범위 내에서 자연환경을 보존하는 방안을 선형 설계시 고려한다.



〈그림 4.4.9〉 우회 및 터널설치를 통한 자연환경 훼손 최소화

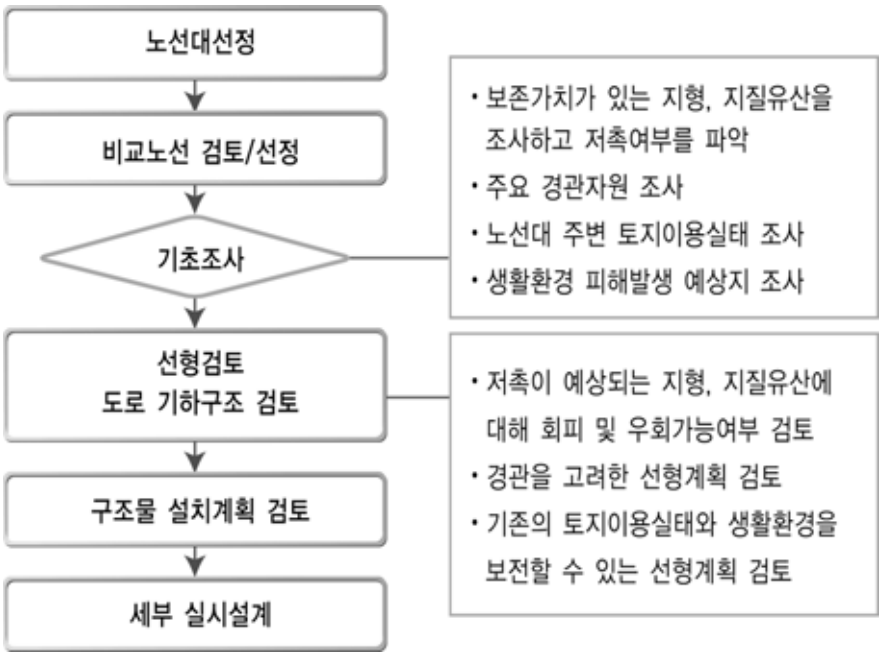


〈그림 4.4.10〉 환경적 조건을 고려한 선형계획

4.4.3 사회적조건(생활환경, 문화재, 지역단절 등)을 고려한 선형계획

❑ 산악지의 자연경관 및 자연적 요소가 높은 지역의 선형설계시 기본원칙은 다음과 같다.

- 선형 우회검토시 도로의 기능 및 성격에 맞고 도로교통의 요구조건에 부합되는 과다하지 않는 적정 규모의 기하구조로 자연지형을 이용하여 물이 흐르는 듯한 선형계획
- 주변 환경과 조화되며 기후에 따른 도로의 경관의 변화를 고려하고, 도로이용자와 지역주민을 고려한 설계
- 도로 공간 전체의 균형을 고려한 설계
- 통일과 변화를 고려한 설계
- 시간의 흐름에 따라 경관을 가꾸는 설계
- 지역특성을 유지하며 경제적이고 유지관리에 편리한 선형을 계획한다.



〈그림 4.4.11〉 사회적 조건을 고려한 선형계획

❑ 자연적 요소가 높은 지역에 도로를 신설할 경우, 도로정비 후의 경관변화에 유의하고, 운전자가 쉽게 조망할 수 있도록 선형계획을 한다.

- 산악지 도로는 대부분 수려한 자연경관을 가지고 있으므로 도로건설시 주변 자연경관과 조화 및 어울림이 중요하다. 도로의 경관은 도로 위를 달리는 운전자가 보는 경관과 도로 구조물을 밖에서 바라보는 경관의 두 가지를 고려할 수 있으며, 특히 산악지의 경우 도로 밖에서 도로를 바라보는 경관의 측면에서 지형과의 조화를 고려하여 계획한다.
- 산악지의 경관설계를 위한 현황 조사 및 분석을 시행하여 경관설계시 반영되는 경관 요소를 분석 선정하여 선형설계에 경관요소를 적절히 반영하여 자연경관과 함께 조화되는 도로를 계획한다.

(a) 운전자가 보는 경관 (내부경관)

(b) 밖에서 도로를 바라보는 경관 (외부경관)

〈그림 4.4.12〉 내부경관과 외부경관

(a) 산과 운해 (지리산 노고단 도로)

(b) 섬진강 철쭉꽃이 어우러진 도로(국도17호선)

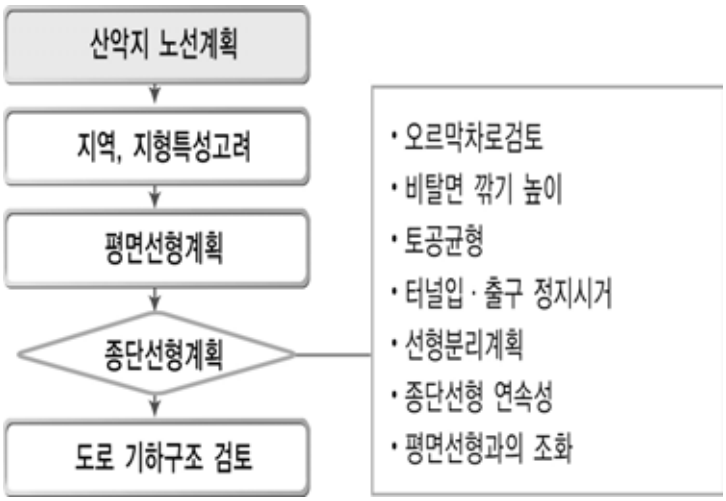
〈그림 4.4.13〉 경관설계시 고려할 주요 경관요소

〈그림 4.4.14〉 마을경관 변화를 최소화한 선형 설계

4.4.4 산악지 종단 선형계획의 주요 원칙

❑ 산악지를 통과하는 도로설계는 평면계획뿐 아니라 적절한 종단계획은 경제적이고 친환경적인 도로건설에 매우 중요하다. 급한 하향경사와 지역적 특성을 고려치 않은 경사는 교통사고위험이 높으므로 급격한 경사의 변화를 피하고 시각적으로도 원만하게 한다.

❑ 상향경사가 급하면 트럭의 속도가 현저하게 줄어서 원활한 통행을 저해하게 되므로 급한 종단 경사구간의 교통량이 많은 구간에는 오르막차로 설치를 검토 한다.

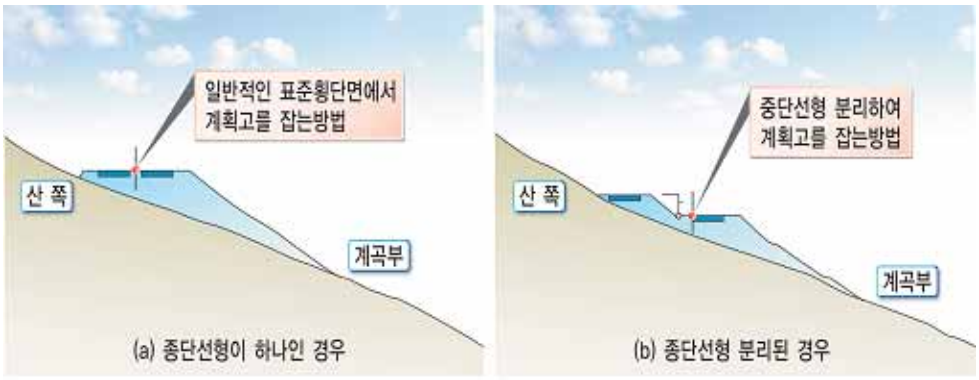


〈그림 4.4.15〉 산악지 종단계획 설계

- 선형은 지형에 적합하고 비탈면의 절취여부나 깎기와 쌓기의 균형을 유지해 계획한다.
- 터널 출구부근에서 급격히 종단경사를 변화시키면 지형에 따라서는 공중에 떠있는 듯한 착각과 전방시거 부족으로 출구부근에서 운전자는 속도를 줄이는 경향을 보이며 이는 뒤따라오는 차량에도 영향을 준다. 터널 내에서 전방의 선형을 파악할 수 있도록 배려하는 등 종단선형의 연속성을 고려해 설계한다.
- 하향경사 터널인 경우 내부로 배수유입문제가 있으므로 입·출구부근에서 정점을 두어 배수가 유입되지 않도록 한다.

❑ 산악지 특성을 고려한 분리선형 계획

- 산악지는 특이지형이 많으므로 선형 계획시 영향권내 보전할 가치가 있는 특이 지형 유무를 파악하여 자연지형을 살린 노선선정으로 자연원형의 지형을 보전하는 방안의 노선계획이 필요하다. 따라서 동쪽의 높은 지형과 서쪽의 낮은 지형 특성을 고려하여 분리건설 방안을 검토한다.
- 환경보전가치가 높은 산악지 구간은 자연원형을 보전하기 위해 기하구조기준을 설계기준보다 약간 하향 조정하여 오솔길처럼 편안하고 조용한 도로로 계획하여 이 지역을 통과하는 모든 사람들에게 자연 상태의 생태공간을 함께 느낄 수 있도록 하는 선형계획이 필요하다.



〈그림 4.4.16〉 지형을 고려한 선형분리 계획

〈그림 4.4.17〉 산악지 도로 분리선형 건설 사례

4.4.5 선형의 조합

❑ 산악지 도로의 경관을 고려한 선형조합

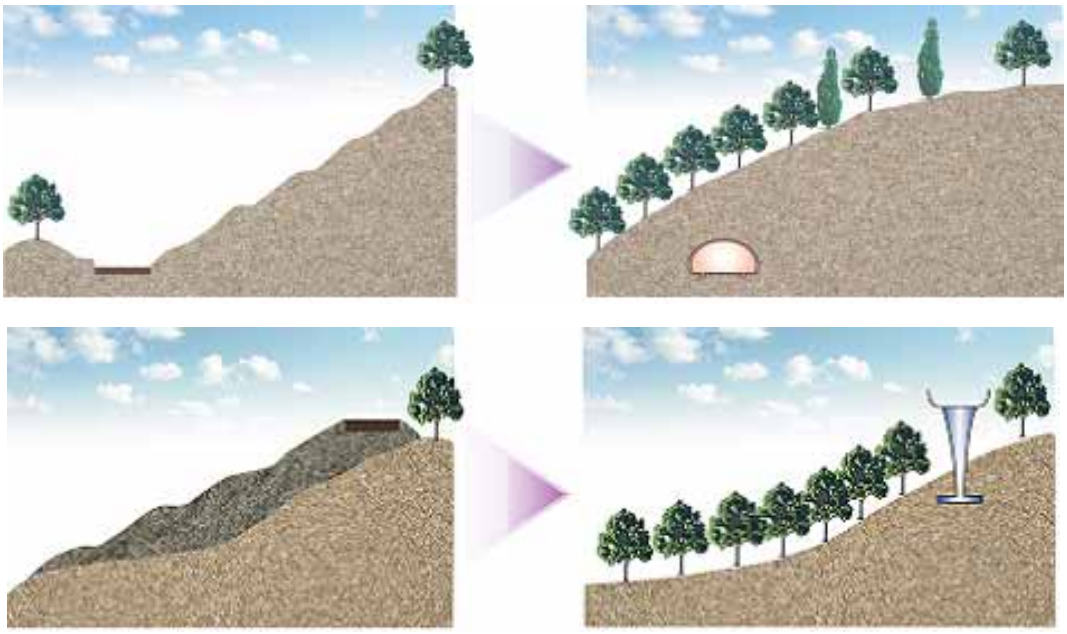
◉ 도로노선이 자연경관의 질적 수준이 매우 우수한 지역에 영향을 주는 경우에는 평면 및 종단선형을 조정하여 터널 및 교량의 적용 등을 통해 그 영향을 최소화 한다. 또한 터널 및 교량 계획시 다음의 사항을 고려한다.

• 터널계획 :

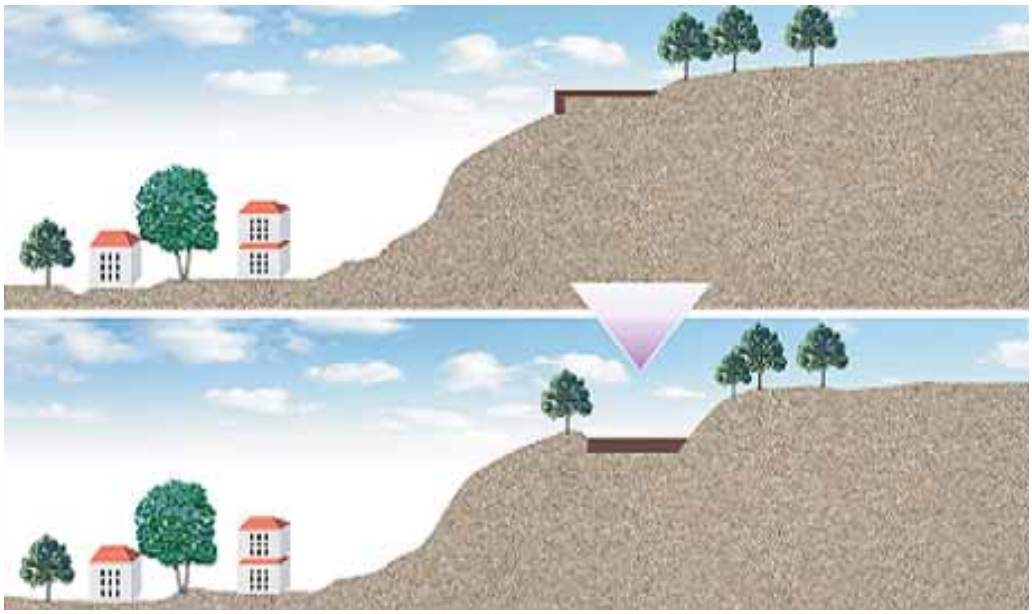
지형 및 식생훼손이 최소화 되도록 터널 입출구부를 선정하여야 하며 갱문형식은 지형의 여건을 고려하여 가능한 한 경관적으로 양호한 형식으로 계획한다.

• 교량계획 :

교량설치를 통해 조망의 확보, 차폐감 해소뿐만 아니라 계곡과 같은 자연경관을 보전하기 위해 설치여부를 검토해야 하며, 장대교량의 경우 양호한 조망장소나 지역의 랜드마크로서 작용하는 경우가 많으므로 경관적으로 양호한 형식으로 계획한다.



(a) 대규모 깎기 및 쌓기에 대한 터널, 교량화(안)



(b) 한쪽 깎기 및 쌓기 구간에 대한 양쪽 깎기 구간

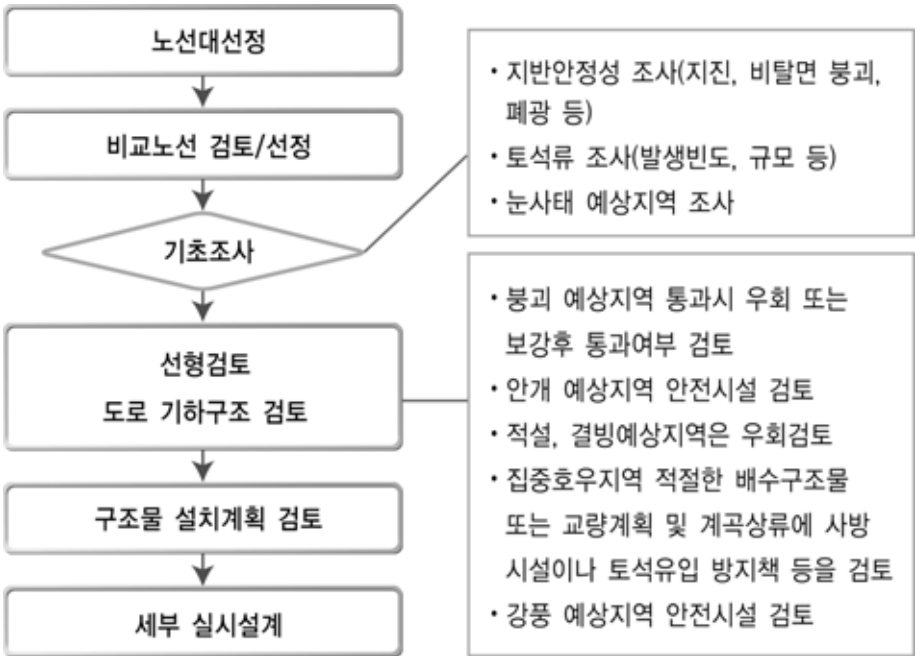
〈그림 4.4.18〉 경관을 고려한 다양한 선형계획

- 산간, 산중턱, 계곡을 노선이 통과하는 경우 도로내의 경관은 물론이고 도로 외의 경관에도 배려한 선형계획을 한다.
  - 명승지나 자연경관이 뛰어난 지역의 통과에 대해선 설계속도를 낮춰 선형을 조절하거나 터널이나 교량을 검토하는 등 자연훼손을 최소화 할 수 있는 선형을 계획한다.
  - 산골짜기의 지형을 가진 지역의 통과에 대해선 외부경관을 고려하여 교량 형식 등을 검토한다.
  - 산림을 분단하는 듯 한 직선의 통과는 가능한 한 피하는 것이 좋으며 적당한 곡선을 삽입하고 상하행선을 분리한 후 기존수림을 분리대에 이용하는 것은 산림과의 경관적인 조화를 높일 수 있다.
  - 랜드마크나 특징있는 능선이나 계곡 등이 바라보이도록 연속적인 경관을 검토하며 산림지역에서는 녹음 속에 포함된 이미지가 강화되도록 한다.

〈그림 4.4.19〉 산림 통과구간의 경관을 고려한 선형계획

4.5 자연재해 요소를 고려한 선형 계획

❑ 산악지 도로는 폭설 또는 호우로 인한 붕괴 등 여러 자연재해로 인한 도로의 교통두절과 지·정체로 인한 시간손실, 물류지연 등에 따른 간접적인 사회적·경제적 손실은 매우 크다. 그러므로 도로건설시 선형계획 단계부터 자연재해의 영향을 고려하고 이에 따른 안전시설 설치를 고려한 선형계획을 한다.



〈그림 4.5.1〉 자연 재해 요소를 고려한 선형 계획

4.5.1 집중호우를 고려한 선형계획

❑ 집중호우지역 선형계획시 고려하여야 할 사항

◉ 영구적인 복구 및 예방을 위해 우선 산악지 계곡부 횡단배수로를 규격이 큰 암거나 교량으로 검토하고, 토사유출 및 산사태 예방을 위해 계곡상류에 토석유입 방지책 등의 설치를 검토한다.

• 산악지 계곡부 횡단배수시설의 암거를 교량으로 선정하기 전에 토석류

발생 가능성과, 상류에 사방댐 및 계곡수의 유속을 저감시키는 시설설치 등을 종합 검토하여 합리적인 계획을 수립토록 한다.

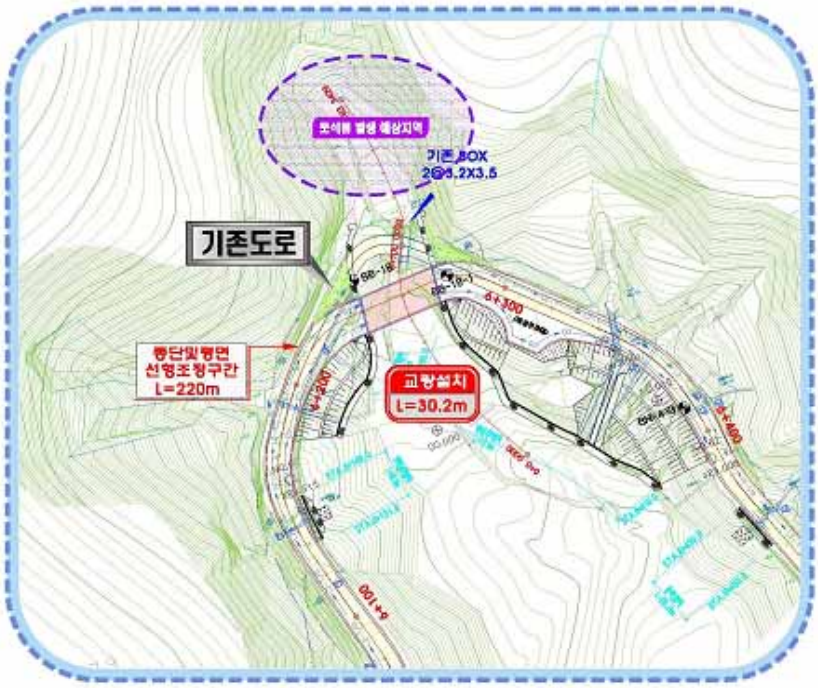
- 하천 수충부는 도로건설을 억제하되, 불가피한 경우 교량, 콘크리트 옹벽, 세굴방지시설, 교량하부에 유속감속 낙차공 등의 설치를 검토한다.
- 기존 및 신설 배수시설은 강화된 설계기준에 따라 설치하고, 산사태로 붕괴된 절개지 등은 전문가의 현지조사, 안정검토 등을 시행한다.
- 선형계획단계에서부터 수해 가능성을 면밀히 검토해 노선을 선정하고, 수해 가능성이 높은 산악지는 터널 등을 통해 수해가 최소화 될 수 있도록 계획 한다.
- 간벌목 등 홍수시 장애가 될 수 있는 요인에 대하여 점검 및 응급조치를 시행한다.
- 산림청의 산사태 위험지도를 이용하여 도로주변의 산사태 취약지구 점검 및 응급조치를 시행한다.
- 산림 환경을 고려하면서 토사유출을 방지하는 설치가 필요하며, 도로부지내의 구역은 도로관리청이 필요한 곳에 설치하며, 도로부지외의 구역은 산림청 등 관계기관에서 설치하도록 협의한다.
- 홍수기 전 간벌목 등 홍수장애요인 점검 및 대책(광역단위의 간벌목 임시보관소)을 수립한다.

◎ 산악지 기존도로의 확장이나 신설시 부득이하게 편측으로 대규모 깎기부가 발생하는 경우 피암터널을 설치하여 낙석을 받아 내거나, 계곡으로 유도하여 낙석발생에 따른 피해를 방지하고, 피암터널 상부에 복토하여 식물을 식재함으로써 환경 친화적으로 계획한다.

◎ 도로계획상 불가피하게 깎기가 발생하는 경우 지형변화와 산림훼손을 최소화하도록 고려하여 선형을 조정하고, 비탈면 보강공법을 적용한다.

하천범람을 방지하기 위한 다음과 같은 대책을 마련한다.

- 하천설계기준 상향조정은 설계자문위원회 등의 자문을 통하여 결정한다.
- 하천 제방의 안전성을 강화(1:3 이상의 완경사 제방 설치 등)한다
- 하천침수흔적도 및 하천범람 예상도를 작성하여 하천변 토지이용규제 및 홍수위를 고려하여 설계한다.

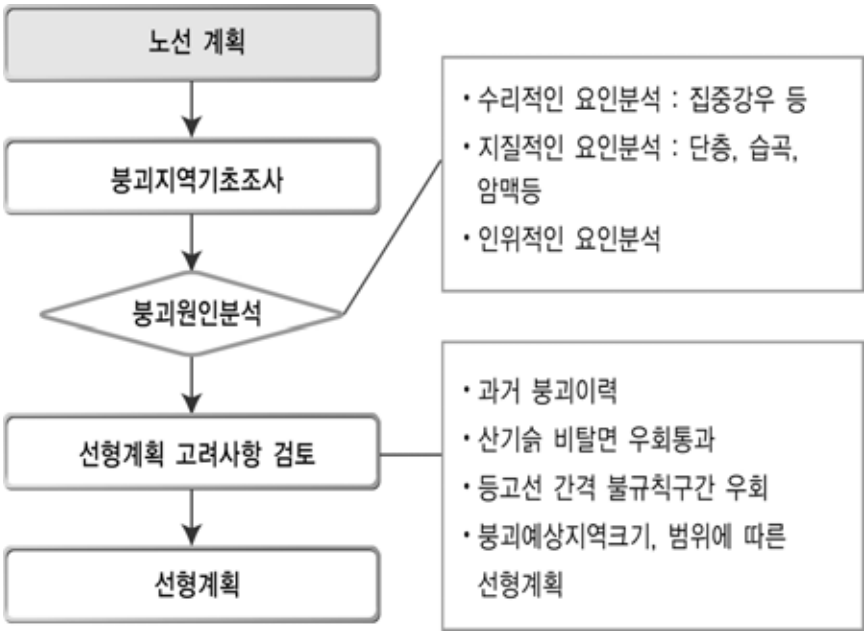


〈그림 4.5.2〉 토석류 및 유송잡물 피해예방을 위한 선형계획

4.5.2 붕괴지대를 고려한 선형계획

❑ 붕괴지역 선형 계획시 고려 사항

◉ 붕괴 발생 지형은 어느 특정 지질의 장소에서 집중하여 발생하는 것으로 과거에 붕괴 또는 활동에 의해 생긴 지형에서 다시 발생할 수 있으므로 붕괴 방지대책 및 노선을 변경 등을 고려하여 선형을 계획한다.



〈그림 4.5.3〉 붕괴를 고려한 선형 계획

◉ 붕괴지대 지형의 특징은 다음과 같다.

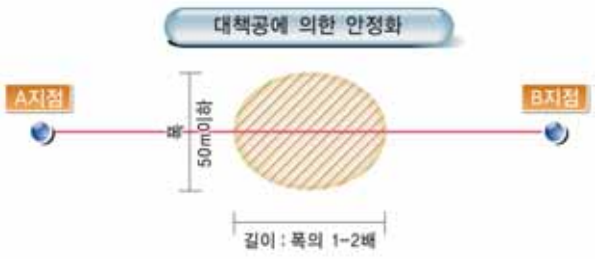
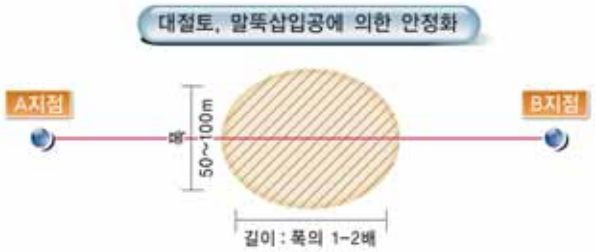
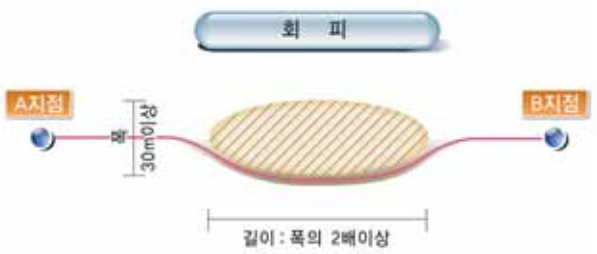
- 경사가 주변보다 완만하고 주변지역은 산림이나 완경사지는 밭인 경우
- 천수답이 개간되어 있는 경우, 아래쪽에서 위쪽을 올려다보면 지반이 요철을 이루고 있으며 상당히 흐트러진 경우
- 지형도에서 등고선의 간격 모양이 불규칙하게 되어 있는 경우
- 지형도에 활동 범위를 표시하면 그 윤곽은 말발굽형이 되는 곳
- 활동 지구의 꼭대기 부분에서 아래쪽으로 지형을 보면 파형을 이루고 있는 경우

붕괴원인은 다음과 같다.

- 수리적인 요인은 단기적으로 비탈면 활동력 증가와 지반저항력 감소가 유발되고, 장기적으로 열화 및 비탈면 시설의 노후화를 가속시켜 붕괴의 원인이 된다.
- 기후적인 수리요인으로 집중강우는 간극수압의 증가, 활동력의 증가 및 지반강도의 저하 등을 유발하며 동결융해는 표층지반의 동상에 의한 들뜸과 식생공의 박락이나 표층 유실을 유발한다.
- 단층에 의한 요인으로 단층 점토층의 방향이 그림과 같이 분포하고 불투수막을 형성할 때 지하수위를 상승시킴으로써 붕괴를 유발할 수 있다.

〈그림 4.5.4〉 단층에 의한 비탈면 활동 사례

붕괴 예상지역 통과 시 선형계획

통 과 현 황	선형계획
폭이 50m이하이고 길이가 폭의 1~2배의 것은 두께가 5~15m의 것이 많아서 대책공에 의해 안정시킬 수가 있다	
폭이 50~100m이고 길이가 폭의 1~2배의 것은 두께가 15~20m 정도인, 대규모의 깎기나 압쌓기에 쓰이는 말뚝 삽입공을 병용하여 안정시킬 수 있다.	
길이가 폭의 2배 이상이고 폭이 30m 이상이 되면 회피하는 편이 좋고 폭이 50~100m가 되면 반드시 피해야 한다.	
폭이 100m 이상이 되면 규모가 커서, 안정화의 계획은 적당하지 않으므로 반드시 우회한다.	

