

도로안전시설 설치 및 관리 지침

- 낙석방지시설 편 -

<제목 차례>

1 총칙	1
1.1 목적	1
1.2 적용 범위	1
1.3 용어의 정의	2
2 기능 및 종류	3
2.1 기능	3
2.2 종류	4
2.3 선정 시 고려할 사항	9
3 설치 장소	12
3.1 낙석방지망	14
3.2 낙석방지울타리	14
3.3 낙석방지옹벽	15
3.4 피암터널	15
3.5 식생공법	16
4 구조 및 재료	16
4.1 낙석방지망	16
4.2 낙석방지울타리	21
4.3 낙석방지옹벽	25
4.4 피암터널	27
5 낙석방지시설의 설계 및 설치	31
5.1 낙석방지시설의 설계	31
5.2 낙석방지시설의 설치	46
6 유지관리	49

부 록	52
부록 1. 낙석방지망의 흡수 가능 에너지 계산공식	52
부록 2. 비포켓식 낙석방지망 설계예	59
부록 3. 낙석방지울타리 흡수 가능 에너지 계산	65
부록 4. 옹벽 또는 직접 기초의 설계	68
참 고 문 헌	70
도로안전시설 설치 및 관리지침 연혁	71

<표 차례>

<표 1> 낙석방지대책의 분류	5
<표 2> 절개면의 종류와 등가마찰계수	12
<표 3> 낙석방지망의 규격	18
<표 4> 낙석방지울타리의 지주 규격	22
<표 5> 낙석방지시설 관련 한국산업 규격	24
<표 6> 지중강판구조물의 구조적 뒤채움재료의 품질기준	24
<표 7> 완충모래의 품질기준	24
<표 8> 낙석방지망의 장단점 비교	32
<표 9> 낙석방지망의 형식과 사용가능 조건	34
<표 10> 낙석방지망에 작용하는 낙석 에너지	38
<표 11> 낙석방지망과 철망의 흡수가능 에너지	39
<표 12> 포켓식 낙석방지망의 사용가능여부	39
<표 13> 이격거리가 0m인 경우 낙석방지울타리의 적용가능 여부	43
<표 14> 이격거리가 1m인 경우 낙석방지울타리의 적용가능 여부	43
<표 15> 이격거리가 2m인 경우 낙석방지울타리의 적용가능 여부	44

<그림 차례>

<그림 1> 탈락형 낙석과 뜯돌형 낙석	3
<그림 2> 낙석이 튀는 높이	3
<그림 3> 낙석방지망의 종류	8
<그림 4> 피암터널의 예	9
<그림 5> 절개면 형태 분류(평면)	10
<그림 6> 절개면 형태 분류(측면)	11
<그림 7> 낙석 에너지 산정	12
<그림 8> 포켓식 낙석방지망의 종류	14
<그림 9> H형강 단면 형상	15
<그림 10> 낙석방지시설의 종류별 설치 기준	16
<그림 11> 비포켓식 낙석방지망 구조의 예	17
<그림 12> 포켓식 낙석방지망 구조의 예	17
<그림 13> 지주 구조의 예	19
<그림 14> U형 볼트 예	22
<그림 15> U형 볼트를 사용한 낙석방지울타리의 예	23
<그림 16> 비포켓식과 포켓식 낙석방지망의 설계 과정 흐름도	33
<그림 17> 와이어로프 개요도	35
<그림 18> 횡로프에 작용하는 하중	36
<그림 19> 비탈면구배	36
<그림 20> 낙석의 충돌방향	38
<그림 21> 낙석방지울타리의 설계 흐름도	40
<그림 22> 낙석방지울타리의 설치 위치와 높이	42
<그림 23> 낙석방지울타리 위치 선정 시 고려해야 할 사항	42
<그림 24> 뒷채움을 하지 않은 시공 예	48
<그림 25> 보조지주의 설치 예	49

낙석방지시설

1 총칙

1.1 목적

본 지침은 낙석방지시설의 설치와 관리에 관한 기본적이고 일반적인 기술 기준을 정하는 데 그 목적이 있다.

【설 명】

낙석방지시설은 「도로법」 제 3조 및 「도로법」 시행령 제 1조의 3에서 규정하고 있는 도로부속물로서, 「도로법」 제 39조 및 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제 40조에 의하여 교통의 원활한 소통과 안전을 도모하기 위하여 설치하는 시설물이다.