4.5.3 안개를 고려한 선형계획

❑ 안개가 발생했을 때 운전자의 문제는 아래와 같으며 선형계획 시 충분히 검토한다

- 제한된 시거
- 가능시거를 넘는 속도 선택
- 앞차에 너무 근접해서 운전하면서 발생하는 운전조정능력 저하
- 속도변화에 따른 과다반응
- 차선 선택, 속도 선택의 우유부단함
- 도로 이탈, 조명과 비상등의 사용
- 선두 차량 때문에 브레이크를 밟기 전에 충분히 멀리 볼 수 있는 운전자 능력 없음

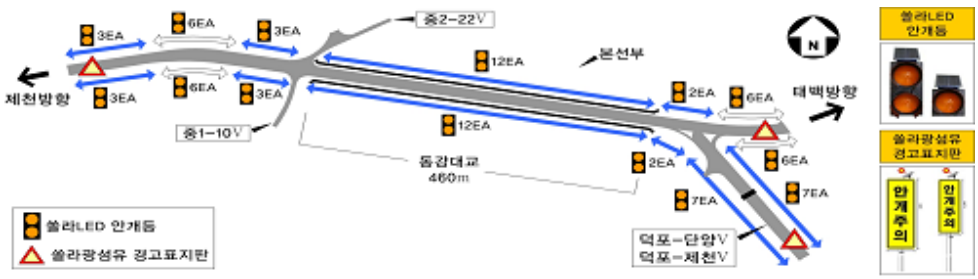
❑ 안개가 발생했을 때 운전자들은 시정거리에 따라 주행하는 속도가 다양해지고 차간 간격 유지가 곤란하다. 운전자의 표지판 인식시간이 약 2초인 점을 고려할 때 극단적인 경우 그 요구반응시간에 반응할 수 없기 때문에 표지시설이 안개지역 이전에 설치되어야 하므로 선형계획 시 표지시설 인지를 고려하여 계획한다.

❑ 안개를 고려한 선형계획시의 안전대책으로 고려하여야 할 사항

- 가변정보 표지판(VMS) 설치
- 발광형 표지판 설치
- 안전시설 보장
  - 시선유도시설 개량(반사체, 갈매기 표지)
  - 시선유도등 : 자동 점등·소등 및 일정간격 설치
  - 안개 잦은 지역 전방에 예고 및 주의 표지 설치

- 차로 이탈방지 시설 설치
  - 차로 이탈 인식 시설설치(돌출형 차선도색+표지병) : 소음과 진동에 의한 각성
- 감속 유도 및 경고시설 설치
  - 안개 경보 시스템 설치
    - 가변정보표시판(VMS) : 안개감지센서에 의한 안개정보 연동 표출
    - 가변 경고 표지 : 시인거리 경고
    - 가변 속도 제한 표지 : 안개발생시 최고속도 제한
- 시거확보시 설치
  - 도로면 조명시설(낮은 조명)설치
  - 안개저감 시설(방무벽)설치

〈그림 4.5.5〉 도로의 시인성을 높이기 위한 안전시설물



〈그림 4.5.6〉 도로의 시인성을 높이기 위한 안전시설물 설치사례

4.5.4 적설지역을 고려한 선형계획

❑ 적설구간 선형계획시 고려하여야 할 사항

- 산악지 도로는 종단경사가 급하고 평면선형 굴곡이 많아 소량의 적설에도 많은 영향을 끼친다. 적설지역에 있어서 종단경사의 값은 가능한 급경사 값을 이용하는 것은 피해야 한다. 이 때문에 적설지역은 일반적인 규정치보다 낮은 경사값을 적용하여 안전하게 선형계획을 한다.
- 도로노면에 적설과 함께 결빙이 되면 음지구간은 기온이 그대로 유지되어 교통사고의 위험을 내포하고 있으며 잦은 제설작업은 유지관리비용 증가 요인이 된다. 따라서 가급적 도로노면에 지속적인 음지가 발생하지 않도록 계획한다.

❑ 눈사태 예상지역 선형계획시 고려하여야 할 사항

- 도로 선형계획시 지형적 특성을 파악하여 30° ~50° 경사면이나 나무가 별로 없는 협곡 등은 피하는 것이 바람직하며, 도로가 통과하는 지역의 과거 눈사태 내력과 재해영향검토를 하여 우회하거나 터널로 통과하는 것이 안전하다.

4.5.5 결빙지역을 고려한 선형계획

❑ 산악지 도로의 결빙지역 선형계획 시 고려하여야 할 사항

- 산악지 도로의 결빙지역 특성은 지형의 표고가 높고 평지부(도시부)보다 기온이 낮으며 양지보다는 음지가 형성되는 곳이 많고 일조량이 적어서 적설시 빙설 또는 동결에 의한 영향을 받으므로 선형 계획시 검토한다.

- 산악지 도로의 결빙사고 위험 구간
  - 지형적으로 음지이며 일조시간이 짧고 기온이 낮아 결빙사고가 우려되는 구간

- 제설작업 후 주행차로에 물기가 지속적으로 유입되는 구간
- 안개가 잦은 지역으로서 동계 노면결빙이 잦은 구간

❑ 산악지 도로의 결빙지역 선형계획

산악지의 도로선형 계획구간의 일조권 및 음영 분석을 통하여 일조량이 많은 남향 비탈면에 평면선형을 계획하도록 하며, 부득이한 경우 음지구간의 선형에는 도로의 종단경사를 완화시키고, 결빙방지 및 제설대책을 강구한다.

4.5.6 강풍을 고려한 선형계획

❑ 강풍지역 선형계획

◉ 산악지의 강풍에 대비한 선형계획은 차량 손상 및 인명 손실 방지, 도로시설물 파손 방지, 도로의 안전성에 대한 신뢰도 향상 등 도로건설 후 영구적으로 효과를 나타내므로 선형계획 시 강풍지역 특성을 고려한다.

- 선형계획 이전에 강풍이 일어나는 곳을 사전에 조사
- 선형계획 시 바람의 방향을 우회하는 선형계획
- 능선의 경우 강풍이 불어오는 방향에 종단을 낮추어 절취부로 계획함으로서 지형을 이용한 방풍벽을 설치하는 방안
- 부득이한 경우 방풍벽 시설물의 설치를 고려한 선형계획을 한다.

◉ 풍속에 따른 통행기준은 다음과 같다.

- 15~20m/s 풍속시 70km/h 미만 감속 운행.
- 20~25m/s 풍속시 승용차 50km/h 미만, 대형 트럭 30km 미만 감속 서행 또는 일부 차량 통제가 필요함.
- 25~30m/s 풍속시 대형차량의 전면 통제 및 서행 운전이 필요한 것으로 추정됨.
- 30m/s 이상의 풍속시 차량통행 전면 금지가 필요한 것으로 추정됨.

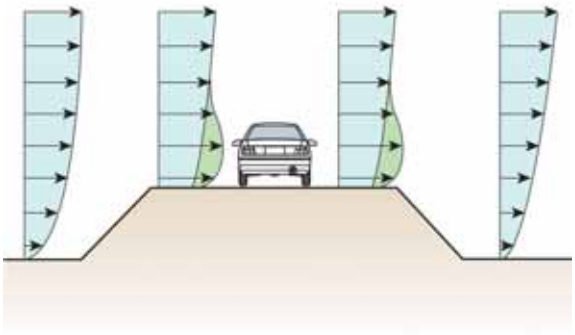
❑ 강풍지역 선형계획시 고려하여야 할 사항

◉ 강풍의 발생원인은 아래와 같으며 선형계획시 검토한다.

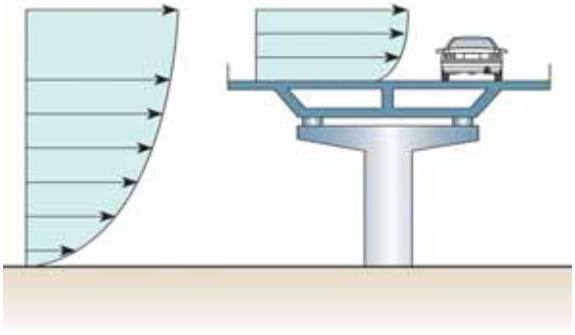
- 주행 안전성에 영향을 주는 바람의 성분은 난류이다. 이러한 난류는 주위의 지형지물 등에 의하여 교란된 바람의 변동 성분으로서 산악지의 지형에서 더 자주 발생하게 된다.
- 산악지형에서의 강풍사고의 유형은 차량의 전도가 있으며 비교적 고풍속에서 발생하고 옆면이 넓은 탑차 등에서 발생 확률이 높으며 차량의 순간적인 직진성 상실로 인한 사고 발생으로 인접 차량이나 도로 시설물과 충돌하여 대형사고로 이어질 가능성이 있다. 또한 강풍에 의한 차량의 흔들림과 소음으로 운전자의 심리적인 상태에 영향을 줌으로서 안전한 주행을 방해한다.

◉ 강풍지역 특성은 다음과 같으며 선형계획시 충분히 검토한다

- 풍속은 고도가 낮을수록 지표와의 마찰에 의하여 약해지고, 고도가 높을수록 증가한다. 따라서 산악지의 경우 평지보다 풍속이 훨씬 증가한다.
- 계곡부, 터널입구, 교각, 관목 숲 등과 같이 바람이 모아지는 지형의 경우 좁아지는 곳에서 풍속이 급격히 증가하게 되는데 이러한 현상을 터널효과라 하며, 계곡사이에 위치한 도로에서는 유선이 모아지므로 높은 풍속의 바람이 불게 된다.



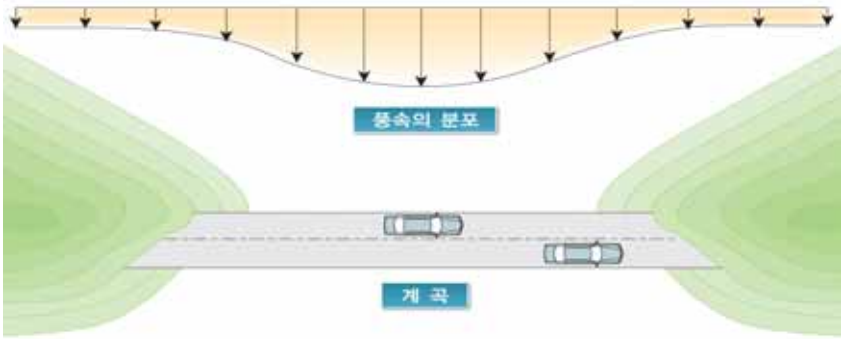
(a) 쌓기부 노면에서 증가된 풍속



(b) 높은 교량 위의 풍속 분포

〈그림 4.5.7〉 고도에 따른 풍속 분포

• 산악지 도로의 경우 계곡부사이의 쌓기부와 산악지의 능선 및 고개 등에 위치한 도로의 경우 바람이 불어오는 쪽과 도로 사이의 고도차가 있어 바람은 지표면과 마찰이 약해지고 풍속은 훨씬 증가한다.



〈그림 4.5.8〉 바람이 모아지는 계곡에서의 풍속 분포

제5장 산악지 도로 비탈면 및 토석류

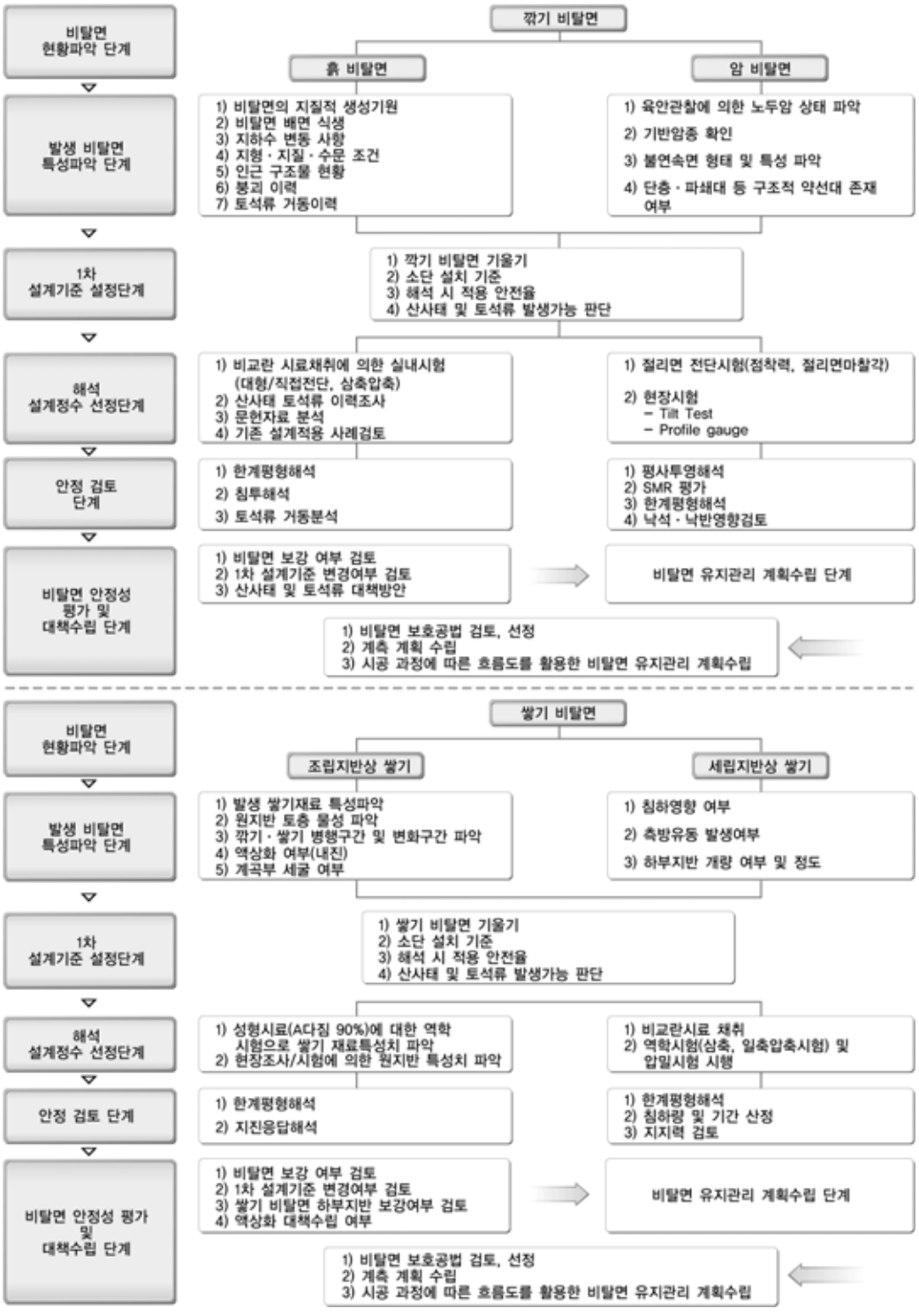
5.1 일반사항

❑ 산악지 도로 비탈면 설계는 「건설공사 비탈면 설계기준」등을 적용하며, 기본계획은 다음 사항을 고려한다.

- 구조물의 계획에 따른 쌓기 또는 깎기 비탈면의 형성조건
- 안정성 검토 및 터널 등 대체 구조물의 적용성 여부
- 비탈면 시공 전·후의 수리·수문 및 생태환경에 미치는 영향
- 주요구조물에 발생 가능한 재해영향과 토석류에 의한 재해영향
- 사업대상지역내에 있는 분묘, 가옥, 문화재 및 각종 시설물의 이전방안
- 시공 중 수질오염, 진동, 분진, 소음 등의 가능성과 대책방안
- 경제성 및 공사소요기간
- 법적 규제사항 등
- 현장여건에 맞는 적용공법 선정 및 시공성(장비의 규모, 작업공간의 확보 가능성 여부, 시공가능성 등)

❑ 산악지의 지형과 지반조건, 계곡부와 하천유역에 따른 토석류의 거동여건, 시공여건, 장애물 등의 여부에 따라 보강공법, 산사태 및 토석류 억제공법, 옹벽공법, 표면보호, 녹화공법 및 안전시설의 적용 여부도 함께 고려한다.

❑ 산악지 도로 비탈면 설계는 「건설공사 비탈면 설계기준」과 「건설공사 비탈면 표준시방서」 외에도 각각의 공법에 대한 적용사례 검토를 통해 정확한 시공이 될 수 있도록 하고, 시공을 위한 공사 시방서를 작성하여 비탈면이 안전하게 될 수 있도록 한다.



〈그림 5.1.1〉 산악지 도로 비탈면 설계 흐름도

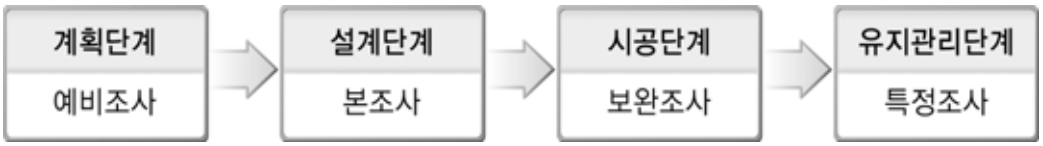
5.2 지반조사

5.2.1 조사일반

❑ 비탈면 설계를 위한 조사는 비탈면의 규모 및 필요한 자료와 정보의 내용에 따라 예비조사, 본조사의 순서로 진행하며, 보완조사를 실시 할 수 있다. 예비조사와 본조사를 동시에 수행할 수도 있고, 여러 단계로 나누어 실시할 수도 있다.

- 예비조사 : 부지계획에 따라 주변과의 영향을 고려한 비탈면 계획을 수립하고, 본조사 계획을 설정하기 위해 실시한다.
- 본조사 : 비탈면의 상세 설계와 시공계획을 수립하기 위하여 실시한다.
- 보완조사 : 설계를 보완하기 위해 추가로 실시하거나 설계단계에서 확인하지 못한 사항을 시공단계에서 확인하기 위해 실시한다.

❑ 비탈면 조사는 사업규모와 예상되는 비탈면의 규모를 고려하여 단계별 조사 목적에 부합하도록 조사 계획을 수립하여 실시한다.



〈그림 5.2.1〉 지반조사 단계별 흐름도

❑ 비탈면은 규모에 따라 다음과 같이 구분할 수 있으며, 설계에서 규모의 구분에 따라서 조사 내용을 다르게 적용한다.

- 2종 시설물 : 비탈면높이 50m 이상, 연장 200m 이상인 깎기 비탈면을 말하며, 비탈면에 설치되는 높이 5m 이상, 연장 500m 이상인 옹벽 시설물도 해당된다. (시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령)
- 대규모 깎기 비탈면 : 비탈면 높이가 20m 이상인 깎기 비탈면.
- 대규모 쌓기 비탈면 : 비탈면 높이가 10m 이상인 쌓기 비탈면.

〈표 5.2.1〉 광역지반 조사 종류 및 내용

구분	조 사 내 용
지형판독	지형도, 지질도, 위성영상, 항공사진 등을 이용하여 문제지형(파괴지형, 애추지형, 단층지형 등), 노두상황, 식생상황, 토지이용 상황 및 기타 광역적인 지질구조선 등을 확인
지표지질조사	지형, 지표면 토질상태, 노두의 발달상태, 용수상황, 불안정한 지형 및 지질구조의 특성 등을 개괄적으로 파악, 설계의 기본 자료로 활용

〈표 5.2.2〉 물리탐사 적용기준

구분	조 사 내 용	
물리탐사 적용기준	깎기 비탈면	• 깎기높이 20m이상, 연장 200m이상 구간에 실시 • 불안정 요인을 갖는 지형, 지질에 해당하는 경우 • 대상 비탈면의 종, 횡단면의 상태를 확인할 수 있도록 측선을 설정 • 측선의 연장은 비탈면 상태를 확인할 수 있도록 충분히 길게 설정
	쌓기 비탈면	• 일상적으로 실시하지 않음 • 원지반의 지하공동, 연약지반분포, 지질구조선의 분포 등을 파악하기 위하여 필요한 경우 실시

〈표 5.2.3〉 시추조사 적용기준

구 분		적용기준
깎기 비탈면	일반 비탈면	• 깎기 높이 20m 미만 비탈면에 대해 1개소 시추(특히, 불리한 지형, 지질조건을 갖는 비탈면) • 연장이 긴 경우는 200m 마다 1회의 시추조사 추가 • 대표 비탈면 단면에 대하여 비탈면 경계부 위치에서 부지계획면 아래 2m까지 시추. (물리탐사를 실시하여 시추위치를 결정할 수 있음) • 시추규격은 NX 시추실시, 전구간 교란시료, 코어 회수
	대규모 비탈면	• 깎기 높이 20m 이상 비탈면에 대해서 최소 2개소 시추 • 연장이 긴 경우는 200m 마다 1회의 시추조사 추가 • 대표 비탈면 단면에 대하여 비탈면 경계부와 비탈면 중간부에서 부지계획면 아래 2m까지 시추. 비탈면 중간부 시추는 경암 노출시 경암 2m 아래까지 시추. (물리탐사를 실시하여 시추위치를 결정할 수 도 있음) • 토석류 대책공지역, 산사태 예측지역 • 시추규격은 NX 시추실시, 전구간 교란시료, 코어 회수
쌓기 비탈면		• 쌓기구간 내 대표단면 또는 구조물 위치에서 최소 1회 실시(물리탐사를 실시하여 시추위치를 결정할 수 도 있음) • 쌓기연장 200~300m 마다 1회의 시추 추가 • 지지층의 종류를 판단할 수 있는 깊이까지 실시(연암 확인 또는 표준관입시험에서 N=50/10을 5m 이상 확인) • 시추규격은 NX시추 실시

※ 이 기준은 일반적인 최소권장사항이며 토석류 대책공지역, 산사태 거동예상지역과 같이 대상 비탈면별 또는 사업규모에 따라 지반분야 책임기술자의 판단에 따라 시추조사 계획을 수립하여 실시한다. 또한 시추조사 기준에 대해서는 기관별, 노선 특성을 고려하여 적용할 수 있다.

5.2.2 비탈면의 불안정 요인을 갖는 지형 지질 조사

❑ 불안정 지형·지질 요인을 갖는 산악지 비탈면은 불안정 요인에 따라 조사방법과 조사범위를 설정하여 안정성 확보를 위한 상세한 설계를 실시한다. 불안정 요인을 갖는 지형·지질조건은 다음과 같다.

〈표 5.2.4〉 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건의 조사 항목

불안정 요인	내 용
비탈면 파괴 또는 산사태 지역	조사 항목
	• 파괴 토체의 활동범위, 심도, 방향 • 파괴 토체의 활동으로 인한 예상되는 위험도 • 비탈면 활동 요인
붕괴성 요인을 갖는 비탈면	지질조건
	• 침식에 약한 지반 : 모래지반, 실트질모래, 화강풍화토 지역 • 고결도가 낮은 지반 : 애추퇴적물, 화산회토, 화산쇄석층, 붕적토 지역, 점토성분이 많은 지역 • 풍화가 빠른 암반 : 이암, 응회암, 셰일, 점판암, 편암 지역 • 균열이 많은 암반 : 화강편마암, 편암류 • 비탈면 방향으로 일정하게 경사진 불연속면 : 편암, 점판암의 편리가 발달한 변성암 지역과 이암, 사암 등의 층리가 발달한 퇴적암 지역 • 구조적 약대를 갖는 지질 : 단층파쇄대, 탄층구간, 점토충전된 암반, 석회암이 분포하는 구간
낙석발생 가능 구간	• 급경사의 깎기비탈면 상부에 낙석이 발생 가능하고 낙석발생시 비탈면 하부의 시설물 및 인명에 위험성이 있는 경우 • 조사방법은 낙석의 위치 및 상태, 크기, 비탈면경사, 지질상태(균열, 절리상태 등), 낙석 예상경로, 경로상의 표면식생상태 등을 조사
토석류 발생 가능 구간	• 과거에 토석류가 발생하였거나 계곡부의 유역면적이 매우 넓고 경사가 급한 경우에 실시한다. • 토석류 조사는 지형도를 바탕으로 유역면적, 유역면적의 표토두께, 식생상태, 그리고 계곡부 바닥상태를 육안으로 관찰하여 기록한다.

5.3 비탈면 설계

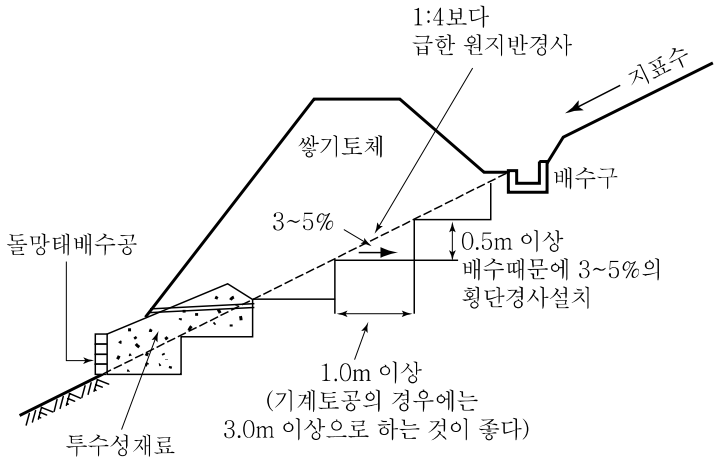
5.3.1 쌓기 비탈면 설계

❑ 쌓기 비탈면 설계시 고려해야 하는 사항은 다음과 같다.

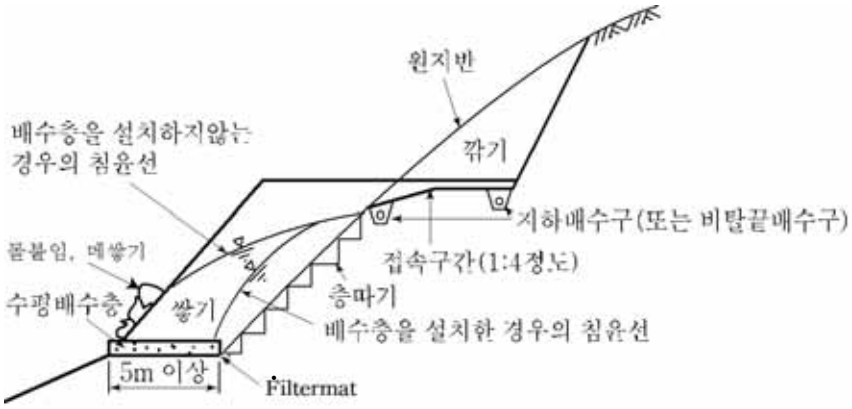
- 지형조건에 따른 쌓기 계획
- 비탈면 안정해석 및 경사와 소단의 결정
- 지하수 및 지표수의 배수계획
- 장기적인 비탈면표면보호 방법
- 유지관리를 위한 점검시설
- 시공 중 관리방안

❑ 비탈면 높이는 원지반 조건, 지형조건, 쌓기재료의 특성, 주변 환경조건, 경제적인 여건을 고려하여 결정한다. 일반적으로 최대높이는 10m 전후로 하고 안정해석과 제반 여건을 고려한 후에 더 높게 쌓을 수 있다.

❑ 깎기·쌓기 경계구간은 경계부에서 급격한 침하로 인한 단차가 발생할 수 있으므로 깎기 구간과 쌓기 구간의 접속부는 점진적으로 경사지게 연속이 되도록 한다.



〈그림 5.3.1〉 경사진 지반에서 쌓기 단면



〈그림 5.3.2〉 한쪽 깎기 한쪽 쌓기부 층따기와 배수처리 예

❑ 비탈면의 안정해석시 안전율 적용기준과 안정해석 조건은 다음과 같다.

〈표 5.3.1〉 쌓기 비탈면 안정해석시 적용하는 기준안전율

구 분	기준안전율	참 조
건 기	FS 〉 1.5	• 지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
우 기 시	FS 〉 1.3	• 일반적인 쌓기 비탈면은 별도의 지하수위 조건 없음. 한쪽쌓기 한쪽깎기 비탈면에서는 측정한 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 • 쌓기 표면에 강우침투가 발생하는 경우에는 강우침투를 고려한 해석 실시
지 진 시	FS 〉 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 실제측정 또는 침투해석을 수행한 지하수위
단 기	FS 〉 1.0~1.1	• 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성

※ 산악지 도로의 포장체가 형성되는 쌓기 비탈면의 경우에는 필요시에 우기시 안전율을 검토하고 건기시의 안전율도 만족하도록 설계함
※ 강도정수를 최대강도가 아닌 잔류강도로 해석한 경우: 위 기준에서 0.1 감소
※ 비탈면 상하부 파괴범위 내에 가옥, 건물 등의 고정시설물이 있는 경우: 위 기준에서 0.05 증가
※ 비탈면 상부 파괴범위 내에 1,2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토
※ 상기 조건을 중복 적용하여 FS 〈 1.0인 경우에는 최소안전율 1.0 적용

〈표 5.3.2〉 비탈면 안정 해석 조건 및 고려사항

구 분	내 용
안정 해석 조건	• 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우 • 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 • 쌓기 재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 • 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 • 지형특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우 (경사지반, 계곡부 쌓기) • 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 • 쌓기 비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) • 내진안정해석이 필요한 경우 • 위조건 외에 설계자가 필요하다고 판단하는 경우
파괴 형태와 원인	• 응력조건 변화 : 비탈면 하부 굴착 및 상부 쌓기, 구조물 증설 등 • 지하수의 증가 : 강우로 인한 침투, 배수조건 변화 등 • 지반상태 변화 : 풍화 등으로 인한 비탈면 재료의 저하 등 • 지진동 하중 : 발파진동, 지진 등으로 인한 동적하중
해석시 고려사항	• 비탈면 안정해석 시 지하수 조건은 지반조사 결과를 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건에 대해서 수행한다. • 비탈면 안정해석은 비탈면 지반조건과 장단기적인 배수조건을 고려하여 유효응력해석 또는 전응력해석을 수행한다. 이때, 해석은 배수조건에 따라 시험한 강도정수를 사용한다.

5.3.2 깎기 비탈면 설계

❑ 깎기 비탈면 설계시 고려해야 하는 사항은 다음과 같다.

- 지형조건에 따른 깎기 계획
- 비탈면 안정해석 및 경사와 소단의 결정
- 지하수 및 지표수의 배수계획
- 장기적인 비탈면표면보호 방법
- 유지관리를 위한 점검시설
- 시공 중 관리방안

❑ 깎기 비탈면의 안정해석시 안전율 적용기준과 안정해석 조건은 다음과 같다.

〈표 5.3.3〉 깎기 비탈면 안정 해석시 적용하는 기준 안전율

구 분	기준안전율	참 조
건 기	FS 〉 1.5	• 지하수가 없는 것으로 해석
우 기	FS 〉 1.2 또는 FS 〉 1.3	• 암반비탈면은 인장균열의 $\frac{1}{2}$심도까지 지하수를 위치시키고 해석수행, 토층 및 풍화암은 지표면에 지하수를 위치시키고 해석수행(FS=1.2 적용) • 강우의 침투를 고려한 해석을 실시하는 경우(FS=1.3 적용) • 위 두 가지 조건 중 선택적으로 1가지 조건을 만족시켜야 함
지 진 시	FS 〉 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 실제측정 또는 평상시의 지하수위 측정
단 기	FS 〉 1.0	• 기간 1년 미만의 단기간의 안정성 검토시

※ 강도정수를 한계강도가 아닌 잔류강도로 해석한 경우: 위 기준에서 0.1 감소
※ 비탈면 상하부 파괴범위 내에 강우침투가 심한 경우, 가옥·건물 등의 고정시설물이 있는 경우: 위 기준에서 0.05 증가할 수 있음
※ 비탈면 상부 파괴범위 내에 1,2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토
※ 상기 조건을 중복 적용하여 FS 〈 1.0인 경우에는 최소안전율 1.0 적용

〈표 5.3.4〉 깎기 비탈면 안정 해석 조건

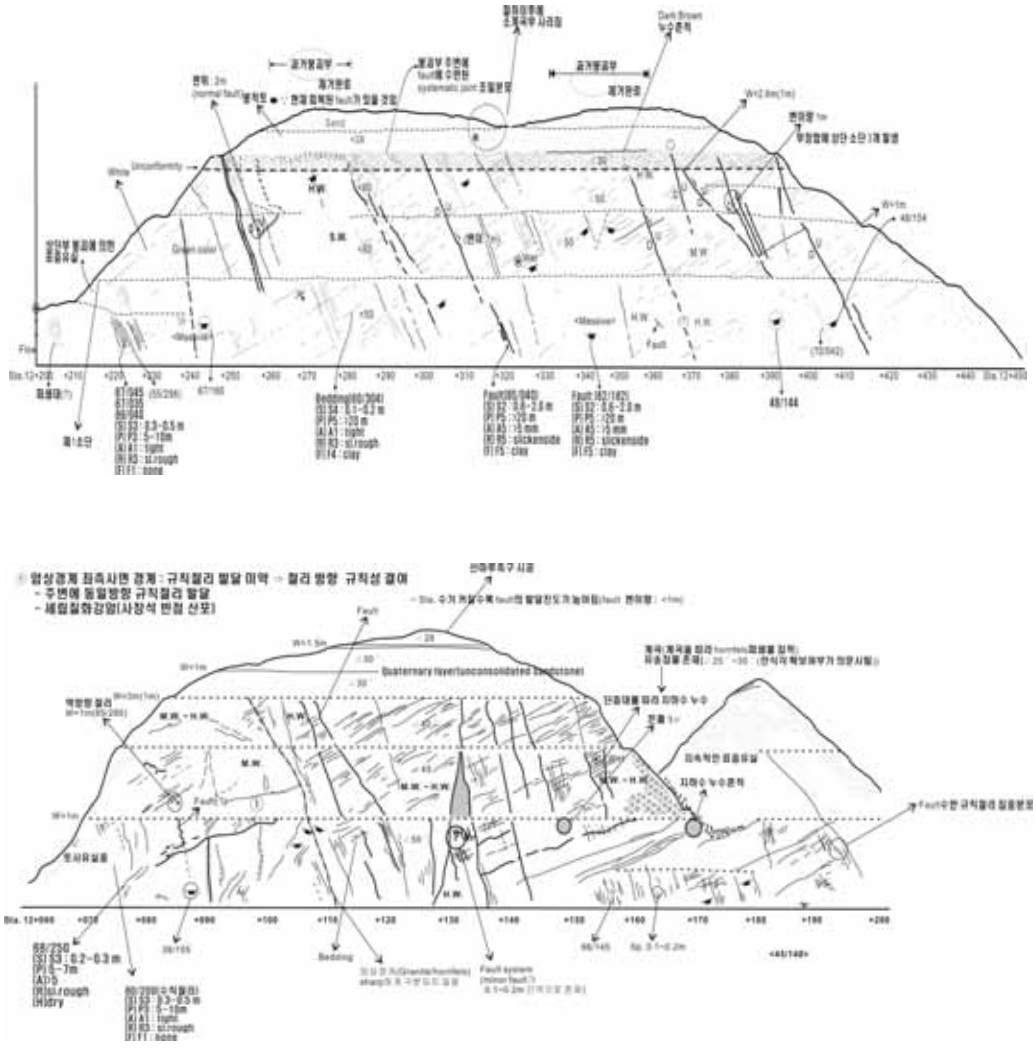
구 분	내 용
안 정 해석조건	• 비탈면높이가 20m 이상인 경우 • 비탈면경사가 표준경사보다 급한 경우 • 비탈면 지반이 붕적토로 이루어진 경우 • 암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우 • 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 • 불연속면이 비탈면 방향으로 경사진 지질조건의 경우 • 내진안정해석이 필요한 경우 • 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건인 경우 • 위조건 외에 설계자가 필요하다고 판단하는 경우
파 괴 형 태 와 원 인	• 응력조건 변화 : 비탈면 하부 굴착 및 상부 쌓기, 구조물 증설 등 • 지하수의 증가 : 강우로 인한 침투, 배수조건 변화 등 • 지반상태 변화 : 풍화 등으로 인한 비탈면 재료의 상태 변화 등 • 지진동 하중 : 발파진동, 지진 등으로 인한 동적 하중
해 석 시 고 려 사 항	• 비탈면 안정 해석시 지하수 조건은 지반조사 결과를 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건에 대해서 수행한다. • 깎기 비탈면 안정해석은 비탈면내의 지하수위 및 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건을 고려하여 유효응력 해석 또는 전응력 해석을 수행한다. • 실트 및 모래질로 구성된 깎기 비탈면은 강우를 고려한 침투해석을 실시하고 이로부터 구한 간극수압 분포를 이용하여 안정해석을 수행한다. • 불연속면에 기인한 파괴가 예상되는 경우에는 불연속면의 전단강도를 이용하여 안정해석을 수행한다.

❑ 깎기 비탈면 현황도(Face map)는 예상치 못한 비탈면 붕괴 또는 녹화 후 부분적인 붕괴에 대한 효율적인 대책을 강구하기 위하여 작성한다.

◉ 깎기 비탈면의 현황도는 깎기 비탈면의 깎기면 뿐만 아니라, 깎기 비탈면의 안정성에 영향을 미칠 수 있다고 판단하여 조사를 실시한 일정범위(상부 자연 비탈면, 비탈면하부지반, 깎기 비탈면 좌·우 일정부분 등)를 포함

하여 작성한다.

- 현황도 작성은 일반 깎기 비탈면(연직높이 20m미만)은 깎기가 완료되는 시점까지 1회 이상 실시하고, 대규모 깎기 비탈면(연직높이 20m이상)은 중간높이(약 20m내외)까지 깎았을 때 1회, 깎기가 완료되는 시점까지 1회 이상을 실시한다. 현황도는 비탈면의 상태를 기록 보관하는 것이 목적이며, 발주설계시 시공자가 작성하고 대가를 설계에 반영하며, 비탈면 녹화 공법이 시행되기 전에 실시한다.



〈그림 5.3.3〉 깎기 비탈면 현황도(Face Map) 작성예

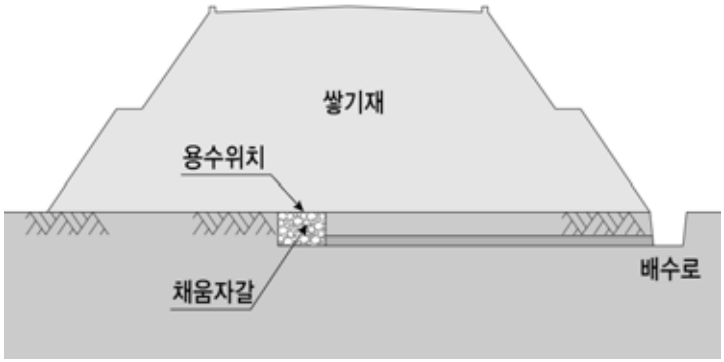
5.3.3 산악지 도로 비탈면 배수

❑ 비탈면 배수 목적

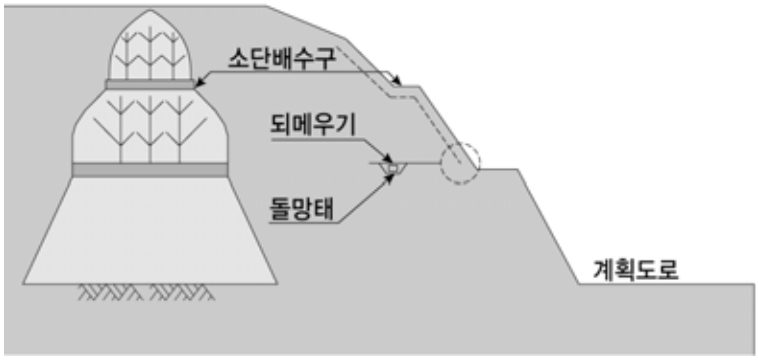
- 우수에 의한 침식 및 토사유출 방지
- 강우에 따른 급속한 지하수위 증가와 간극수압의 증가 방지
- 불안정 요인 제거로 비탈면의 안정성 확보

❑ 비탈면 배수처리 대책

- 비탈면 배수시설 조기 시공
- 비탈면 외곽부 유도배수로 유입되는 지표수량의 최소화
- 소단 배수시설은 비탈면 표면을 흐르는 지표수의 조속한 배수



(a) 쌓기부



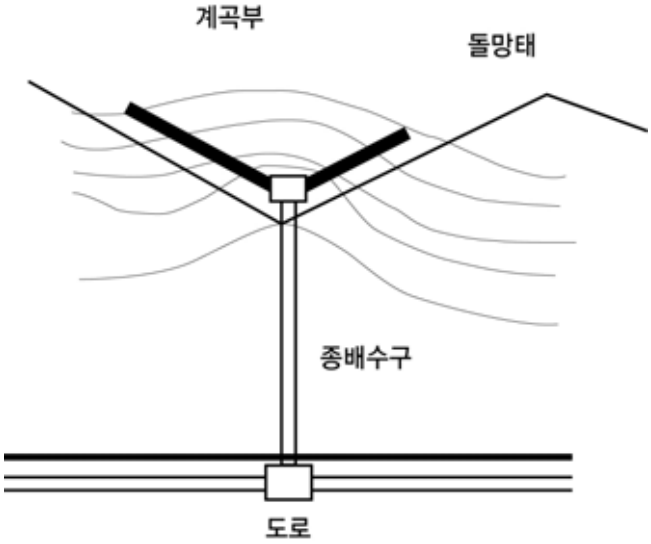
(b) 깎기부

〈그림 5.3.4〉 비탈면 배수처리 사례

❑ 깎기부 비탈면 상단 오목부

◉ 지하수위 상승으로 인한 토체내 자중으로 슬라이딩이 발생하지 않도록 맹암거 및 관정 설치

◉ 지형 지질, 지표상태에 따라 콘크리트, 돌쌓기, 돌망태 등의 벽체 설치



〈그림 5.3.5〉 깎기 비탈면 상단 오목부 배수처리 사례

❑ 산악지 도로 계곡부의 토석류 차단시설 설치

〈그림 5.3.6〉 토석류 차단 시설과 횡단배수암거의 연계 처리 사례

5.4 비탈면 안전대책 방안

❑ 비탈면 안전 대책 방안은 다음과 같은 사항을 고려하여 적용한다.

- 산림청의 산사태 위험지도를 이용하여 도로변 산사태 취약지구 점검 및 응급보강조치 시행한다.
- 호우시 도로변 산사태 취약지구 순찰 강화, 응급복구장비 및 인원을 점검한다.
- 주요 도로변 절개지 기준 강화 (완경사 비탈면, 도로변 일정공간 확보, 비탈면안정공법의 강화) 및 공사비를 투자한다.
- 전국 주요 도로변 강우 특성에 따른 산사태 위험도 평가를 한다.

❑ 식생에 의한 보호공

- 식생공은 비탈면에 대해서 식생 피복을 실시하는 것이며 그 목적으로 우수침식의 방지, 지표면 온도의 완화 및 뿌리로 표토를 묶어 동상붕락의 억제 및 완화에 의한 미적 효과 등이 있다.
- 비탈면 녹화 설계는 「건설공사 비탈면 설계기준」과 「비탈면 녹화 설계 및 시공 잠정 지침」을 적용한다.

❑ 구조물에 의한 보호공

- 구조물 보호공법은 식생이 적당하지 않을 경우 혹은 식생만으로는 비탈면의 안정을 확보할 수 없는 경우, 구조물에 의해 적절한 보호공법을 실시하는 것이 일반적으로 식생공과 비교해서 공사비가 높아지므로 지질, 비탈면의 안정성, 경제성, 미관, 유지보수, 기타 현지 상황 등을 충분히 고려한 후에 적절한 보호공을 결정한다.

❑ 비탈면 보호공법

비탈면 안전율이 설계요구 안전율보다 클 경우, 깎기 비탈면이 영구구조물임을 고려하여 안정성 해석 시점을 기준으로 한다. 지반상태가 열악해 지는 것을 방지하기 위하여 식생토, 예상치 못한 낙석피해 예방 등을 위한 낙석방지망, 낙석방지울타리 등 보호공법(protection method)을 적용한다.

❑ 비탈면 보강공법

비탈면 대책공법 결정은 비탈면의 안정성해석을 근거로 안전율이 설계요구 안전율보다 적을 경우, 깎기 비탈면을 대상으로 앵커, 소일네일링 등 보강재 삽입공법, 추가절취 등의 보강공법(reinforcement method)을 적용한다.

〈표 5.4.1〉 비탈면 보호공

구 분	지 반 상 태	공 법
깎기부	· 비탈표면의 풍화침식 및 동상 등의 방지	· 콘크리트 격자블럭, 콘크리트 뿜어붙이기공, 블록붙이기, 돌붙임공, 녹화공
	· 비탈표면부의 붕락방지 · 약간의 토압을 받는 흙막이	· 현장타설 콘크리트 격자공, 콘크리트 붙임공, 비탈면 앵커공, 소일네일링 및 녹화토
	· 용수가 많은 곳 · 부등침하가 예상되는 곳	· 비탈면 돌망태공, 콘크리트 블록 정형공
쌓기부	· 비탈면에 용수가 있어서 토사가 유출할 위험성이 있는 경우 · 붕괴된 곳을 복구할 경우 · 동상으로 비탈면이 붕괴할 위험이 있는 경우 · 비탈면이 수로와 접하는 경우	· 배수공 · 비탈면 돌망태공(Gabion)
	· 지형여건으로 흙쌓기 안정 비탈면 경사를 확보할 수 없는 경우 · 비탈면을 보강할 필요가 있는 경우 · 용지보상비가 과다한 경우	· 보강토 옹벽

〈표 5.4.2〉 비탈면 보강 공법 특성과 적용 예

공 법	특 성	적용사례
앵 커	• 고강도 강재를 앵커재로 하여 보링공 내에 삽입하고 그라우트 주입과 강재의 인장에 의해 앵커재를 지반에 정착시켜 앵커재 두부에 작용한 하중을 정착지반에 전달하는 공법 • 대단위 파괴가 우려되는 암비탈면 • 불연속면이 연속적으로 발달된 비탈면	
	• 두꺼운 붕적층 또는 풍화잔류토 지역에서 원호파괴 활동이 우려되거나 지층간 경계가 뚜렷하여 활동이 우려되는 지역에 사용하는 공법(수압판 설치) • 토사 및 붕적층이 두꺼운 토사비탈면	
록볼트	• 원지반을 착암기 등으로 천공하여 볼트를 삽입한 후 정착시킴으로써 뜬돌 등을 원지반에 고정시키는 공법. 록볼트 자체가 강도를 발휘하여 지반을 보강하는 것보다 지반자체가 강도를 발휘하도록 도와줌 • 예상활동면이 깊지 않거나 낙반이 예상되는 암비탈면 • 암반의 균열과 절리를 따라 발생하는 활동방지	
네일링	• 보강재를 프리스트레싱 없이 좁은 간격으로 지반에 삽입하여 전체적인 전단강도를 증대시킴으로써 지반을 보강하는 공법 • 토사 또는 풍화가 심한 대깎기 비탈면 • 평면활동이 우려되고 얕은 활동이 예상되는 비탈면	
버 트 리 스	• 비탈면 하부 지지력 상실 공간의 콘크리트재 등에 의한 채움으로 깎기비탈면의 지지력 확보 • 소규모의 특정 구간에 사용 가능 • 적은 재원으로 큰 효과 발휘 가능	
기대기 옹 벽	• 비탈면에 기댄 형상 • 자립하지 않고 원지반 또는 뒤채움 흙에 기댄 자중에 의해 토압에 저항 • 비탈면 하부 지지력 상실 공간의 채움과 그 외 깎기비탈면 표면에 대한 보호 기능 • 비탈면 활동 블록의 억제 효과 • 앵커 등에 의한 옹벽의 지지력 확보 및 깎기비탈면 보강가능	
	• 계단형의 단면 형상 • 비탈면하부 지지력 상실구간의 채움과 그외 깎기비탈면 표면에 대한 보호 기능 • 비탈면 활동 블록의 억제 효과 • 앵커 등에 의한 옹벽의 지지력 확보 및 깎기비탈면 보강가능 • 충분한 이격거리 확보시 효율성 증대	

5.5 토석류 및 유송잡물 설계

5.5.1 토석류 및 유송잡물의 정의

❑ 토석류

- 토석류는 오랫동안 풍화작용을 받아 흙과 암석편이 많이 생긴 비탈면이 집중호우로 인해 물로 포화되어 그 무게가 마찰력을 지탱하지 못하여 흘러내리는 현상으로, 장년기 지형 비탈면에서 일어나는 산사태의 일종이다.
- 토석류는 집중강우시 자연산지의 파괴에 기인하여 발생하며 파괴 원인은 다음과 같다.
  - 강우와 지표수가 침투하여 흙이 포화되는 경우
  - 표토층과 상대적으로 불투수성인 기반암의 두께가 얇아 유선망의 집중으로 인한 국부적인 간극수압이 증가되는 경우
  - 파쇄가 심한 기반암의 균열을 통해 물이 침투되는 경우

❑ 토석류는 다음과 같이 구분한다.

- 비탈면형 토석류(open slope debris flow)

  비탈면형 토석류는 수로에서 발생하는 것이 아니고 비탈면내에서 발생하는 것으로, 이동거리가 비교적 짧으며 수로형 토석류에 비해 규모가 작고 이동거리는 주로 비탈면의 경사도에 영향을 받는다.
- 수로형 토석류(channelized debris flow)

  수로형 토석류는 수로를 기반암까지 침식시키고 발생지점에서 수십 내지 수백킬로미터 정도까지 이동하는 토석류
- 우수에 따른 지반 거동

  강우강도가 큰 경우 계곡부로 물이 집중되어 많은 유량과 빠른 유속으로 계곡바닥 및 계곡 측벽에서 침식된 흙, 자갈, 바위, 나무 등과 함께 흐르는 토석류

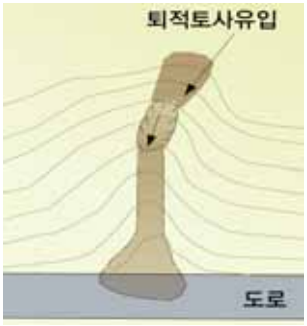
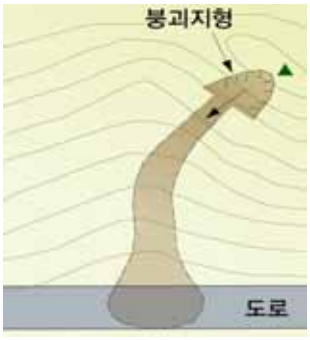
❑ 유송잡물

유송잡물은 집중호우로 인한 우수의 흐름에 의해 토사, 토석, 유목 등이 원지반으로부터 분리되어 이동하는 것으로, 물보다 가벼운 부유물질과 물보다 무거운 이동물질, 또는 이 두가지 물질의 혼합물 형태로 이동하게 된다.

❑ 유송잡물은 다음과 같이 분류할 수 있다(FHWA, 1971).

- 매우 가벼운 유동 부유물 또는 유동 부유물이 거의 없는 경우 (Very Light Floating Debris or No Debris)
- 소규모 부유물(Light Floating Debris) : 작은 나무가지, 나무조각, 천
- 중규모 부유물(Medium Floating Debris) : 나무가지, 큰 나무조각
- 대규모 부유물(Heavy Floating Debris) : 통나무, 목재

〈표 5.5.1〉 토석류의 발생 형태(지형별 분석)

분 류	해 설	모 식 도	비 고
수로바닥의 퇴적토유입으로 인한 토석류	급경사의 수로바닥상에 퇴적되어 있는 토사가 호우나 급격한 융설 등으로 인해 유량이 증가하여 유입되는 경우.		
자연비탈면 토사붕괴로 인한 토석류	자연비탈면의 토사가 붕괴되어 이동하는 동안에 유송잡물과 혼합되어 유입되는 경우.		
자연적인 댐의 붕괴로 인한 토석류	붕괴 토사가 계곡류를 일시적으로 막아 자연적으로 댐을 만들고, 이곳에 물이 넘쳐 흘러 침식하거나 또는 붕괴하여 토석류가 발생한다.		
활동으로 인한 토석류	고함수비를 가진 점질토가 산사태를 일으켜 토석류가 발생한다.		

5.5.2 토석류 및 유송잡물 차단시설물의 계획

❑ 토석류 및 유송잡물 차단시설의 계획은 계획지역의 지형적, 수리적, 사회적 특성에 기초하여 합리적으로 정한다.

❑ 토석류 및 유송잡물 차단시설이 설치될 장소의 특성, 유송잡물의 특성, 시공 및 유지관리 용이성 등을 종합적으로 고려하여 유송잡물 차단시설을 계획한다.

❑ 토석류 및 유송잡물 차단사설은 도로관리청이 도로부지내에 필요한 지역에 설치하며, 도로부지외의 지역으로 설치가 필요한 경우, 산림청 등과 같은 관계기관에서 설치할 수 있도록 협의한다.

5.5.3 토석류 및 유송잡물 발생 조사

❑ 토석류 및 유송잡물 발생 조사

◉ 노선에 따른 발생 예상 지점 조사

- 우수가 집중되는 계곡부의 하상경사가 15° 인 지점부터 상류의 집수 면적이 0.05㎢ 이상이고, 수로 바닥상에 토석류로 될 수 있는 퇴적물이 존재할 경우를 기준으로 하여 발생 예상 지점을 조사한다. 또한, 계곡부에서 토석류와 함께 흘러내린다고 예상되는 유목(流木)등 유송잡물에 대해서도 조사한다.
- 하상 경사가 15° 인 지점부터 상류의 집수 면적이 0.05㎢ 미만이어도 지질, 용수 등의 해당지역의 붕괴 이력이 있다면, 토석류 발생예상지점으로 예측된다. 이상의 작업은 지형도, 항공사진 등으로 개략 조사한 후, 현지답사를 실시하여 수정한다.

◉ 토석류 및 유송잡물 발생 빈도 조사

기존의 재해 자료, 현지 답사 등을 통해 해당 계곡류에 있어서 최근의 토석류 발생 시기, 빈도를 구한다.

◉ 토석류 및 유송잡물을 발생시키는 강우 조건을 추정하기 위한 조사

- 강우 상황의 유사성을 고려하여 지역을 분할하고, 과거에 토석류를 발생시킨 강우와 많은 강우량에도 불구하고, 토석류 발생까지 이르지 않은 강우에 관한 자료를 해당지역 내에서 수집하며, 토석류 발생과 미발생 경계의 강우 조건을 구한다.
- 해당 지역 내에 토석류를 발생시킨 강우가 없을 경우에는 발생되지 않은 강우의 상한을 가지고 가정의 토석류 발생 강우 조건으로 하는 한편, 지형, 지질적으로 유사한 다른 지역의 정보도 이용한다.

❑ 토석류 및 유송잡물의 규모·성질 추정에 관한 조사

- 토석류의 규모나 대책을 검토하기 위하여, 토석류의 규모, 피크(peak) 유량, 유속 등을 검토한다.
- 토석류의 유출 토사량의 추정 시 최대 입경의 추정은 현지답사를 통해 가능하나, 토석류의 최대 유량, 유속, 단위 체적 중량 등은 토석류 및 유송잡물의 현지 관측에 근거하여 경험식을 참고로 추정한다.
- 대상 계곡부에 토석류가 발생한 기록이 있다면, 지형·지질의 유사성을 확인하여 추정 시에 참고로 한다.

◉ 유출 토사량

- 토석류로 유출되는 토사량은 유역면적의 수로전체의 퇴적 토사량으로 하며 현지답사를 통해 추정한다.
- 토석류는 수로바닥 퇴적물의 두께와 유역면적을 포함하는 계곡의 길이를 곱하여 추정할 수 있다.

- 토석류의 최대 입경
  - 토석류의 최대 입경은 토석류가 예상되는 수로바닥 퇴적물을 현지답사하고, 약 100개 이상의 큰 자갈 입경 빈도 분포를 조사하여 누가 곡선의 95% 를 가지고 최대 입경으로 한다.

❑ 기존의 토석류 차단 시설 또는 사방 시설의 유무, 제원에 관한 조사

- 이미 설치된 차단 시설의 유무를 확인하고, 시설의 높이, 길이 등의 제원을 조사하여 자료를 정리한다. 지형도에는 기존의 차단시설과 토석류가 발생한 지역, 토석류 발생 예상 지점, 범람 예상 구역을 기입한 토석류 및 유속잡물 발생 예측지점을 작성하는 것이 바람직하다. 또한, 기존의 도로에 대해서 개량이 필요한 지점도 조사 기입한다.
- 토석류의 퇴적범위를 예측하는 것은 도로 시설물의 피해를 최소화하기 위한 사항으로 중요하다.

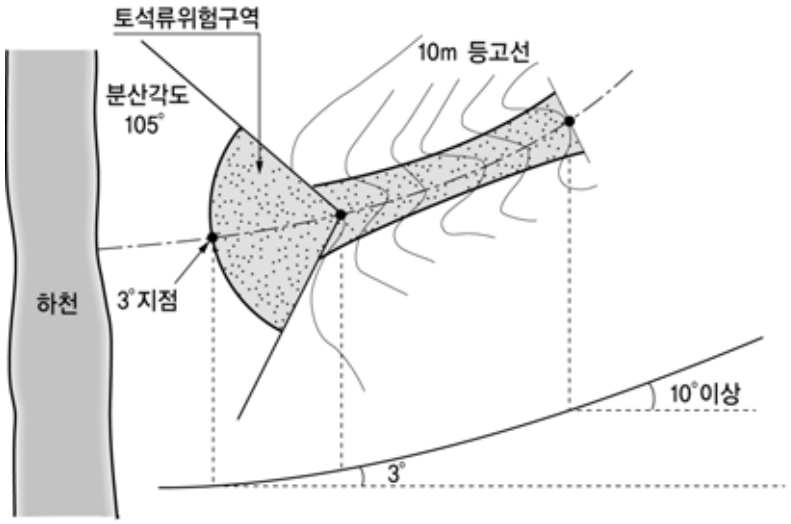
❑ 토석류 량이나 유동특성을 추정하는 것이 전제조건이지만 현재 적확한 추정법은 확립되어 있지 않다. 현재 퇴적범위(위험구역)의 일반적인 설정순서는 다음과 같으며, 설정 예를 〈그림 5.5.1〉에 나타내었다.

- 1단계 : 위험지역의 판정
- 2단계 : 퇴적 발생 지점 결정

  계곡부의 출구, 편상지 정상부, 경사도의 변화 지점, 원지형 경사도가 10° 이하에서 퇴적이 발생한다고 판단되는 지점으로 굴곡부도 고려한다.
- 3단계 : 퇴적 종식 지점의 결정 : 경사도 3° (약1/20)
- 4단계 : 퇴적 토사 두께의 결정

  토석류의 퇴적두께는 3~5m 정도이며. 토사의 퇴적두께는 2~3m 이다.
- 5단계 : 분산각, 퇴적 최대폭 결정

  예상되는 유출 토사량 및 현지 지형을 바탕으로 검토한다.