본 지침은 낙석방지시설의 기능, 규격, 설치, 유지관리에 관한 기본적이고 세부적인 사항을 규정한 것으로, 도로관리자가 낙석방지시설을 설치·관리하는 업무를 수행할 수 있도록 한 것이다.

1.2 적용 범위

본 지침은 「도로법」 제 11조에서 정하고 있는 도로에 적용함을 원칙으로 한다.

【설 명】

본 지침은 낙석방지시설의 설치 및 관리에 대한 일반적인 기준을 제시한 것이다. 핵심적이고 표준적인 사항은 사각형 내에 고딕형 글씨체로 제시하였고 구체적인 사항은 【설 명】에 제시하였다. 따라서, 본 지침의 표준적인 사항과 구체적인 사항은 동일한 효력을 갖는 것으로 각 도로관리청에서는 이를 토대로 도로, 교통 및 주변 여건 등을 감안하여 현장에 적합한 낙석방지시설이 설치될 수 있도록 해야 한다.

본 지침은 「도로법」 제 11조에서 정하고 있는 도로에 적용함을 원칙으로 하며, 기타 도로에도 준용할 수 있다.

본 지침에서 제시하고 있는 일반적인 조건과 다른 특수한 경우는 본 지침의 기본 개념을 토대로 도로 및 주변 지형특성 등 현장조건에 적합한 낙석방지시설을 개발 적용할 수 있다.

1.3 용어의 정의

낙석방지시설은 도로 절개면의 낙석, 토사붕괴 등으로 인한 교통 장애, 도로구조물의 손상, 재산 및 인명상의 손실을 예방하기 위해 설치하는 구조물을 말한다.

【설 명】

낙석은 암반내 불연속면(절리, 편리, 층리 등의 갈라진 틈)의 이완현상에 의해 암편이 모암으로부터 분리되어 낙하하는 현상으로 규모면에서 암편을 셀 수 있을 정도의 소량의 것을 의미하며, 사면 붕괴는 토사나 암석이 대규모로 무너져 내리는 현상으로 체적으로 표현되는 대량의 것을 말한다.

본 지침에서 사용된 용어의 정의는 다음과 같다.

- **사면**

자연 사면과 인위적인 활동에 의해 발생된 절개면과 성토 사면 등 일정한 경사도를 갖는 구조물을 통틀어 칭함

- **절개면**

절취 등으로 인하여 인공적으로 발생된 사면

- **낙석보강공법**

절개면 자체의 안전율이 확보되지 않아 위험성이 내포된 상태에서 낙석 발생을 사전에 막기 위하여 절개면에 특수한 재료를 사용하여 안정화시키는 공법

- **낙석보호공법**

절개면 자체의 안전율이 확보된 상태에서 예상치 못한 소규모의 낙석에 대비하여 낙석의 운동을 멈추게 하거나 도로 유입을 차단시켜 피해를 최소화하기 위한 공법

- **탈락형 낙석**

풍화가 진행됨에 따라 침식이나 풍화에 대한 저항력이 약한 토사 속에 포함되어 있는 암편이나 자갈 등이 탈락하는 낙석의 형태(그림 1(a))

- **뜬돌형 낙석**

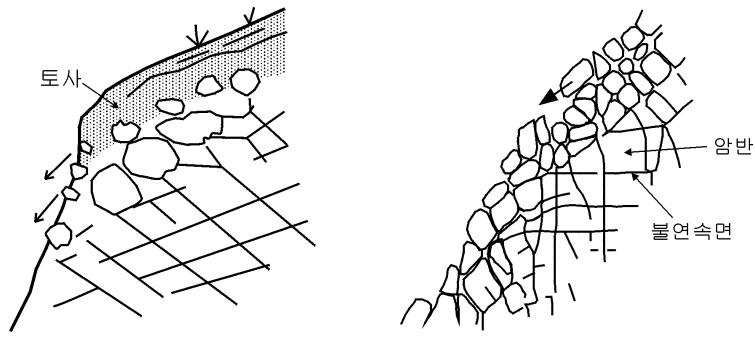
불연속면이 잘 발달된 암체 내에서 불연속면에 둘러싸인 암괴, 암편 등이 들뜬 상태로 존재하다 강우나 동결융해와 같은 원인으로 인해 떨어지는 낙석의 형태(그림 1(b))