〈그림 5.5.1〉 토석류 위험구역 설정 사례

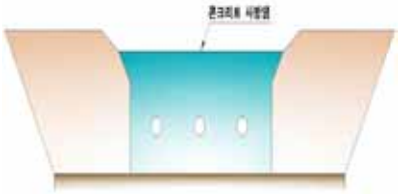
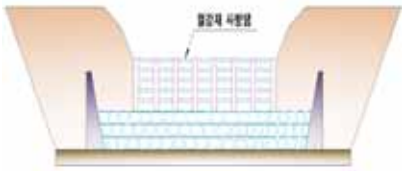
5.5.4 토석류 및 유송잡물 차단시설의 종류

❑ 토석류 및 유송잡물의 차단은 방어구조물이나 제어시설을 여러 개소에 설치하여 방류량을 줄임으로써 침식을 방지하고 하류지역의 피해를 방지한다. 이 경우 나무 등의 조림을 다시 실시함으로써 비탈면 표층부를 안정화시키고, 계곡부의 유출면의 마찰력을 증가시켜 유속을 줄이는 방법이 병행되는 것이 바람직하다.

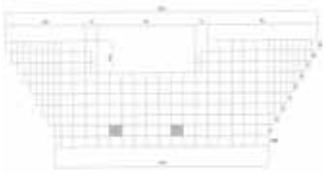
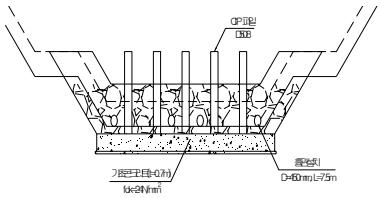
.

❑ 비교적 하류지역인 선상지나 퇴적지의 적절한 장소에 토석류를 억지하거나 조절할 수 있는 제어시설은 사방댐 등의 사방시설을 설치하는 방안이다. 사방댐은 하상경사가 큰 계곡에서 급류로 인한 종 횡 침식으로 계상과 계안에서 발생하는 돌, 자갈, 모래, 흙 등과 같은 침식 및 붕괴물질을 억제하여 토석류 피해를 저지하기 위하여 계곡을 횡단하여 설치하는 구조물이다. 이 때 고려해야 할 사항은 토석류 및 유속잡물의 전면부를 저지시키고, 조립질 물질을 강제로 퇴적시키기 위해서 토석류의 경사를 급격하게 줄여야 한다는 점이다.

〈표 5.5.2〉 토석류 및 유송잡물 차단 시설별 비교 사례(계속)

구분	콘크리트 사방댐	철강재 사방댐 (경사형, 버트레스, 슬릿형)
개요	• 기초 및 양안어깨부, 본체를 모두 콘크리트 구조로 설치하여 유송잡물 및 토석류를 차단하는 구조물	• 기초 및 양안어깨부는 콘크리트구조, 본체는 철강구조로 설치하여 유송잡물 및 토석류를 차단하는 구조물
개요도		
시공방법	• 콘크리트기초부 굴착 필요 • 현장콘크리트 타설(수중) • 하류측 세굴방지시설(별도공)	• 콘크리트기초부 굴착 필요 • 현장볼트체결에 의해 조립
시공성	• 콘크리트기초부 굴착으로 별도의 토공작업 필요 • 진입로 개설 필요(별도공)	• 콘크리트기초부 굴착으로 별도의 토공작업 필요 • 철강재 사방댐은 원칙적으로 현장볼트체결에 의해 조립. • 아연도금, 도장 등과 같은 방식처리보호 및 현장에서 인력에 의해 간편하게 조립가능 • 진입로 개설 필요(별도공)
유지관리	• 하류측 세굴에 의한 하자 우려 • 부분적인 보수, 확대, 축소가 어려움	• 부분적 보수, 확대, 축소가 어려움 • 토석류 및 유목에 의한 아연도금 손상으로 부식의 가능성 있음
수질환경	• 댐 상류측 고인물이 부패되어 수질악화	• 철재조립 틈새로 배수기능이 있어 수질악화 방지 • 주변 지하수위의 변경을 초래하지 않음
생 태 계	• 상,하류 생태계 차단	• 철재조립 틈새로 상, 하류 생태계 차단 없음

〈표 5.5.2〉 토석류 및 유송잡물 차단 시설별 비교 사례

구분	주철 조립식 사방댐	돌붙임 사방댐
개요	• 기초 및 양안어깨부, 본체를 모두 주철틀 구조로 설치하여 유송잡물 및 토석류를 차단하는 구조물	• 기초 및 양안어깨부, 본체를 모두 콘크리트 구조로 설치하여 유송잡물 및 토석류를 차단하는 구조물
개요도		
시공방법	• 콘크리트기초부 굴착 필요 • 현장에서 부재 조립 • 전석 및 쇄석 사용으로 열약한 시공여건에 적합	• 콘크리트기초부 굴착 필요 • 현장콘크리트 타설 • 하류측 세굴방지시설(물방석)
시공성	• 공장제작 기성품을 조립하므로 시공성 매우 양호 • 주철틀을 조립하여 현장의 전석 및 잡석으로 시공이 가능함으로 열악한 지역에서도 설치가 매우용이 • 현장내 잡석사용으로 외부반출 최소 • 진입로 개설 불필요	• 콘크리트기초부 굴착으로 별도의 토공작업 필요 • 진입로 개설 필요(별도공) • 돌붙임시 현장내 전석을 사용하여 외부반출 감소
유지관리	• 조립식으로 유지관리 용이 • 내구성이 반영구적이며 자재 재활용이 가능	•물방석 설치로 하류측 세굴방지 •부분적인 보수, 확대, 축소가 어려움
수질환경	• 일정기간 경과 후 표면에 피막을 형성하고 주철의 미세한 녹은 식물 및 어류에 철분을 공급 • 수질오염 및 주변 지하수위의 변경을 초래하지 않음	•배수로를 설치하여 상류의 물고임 현상 억제 •수질오염 및 주변 지하수위의 변경을 초래하지 않음 •물방석 설치로 주변경관과 어우러짐
생 태 계	• 투과성 구조이고 어도설치가 유리하여 상,하류 생태계 차단 없음	•투과성 구조이나 상,하류 어류 생태계 차단

(a) 개폐식 토석류 차단시설 사례(워싱톤주, 미국)

(a) 연성형 토석류 차단시설(몬테나)　　(b) 암거유입부 토석류 차단시설

〈그림 5.5.2〉 토석류 차단시설 사례

5.5.5 차단시설 예정지 선정

❑ 차단시설의 설치 예정지는 산악지가 많은 국도 및 지방도의 비탈면 계곡부에 위치하는 시설 중 상류로부터 토석류 및 유송잡물의 발생이 예상되는 곳을 선정하며, 집중호우시 도로 등에 피해를 끼칠 우려가 많은 지역을 우선적으로 선정한다.

❑ 설치장소의 지질특성은 지형, 하상경사, 식생의 상황, 지반특성 등을 의미하는 것으로 유송잡물의 발생 여부, 발생량, 차단시설의 규모를 결정하는 요소로서, 계획 대상 구역의 현황 조사 자료, 과거 재해 자료, 유사 지역의 자료 등을 기준으로 정한다.

❑ 설치장소의 수리특성은 홍수특성, 홍수빈도, 홍수피해 가능성 등을 고려하여 토석류 및 유송잡물 차단시설 설치장소를 결정할 때 고려한다.

5.5.6 차단시설의 결정

❑ 유송잡물 차단시설을 선택할 때는 교통흐름의 안전이 최우선적으로 고려한다. 유송잡물 차단시설의 효과를 극대화하기 위해서는 다음과 같은 항목들을 검토한다.

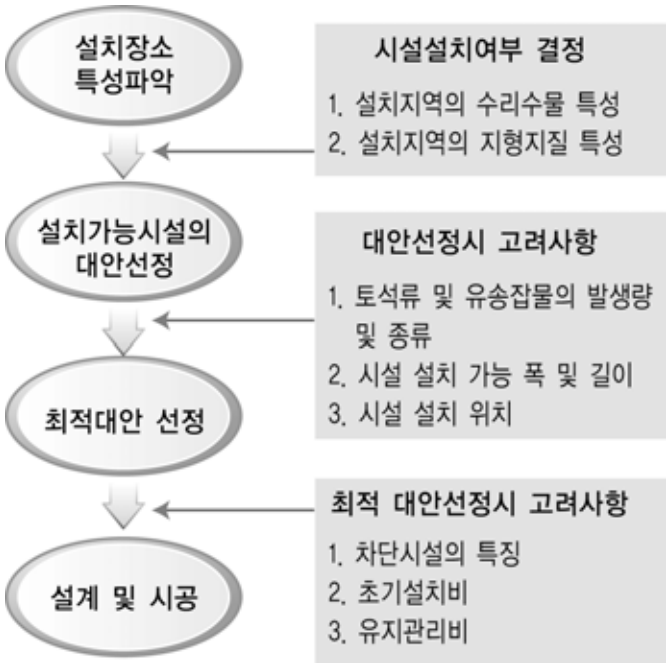
- 설치지역의 수리 및 지질특성
- 설치장소의 길이와 폭
- 유송잡물의 종류 및 발생량
- 차단시설의 특성 및 유지관리 방안
- 경제성(초기설치비, 유지관리비 등)

❑ 유송잡물 차단시설을 어떻게 다루는 가와 배치하는 장소 및 활용방안 등은 매우 중요한 문제이다. 유송잡물 차단시설의 종류 및 설치위치 등을 결정하기 위한 검토사항은 대상 지역의 특성에 따라 다르기 때문에 유송잡물 차단시설의 기능이 가장 유효하게 발휘되도록 고려한다.

❑ 토석류 및 유송잡물 차단시설이 제 기능을 발휘할 수 있도록 주기적인 점검, 유지보수를 하도록 한다.

❑ 도로관리청은 도로부지내에 차단시설이 필요한 지역에 설치하며, 도로부지외의 구역에 차단시설의 설치가 필요한 경우, 산림청 등 관계기관에서 설치하도록 협의한다.

❑ 토석류 및 유송잡물 차단시설의 선정과정은 〈그림 5.5.2〉와 같다

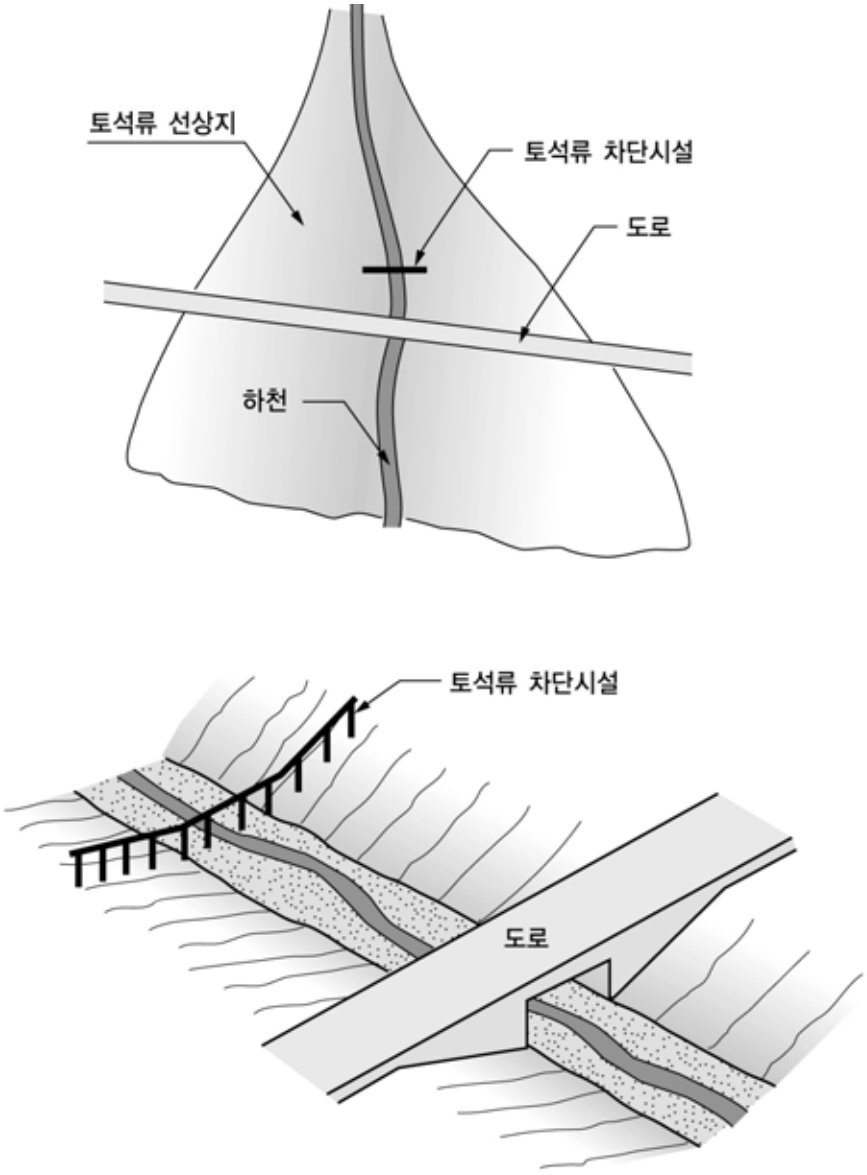


〈그림 5.5.3〉 토석류 및 유송잡물 차단시설의 선정과정

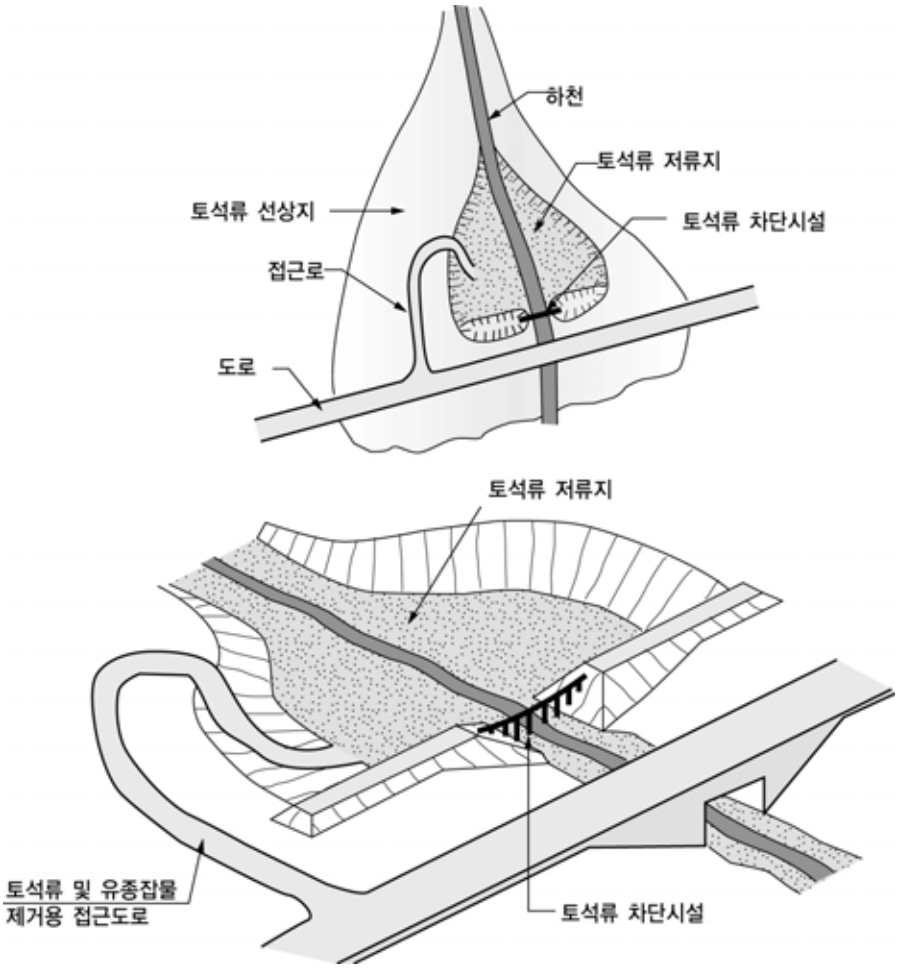
5.5.7 설치장소의 특성파악

❑ 설치장소의 수리특성이란 홍수특성, 홍수빈도, 홍수피해 가능성 등의 어떤 배수구조물의 설계기준으로 채택되는 설계홍수량을 의미하며, 유송잡물 차단시설의 설치 필요성을 결정할 때 고려되는 중요한 요소 가운데 하나이다.

❑ 설치장소의 지질특성이란 지형, 하상구배, 식생의 상황, 지반특성 등을 의미하는 것으로 유송잡물의 발생 여부, 발생량, 차단시설의 규모를 결정하는 요소로서, 계획 대상 구역의 현황 조사 자료, 과거 재해 자료, 유사 지역의 자료 등을 기준으로 정한다.



〈그림 5.5.4〉 도로 주변에 토석류 차단시설 설치(안) (계속)



〈그림 5.5.4〉 도로주변의 토석류 차단시설 설치(안)

5.5.8 설치 가능시설의 대안선정

❑ 차단시설이 설치될 장소의 길이나 폭, 설치 위치 등을 고려하여 설치 가능한 시설의 대안들을 선정한다.

❑ 차단시설의 대안을 선정함에 있어 가장 중요한 요소는 토석류 및 유송잡물의 종류이다. 종류에 따른 차단시설은 〈표 5.5.3〉과 같다. 예상되는 종류가 2가지 이상일 경우, 2중으로 차단시설을 설치하여 도로시설의 피해를 최소화 할 수 있다.

〈표 5.5.3〉 차단시설물의 선택

시설 / 유송잡물	(우회시설) Deflector	(거치대) Rack	(수직관) Riser	(격자틀) Crib	(분리대) Fin	(사방댐) Dam
LFD		◎		◎		
MFD	◎	◎				◎
HFD	◎				◎	◎
FD1			◎			◎
FD2			◎			◎
CD			◎	◎		◎
B	◎					

LFD:소규모 부유물(Light Floating Debris)　MFD:중규모 부유물(Medium Floating Debris)
HFD : 대규모 부유물(Heavy Floating Debris)　FD1 : 유동물질(Flowing Debris)
FD2 : 세립질 암편(Fine Detritus)　CD : 조립질 암편(Coarse Detritus)　B : 표석(Boulders)

(자료:FHWA)

(a) 우회시설

(b) 수직관

(c) 분리대

(d) 격자 벽체형

〈그림 5.5.5〉 토석류 및 유송잡물 차단시설 설치 사례

5.5.9 최적 대안의 선정

❑ 유송잡물 차단시설의 종류와 설치될 장소의 공간 특성, 설치위치 등을 고려하여 대안들을 선정한 후에는, 최적의 대안을 선정한다. 최적의 대안을 결정할 때에는 앞서 조사된 유송잡물의 특성, 설치공간의 특성, 차단시설의 특성, 시공 및 유지관리 용이성, 초기설치비 및 유지관리비 등의 경제성을 종합적으로 고려한다.

❑ 유송잡물 차단시설의 설치방안을 종합적으로 검토한 결과를 〈표 5.5.4〉에 나타내었다.

〈표 5.5.4〉 차단시설 설치방안 비교·검토

구분	우회시설 (Deflecter)	거치대 (Rack)	수직관 (Riser)	격자틀 (Crib)	분리대 (Fin)	교량/암거
차단 메카니즘	우회	차단	차단	차단	차단	통과
유송잡물 종류	나뭇가지, 통나무, 큰 암	점토, 실트, 모래	점토, 실트, 모래, 나무가지	굵은 자갈, 암설	통나무, 목재	대규모 유송잡물
시공위치	암거 유입부	암거 유입부	암거 유입부	암거 유입부	암거 유입부	도로
크기	암거크기의 1.1배 이상	3~6m	암거 직경보다 30㎝정도 크게 설치	암거 크기	다양	다양
재료	철재(레일)	목재, 콘크리트, 철재 등 다양	철재	목재	콘크리트	콘크리트
검토결과	구조적 안정성과 흐름에 대한 저항력이 뛰어나 대형암거, 유속이 빠른 흐름, 대형 통나무, 호박돌 등과 같은 유송잡물에 효과적임.	유송잡물의 충격을 직접 받기 때문에 흐름의 속도가 빠른 경우에는 경사지게 설치하거나 타이어 등을 설치하여 충격을 완화시킴.	제방여유가 충분한 지역에 설치하며, 직경 130㎝이하의 암거에 이용됨. 충격에 저항력이 약하기 때문에 빠른 유속을 보이는 곳에는 설치하지 않음.	흐름경사의 미세한 변화에도 암거 유입부에 유송잡물의 퇴적이 발상하는 소규모 암거에 적절함.	대형암거에 사용되며 유송잡물이 부유물일 경우에 적당한 구조물 교량교대에 유송잡물이 집적되는 것을 방지하는데 사용되기도 함.	대규모의 붕괴나 유송잡물차단시설만으로는 대응할 수 없을 것 같은 도로구간이나 유송잡물 차단시설을 설치할 공간을 확보하기 어려운 곳에는 터널, 교량 등에 의한 구조형식의 선정 등으로 대응하는 것이 바람직함.

5.5.10 토석류 및 유송잡물 차단시설의 유지관리

❑ 차단시설을 설계할 경우 유지관리를 고려한다. 교통량이 많고 중요한 도로의 배수구조물일 경우 유지관리의 기준이나 빈도가 더 엄격할 것이다. 이러한 유지관리 계획에 따라 차단시설의 결정이 이루어지기도 하는데, 예를 들면 유지관리가 어려운 경우 유지관리가 덜 필요한 차단시설을 사용하게 되는 것이다.

❑ 일반적으로 제방이 높은 경우는 유지관리 설비의 접근이 어렵다. 그러나 제방이 높으면 저류공간이 그만큼 증가하므로 유지관리의 빈도를 줄일 수 있다. 유지관리 장비의 접근이 용이하지 않을 경우에는 크레인 같은 장비를 이용하여 교통의 흐름을 두절시키지 않고 유송잡물을 제거 할 수 있다.

❑ 따라서 차단시설이 제 기능을 발휘할 수 있도록 주기적인 점검·유지보수를 하고, 관련 기록을 유지한다.

❑ 점검은 시설물의 외관을 수시로 점검하고, 성능의 이상 유무를 확인하기 위하여 정기적으로 실시하며, 호우 등의 재해가 발생한 후에는 즉시 점검을 실시한다. 점검은 다음 사항에 유의하여 실시한다.

- 차단시설의 외관
- 차단시설 부재의 변형의 상태
- 차단시설의 상태(위치, 방향)
- 토석류 및 유송잡물 포착상황

❑ 차단시설이 자연 재해에 의해 변형 또는 파손 등 기능 수행상 문제가 있다고 판단되었을 경우에는 즉시 복구한다. 파손이 경미한 경우에는 보수하고, 보수가 곤란한 경우엔 철거 후 다시 시공한다.

❑ 차단시설의 시공 및 보수에 관한 기록을 유지한다. 차단시설이 파손 또는 변형된 경우, 파손 위치, 정도, 원인 등을 면밀히 조사하여 기록·관리하고, 다음 설계 및 시공시 이를 반영한다. 시공시의 기록 사항은 다음과 같다.

- 시공 위치 및 간단한 주변 도로 현황
- 시공 일시, 시공 개시 및 종료 시각
- 차단시설의 형식, 길이, 높이, 너비
- 기타 시공상 특이 사항

❑ 점검 및 보수시의 기록 사항은 다음과 같다.

- 위치, 점검 일시
- 파손 내용과 사유 및 변형 상태
- 보수 일시

제 6 장 산악지 도로 배수

6.1 일반 사항

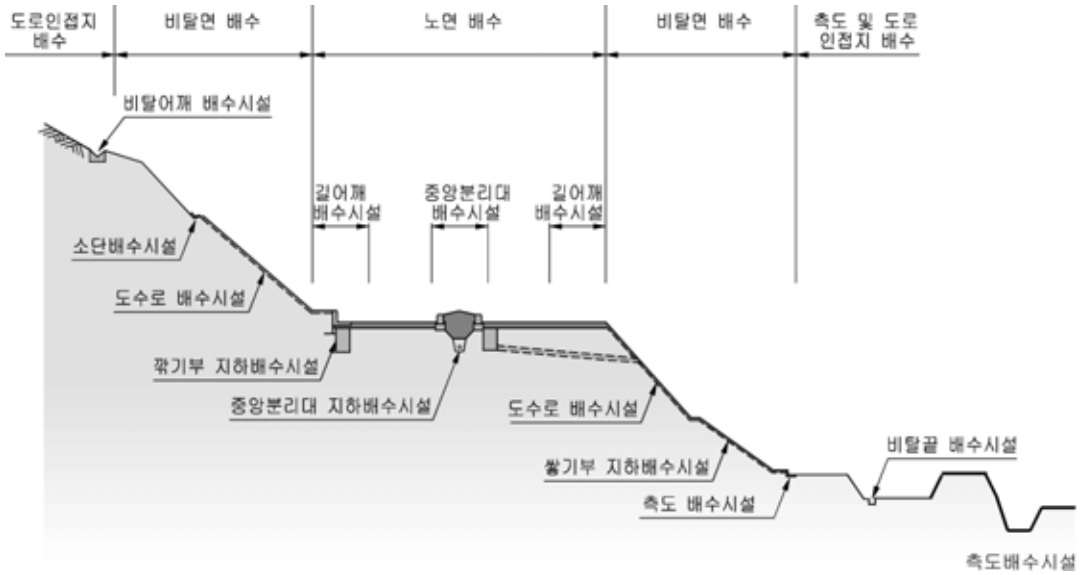
❑ 산악지 도로 배수시설은 산사태 및 토석류 등 지형·지질과 기상 조건 등을 고려하여 도로 피해가 발생하지 않도록 도로, 수리·수문, 토질및기초, 지질및지반 분야의 전문가 자문을 통하여 계획한다.

❑ 산악지 도로 배수시설은 표면수의 침투 또는 지하수 유입에 의한 지반 지지력 약화와 비탈면의 유실, 그리고 도로포장 파손 등을 방지하고, 노면배수 불량으로 미끄러짐에 의한 사고를 방지하는 등의 도로 기능을 유지하도록 한다.

6.2 도로 배수시설의 구분

❑ 도로 배수시설의 종류는 노면배수, 지하배수, 횡단배수, 비탈면배수, 측도 및 도로 인접지 배수 등으로 분류하며 주요 배수시설의 종류는 〈그림 6.2.1〉과 같다.

❑ 산악지 도로 배수시설은 토석류 등에 의한 토사 유입 또는 유송잡물 등으로 통수 단면이 축소 될 수 있으므로, 주변 지형·지질을 고려하여 일반 도로의 설치규격보다 큰 것을 설치하여 도로의 피해를 최소화한다.



〈그림 6.2.1〉 도로배수시설의 종류

도로의 배수시설	표면배수			지하배수	횡단배수
	노면배수	비탈면배수	측도 및 도로 인접지 배수	지하배수	횡단배수
배수시설의 설치위치	• 길어깨 • 중앙분리대	• 깎기 및 쌓기부 비탈끝 • 비탈면세로방향 • 비탈면가로방향	• 측도(부체도로) • 비탈끝 • 비탈어깨 • 기타	• 깎기부 지중 • 쌓기부 지중 • 깎기·쌓기경계부 • 중앙분리대지중	• 수로횡단 • 계곡부횡단 • 하천횡단
주요 배수시설	• 측구(L, U형) • 쌓기부다이크 • 집수정 • 배수관 • 배수구, 맨홀	• 측구(L, U형) • 도수로 • 집수정 • 소단배수시설	• 집수정 • 측구(L, U형) • 배수관 • 배수구, 맨홀	• 맹암거 • 유공관 • 배수층	• 배수관 • 암거 • 교량
산악지 배수시설	• 측구 + 개거 • 설치간격 축소	• 도수로규격확대 • 소단배수시설 강화 • 집수정용량 확대	• 인접지배수시설 정비	• 맹암거규격 확대 • 유공관 설치 확대	• 토석류유입고려 • 교량 형하고 확대 • 암거규격확대

〈그림 6.2.2〉 산악지도로 배수시설 구분

6.3 산악지 도로 배수시설의 계획

❑ 산악지 배수시설은 일반도로 배수시설보다 광범위한 사전조사를 시행한다. 문제성 있는 부지를 선정했을 경우, 도로계획 및 조사 위치 선정단계에 수리·수문, 도로, 토질 및 기초, 지질 및 지반, 구조 분야 등의 전문가 자문을 통하여 배수계획을 수립한다.

❑ 산악지 도로 배수시설 계획은 지형적인 여건으로 인하여, 대규모 깎기 비탈면이나 대규모 쌓기 비탈면 등이 발생되므로, 주변의 지형적인 요소와 토질상태 등을 고려하여 강우시 배수시설물로 유입되는 토석류 및 유송잡물 등이 배수시설물에 영향을 미치지 않도록 계획한다.

❑ 산악지 도로배수 계획은 각종 재해 및 개발 등으로 인해 지형이 지형도와 다른 경우가 많으므로, 항공 사진촬영을 실시하여 지형도와 달라진 위치를 파악하고, 시공 중 배수처리에도 주의를 요한다.

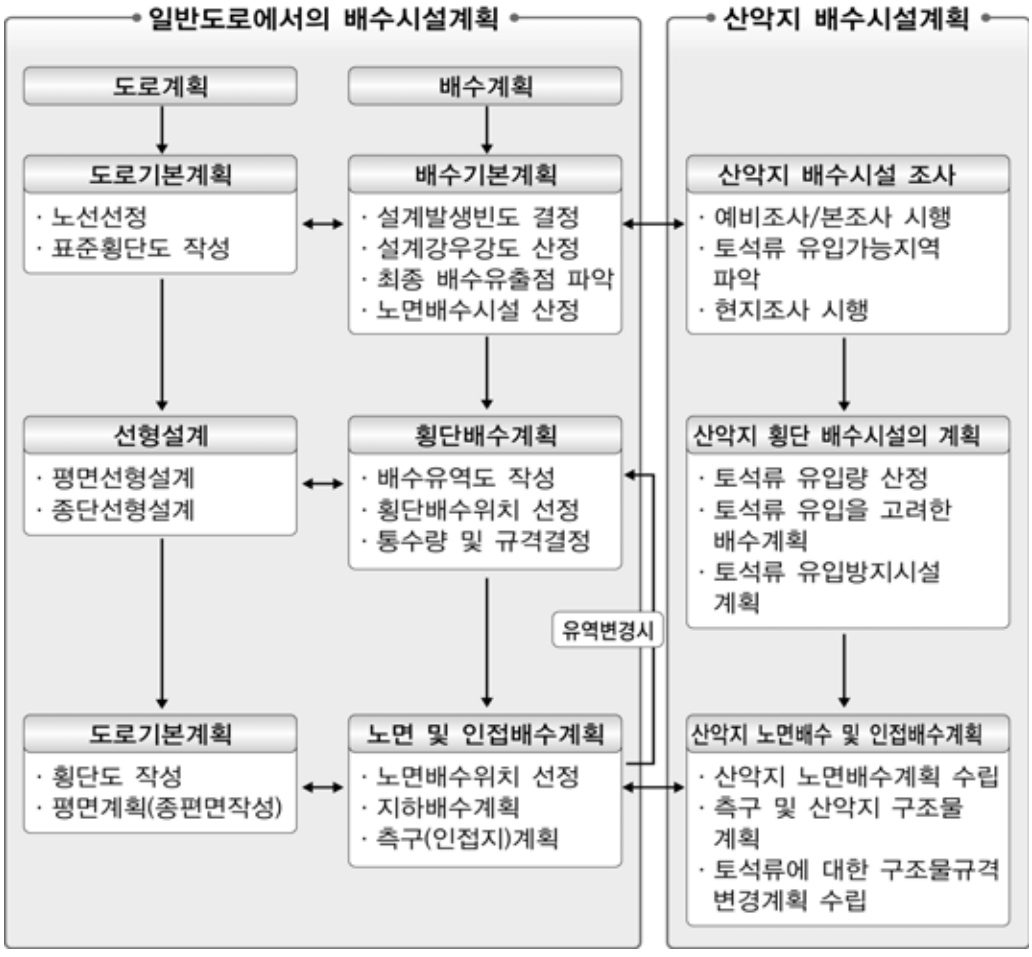
❑ 산악지 도로배수시설에 유입되는 토석류 및 유송잡물 등은 횡단배수시설의 유입부 및 배수시설의 우수의 흐름에 방해가 되므로, 토석류 및 유송잡물의 발생 지점 등을 예측하여 배수시설의 수리 계산시 토사퇴적을 고려한다.

❑ 산악지 도로의 비탈면 배수는 깎기부와 쌓기부 비탈면 또는 비탈면 끝에 설치되는 배수시설로, 우수를 기존배수로 또는 하천으로 배수시킬 경우, 배수시설의 유출부에서 우수의 정체가 일어나지 않도록 한다.

❑ 산악지 도로의 지하배수는 우수가 비탈면과 측구사이로 침투되어 지반 지지력이 약화되거나 포장체 파손 등이 발생될 수 있으므로, 맹암거, 유공배수관의 지하배수 시설을 일반도로에서 설치되는 규격보다 크게 설치한다.

❑ 산악지 도로의 횡단배수는 도로 인접지역에 내린 우수 등을 배수할 목적으로 설치한다. 따라서, 소하천 및 수로, 산지 계곡부 등 상류지역의 유역면적, 토석류 발생, 장래개발계획 등을 고려하여 도로 인접지역의 호우 피해예방과 도로의 기능 보전을 위하여 충분한 통수 단면을 확보한다.

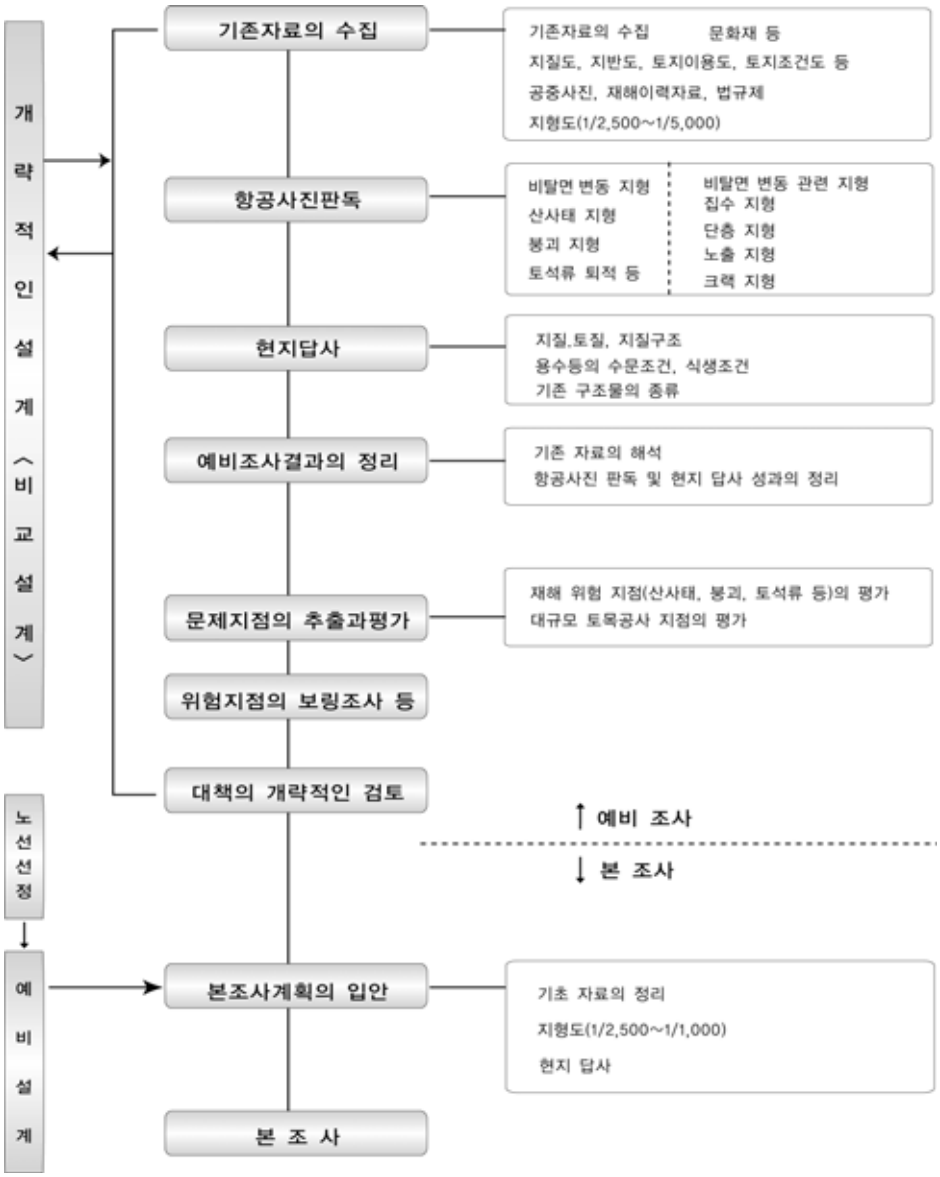
❑ 산악지 도로의 측도와 인접지 배수시설은 주변지형의 경사 및 설치 여건 등이 어렵거나 열악할 수 있으므로, 주변의 지형적인 여건 등을 고려하여 도로의 설계시 함께 정비 또는 개선한다.



〈그림 6.3.1〉 산악지 도로배수시설 계획 흐름도

6.4 산악지 도로 배수시설 조사

❑ 산악지 도로배수시설의 효율적인 설계를 위하여, 토질조사 및 지질도, 홍수위, 항공사진촬영, 유량 기록표와 현지답사를 통한 비탈면의 변동자료, 붕괴지형의 파악, 토석류 발생 위치 등 현지조사를 실시한다.



〈그림 6.4.1〉 산악지 도로 배수시설 조사 절차

6.5 산악지 도로 배수 시설의 수리 수문

6.5.1 산악지 도로 배수 시설의 설계빈도

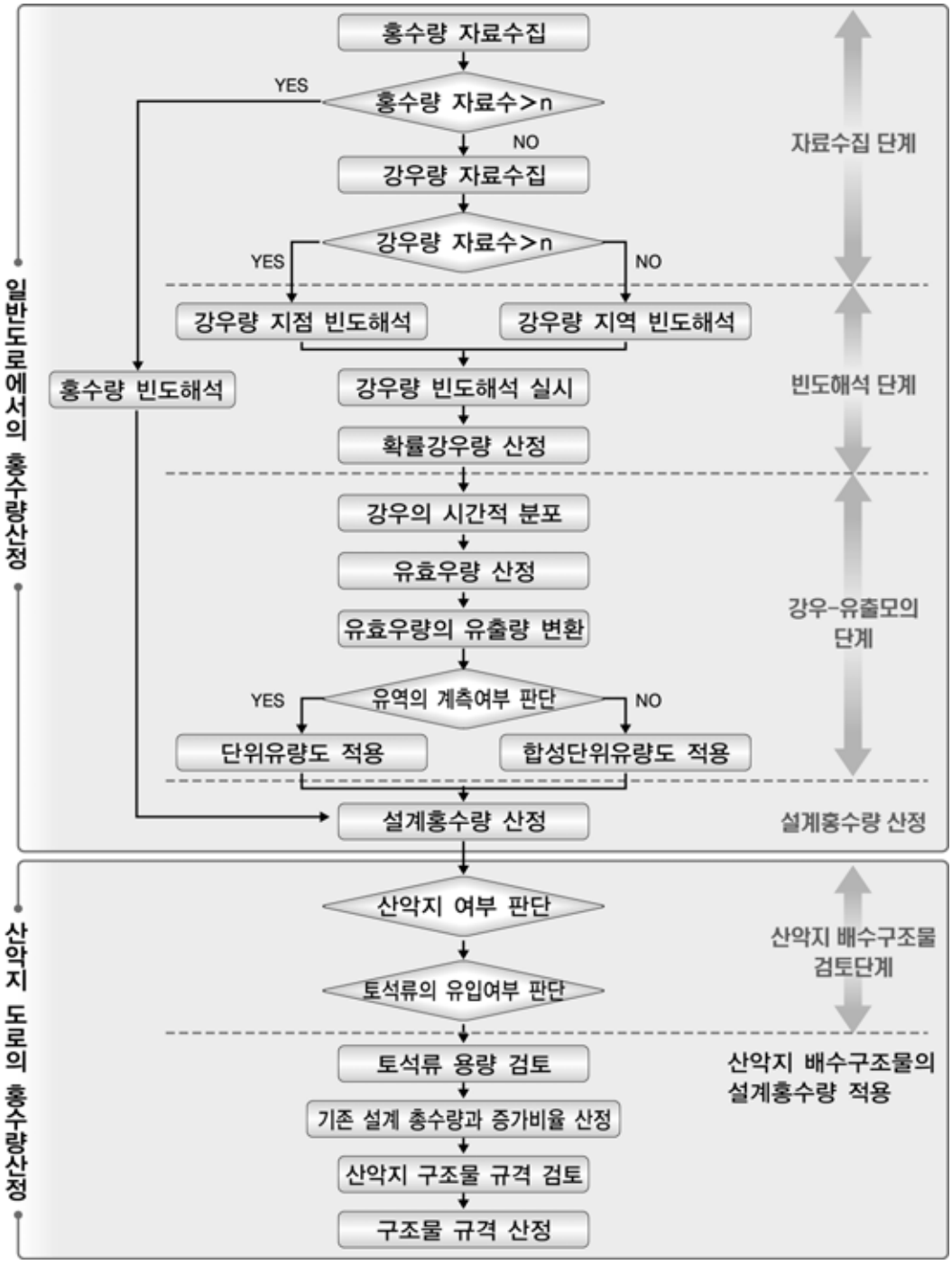
❑ 산악지 도로 배수시설의 주요 설계빈도는 지형·지질 그리고 기상조건, 산사태, 토석류 및 유송잡물 등의 특성을 고려하여 다음의 설계빈도를 적용한다. 단, 집중호우 등에 의한 재해발생지역으로 홍수위 흔적, 산사태, 토석류 피해규모 등을 고려하여 도로관리청의 설계자문위원회를 통하여 설계빈도를 상향 조정하여 적용할 수 있다.

- 암거 및 배수관 50년
- 노면 및 비탈면 배수 20년
- 측도 및 도로 인접지 배수 20년

6.5.2 설계홍수량 산정

❑ 설계홍수량은 유역크기에 따라 「하천설계기준」에 근거하여 유역특성에 맞게 산정한다. 단, 집중호우 발생지역, 재해예상지역 등은 수리·수문 전문가와 협의하여 결정한다.

❑ 산악지를 통과하는 도로는 주변여건 및 토질 상태 등을 고려한 토석류의 유입이 우려되는 지점인지를 사전조사를 실시하고, 토석류가 발생한 지점은 토석류의 용량을 검토하고, 토석류에 의해 증가되는 홍수량을 산정하여 이를 설계 홍수량으로 산정한다.



〈그림 6.5.1〉 산악지 도로 배수시설의 설계홍수량 산정 방법

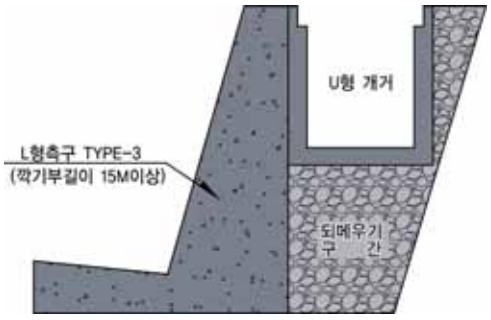
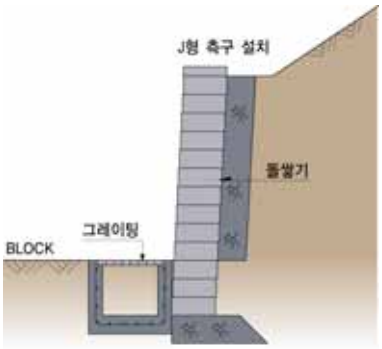
6.6 산악지 도로 배수 시설 설계

6.6.1 산악지 도로 노면배수시설

❑ 산악지 노면배수시설은 강우시 노면수를 적절하게 처리하지 못할 경우, 쌓기 비탈면의 붕괴로 인한 도로의 유실이 발생할 수 있으므로, 해당시설의 용량을 확대하는 등의 대책을 수립한다.

❑ 산악지 도로 노면배수 설계 유의사항

- 쌓기와 깎기가 함께하는 구간의 설계시 쌓기 구간에서 노면수의 유입으로 쌓기부의 유실이 우려되는 지역은 깎기부의 L형 측구와 함께 U형 측구를 TYPE-1과 같이 설치하거나, TYPE-2와 같이 깎기면을 보강하고, 측구를 설치하여 노면수의 유입을 최대한 억제시켜 포장체로의 유입을 막는다.
- 깎기·쌓기 경계부의 배수시설을 확대하여 산악지 깎기부 비탈면에서 유입되는 유량을 효율적으로 배제하며, 깎기·쌓기 경계부의 맹암거는 확대 시공하여 깎기부 비탈면에서 유입되는 유량을 처리할 수 있는 대책을 수립한다.

TYPE-1	TYPE-2
	
L형측구 뒷채움구간의 U형 개거 설치	L형 측구 대신 석축으로 경사면을 보강하고, U형 개거설치후 노면수배수 원활을 고려한다.

〈그림 6.6.1〉 L형과 U형 측구 설치 예

- 쌓기부 도수로 설치시 최대설치 간격을 70m로 설치하여, 노면수의 유입에 대한 배수의 효율을 높인다.

〈표 6.6.1〉 쌓기부 도수로 설치 간격

일반도로의 쌓기부 도수로 설치간격	산악지도로의 쌓기부 도수로 설치간격
최대간격 100 m	최대간격 70 m

- 산악지 도로의 깎기부 집수정을 설치할 경우, 설치되는 그레이팅에 나뭇잎 또는 유송잡물이 유입되어 집수를 방해하는 경우가 있으므로, 집수정 그레이팅의 설계효율을 고려하여, 설치간격을 계산하고, 집수정을 설치한다.
- 깎기부 및 쌓기부 노면배수 시설의 설계시 유출계수는 0.8 이상으로 적용하고, 비탈면의 우수가 유입되는 지점은 도수 방지턱을 설치하여 노면수의 도로 유입을 최소화한다.

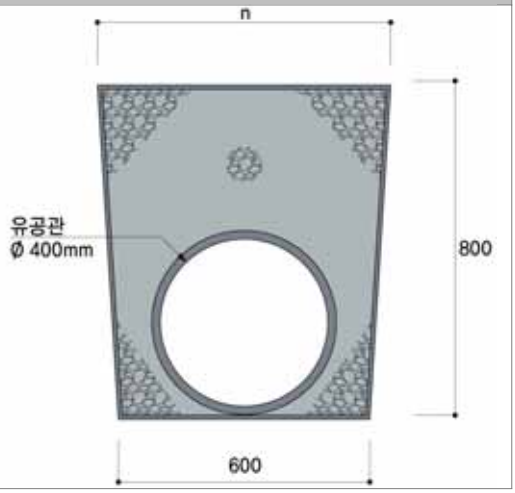
6.6.2 지하배수시설

❑ 지하배수시설은 노면수의 지하수위를 저하시켜 포장체의 지지력을 확보하고, 도로에 근접하는 비탈면, 옹벽 등의 손상을 방지하기 위해 설치한다.

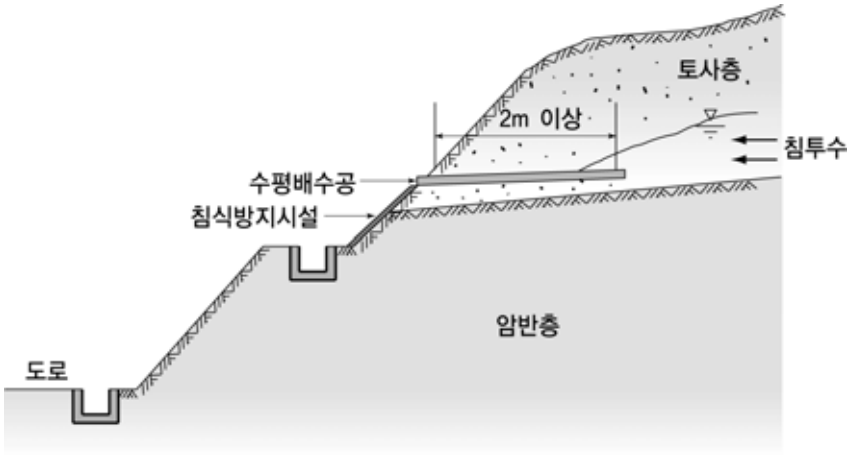
❑ 지하배수시설은 불투수층 상부에서 침투수의 차단, 지하수위 억제, 다른 배수시설로부터 유입되는 유수 집수의 기능을 수행하는데 설치되는 배수시설들이 종합적으로 역할을 수행할 때 그 기능이 발휘된다.

❑ 산악지도로에 설치되는 지하 배수시설은 유입되는 지하수와 침투수를 차단하여 도로의 쌓기부 및 깎기부의 지반붕괴를 최소화 할 수 있는 시설로서 기존의 일반도로보다 용량을 확대하여 적용한다.

❑ 지표면으로부터 투수계수가 상이한 지층의 경계부 및 용수 발생지점에 수평배수공 설치하며, 현장여건 등을 고려하여 설치한다.

일반도로의 맹암거 설치규격	산악지 도로의 맹암거 설치규격
	

〈그림 6.6.2〉 산악지 도로의 암거 설치 규격



〈그림 6.6.3〉 지표수 및 지하수 처리 방안

6.6.3 계곡 하천 수충부 시설

❑ 산악지 도로는 지형의 특성상 계곡을 따라 건설되는 사례가 많으므로, 하천의 수충부는 유속이 빠르고 수심이 깊은 것이 특징이다. 이러한 곳은 홍수위를 고려하여 옹벽과 함께 수로 보호공 등의 보호대책을 적용하여 설계한다.

❑ 하천 수충부의 설계 유의사항

산악지 도로가 하천을 따라 건설되는 경우 다음과 같은 사항을 유의하여 설계에 적용한다.

- 하천의 유속에 의한 옹벽 등이 침식되지 않도록 하고, 옹벽의 기초는 가능한 기반암에 설치하며, 세굴을 검토한다. 단, 기반암에 설치하지 못할 경우, 옹벽 기초에 세굴방지 시설을 보완하여 설치한다.
- 세굴방지공법은 홍수시 일시적인 세굴깊이를 산정하여 콘크리트 블럭 등 옹벽하부기초에 밑다짐을 실시하여 세굴을 방지한다. 또한, 옹벽 등 상부의 쌓기 비탈면이 있는 경우, 석축, 사석공 등으로 유속에 의한 침식방지 공법을 이용하여 쌓기 비탈면을 보호한다.
- 설계 홍수위를 기준으로 횡배수관 등의 도로 배수구조물을 설치하며, 하천 만곡부 통과시 수리특성상 비탈면 세굴의 우려가 높은 구간은 교량 등 구조물 처리 방안을 검토한다.

〈표 6.6.2〉 홍수시 일시적 세굴깊이 산정

	홍수시 하안의 유속		
	3m/sec 이상	2-3m/sec	2m/sec 미만
조약돌 이상의 입경	1.0 m	0.5 m	-
자갈 정도의 입경	1.5 m	1.0 m	0.5 m
잔자갈 정도의 입경	-	1.5 m	1.0 m

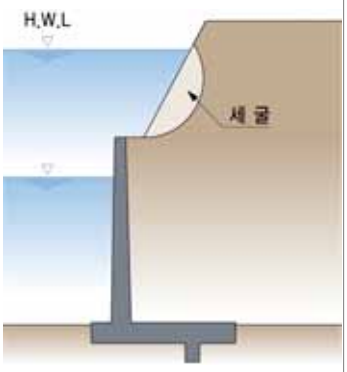
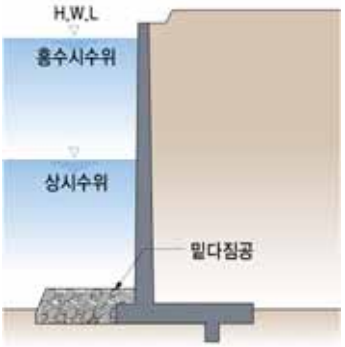
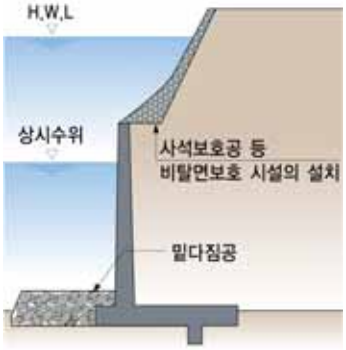
※ 조약돌 : 10cm 〈 D 〈15cm, 자갈 : 20cm 〈 D 〈75cm, 잔자갈 : 2mm〈D〈15mm

(자료 : 하천설계기준)

❑ 산악지 도로 쌓기부 및 수충부 보강 시설

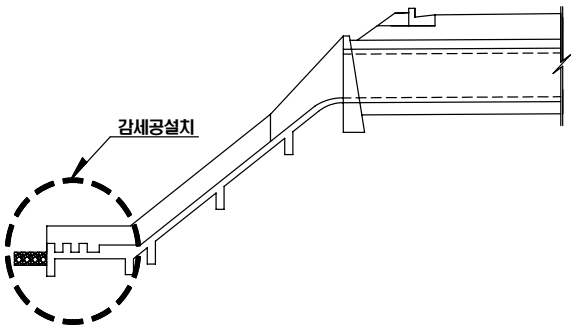
산악지 도로의 쌓기부 및 하천 수충부 등에 설치되는 비탈면 보호시설은 다음과 같은 사항을 고려하여 설계한다.

- 공사환경, 지형의 변화, 기상조건 등 다양한 현장여건을 고려한다.
- 하천, 계곡부 등의 단면축소 및 유속 등을 고려하여 침식이 발생되지 않게 한다.
- 공사 자재의 수급이 용이한 공법으로 선정하며, 충분한 구조적 안정성을 가져야 한다.

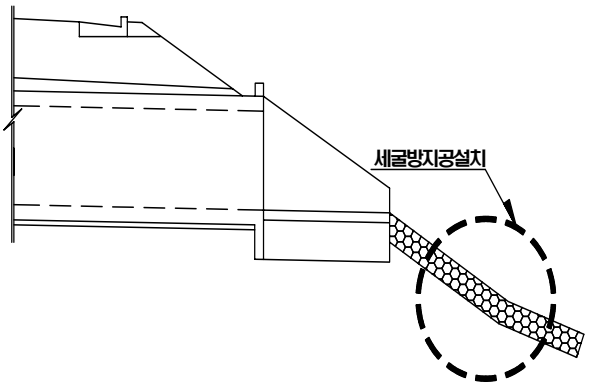
상시 및 홍수시 유수의 흐름	TYPE-1	TYPE-2
		
하천수충부의 세굴형태	옹벽 등 구조물의 계획변경으로 세굴지역의 해소	사석보호공 등으로 세굴지역의 보강방안

〈그림 6.6.4〉 산악지 도로의 하천 수충부 보강 방법

❑ 산악지의 횡단배수 암거에는 다음과 같이 도수로 및 유출부에 감세공 및 세굴 방지시설을 한다.



(a) 감세공의 설치



(b) 세굴방지시설의 설치

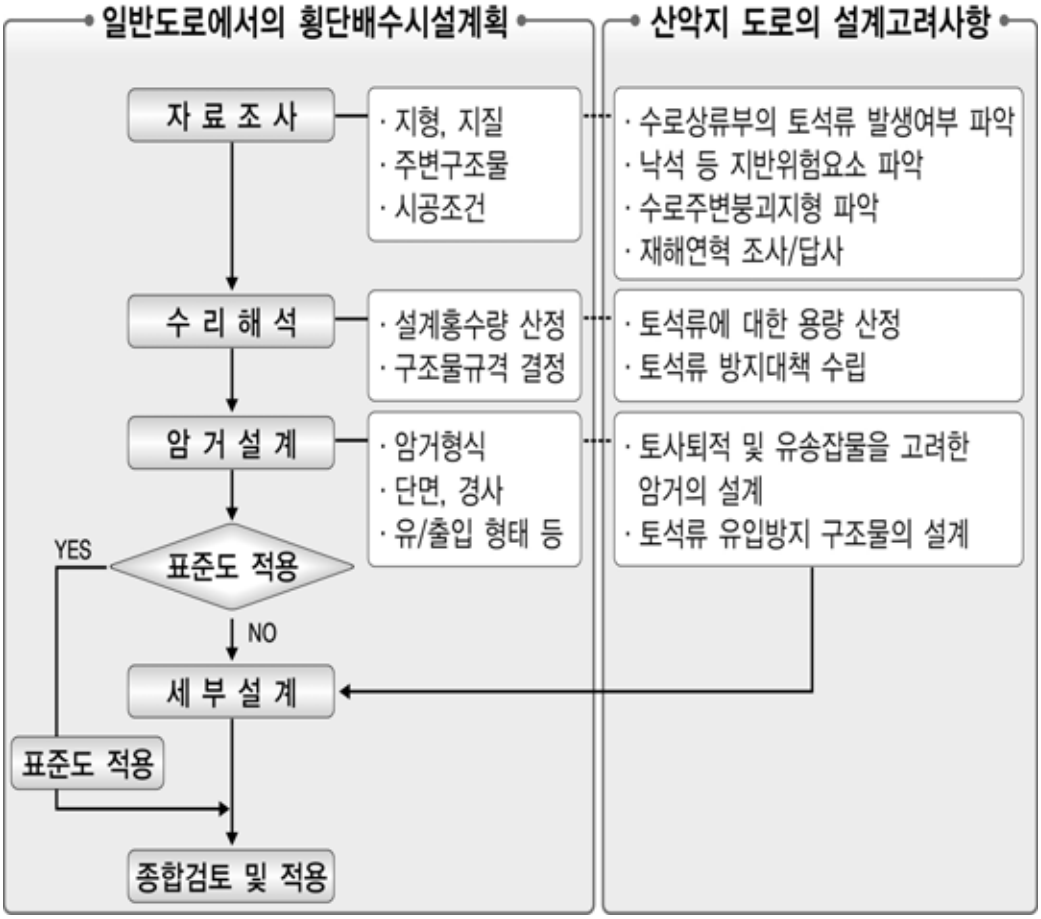
〈그림 6.6.5〉 산악지 횡단배수 암거의 유속감쇄공 및 세굴방지시설 사례

6.6.4 산악지 도로의 횡단배수 시설

❑ 도로의 횡단배수시설의 암거단면은 원형관 또는 박스형태로, 암거의 크기, 경사, 유·출입부의 수심 조건 등에 따라 유입부 조절 또는 유출부 조절을 받는 흐름의 특성을 갖는다.

❑ 산악지에 설치되는 횡단배수시설은 일반구간에 비하여, 토석류 또는 유송잡물의 유입을 고려하여 그 용량을 결정한다.