- **낙석이 튀는 높이**

낙석이 절개면에 부딪치면서 수직방향으로 튀는 높이(그림 2)

- **낙석발생원**

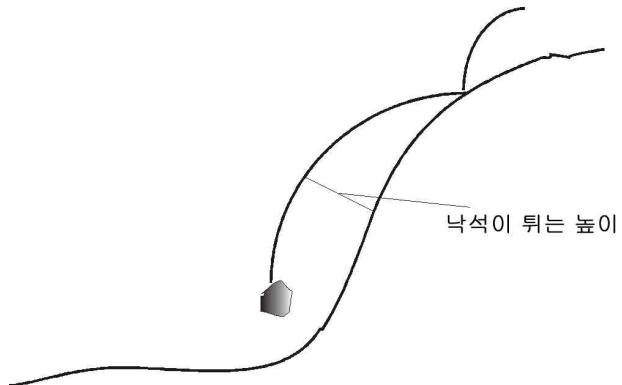
낙석이 발생되기 전 절개면에 있었던 위치



(a) 틀락형 낙석

(b) 뜯돌형 낙석

<그림 1> 틀락형 낙석과 뜯돌형 낙석



<그림 2> 낙석이 튕는 높이

2 기능 및 종류

2.1 기능

낙석방지시설의 주 기능은 낙석의 예방과 발생된 낙석이 도로로 유입되지 않도록 막아 도로이용자와 도로시설을 낙석으로 인한 재해로부터 지키는 것이다.

【설 명】

낙석방지시설은 낙석 예방과 함께 예측하지 못한 낙석의 도로유입을 막기 위하여 낙석이 예상되는 구간의 절개면 전체 또는 일부에 설치하여 낙석으로 인한 재해로부터 도로이용자들의 인명피해와 재산손실을 방지하는 기능을 가진다.

낙석방지시설의 주요 기능은 다음과 같다.

- 낙석의 충격에 저항하여 낙석운동을 억제한다.
- 낙석의 에너지를 흡수하여 낙석이 도로에 유입되는 것을 막는다.
- 낙석의 낙하 진행 방향을 바꾸어 피해 위험이 없는 곳으로 유도한다.

낙석방지시설은 종류에 따라 그 기능이 다르므로 현장특성을 고려하여 필요한 시설을 기능에 맞게 선정하여 설치하여야 한다. 낙석방지망은 주로 낙석을 포획하거나 낙석의 진행 방향을 바꾸는 기능을 하는 반면 낙석방지울타리와 옹벽은 낙석의 충격에 저항하거나 에너지를 흡수하여 도로로 유입됨을 막는 기능을 한다.

2.2 종류

낙석방지시설은 기능에 따라 크게 보강공법과 보호공법으로 구분되며, 보호공법은 낙석방지망, 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽, 피암터널, 식생공법 등으로 구분된다.

- 낙석방지망은 망, 와이어로프 등의 철망 및 강선재료를 사용하여 낙석의 우려가 있는 비탈면을 덮어 낙석의 발생을 억제하는 시설물로서 낙석을 미연에 방지함과 아울러 낙석이 발생한 경우에는 돌이 튀지 않도록 방지망 밑으로 유도하는 시설이다.
- 낙석방지울타리는 지주와 지주 사이를 와이어 로프와 철망 등으로 연결하여 비탈면으로부터 떨어지는 낙석의 에너지를 흡수함으로써 낙석으로 인한 피해를 막는 시설이다.
- 낙석방지옹벽은 비탈면 하단부에 설치함으로써 토사나 낙석이 도로로 떨어지는 것을 막는 옹벽형 구조물이다.
- 피암터널은 대규모의 낙석이 예상되나 낙석방지시설을 설치하기가 어렵거나 많은 비용이 소요가 되는 구간에 설치하는 터널형의 구조물이다.
- 식생공법은 표면에 식생으로 피복시켜 동결융해나 풍화 등으로 부터 암반을 보호하여 낙석발생을 억제하여 주는 표면보호 방법이다.