❑ 산악지 도로의 횡단배수시설 계획은 다음과 같다.



〈그림 6.6.6〉 산악지 도로의 횡단배수시설 설계계획 및 고려사항

❑ 산악지 도로 횡단배수시설의 설치시 고려사항

- 산악지 도로의 횡단배수관의 규격은 토사 퇴적 및 유송잡물을 고려한 수리계산을 실시한다.
- 기존 도로 유실 등의 기록이 있는 구간에 설치되는 횡단배수 암거의 규격은 지형적인 여건을 고려하여 전문가의 자문 등을 통하여 규격을 확대하여 설치한다.
- 토석류의 유입이 예상되는 지역에서는 흄관 또는 VR 관등 원형배수관의 사용보다는 최소규격 2.0×2.0 m 의 수로암거를 사용한다.
- 수로 폭이 6 m 이상이 되는 구간은 2련 암거의 형태로 설치 될 수 있으므로 이때 유송잡물에 의한 암거의 통수단면 부족이 발생될 수 있으므로, 대형수로는 라멘교 등의 소규모 교량으로 계획 설계함으로써 유송잡물 및 토석류의 흐름을 원활하게 한다. 다만, 지형적인 여건 등 암거의 설치가 불가능할 경우, 최소규격 1,500mm 이상의 파형강관 등을 사용하며, 토석류 및 유송잡물 등이 유입되는 경우, 토석류 및 유송잡물 등의 하중에 대한 배수관의 구조적 안정성과 통수 단면을 확보한다.
- 대량의 토석류 및 유송잡물 등이 예상되는 지역인 경우, 도로관리청은 도로부지내에 필요한 차단시설을 설치하며, 도로부지외의 지역에 대해서는 산림청 등 관계기관이 설치하도록 협의한다.
- 산악지 도로의 횡배수관이 하천 및 저수지 등으로 우수를 배제시킬 경우, 해당 수리구조물의 계획 홍수위를 기준으로 횡단배수시설을 설치하여, 우수의 흐름을 원활히 한다.
- 산악지 도로의 횡단배수시설은 토석류에 의한 유량증가 산출 방안을 참고하여 횡단 배수관의 규격을 결정한다.

6.7 토석류를 고려한 산악지 도로 배수시설 설계

6.7.1 일반사항

❑ 산악지 도로의 횡단배수시설의 수리계산 방법은「도로배수시설 설계 및 유지관리지침」에 제시되어 있는 수리계산 방법을 적용한다. 토석류의 유입이 우려되는 지점에 설치되는 횡단배수시설 등은 토석류 및 유송잡물 등을 고려한 유량을 적용한다.

❑ 이 매뉴얼에서는 횡단배수암거의 규격결정에 영향을 미치는 인자 중 상시토사퇴적을 고려한 설계 인자로 $\alpha 1$ 은 20% 로 선정하였으며, 유송잡물 및 토석류의 유입을 고려한 설계인자 $\alpha 2$ 는 횡단배수시설이 설치되는 위치에 따라 적용한다.

6.7.2 산악지 도로의 횡단 배수시설의 규격 검토

❑ 횡단 배수 암거의 수리계산

산악지 도로의 횡단 암거 수리계산은 횡단배수시설에 상시로 퇴적되는 토석류 및 유송잡물을 고려하여 규격을 산정한다.

❑ 설계계산 방법

- 일정한 단면일 경우

  유입부 및 유출부의 수로의 폭과 암거의 경사를 기존수로와 비슷하게 설치하는 경우

- 일정하지 않은 단면일 경우

  유입부 기존수로의 제원과 유출부 기존수로의 제원이 다르거나, 설치될 암거의 경사가 기존수로의 경사와 많이 다를 경우 (산악지나 계곡 등의 부정형인 수로를 횡단)

❑ 일정한 단면일 경우의 수리계산 순서

◉ 일정한 단면은 에너지 손실이 없고 유량과 유속이 동일하다는 가정에서 수두를 계산한다.

◉ 구형 단면인 경우

• 수심 h 를 구한다. (식 6-1)의 h값을 시행착오법으로 반복 계산함 으로써 h를 구한다.

$$Q = A \cdot v = \frac{A}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_0^{1/2} = \frac{1}{n} \cdot (B \cdot h) \cdot \left(\frac{B \cdot h}{B + 2h}\right)^{2/3} \cdot S_0^{1/2} \quad \text{(식 6-1)}$$

Q A

v n $m^{1/3}$

여기서 R : 설계유량(㎥/sec) : 유수단면적(㎡)

B : 유속(m/sec) h : 상하유수로의 조도계수(sec/)

: 경심(m) : 암거(상하유수로)경사

: 암거폭(m) : 수심(m)

• 암거의 높이 D를 (식 6-2)에 의해 결정한다.

$$D = (1 + \alpha_1 + \alpha_2) \cdot h \quad \text{(식 6-2)}$$

여기서, α_1 : 통상의 토사퇴적에 의한 통수단면의 축소를 고려한 여유로 적어도 20% 정도 고려

α_2 : 호우시에 대량의 토사·유목 등이 유입할 우려가 있는 경우

원형 단면일 경우

• 유량비(Q/Q_0)를 (식 6-3)에 의해 구한다.

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{1}{1+\alpha_1+\alpha_2} \qquad \text{(식6-3)}$$

• 유량비에 대한 h/D를 구해서, 다음 (식 6-4)에 의해 ϕ를 구한다.

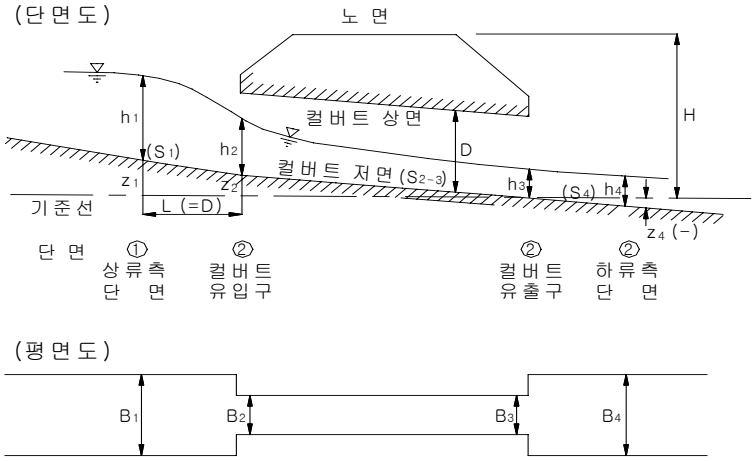
$$h = \frac{D}{2}(1-\cos\phi) \qquad \text{(식6-4)}$$

• ϕ를 다음 (식 6-5)에 대입하여 직경 D를 구한다.

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_0^{1/2} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{D}{2} \cdot \frac{2\phi - \sin 2\phi}{2\phi}\right)^{2/3} S_0^{1/2} \qquad \text{(식6-5)}$$

• 원형관일 경우 (식 6-3)은 구형단면일경우의 (식 6-2)와 대응하여 유송잡물 및 토사 퇴적을 고려할 수 있다.

❑ 일정하지 않은 단면일 경우의 수리계산



여기서, h : 수심

z : 기준선에서 측정한 하상의 높이

h +z : 수위

B : 수로(또는 암거)의 폭

D : 암거의 높이(또는 직경)

H : 노면의 높이

S : 수로(또는 암거)의 종단경사

〈그림 6.7.1〉 횡단배수 암거의 흐름 제원

◉ 일정하지 않은 단면의 수리 계산은 수로와 암거의 단면형상 등이 다르고 흐름이 복잡하며 에너지 손실이 일어난다. 단, 다음 수식의 기호는 〈그림 6.6.7〉암거부의 흐름제원을 참조한다.

◉ 1단계 : 합리식을 이용하여 설계유량을 산정한다.

◉ 2단계 : 암거하면의 경사(S_{2-3})를 결정한다.

- 가능한 한 기존수로와 일치시킨다.
- 암거의 폭이 상류측 수로의 폭보다 가능한 한 넓게 한다.

◉ 3단계 : 암거 폭(B_{2-3}), 높이(H_{2-3})또는 직경(D_{2-3})을 설정한다.

- 수면이 암거 상면에 접하지 않는다.
- 암거 상류측의 수심이 암거 높이의 1.5배를 넘지 않는다.
- 암거 상류측의 수위가 쌓기부 높이를 넘지 않는다.

◉ 4단계 : 하류측 등류수심 (h_{04})를 계산한다.

- 하류측 수로를 구형단면 혹은 제형단면으로 치환하여 구할 수 있다. (“등류수심 산출도” 값을 읽을 수 있고 구형단면의 경우에는 (식6-6)에서 반복계산에 의해 h_{04}를 구할 수 있다.)

$$h_{04} = \left(\frac{n_4 \cdot Q}{B_4 \cdot S_4^{1/2}} \right)^{3/5} \cdot \left(1 + \frac{2h_{04}}{B_4} \right)^{2/5} \qquad \text{(식 6-6)}$$

- 수로가 암거 하류에 굴곡하고 있는 경우에는 h_{04}에서 얻어지는 값에 적절하게 할증한 값을 이용한다. 또한 하류에서 합류하는 하천의 수위에 지배받는 다면 그 수위를 이용한다.

- 5단계 : 암거내 한계수심 (h_{c2-3})의 계산
  - "한계수심 산출도" 를 이용하여 구하거나 구형은 (식 6-7), 원형은 (식 6-8)을 이용하여 구한다.

$$h_{c2-3} = \left(\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot B_{2-3}^2} \right)^{1/3} \quad \text{(식 6-7)}$$

$$h_{2-3} = \frac{D_{2-3}}{2}(1 - \cos\phi_c) \quad \text{(식 6-8)}$$

- 6단계 : 암거내 한계경사 (S_{c2-3})의 계산
  - 한계수심 등을 이용하여 계산한다.

- 흐름형태 판별
  - 2 단계에서 6단계에서 구한 수리조건을 통해 흐름형태를 판별한다.

구 분	$S_{2-3} > S_{c2-3}$	$S_{2-3} < S_{c2-3}$
$h_{04} < h_{c2-3}$	Type - 1	Type - 2
$h_{04} > h_{c2-3}$	Type - 3	Type - 3

- 상류측 수심 h_1의 계산
  - 상류측 단면과 암거 유입부 사이에는 (식 6-9)와 같은 식이 성립한다.

$$h_1 = (1+\epsilon)\frac{1}{2g}\left(\frac{Q}{A_2}\right)^2 + h_2 - \frac{\alpha_1}{2g}\left(\frac{Q}{A_1}\right)^2 + h_{f1-2} - (z_1 - z_2) \quad \text{(식6-9)}$$

  - 암거유입부에 일어나는 프로이드 수(F_{r2})를 (식 6-10)에 의해 계산한다.

$$F_{r2} = \frac{v_2}{\sqrt{gh_2}} = \frac{Q}{A_2\sqrt{gh_2}} \quad \text{(식6-10)}$$

  - F_{r2}에 의해서 단면 급축소에 의한 에너지 손실계수를 구한다.

- $(h_1 + z_1) < H$ (쌓기높이)의 조건을 검토한다.
  - 수위가 도로를 월류하지 않는다는 조건이다. 이 조건은 만족하지 않으면 암거의 폭 B 또는 직경 D 를 크게 하여 다시 계산하다.

- $D > (h_1 + z_1 - z_2)/1.5$ 및 $D > h_{2,\ h_3}$ 의 조건을 검토한다.
  - Type-1,2,3 과 같은 개수로의 흐름이 형성되기 위한 필요조건이다. 이 때 설계상의 D 는 (식 6-2)에 의해 결정한다.

6.7.3 토석류 규모 산정(횡단배수관 수리계산시 α_2 의 산정)

❑ 최대유량

- 산악지 도로에서 교량의 높이나 횡단배수암거의 단면 결정은 토석류에 의한 최대 유량 산정이 필요하다. 일반적으로 수로에서 퇴적되거나 수로바닥 또는 주변 여건에 의해 유입되는 유송잡물 및 토석류의 경우의 최대 유량 Q_{sp}은 다음 식으로 결정할 수 있다.

$$Q_{sp} = \frac{C_*}{C_d} Q_d \qquad \text{(식 6-11)}$$

여기서 Q_{sp} : 토석류의 피크 유량 (㎥/sec)

Q_d : 설계유량 (㎥/sec)

C_* : 계곡 바닥 퇴적토사의 용적토사 농도 (=1-n, n: 간극율)

C_d : 유입되는 토석류의 농도

❑ 토석류의 토사 농도

● 토석류의 토사 농도는 식 (6-12)에서 구할 수 있으며, 여기서 토석류의 단위 체적 중량을 구할 수가 있다. 구조물의 설계상, 토석류의 단위 체적 중량의 계략치가 필요한 경우에는 18kN/㎥ 을 사용 한다.

$$Cd = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)(\tan\phi - \tan\theta)}{\gamma_s}$$

(식 6-12)

여기서, γ_w : 토석류의 단위 체적 중량 (kN/㎥), 〈표 6.7.1〉 참조

ϕ : 물의 단위 체적 중량 (kN/㎥)

: 계곡 바닥 퇴적 토사의 전단 저항각 (°)

θ : 기존수로의 경사(기존수로의 평균경사)

〈표 6.7.1〉 지하수위 이상에 있는 토석류의 단위 중량(γ_s)

(단위 : kN/m^2)

종 류	상 태	단위중량
자 갈	조밀한 것 또는 입도가 좋은 것	20
	조밀하지 않은 것 또는 입도가 나쁜 것	18
자갈섞인 모래	조밀한 것	21
	조밀하지 않은 것	19
모 래	조밀한 것	20
	조밀하지 않은 것	18
사 질 토	조밀한 것	19
	조밀하지 않은 것	17
점 성 토	단단한 것 (손가락으로 눌러 약간 들어감)	18
	약간 연한 것 (손가락으로 보통 힘으로 눌러 들어감)	17
	연한 것 (손가락이 쉽게 들어감)	16
점토 및 실트	단단한 것 (손가락으로 눌러 약간 들어감)	17
	약간 연한 것 (손가락으로 보통 힘으로 눌러 들어감)	16
	연한 것 (손가락이 쉽게 들어감)	14

(자료 : 국도건설공사 설계실무 요령)

- 계곡바닥 퇴적토사의 전단 저항각 (ϕ)는 〈표 6.7.2〉에서 토질상태에 따른 전단 저항각을 선택하여 사용한다.

- 위에서 구해진 Q_{sp}와 Q_d의 수로 단면적과 유역면적은 같으므로, $D_{sp} = a \times D_d$ 라고 정의한다. 따라서, 토석류에 의해서 증가된 유량(수두) 만큼의 수두가 높아진다고 볼 수 있다. 그러므로 (식 6-12)에서처럼 상시 퇴적된 토사의 퇴적율 20% (α_1)외에 $\alpha 2$ 의 백분율을 상시토사퇴적 및 유송잡물을 고려한 수리계산의 유송잡물 및 토석류의 유입을 고려한 여유고 ($\alpha 2$)로써 사용할 수 있다.

$$\alpha_2 = (\frac{Q_{sp}}{Q_d} - 1) \times 100 \qquad \text{(식 6-13)}$$

〈표 6.7.2〉 토질 상태별 전단 저항각

종 류	상 태	ϕ(도)
자 갈	조밀한 것 또는 입도가 좋은 것	40
	조밀하지 않은 것 또는 입도가 나쁜 것	35
자갈섞인 모래	조밀한 것	40
	조밀하지 않은 것	35
모 래	조밀한 것	35
	조밀하지 않은 것	30
사 질 토	조밀한 것	30
	조밀하지 않은 것	25
점 성 토	단단한 것 (손가락으로 눌러 약간 들어감)	25
	약간 연한 것 (손가락으로 보통 힘으로 눌러 들어감)	10
	연한 것 (손가락이 쉽게 들어감)	15
점토 및 실트	단단한 것 (손가락으로 눌러 약간 들어감)	20
	약간 연한 것 (손가락으로 보통 힘으로 눌러 들어감)	15
	연한 것 (손가락이 쉽게 들어감)	10

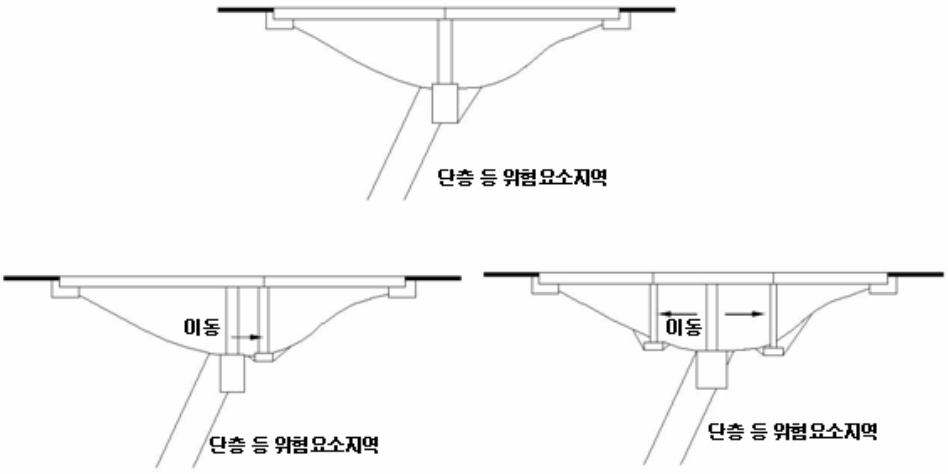
(자료: 국도건설공사 설계실무 요령)

제 7 장 산악지 도로 교량

7.1 일반사항

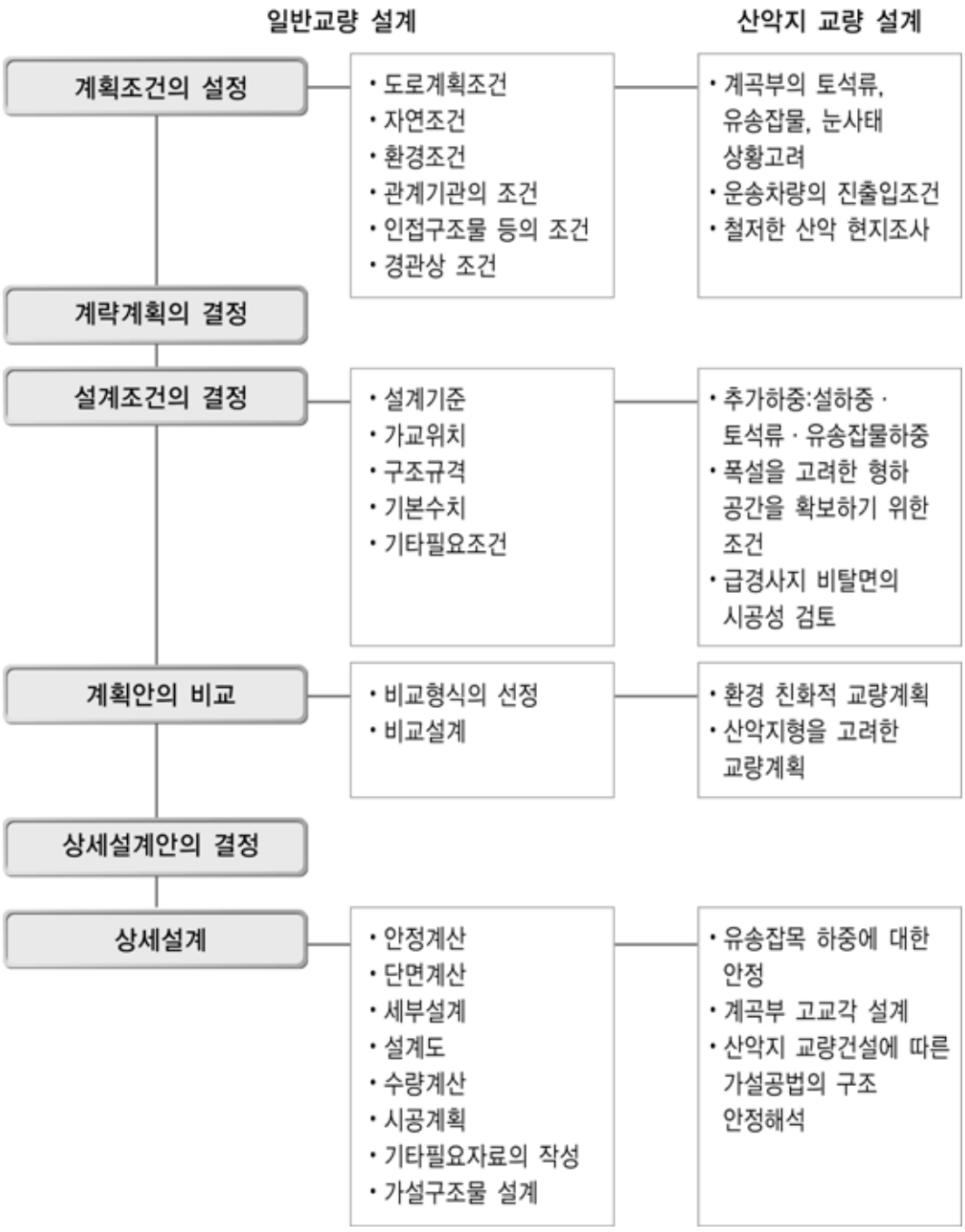
❑ 산악지 도로 교량을 계획할 때에는 다음을 중점적으로 고려해야 한다.

- 산악지 도로 교량은 주변 지형지질 조건과 토석류 및 유송잡물 등을 고려하여 수해 등에 안전한 시설물이 되도록 계획한다.
- 산악지 교량은 주변지형, 터널의 위치, 시공성, 경제성, 유지관리, 자연조건(토석류, 유송잡물, 적설, 눈사태 등), 공사용 도로 등의 현장조건을 종합적으로 판단하여 산악지 교량 설계를 수행한다.
- 지형·지질적으로 단층대 등 위험요소가 있는 지역을 피하여 계획한다.



〈그림 7.1.1〉 산악지 도로 교량 계획시 위험요소 지역을 피해야할 경우

❑ 산악지 도로 교량 계획 및 설계의 일반적인 흐름은 〈그림 7.1.2〉와 같다.



〈그림 7.1.2〉 산악지 도로 교량 계획 및 설계흐름

❑ 산악지 도로 교량의 계획 및 설계시, 〈표 7.1.1〉의 계획조건을 고려한다. 산악지 교량 계획시에는 계곡부의 토석류 및 유송잡물, 눈사태 상황과 환경을 최소화한 공사용 진입도로의 계획 수립과 공사시 자재운송 차량의 진출입 가능여부를 검토한다.

〈표 7.1.1〉 산악지 도로 교량 계획 조건

구 분	교량계획조건
도로조건	• 도로규격 • 평면선형 – 자연훼손을 최소화 • 종단선형 – 현지지형을 이용한 산악지 교량계획 • 횡단면의 구성 – 산악지 급경사 영향 (폭원구성 건축한계 횡단구배) • 교량의 설계하중 – 산악지 교량설계시 적설, 유송잡물, 토석류 적용 • 계획교통량(대형차 교통량)
자연조건	• 지형, 지질 – 구조물 설치개소의 지형, 지질상황 • 토석류 – 강우시 등의 산악지역 발생상황 • 지진 – 내진조건 • 염해 – 비래염분의 영향 및 동결제어제의 영향 • 하상(河相) – 하천횡단, 하상(河床)구배, 세굴상황 등 • 적설 – 산악적설지역의 적설상황 • 눈사태 – 눈이 녹은 시기 등의 산악지 급경사부 눈사태 발생상황
환경조건	• 소음 – 환경영향평가법 등에 따라 영향 예측 • 진동 – 환경영향평가법 등에 따라 영향 예측 • 대기오염 – 환경영향평가법 등에 따라 영향 예측 • 수질오염 – 환경영향평가법 등에 따라 영향 예측
관계기관협의	관계기관이란 하천교는 하천관리자, 도로는 도로관리자, 선로는 철도관리자를 말하며 기타 전신전화, 수도, 전력, 가스 등을 말한다. 산악지 도로 교량은 산림청과도 협의한다.

7.2 설계하중

7.2.1 하중의 종류

❑ 산악지 도로 교량 설계에 고려해야 할 하중은 교량을 구성하고 있는 각 부재에 응력이나 변형을 발생하게 하는 모든 외력과 내력으로, 시공중에 작용하는 하중과 완공 후에 작용하는 모든 하중을 포함한다.

❑ 설계하중은 〈표 7.2.1〉과 같이 「도로교설계기준」 규정에 의하며, 산악지 교량설계에 중요한 유송잡물 및 토석류 하중, 적설하중 등을 고려한다.

〈표 7.2.1〉 설계 하중 규정

하중의 종류	해당 절	하중의 종류	해당절
주하중(P)		12. 지진의 영향(E)	2.1.13
1. 고정하중(D)	2.1.2	주하중에 상당하는 특수하중(PP)	
2. 활하중(L)	2.1.3	13. 설 하중(SW)	2.1.14
3. 충격(I)	2.1.4	14. 지반변동의 영향(GD)	2.1.15
4. 프리스트레스(PS)	2.1.6	15. 지점이동의 영향(SD)	2.1.15
5. 콘크리트 크리프의 영향(CR)	2.1.7	16. 파압(WP)	2.1.16
6. 콘크리트 건조수축의 영향(SH)	2.1.7	17. 원심하중(CF)	2.1.17
7. 토압(H)	2.1.8	특수하중(PA)	
8. 수압(F)	2.1.9	18. 제동하중(BK)	2.1.17
9. 부력 또는 양압력(B)	2.1.10	19. 가설시하중(ER)	2.1.18
부하중(S)		20. 충돌하중(CO)	2.1.19
10. 풍하중(W)	2.1.11	21. 기타	
11. 온도변화의 영향(T)	2.1.12		

(자료 : 도로교설계기준)

7.2.2 하중의 설명

❑ 이 매뉴얼에 없는 하중의 설명은 「도로교설계기준」에 따른다. 특히 산악지 도로 교량은 지형적 특성을 고려하여 유송잡물 하중과 설하중에 대하여 추가적으로 고려한다.

❑ 수압

◉ 산악지 도로 교량은 다리밑 공간에 유송잡물의 퇴적으로 수심의 높이가 증가되어 예상치 못한 월류가 발생하여 피해가 발생된다. 따라서, 유송잡물을 고려한 월류에 의한 상부구조의 안정성을 검토한다.

◉ 상부와 하부구조가 분리인 경우

- 상부와 하부가 받침으로 연결되었거나 분리된 교량은 상부공에 수압을 고려한 설계를 하며 상부구조가 유수압에 의해 안전하도록 설계한다.
- 산악지 계곡부와 사각이 있는 산악지 교량은 교축과 교축 직각방향의 유수압에 대해서도 고려한다.

◉ 상부와 하부구조가 일체인 경우

- 상부와 하부가 일체인 라멘식 산악지 교량은 월류에 의한 유수압을 고려하지 않아도 된다.

❑ 적설하중

◉ 산악지 도로 교량의 적설하중은 「건축구조 설계기준」을 적용하며, 지상적설 하중의 기본 값은 재현기간 100년에 대한 수직 최대 적설 깊이를 기준으로 사용한다.

지상 적설하중의 산정

- 산악지 도로 교량의 지상 적설하중은 〈표 7.2.2〉를 적용하며, 이때, 지역적 기후와 지형에 따라 국부적인 변화를 초래할 수 있다는 점을 고려한다. 같은 지역이라도 고지대나 산간지방 같은 특정한 지형조건은 〈표 7.2.2〉를 사용할 수 없다.
- 특정지역에 대한 지상 적설하중은 실제의 조사 연구에 의한 최대 적설깊이 및 눈의 평균 중량 등을 고려하여 산정한다.
- 최소 지상 적설하중은 0.5 kN/㎡ 로 한다.

지상 적설하중의 기본값

- 산악지 도로 교량에 대한 지역별 100년 재현주기 지상 적설하중(S_g)은 〈표 7.2.2〉에 의한다.

〈표 7.2.2〉 지상 적설하중 (S_g)

지 역	지상 적설하중 (kN/㎡)
서울, 수원, 춘천, 청주, 대전 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 충무, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 울진, 이천	0.5
인천	0.8
속초	20
강릉	30
울릉도, 대관령	70

(자료 : 건축구조설계기준)

❑ 유송잡물 하중

◉ 유송잡물은 교량에 도달하였을 때 충격하중으로 작용하며, 교각에 정체되어 쌓이게 되면, 유수압의 증가와 통수단면의 축소로 인하여 유속이 증가하고 세굴심이 증가하게 된다.

◉ 유송잡물의 충격력을 검토하기 위하여 해당유역의 부유목 등 유송잡물 발생 예상지역의 수목 종류, 크기 등을 조사한다.

◉ 유수압의 고려

유송잡물의 집적에 의해 발생되는 유수압의 증가를 고려하여 유송잡물의 집적에 대한 한계치를 〈그림 7.2.1〉과 같이 유송잡물이 집적된다고 가정하여 유수압을 산출한다.