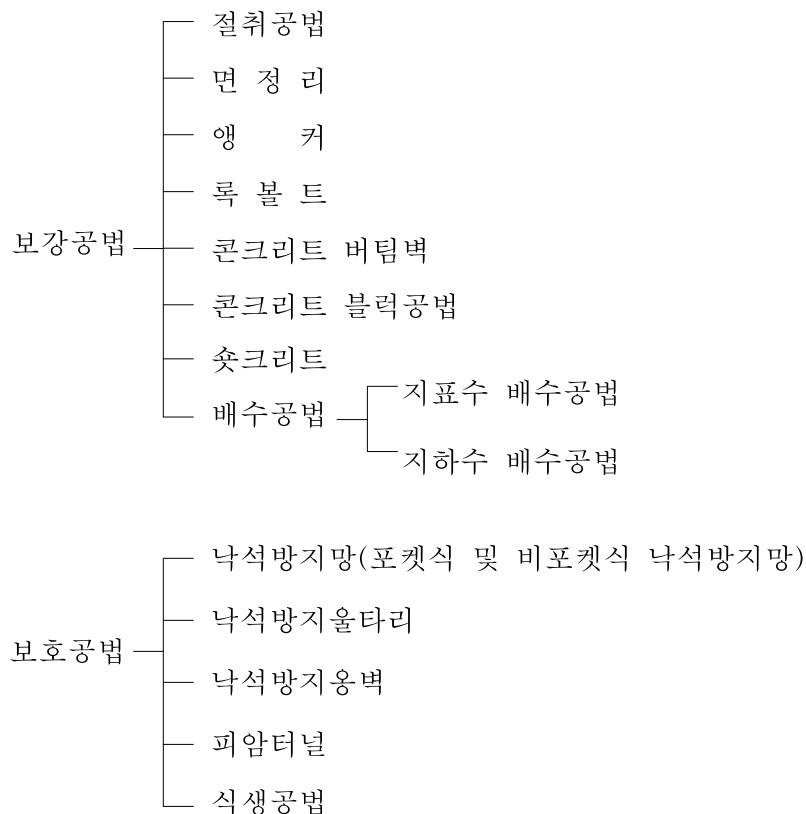
본 지침에서는 낙석방지시설 중 낙석방지망, 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽, 피암터널, 식생공법에 한하여 기술하였으며, 따라서 이후 낙석방지시설이라 함은 낙석 보호공법의 낙석방지망, 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽, 피암터널, 식생공법을 칭하는 것으로 한다.

【설 명】

현재 주로 사용되고 있는 낙석방지대책은 낙석보강공법과 낙석보호공법으로 구분된다. 낙석보강공법은 낙석 발생이 예상되는 암편을 사전에 제거하거나 절개면에 고정시키는 공법을 말하며, 낙석보호공법은 절개면으로부터 낙하하는 암편이 도로로 유입됨을 방지하기 위해 도로변이나 도로시설 위에 설치하는 공법을 의미한다.

현재 주로 사용중인 낙석방지대책의 종류는 표 1과 같다.

〈표 1〉 낙석방지대책의 분류



가. 보강공법(Reinforcement Method)

1) 절취공법(Resloping)

절개면 자체의 급경사, 절개면내 대규모 이완 암반 존재 등에 의해 절개면이 불안정한 경우 경사도 완화, 이완 암편 제거 등을 수행하여 절개면을 안정화시키는 공법이다.

2) 면정리(Trimming)

절개면으로부터 낙하가 예상되는 암편 등을 직접 제거하는 공법이다. 절취공법에 비해 국부적으로 이루어지는 공법으로 시공성, 안정성, 경제성 등이 충분히 검토되어야 한다.

3) 앵커(Anchor)

앵커공법은 대규모 암괴의 이동이 예상될 경우 고강도 강재를 앵커재로 사용하여 예상 활

동면을 관통시켜 안정한 암반 또는 지반에 정착시키고 앵커의 인장력에 의해 활동에 저항하도록 하는 공법이다. 앵커공법은 고강도 강재를 사용하여 프리스트레스(prestress)를 가함으로서 정착된 암괴의 변위를 억제한다.