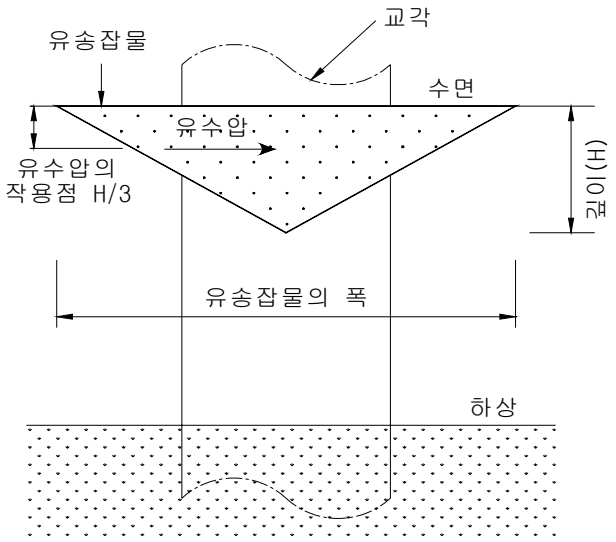
- 유송잡물이 집적되는 깊이 : 홍수위의 1/2, 최대 3m
- 유송잡물의 폭 : 교각이 담당하는 경간의 1/2, 최대 14m
- 식(7-1)을 이용하여 유송잡물의 단면에 적용시킴에 있어 항력계수 C_d는 1.4로 환산하여 작용하도록 제시하고 있다.

$$P = 0.1 \times W\ v \qquad \text{(식 7-1)}$$

여기서, P : 충돌력(kN),
W : 유송잡물의 중량 [kN]
v : 표면유속 (m/s)

◉ 유송잡물로 인한 세굴심의 증가 고려

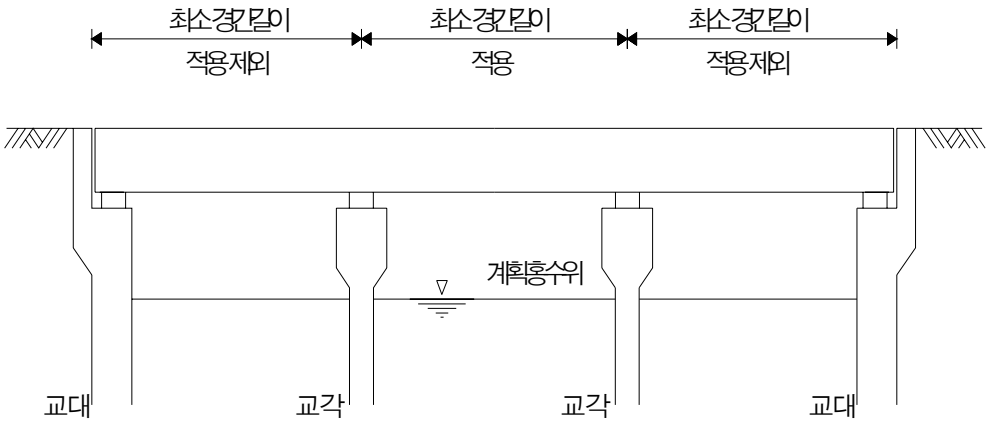
- 유송잡물이 교량 개도부를 막거나 교각에 걸리면, 통수단면적이 줄어들고 교각 폭을 증가시켜 유속이 증가하여 국부세굴이 증가한다.
- 국립방재연구소에서 수행한 수리모형실험 결과에서는 유송잡물이 없는 경우에 비하여 유송잡물이 집적된 경우가 약 40% 정도 국부세굴심이 증가하였다. 따라서, 유송잡물의 집적이 우려되는 지점에 세굴 보호공을 설치하지 않은 교량은 예측된 세굴심에 가중치를 주어야한다.



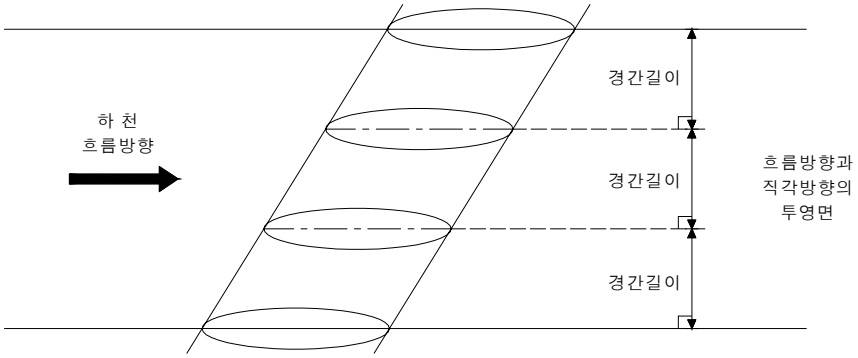
〈그림 7.2.1〉 유송잡물의 집적되는 단면형상과 유수압의 작용 모형

◉ 경간장의 확보

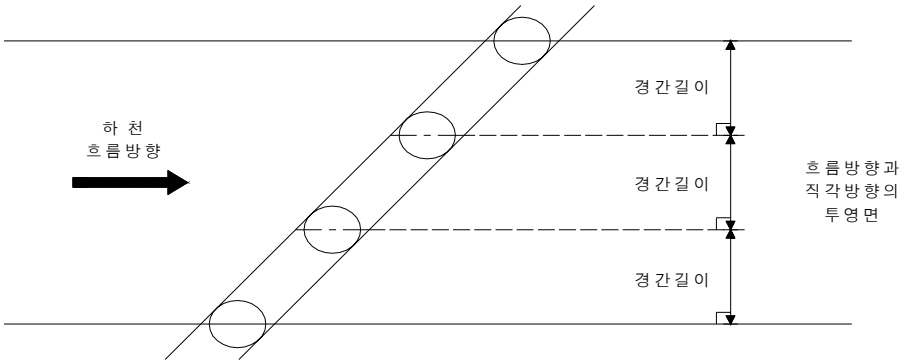
- 유송잡물이 교량에 집적되어 하천의 통수능이 상실될 경우, 교량이 댐과 같은 역할을 하게 되어 수압을 이기지 못하고 파괴된다. 이때 상당한 양의 급류가 하류로 흘러 하류부에 피해를 발생 시킬 수 있다.
- 산지 하천을 횡단하는 교량의 경간장은 「하천설계기준」의 규정을 적용하며, 설치 폭이 20~30m인 경우 가급적 단경간으로 교량을 설치한다. 또한, 유송잡물에 의한 교량 피해를 최소화하기 위하여 유송잡물이 교각에 직접 되지 않도록 〈그림 7.2.2〉와 같이 최소 경간장 14m 이상을 확보하며, 산간 협곡 또는 지형의 상황 등에 의해 치수상 지장이 없는 경우는 축소 가능하다.
- 교대와 교각사이와 교각의 평면 배치가 유수흐름과 직각인 하천 횡단면에서 〈그림 7.2.3〉(b)와 같이 동일한 경우가 아닌 경우는 최소 경간장 규정을 지키지 않아도 좋다.



〈그림 7.2.2〉 일반 교량의 경간 길이



(a) 최소 경간길이 규정 적용



(b) 최소 경간길이 규정 제외

〈그림 7.2.3〉 사교의 경간 길이

7.3 산악지 도로 교량의 기본계획

7.3.1 산악지 도로 교량의 계획일반

❑ 교량 위치

- 교량의 위치는 교량의 구조, 경제성, 시공성, 유지관리 등을 고려하여 교량의 형상과 구조가 복잡하지 않도록 선정한다.
- 교량의 형상은 구조특성을 고려하여 가능한 단순한 평면 및 종단형상으로 한다.
- 교량의 재가설은 현재의 도로 교통의 확보 및 가설범위 등을 고려하여 교량의 설치 위치를 결정한다.
- 산악지 도로 교량 계획시 유의해야 할 사항은 다음과 같다.
  - 주경간의 교량형식 선정에 있어서 계곡부의 토석류 및 눈사태의 상황을 충분히 고려한다.
  - 접속교 비교 설계는 공용 후, 유지관리면을 고려하여 긴 노면이 생기지 않도록 토공부를 포함하여 교량길이를 검토한다.
  - 부재의 반입은 반입로의 폭원, 최소 곡선반경, 운송차량의 총중량 등의 과제이므로 현지조사를 실시하여 부재 길이나 중량 등에 대해 충분히 검토한다.
  - 경사면의 하부공 위치, 형식은 반입로를 포함하여 시공성을 충분히 고려한다.

❑ 교량 길이

- 교량길이는 주변지형, 자연조건(토석류, 유송잡물, 적설, 눈사태 등) 하천폭원, 지반조건 등을 고려한 범위에서 가능한 한 짧게 한다.
- 교량길이의 결정은 다음과 같은 사항에 유의한다.
  - 교량길이에 대한 폭원이 넓은 사교는 경사각을 크게 하여 교량길이를 길게 하는 편이 전체적으로 유리하다.

- 가교지점이 연약지반으로 지반을 쌓기부로 하는 경우나 보강공법의 고성토의 경우는 교량길이를 길게 하는 편이 전체적으로 유리하다.
- 산악지에서 깊은 골짜기에 가교하는 경우, 교대위치에 따라 구체높이가 높아져 시공이 어려워지고 비경제적이기도 하다. 이 경우는 구체 높이를 낮게 하여 교량길이를 길게 하는 것이 전체적으로 유리하다.
- 하천계획이 있는 곳은 각각의 법선을 토대로 교량길이를 정한다.

◉ 계곡부의 비탈면 붕괴 및 낙석, 토석류 등으로 인한 도로 횡단배수시설의 피해가 발생한 지역은 계곡부 유실 흔적을 조사하여 교량으로 계획한다. 교량 길이는 〈그림 7.3.1〉과 같이 자연 형성된 계곡의 폭을 교량의 길이로 하는 것이 바람직하다.

〈그림 7.3.1〉 한계령 배수시설 피해현황

❑ 근접시공

◉ 기존 구조물에 근접하여 교량을 계획하는 경우, 기존 구조물의 영향을 검토하고, 기존 구조물의 형식을 고려하여 기초의 지지층 선정, 기초공 등을 계획한다.

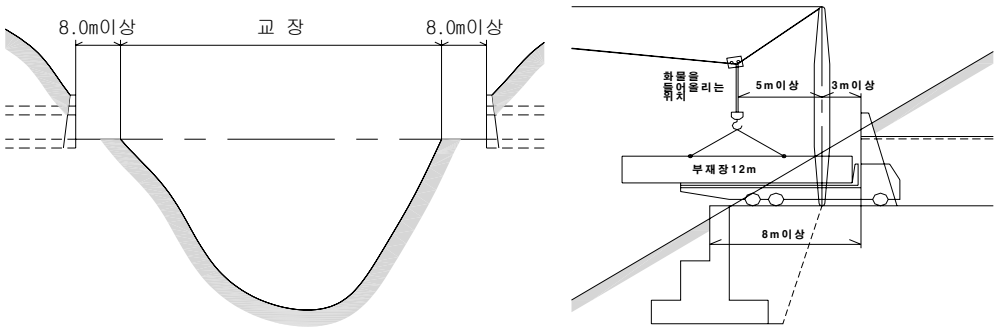
❑ 조사

- 조사는 합리적이고 경제적인 계획, 설계, 시공을 실시하기 위해 필요한 조건을 명확하게 하고, 가교지점, 구조물의 규모 및 중요성 등을 고려하여 실시한다.
- 산악지 도로 교량에서 기초공이 깊은 기초인 경우는 다음과 같은 조사를 실시한다.
  - 깊은 기초가 2개소 이상인 교대, 교각은 기초 네 모서리에 보링 한다.
  - 라멘교대는 각 깊은 기초의 위치에서 보링을 실시한다.
  - 지반조사에 의해 N값, 구멍내 수평재하시험 등의 원위치시험 및 암반층의 확인은 1개로하며, 그 외의 지반조사는 암반선의 위치를 확인한다.

7.3.2 산악지 도로의 교량길이

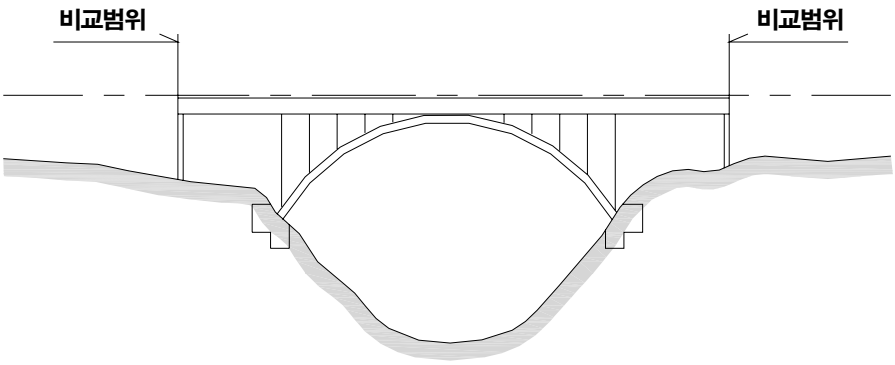
❑ 산악지의 도로 교량길이 결정은 지형에 따라 세가지 형태로 분류한다.

- A 형태 : 앞뒤가 터널인 경우
  - 전후가 터널인 경우, 상부공의 가설시 부재반입은 어느 쪽이든 한쪽에서 이루어지므로 가설상의 최소공간은 8m 정도가 필요하다.
  - 교대위치는 경사면 기초의 여유 폭을 확보하고, 굴착위치, 터널 등을 고려하여 흉벽 전면까지의 거리를 최저 8m 이상을 확보한 상태에서 교량길이를 결정한다.
- B 형태 : 계곡부가 주경간이고 앞뒤가 접속구간인 경우
  - 계곡부가 주경간이고 앞뒤가 접속경간인 경우, 공사비에 영향을 미치는 주경간의 형식과 접속경간의 경제성을 비교하여 교량길이를 결정한다.
- C 형태 : 한쪽 교대위치가 자동으로 결정되는 경우
  - 한쪽 교대위치가 자동으로 결정되는 경우, 주경간의 형식을 가능한 대칭구조로 하며 접속경간을 비교하여 교량길이를 결정한다.

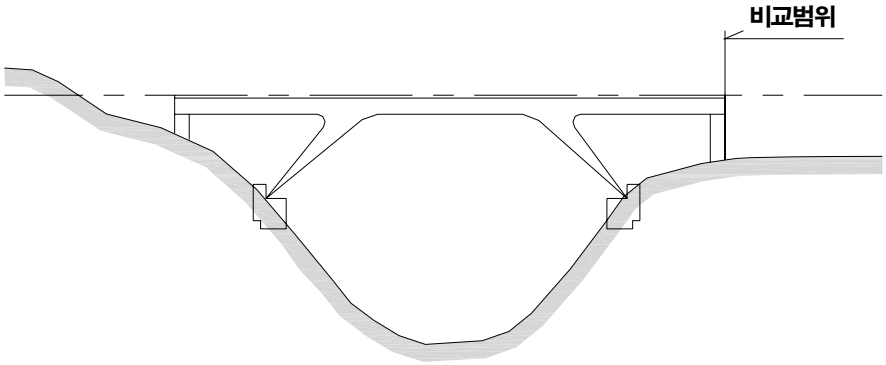


최소의 가설공간

(a) A 형태



(b) B 형태

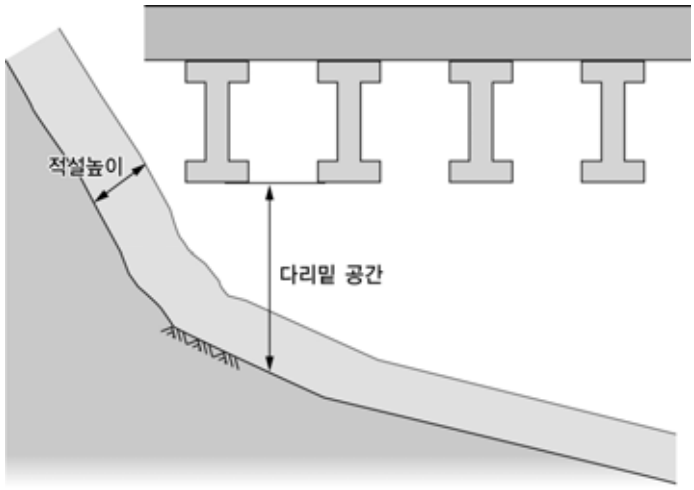


(c) C 형태

〈그림 7.3.2〉 산악지 도로 교량 길이

7.3.3 폭설지역의 다리 밑 공간

❑ 폭설지역의 I 형 거더는 적설하중이 거더에 가해지는 것과 눈사태로 인한 충격압으로 눈피해가 우려되므로 적설높이를 고려하여 다리 밑 공간을 확보한다. 다리 밑 공간의 설정은 입지조건에 따라 달라지므로 쉽게 결정할 수 없지만, 지형지질 및 현지 여건을 고려하여 설계 적설깊이 이상을 확보하여 결정한다.



〈그림 7.3.3〉 폭설지역의 다리 밑 공간

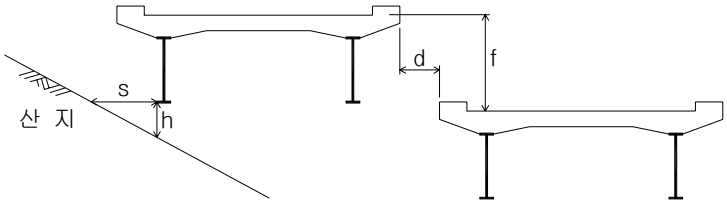
7.4 기타

7.4.1 제빙염 살포의 영향을 받는 교량대책

❑ 상부구조

◉ 적용범위

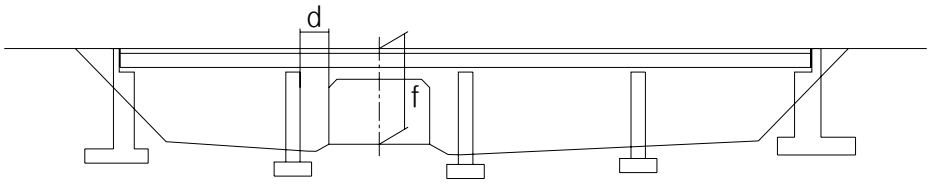
- 폭설이 많은 지역에서 제빙염 살포의 영향을 받는 범위는 교량의 연석, 강성방호책, 산지에 근접한 교량, 병렬교, 교차도로에 제빙염가 살포된 교량본체에 적용된다.
- 교량본체에 대한 대책은 〈그림 7.4.1〉과 같이 산지에 근접한 교량 및 고저차가 있는 병렬교와 〈그림 7.4.2〉와 같은 교차도로에 제빙염을 살포한 도로 교량 노면과 교차도로 노면까지의 높이가 10m 이하의 교량에 적용한다.



산지접근부	고저차가 있는 병렬교
s≦5m, 또는 h≦2m	d≦3m, 또는 2m≦f≦10m

s,h : 동결억제제를 포함한 눈이 산지에 적설하여 교량부재에 접촉한다고 예상되는 범위
d : 인접교량의 제설작업이 인접교량에 영향을 준다고 예상되는 범위
f : 하측교량의 제설이 날려서 상측의 인접교량에 영향을 준다고 예상되는 범위

〈그림 7.4.1〉 제빙염 살포의 영향 범위



d : 교차도로와 교각의 거리 d≦3m
f : 교차도로면에서 교량노면 까지의 높이 f≦10m

〈그림 7.4.2〉 제빙염 살포의 영향을 받는 교량의 교각

◉ 강교

- 강교의 대책은 일반강재를 도장하는 대책을 마련하고 무도장 내후성 강재를 사용하지 않는다. 단, 노면배수의 누수에 의한 안정녹의 유출을 방지하기 위해 배수구와 배수관과의 연결부를 실링하여 유수흐름의 처리를 확실히 하는 경우에는 무도장 내후성 강재를 사용해도 된다.
- 산악지에 인접한 교량, 병렬교량, 교차로에 위치한 강교량의 제빙염 대책은 강재의 종류에 적합한 방식방법을 결정한다.

◉ 콘크리트교

- 산악지의 콘크리트 교량은 주변의 기존 상부구조의 손상상태를 충분히 파악하여 보수에 대한 적절한 대책구분을 정하고 상판 콘크리트 철근의 필요 최소 피복 두께를 확보한다.

❑ 하부구조

◉ 제빙염 살포에 의한 영향을 받는 범위는 교축직각방향의 산지 또는 쌓기 비탈면에 인접한 교대, 교각과 교차로에 동결억제제가 살포된 교량의 교대, 교각에 적용한다.

7.4.2 교량 세굴 대책

❑ 교량 세굴의 설계는 「하천설계기준」을 따른다. 세굴해석을 위한 매개변수와 적용모델은 충분한 현장조사를 통해 수리, 수문학적 특성뿐만 아니라 지반특성 등을 고려하여 수리·수문, 토질 및 기초, 구조 분야의 전문가 자문을 통하여 합리적으로 평가한 후 결정한다.

❑ 기초의 세굴 방지는 토사 또는 암반 위에 놓일 기초는 최대 세굴 예상깊이보다 깊게 근입 시키거나 적절한 세굴방지 대책을 수립한다. 다만, 파쇄나 절리가 없는 견고한 암반에 기초를 설치하는 경우 굴착여부에 무근콘크리트나 세굴방지석을 매몰함으로써 세굴의 영향이 없다고 판단될 때는 예외로 한다.

❑ 세굴보호공

- 교량 주변에서 발생하는 세굴로 인해 기초의 일부 또는 전부가 흐름에 노출되어 교량의 안전을 해칠 우려가 있는 경우에는 교각 및 교대 주변에 세굴방지공이 필요하다.
- 세굴 보호공은 「하천설계기준」과 「도로교설계기준」에 준하여 설계 및 시공하며, 각 공법의 재료와 특성이 상이하기 때문에 세부적인 사항은 각 공법의 설계기준과 시방에 따른다.

제 8 장 산악지 도로 터널

8.1 일반 사항

❑ 산악지 도로 터널 조사는 터널공사에 영향을 미치거나 터널공사로 영향을 받을 수 있는 지형조사와 지반조사를 실시하고, 광역조사는 지형도나 항공사진 등을 이용하여 분석하며, 현장답사를 통하여 조사의 적정성을 확인한다.

❑ 수리 · 수문 조사는 시공중 발생하는 용수나 주변 지표수 및 지하수의 영향과 터널면의 자립성, 터널내 용수의 형태와 규모, 배수시설과 양수설비 등에 미치는 영향을 분석하기위한 기초자료로 활용한다.

❑ 터널굴착에 따른 지하수 거동 예측은 터널의 용도 및 주변 환경영향을 고려하여 대상지역에 적합한 시뮬레이션 기법을 선정하여 시행한다.

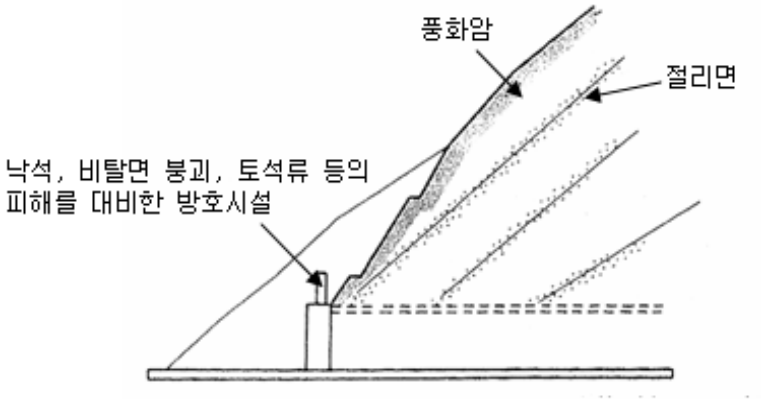
❑ 터널공사로 인하여 갈수가 예상되는 우물, 저수지, 용천, 하천 등은 그 분포, 수량의 계절적 변화, 이용 상황 등을 조사하여 갈수 대책의 자료로 이용한다.

❑ 터널의 방재시설은 터널연장 및 교통량, 터널 종단경사, 통행방식, 위험물의 수송에 대한 법적규제, 대형차 혼입율, 정체정도 등을 고려하여 위험도 평가를 실시한다. 위험도 평가를 통하여 방재등급을 결정하고 적정한 방재시설을 계획하며 교통량이 적은 경우에는 단계별로 방재설비를 설치하는 방안을 검토한다.

8.2 산악지 도로 터널 평면선형 계획

❑ 산악지 도로 터널의 평면선형 계획시에는 다음 사항을 고려한다.

- 터널노선은 가능한 한 지반조건과 시공성이 양호하고 유지관리가 용이하며 주변환경에 미치는 영향이 적은 곳으로 결정한다. 특히, 편압이 예상되는 비탈면과 습곡지역, 애추(talus) 분포지역, 용출수나 지표수가 많을 것으로 판단되거나 조사된 지역, 안정성이 우려되는 단층 및 파쇄대지역 등은 가급적 피하도록 계획한다.
- 평면선형은 가능한 한 직선으로 계획하되 주변여건, 지형현황, 지반조건, 터널길이 등을 고려하여 곡선으로 계획할 경우에는 이용자 측면을 고려하여 곡선반경을 크게 한다.
- 산악지 도로 터널의 갱구 위치는 안정된 지반으로 지형조건이 좋은 위치에 선정하며, 토지이용 현황과 토피 등을 고려하여 환경성과 시공성을 우선하여 결정한다.
- 선형계획시 제반 제약조건으로 인해 편압이 작용하는 곳에 갱구를 설치하거나 갱구주변 지반에서 비탈면 활동, 낙석, 토석류, 홍수, 눈사태 등이 예상되는 조건을 가질 경우에는 갱문의 구조선정에 유의하고 방호설비 등을 추가적으로 검토한다.



〈그림 8.2.1〉 산악지 터널 갱구주변의 위험 요소를 대비한 방호 대책 사례

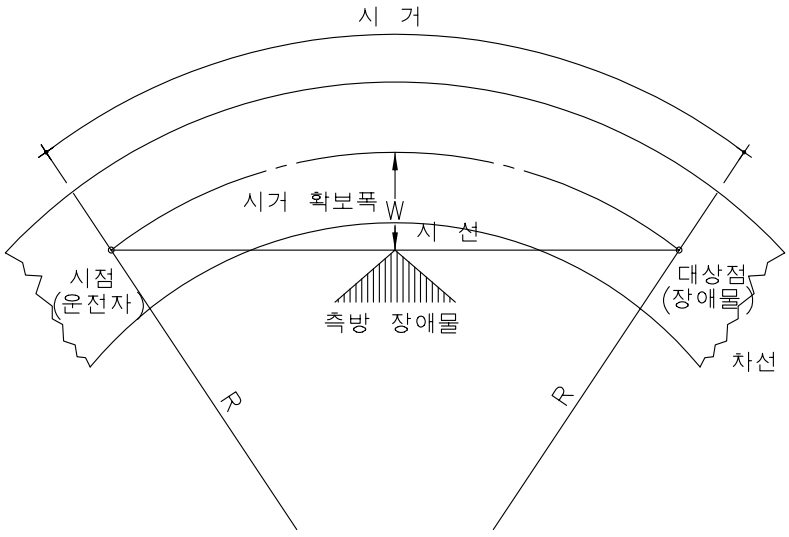
❑ 산악지 도로 터널을 곡선터널로 계획할 경우, 운전자가 안전하게 정지하거나 장애물을 피해서 주행할 수 있도록 필요한 정지 시거를 검토한다.

$$W = R\left[1-\cos\left(\frac{D}{2R}\right)\right] = \frac{D^2}{8R}\left(1-\frac{D^2}{78R^2}+\cdots\cdots\right) \simeq \frac{D^2}{8R}$$

여기서, W : 차선중심으로 부터의 시거확보 폭. 즉, 차선폭의 1/2 + 측방 여유폭 + 시설대

R : 차도중심선의 곡선반경

D : 설계속도에 따른 정지시거



〈그림 8.2.2〉 산악지 도로 곡선 터널내 시거확보 폭

❑ 정지시거 검토는 터널 측벽면에 대한 정지시거의 확보여부 뿐만 아니라 터널 내 공동구 및 검사원 통로 난간 등의 시설물에 대한 정지시거의 확보여부도 검토한다.

$$h_{max} = 0.15 + \frac{0.85}{d}\left[\frac{d}{2} - \sqrt{(R-w)^2 - \left(R^2 - \frac{d^2}{4}\right)}\right]$$

$$d = 2R\sin\left(\frac{D}{2R}\right) \qquad R - \sqrt{\left(R^2 - \frac{d^2}{4}\right)}$$

여기서, $\sqrt{\quad}$, $w = \sqrt{\quad}$

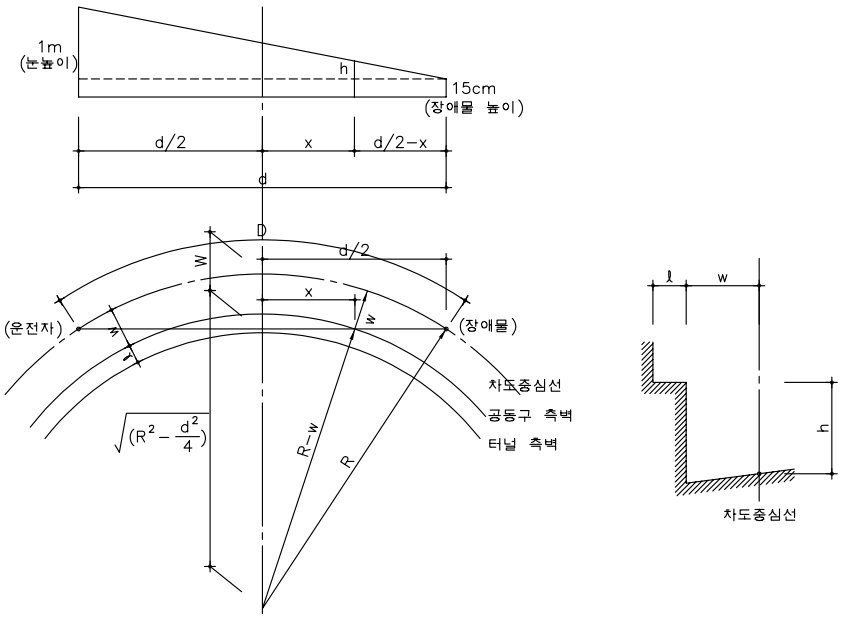
hmax : 공동구의 허용 최대높이

d : 운전자와 장애물간의 직선거리

w : 차도중심선과 공동구와의 이격거리

R : 차도중심선의 곡선반경

D : 정지시거



〈그림 8.2.3〉 공동구 높이와 정지시거의 관계

8.3 배수 설계

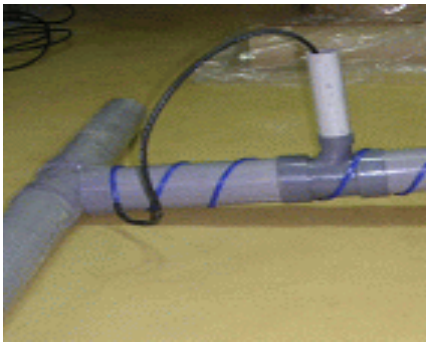
❑ 동절기에 동결이 예상되는 지역의 터널 갱구부는 터널내 온도에 따른 배수시설 설계시 동결방지대책을 검토한다.