4) 록볼트(Rock Bolt)

비탈면에서 예상활동 암석이 소규모 블록으로 구성되어 있을 때 직경 약 25~50mm, 길이 3~9m 정도의 철봉을 안정한 암반 또는 지반에 정착시키고 천공 홀을 그라우팅(grouting)함으로서 지반의 전단강도를 증가시키는 수동보강형 공법이다. 앵커공법과의 가장 큰 차이는 프리스트레스를 가하지 않는다는 것이다.

5) 콘크리트 베텀벽(Buttresses)

절취공사 중 과다발파, 암 탈락, 침식현상 등에 의해 절개면상에 빈 공간이 생기게 되면 절개면 하부의 지지력을 상실하게 되어 또 다른 암 탈락이 발생할 위험이 커진다. 따라서 이를 방지하기 위하여 암이 떨어져 나간 빈 공간에 콘크리트 베텀벽을 설치하여 절개면을 안정화 시키는 공법이다.

6) 콘크리트 블록공법(Concrete Crib)

절개면이 공기 중에 노출된 상태로 방치되면 강우나 지하수 등에 의한 풍화 침식작용으로 낙석 가능성이 높아진다. 블럭공법(격자블럭공법)은 절개면에 격자블럭을 시공하여 중력에 의한 절개면 토층의 붕괴를 방지하고 절개면의 풍화침식작용을 차단시켜 절개면 안정을 도모하는 공법이다.

7) 속크리트(Shotcrete)

속크리트 공법은 비탈면 표면의 침식, 암석의 풍화, 불연속면의 이완 등을 방지하기 위한 목적으로 비탈면 표면을 시멘트, 모래, 물의 혼합 모르타르를 압축공기를 이용하여 피복하는 공법으로 비탈면의 붕괴가 가능한 경우에는 록볼트 또는 네일 등의 보강공법과 병행하여 사용한다. 지하수가 많거나 풍화가 심한 비탈면의 경우는 모르타르의 양생, 지하수압 발생 등에 의해 비탈면 안정에 영향을 줄 수 있으므로 반드시 배수공과 병행하여야 한다.

8) 배수공법(Drainage)

강우에 의한 절개면 침식, 지하수에 의한 지반 강도 저하 및 하중 증가등 물은 낙석과 절개면의 안정에 큰 영향을 미친다. 따라서 낙석예방과 절개면의 안정성을 유지할 수 있도록 물의 영향을 받지 않도록 하는 방법이 배수공법이다. 배수공법은 강우가 지표면을 따라 지하로 침투하지 않도록 방지하는 지표수 배수공과 절개면에 침투한 지하수를 배수시키는 지하수 배수공으로 나눌 수 있다.

(a) 지표수 배수공법

지표수 배수공법은 절개면 상부자연사면에 콘크리트 U형 수로 등의 배수구를 설치하여 강우나 강설에 의한 지표수의 절개면내 침투를 방지하거나 지표수의 흐름을 차단시켜 절개

면의 침식을 방지함으로써 낙석을 예방하는 것으로 지하수 배수공에 비해 설치비용이 싸고 시공이 용이하다.

(b) 지하수 배수공법

지하수 배수공법은 절개면 내에 있는 용수 또는 지하수를 지표면 밖으로 유도하고 배수시켜 절개면의 간극 수압 및 함수비율을 낮추어 절개면을 안정시키는 공법이다. 설치방향에 따라 수직배수공과 수평배수공으로 나눌 수 있다.

9) 식생공법(Vegetation)

낙석방지대책으로서 식생공법은 동결융해로 인한 지표면 균열 발생, 지표면 침식 작용, 암석 이완 등을 감소시킨다. 식생공법은 기상, 절개면 경사도, 일조량 등을 고려하여 선택되어야 한다.

나. 보호공법(Protection Method)

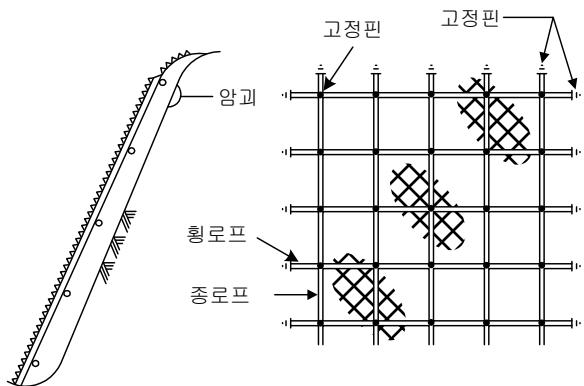
1) 낙석방지망(Rockfall Protection Net)

낙석방지망은 강우나 풍화, 나무뿌리의 작용 등에 의해 불연속면의 이완이 심화되어 낙석 발생 가능성이 있는 부분을 철제망으로 덮어 낙석을 예방하는 공법으로 방지망의 자중과 이완된 암석의 포획효과에 의해 암석의 운동에너지를 억제하는 시설이다.