❑ 터널의 결빙방지 단열설계는 북유럽 노르웨이 경우 교통량과 라이닝에 따라 방수 및 단열재를 설치하도록 규정하고 있다.

❑ 산악지가 많은 강원도 및 경기도 북부지역 등의 동결지수는 700℃·일 이상이며, 고속도로 터널의 결빙피해도 수정 동결지수 700℃·일 이상에서 발생하므로, 이와같은 지역은 터널 배수시설에 대한 단열설계를 검토한다.

❑ 산악지 도로터널의 배수시설에 대한 결빙방지 방안으로 종·횡배수관에 단열재+열선을 설치하는 방법, 단열재 삽입 및 부착 방법, 집수정에 열풍기를 설치하는 방법, 라이닝 배면에 단열재(PE Form)를 설치하는 방법이 있다. 국내에서는 종·횡배수관에 단열재+열선 설치, 집수정에 열풍기 설치방법에 대한 적용사례가 있다. 〈표 8.3.1〉은 국내 산악지 도로터널에서 적용한 사례이다.

〈표 8.3.1〉 산악지 도로 터널의 배수시설 결빙 방지시설 사례

구 분		단열재 + 열선	열풍기
개 요			
		• 종 · 횡배수관에 열선을 감고 외부를 단열재로 피복하여 외기온도 전달을 차단하고 집수정 내부의 온도를 상승시키는 방법	• 집수정에 직접 열풍을 가하여 집수정 내부 온도를 상승시키는 방법
특 징		• 시공중 콘크리트 내부에 설치되므로 미관과 관리 양호 • 보수 곤란	• 운영중인 터널의 결빙대책 방안 • 구조물 외부에 설치하여 미관상 불리 • 분실에 대한 관리 필요
적용 사례	터널명	화악터널	대관령 1터널
	위 치	경기도와 강원도 경계	강원도
	계획고	해발 880m	해발 730m
	최저온도	-25℃	-18℃

8.4 갱구부 설계

❑ 갱구부 설계시에는 다음 사항들을 검토하여 안정성을 확보하고 환경훼손을 최소화 할 수 있도록 한다.

- 갱구의 위치 및 설치방법
- 갱구부의 시공 범위
- 갱구부의 굴착공법, 지보구조, 보조공법과 콘크리트 라이닝 구조
- 갱구 비탈면의 안정 검토와 필요한 비탈면 보호 및 안정공법
- 갱구 비탈면의 지표수 및 지하수 배수 대책
- 기상재해의 가능성과 필요한 대책공법

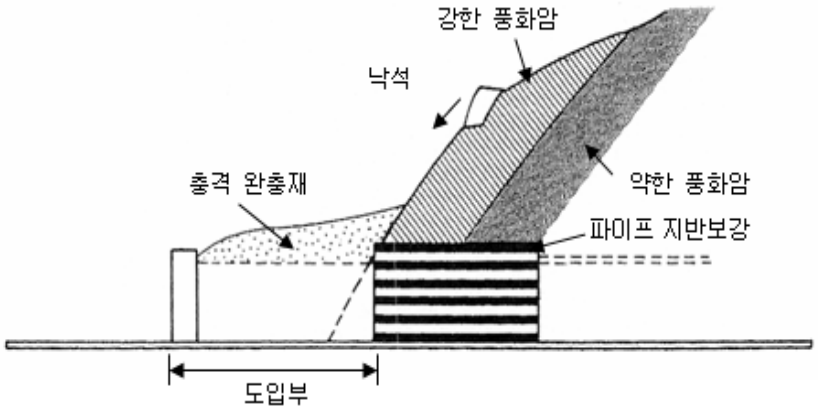
❑ 갱구부의 위치는 지형 및 지질이나 기상조건에 영향을 크게 받으므로 지형과 터널 중심 축선과의 위치관계에서 터널 중심축선은 지형 경사면과 가급적 직교하도록 하며, 이 경우 경사면 하단보다 상부지역에 갱구부가 계획될 때에는 인접 구조물을 고려하여 공사용 도로를 확보한다.

❑ 갱구의 위치는 깎기 비탈면의 안정과 자연 지형 보존을 위하여 깎기를 최소화할 수 있는 위치로 선정하며 갱구위치별의 깎기량에 대한 경제성, 시공성, 환경영향 등을 비교 검토한다.

❑ 갱구 비탈면의 경사는 지반조건에 따라 선정하며, 필요시 비탈면 안정성 확보를 위하여 표면보호공법, 활동방지대책 등의 보강공법을 적용한다.

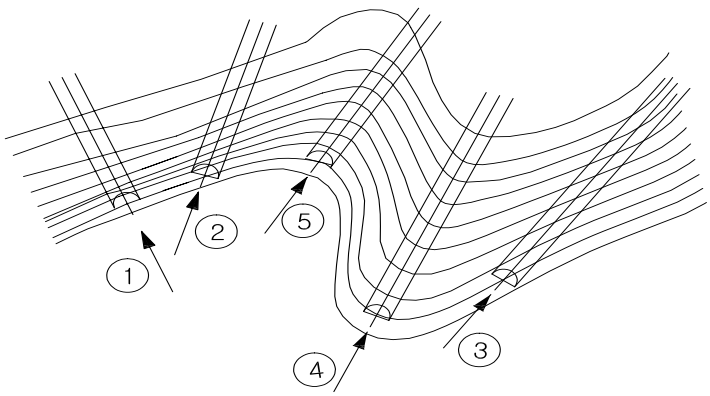
❑ 터널 중심축선과 경사면의 위치관계에서 3차원 거동이 예상되거나 편압이 작용되는 경우, 터널 안정해석시 이에 대한 검토하며, 안정성이 확보되지 않는 경우에는 암쌓기와 깎기로서 지반압의 균형을 맞추도록 하거나 불균형의 응력 발생에 대비한 보강대책을 적용한다.

❑ 갱문의 형식은 면벽형과 돌출형이 있으며, 해빙기와 집중호우시 낙석, 산사태, 토석류, 눈사태 등으로부터 이용자의 안전을 확보할 수 있도록 갱문 형식을 선정, 설계한다.



〈그림 8.4.1〉 낙석, 토석류 등 위험 요소를 대비한 사례

❑ 터널 갱구의 형태는 지형과 터널축선과의 관계를 고려하면 〈그림 8.4.2〉과 같이 5가지로 구분할 수 있다. 가장 이상적인 갱구형태는 경사면 직교형(①)이지만 노선 선정상의 제약을 받아 직교하기가 어려울 때에는 터널 축선과 경사면의 등고선과는 60° 이상의 교차 각도로 하는 것이 바람직하다.



① 경사면 직교형 ② 경사면 경사교차형 ③ 경사면 평행형
④ 밑뿌리 진입형 ⑤ 골짜기 진입형

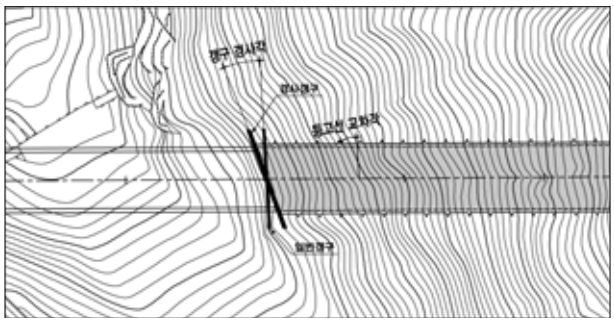
〈그림 8.4.2〉 산악지 도로 터널의 갱구 형태

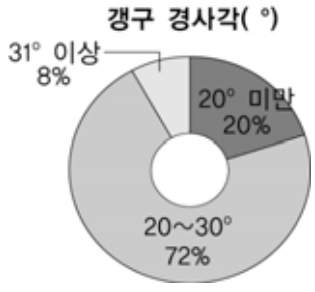
❑ 우리나라의 산악터널에서의 갱구형태는 산악지형여건상 〈그림 8.4.2〉에서 ②와 ③의 갱구형태가 가장 많고, 이러한 지형에서 갱구부 시공은 갱구부의 비대칭적 대규모 깎기가 발생되어 심각한 환경훼손이 발생한다.

❑ 산악지의 지형여건을 고려하여 경사갱문을 적용할 수 있다. 일본의 경우는 등고선의 교차각이 20° 미만인 경우, 경사갱문을 적용하지 않고 있으며, 갱문 경사각은 40° 미만으로 20~30° 로 적용한 사례가 대부분이다. 〈표 8.4.1〉은 일본의 경사갱문 시공사례를 나타낸다.

〈표 8.4.1〉 경사 갱문 시공사례

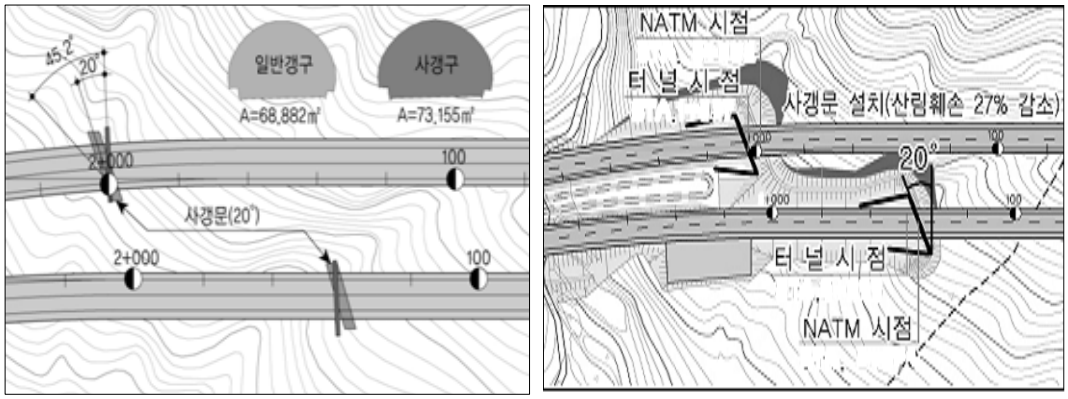
구분	사례터널 연장	비탈면 경사	등고선 교차각	갱문 경사각	적용 사유
1	1,148m	50~60°	35°	19.5°	• 비탈면 급경사, 한쪽경사 • 교대와 근접 • 표층의 활동억제 및 굴착중 안정 확보
2	1,965m	39°	25°	25°	• 한쪽경사 지형 • 교대와 근접 • 굴착으로 인한 터널상부 국도 침범을 피하기 위함
3	316m	22°	35°	15°	• 한쪽경사 지형
4	571m	40°	45°	32°	• 비탈면 급경사, 편경사 • 교대와 근접 • 암쌓기와 치환기초의 저감으로 경제성 확보
5	543m	60°	25°	25°	• 비탈면 급경사, 한쪽경사 • 교대와 근접
6	73m	40°	45°	20.1°	• 비탈면 급경사, 한쪽경사 • 교대와 근접 • 구조물이 저감되어 경제적으로 유리





(자료: 일본토목학회)

❑ 국내에서도 최근 경사 갱문을 적용한 사례가 있다. 병설터널과 같이 일방터널에서는 갱문 좌우의 원근감 차이로 인하여 주행시 운전자가 위압감을 느낄 수 있으므로 출구부에만 경사갱문을 설치하여 위압감 감소를 도모하거나, NATM 갱구만 경사갱구를 설치하고 개착터널을 연장한 후 일반 갱문을 설치할 수 있다. 〈그림 8.4.3〉는 국내에서 경사갱문을 적용한 설계사례이다.



〈그림 8.4.3〉 국내 경사갱문 설계사례

❑ 갱구부 지형이 급경사이고 하천 등이 위치하여 교량의 교대가 갱구부에 근접할 때에는 터널 갱구부 조성을 위해 별도의 공사용 진입도로를 계획한다.

❑ 산악지 깎기에 의한 진입로 계획이 곤란할 경우, 가설공법에 의한 진입로 계획과 교량을 이용한 방법이 있다. 가설공법에 의한 진입로 계획은 하천점용허가를 먼저 검토하고 교량은 교량 시공공정을 고려한다.

❑ 대규모 자연 절벽에 갱구가 위치할 경우에는 자연절벽의 안정성을 평가하고 필요시에는 록앵커 등으로 선보강하여 갱구부 터널굴착계획을 수립한다.

8.5 피암터널 설계

❑ 피암터널 적용 검토 구간

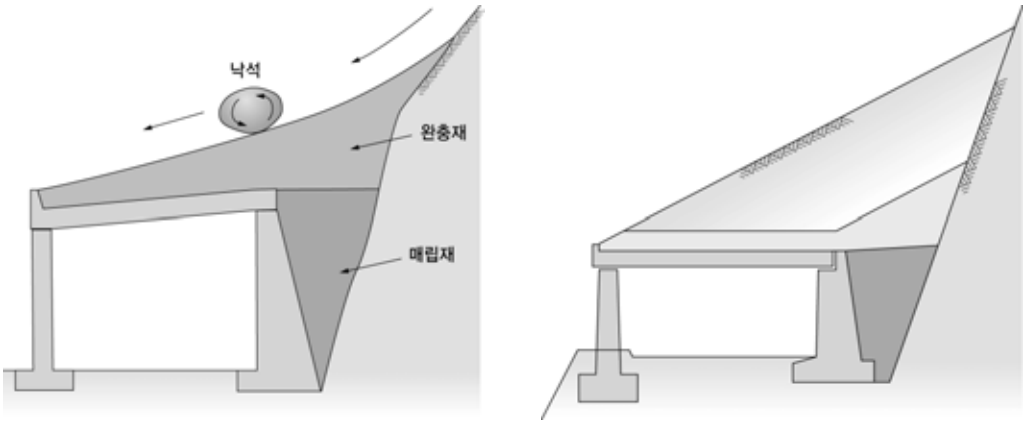
- 도로 인근에 여유 폭이 없고, 대규모 낙석 등의 발생 가능성이 있는 급경사 절개면
- 지형 및 지질 조건 등을 고려하여 깎기면 높이가 높은 지역
- 낙석의 규모가 커서 일반 낙석방지시설로 방어하지 못하는 경우, 도로상에 낙석 등이 직접 떨어지는 구간

❑ 피암터널은 철근콘크리트나 강재 등을 이용한 터널형태의 구조물을 계획하여 깎기부 상부에서 발생한 낙석을 도로 바깥쪽으로 이동하게 하여 낙석에 의한 도로 피해를 방지한다.

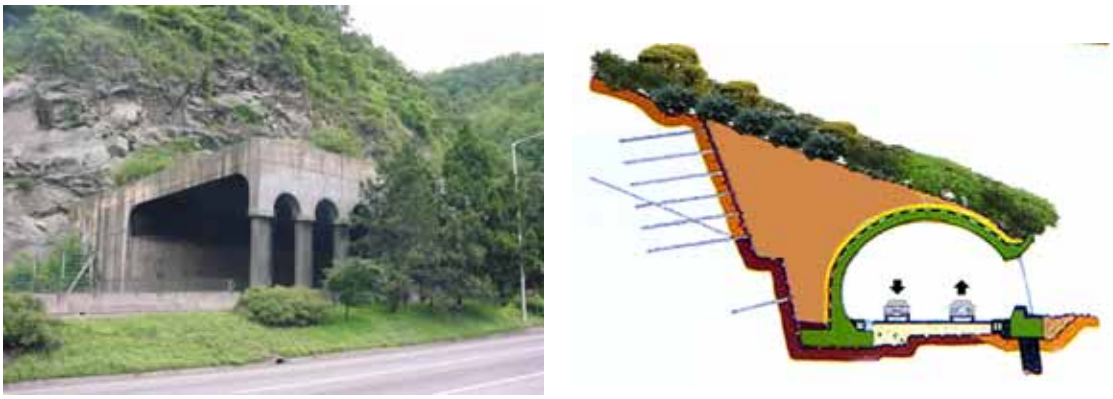
❑ 피암터널의 설계는 「건설공사 비탈면설계기준」을 적용하며, 형식은 지형조건과 지반조건, 주변 경관, 낙석 규모 등을 고려하여 형식을 선정한다.

❑ 피암터널의 구조와 단면결정은 낙석의 규모, 낙하높이 등을 현장조사를 실시하고, 낙석에 의한 충격하중, 복토하중, 작업하중, 횡토압 등의 하중을 고려하여 구조검토를 통해 결정한다.

❑ 피암터널의 설치구간은 비탈면 높이, 비탈면 경사도, 비탈면 안정해석결과 등을 종합적으로 검토하여 구간을 선정한다.



〈그림 8.5.1〉 피암터널 설계 방안



(a) 암거 형식(옥천터널)　　(b) 아치 형식

〈그림 8.5.2〉 피암터널 형식 사례

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 국도건설공사 설계실무요령, 2005.
2. 건설교통부, 도로공사 설계적용 기준, 2000.
3. 건설교통부, 도로공사 표준시방서, 2003.
4. 건설교통부, 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침, 2003.
5. 건설교통부, 도로부대시설(배수시설, 안전시설), 1998.
6. 건설교통부, 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000.
7. 건설교통부, 도로터널 방재시설 설치지침, 2005.
8. 건설교통부, 시설물 유지관리지침, 1997.
9. 건설교통부, 터널내 포장설계지침, 2005.
10. 건설교통부, 터널설계기준, 2007.
11. 건설교통부, 하천설계기준, 2005.
12. 건설교통부, 한국의 아름다운 길 100선, 2006.
13. 건설교통부, 환경친화적 도로건설 편람, 2004.
14. 건설교통부, 환경친화적인 도로건설요령, 1998.
15. 건설교통부 부산지방국토관리청, 절취사면 현황도작성(방침사항), 2005.
16. 건설교통부, 1999년도 수자원관리기법 개발 연구조사, 2000.
17. 건설교통부, 도로 풍수해 대비 핸드북, 2007.
18. 건설교통부, 2006년 7월 태풍 및 집중호우 피해 조사, 2006.
19. 건설교통부·환경부, 환경친화적인 도로건설지침, 2006.
20. 건설교통부,한국건설교통평가원, LCC를 고려한 경제성 분석 및 도로시설물 성능향상, 2006.
21. 건설교통부, 도로설계편람-토공 및 배수편, 2000.

22. 고평국, 안대진, 김우선, 정동호, 한경우, 한웅걸, “환경훼손 최소화를 위한 국내최초 경사갱문의 설계적용 사례”, 한국터널공학회지, 제8권 제2호, pp.53 ~59, 2006.
23. 김대영, “국내 터널 단열설계의 필요성-대관령 1 터널 사례를 중심으로”, 현대건설 2005년 창립기념 기술세미나 논문집, 2005.
24. 김상엽, 최재성, 이승용, 한형관, “도로설계 적정화를 위한 새로운 지형구분에 관한 연구,” 한국도로학회 논문집, 제8권4호, pp.49-62, 2006. 12.
25. 대한건축학회, 건축구조설계기준, 2005.
26. 문상조, 황영철, 서성호, “카르스트 지형에서 형성된 대규모 절벽에서의 터널설계 및 시공사례”, 대한토목학회, 2003 가을학술발표회 논문집, 2003
27. 박병철, 오금호, “홍수시 유송잡물에 의한 교량피해 저감방안 방재연구”, 제4권 제1호, 2002. 3.
28. 손원표, 도로공학원론, 반석기술, 2006
29. 석진호, 권승, 김선홍, 부성민, “기존 터널 확대굴착시기 발생된 과대여굴부에 대한 보강방안 시공사례”, 대한토목학회 제6회 터널 시공기술 향상 대토론회, pp.185~199, 2006
30. 신영완, “도로터널의 시거검토”,대한터널협회지, vol.2,No.1, pp.150-152, 2000.
31. 심관보, 최재성, “사례분석을 통한 도로설계속도 결정방법론 적용성 평가(기능 재분류와 지형특성 이용)”,대한교통학회지 제24권 제2호, 2006.4.
32. 유병옥 외 3인, “2006 강원인제, 양양, 평창지역 토석류 발생 사례 분석”, 한국지반공학회 가을학술발표회, pp.615-625. 2006. 10
33. 이용수, 최창호, 정하익, 권기환, “집중호우에 의한 도로시설물 피해 원인 및 대책”, 2007년도 한국방재학회 학술발표대회, 한국방재학회, pp.458-461. 2007. 2.
34. 이용수, 조진우, “도로에서의 유성잡물 차단시설 설치방안”, 2004년도 대한토목학회 정기 학술대회 논문집, 대한토목학회, 2004. 10.

35. 황인태 편역, 아름다운 도로설계 매뉴얼, 2005
36. 한국건설기술연구원, 자동차의 랜드 스케이프 계획, 1996
37. 한국도로공사, 도로설계요령 제1권 도로계획 및 기하구조, 2002
38. 한국도로공사, 도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 2002
39. 한국도로공사, 도로설계요령 제3권, 2001
40. 한국도로공사, 도로설계요령 제4권 터널, 2001
41. 한국도로공사, 도로설계요령 제6권 도로안전 부대시설 및 환경, 2002.
42. 한국도로교통협회, 도로설계기준, 2005.
43. 한국수자원학회, 하천공사표준시방서, 1999.
44. 한국시설안전기술공단, 건설공사비탈면설계기준, 2006.
45. 한국지반공학회, 구조물기초 설계기준 해설, 2003.
46. 한국지반공학회, 구조물기초 설계기준, 2002.
47. 행정자치부, 국립방재연구소, 토석류의 발생작용 및 피해저감에 관한 연구, 2004. 2.
48. 행정자치부, 국립방재연구소, 소하천 시설기준, 1999.
49. AASHTO, Highway Drainage Guideline(Metric Version), 1999.
50. AASHTO, Model Drainage Manual, 1991.
51. AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, SI Units, 4Th Edition, 2007.
52. FHWA, Debris Control Structures, Hydraulic Engineering Circular, No. 9, 1971.
53. FHWA, Debris Control Structures Evaluation and Countermeasures, Third Edition, Hydraulic Engineering Circular, No. 9, 2005.
54. FHWA, Hydraulic Design of Highway Culverts, 1996.
55. FHWA, Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, Hydraulic Engineering Circular, No.14, Third Edition, 2006.
56. State of California Department of Transportation, Storm Water

Quality Handbooks, 2003.
57. Iowa Department of Transportation, Design Manual, 1998.
58. 國土交通省 東北地方整備局, 設計施工マニュアル,
59. 日本道路協會, 道路土工-排水工指針, 1987
60. 日本道路協會, 道路土工-擁壁工指針, 1999
61. 日本道路協會, 道路土工-のり面工 · 斜面安定工指針, 1999
62. 日本道路協會, 道路土工要綱, 1990
63. 日本土木學會, トンネル標準施方書[山岳トンネル編]·同解說, 1996
64. 土砂災害 調査 マニュアル, 松村和樹, 1988
65. 國土開發技術研究 自然になじむ山岳道路-ダム對替道路の事例より考える,山海堂, 1996.
66. 土質工學會, 土砂災害の予知と對策, 1985

산악지 도로 설계 주요 체크리스트

구 분		점 검 사 항	점검결과
적용범위		○ 산악지역으로 적용 범위 판단은 적절한가?	
노선대 현장답사 및 각종조사		○ 도로계획 주변에 대한 집중호우시 토석류 및 비탈면 붕괴, 홍수위 흔적, 도로 침수 및 유실, 하천 만곡부에서 월류로 하천제방유실 등을 조사 하였는가?	
노선계획 검토 및 관련기관 협의		○ 산사태 발생 가능성이 있는 곳은 피하였는가? ○ 가급적 재해 위험예상지역의 노선계획은 지양하였는가? ○ 노선계획주변의 재해 발생가능성에 대해 검토하였는가? ○ 산사태 및 토석류 피해방지를 위한 관련기관과의 협의(산림청,지차체 등)는 수행하였는가? ○ 산악지 도로의 노선계획 선정시 주요 고려사항을 검토하였는가? ○ 대규모 깎기나 쌓기 발생시 평면 및 종단선형의 상·하행 분리방안도 검토하였는가? ○ 토석류 발생지역의 계곡부 통과시 교량, 터널, 대형암거 등을 검토하였는가? ○ 산악지 도로배수시설 계획시 수리·수문, 도로, 토질 및 기초, 지질 및 지반 전문가의 자문 절차는 시행하였는가? ○ 하천 만곡부 통과시 수리특성상 비탈면 세굴의 우려가 높은 구간은 교량 등 구조물 처리를 하였는가? ○ 하천과 인접한 지역의 노선계획시 수충부의 피해발생에 대한 예방대책은 세웠는가? ○ 적설·결빙예상지역 우회통과 및 대책은 세웠는가? ○ 강풍예상지역 안전시설 계획은 수립하였는가?	
실시설계	토공	○ 비탈면 발생은 최소화하였으며, 비탈면에 대한 안정해석을 검토하였는가? ○ 깎기 비탈면 도수로의 위치는 적절한가?	
	배수	○ 토석류 및 유송잡물을 고려하여 배수규격을 결정하였는가? ○ 토석류 및 유송잡물 차단시설물을 설치 검토하였는가? ○ 주요배수시설물의 설계빈도, 홍수량 등을 적정하게 적용하였는가? ○ 계곡 하천 수충부의 피해예방을 위한 설계는 적정한가?	
	교량	○ 교량계획시 유송잡물의 피해를 고려하여 경간장을 확보하였는가? ○ 교량기초계획시 세굴에 의한 대책은 마련하였는가?	

□ 집필진

총괄	이용수 (한국건설기술연구원, 연구책임자)
제1장 총칙	이용수 (한국건설기술연구원)
제2장 산악지 도로	이용수 (한국건설기술연구원) 정하익 (한국건설기술연구원)
제3장 산악지 도로 계획 및 조사	이태옥 (평화엔지니어링) 최영환 (서영엔지니어링)
제4장 산악지 도로 선형	김동수 (한맥기술) 김종민 (한국건설기술연구원) 조현준 (평화엔지니어링)
제5장 산악지 도로 비탈면 및 토석류	김석찬 (남원건설엔지니어링) 이용수 (한국건설기술연구원) 고정현 (한국건설기술연구원)
제6장 산악지 도로 배수시설	이창우 (소프트텍) 이용수 (한국건설기술연구원)
제7장 산악지 도로 교량	박수영 (유신코퍼레이션)
제8장 산악지 도로 터널	황영철 (유신코퍼레이션) 마상준 (한국건설기술연구원)

□ 건설교통부 담당관

기반시설본부	도로기획관	조 용 주	(전 / 권 진 봉)
	도로건설팀장	김 일 평	(전 / 권 병 윤)
	시설사무관	허 용	
	담 당	최 준 일	(전 / 안 성 수)

□ 자문위원

김귀현 위원 (강원도)
남구현 위원 (남원건설엔지니어링)
손종철 위원 (건설교통부)
이정형 위원 (홍천국도유지건설사무소)
이동성 위원 (소방방재청)
정재동 위원 (다린이엔씨)
최준규 위원 (한국환경정책평가연구원)
김대하 위원 (동일기술공사)
박병철 위원 (국립방재연구소)
이해경 위원 (다산컨설탄트)
이수재 위원 (한국환경정책평가연구원)
조태희 위원 (서울지방국토관리청)
장범수 위원 (한국시설안전기술공단)
황규복 위원 (한국도로공사)

(이상, 가나다순)

□ 평가위원

김국일 위원 (동부엔지니어링)
박덕근 위원 (국립방재연구소)
이광호 위원 (도로교통기술원)
조충붕 위원 (평화엔지니어링)
전한철 위원 (한국도로공사)
문상조 위원 (유신코퍼레이션)
박용섭 위원 (남원건설엔지니어링)
엄영호 위원 (동명기술공단)
조규태 위원 (인천대학교)
최한길 위원 (삼안기술공사)

(이상, 가나다순)

수해예방을 위한

산악지 도로설계 매뉴얼

□ 발간등록번호 11-1500000-002078-01

□ 발행일 2007. 7

□ 발행처 건설교통부