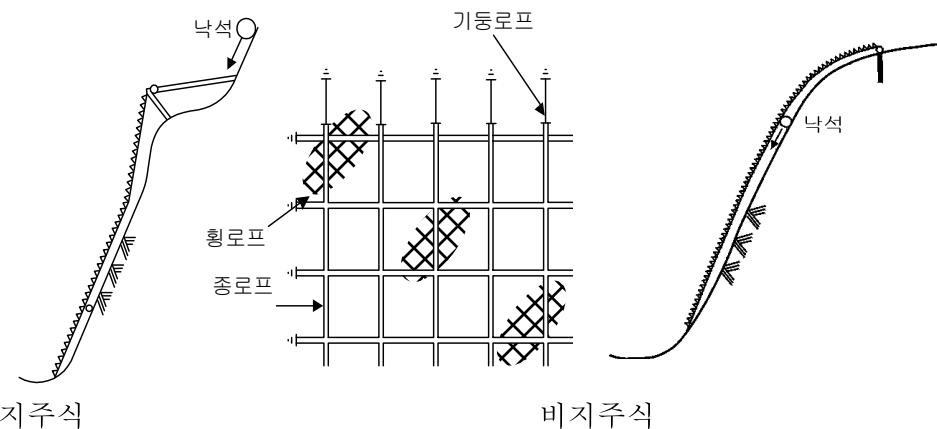
낙석방지망은 철망과 절개면의 마찰력을 이용하여 이완암편을 절개면과 망 사이에 붙잡아 두는 역할을 하는 비포켓식 낙석방지망(그림 3(a))과 기둥로프, 지주, 철망과 와이어로프 등으로 구성되어 이동하는 낙석을 철망에 충돌시킴으로써 낙석의 에너지를 감쇄하도록 하여 낙석이 도로쪽으로 튀지 않고 낙석방지망 하부로 흘러내리도록 유도하는 포켓식 낙석방지망(그림 3(b))으로 구분된다.

2) 낙석방지울타리(Rockfall Protection Fence)

낙석방지울타리는 비교적 소규모의 낙석을 방지하는 데 효과적이며 절개면의 형태에 따라 낙석방지울타리의 종류와 설치방법을 결정해야 한다. 낙석방지울타리는 연장이 긴 절개면에 집중 호우 등에 의해 낙석이 예상될 경우 또는 도로 이용자에게 직접적인 위협이 예상되는 장소나 도로 인접지에서 낙석이 예상되는 장소에 설치된다. 낙석방지울타리는 일반적으로 낙석 발생이 예상되는 절개면의 최하단에 설치하며, 예상되는 낙하속도나 에너지가 큰 경우에는 절개면 내에 추가적으로 설치하여 낙석의 운동에너지를 단계적으로 흡수되도록 한다.



(a) 비포켓식 낙석방지망



(b) 포켓식 낙석방지망

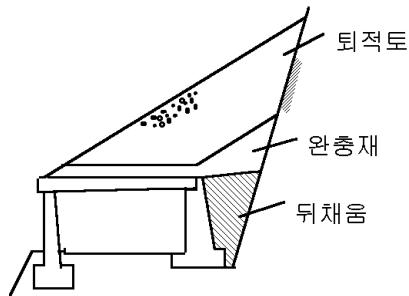
<그림 3> 낙석방지망의 종류

3) 낙석방지옹벽(Barrier)

낙석방지옹벽은 토사나 암반붕괴가 예상되는 지역에 이들이 도로로 떨어지는 것을 막아주는 보호공법으로 주로 도로가 인접한 곳에 설치한다. 낙석방지옹벽은 뒷부분에 포켓 부분을 두어 떨어지는 낙석이나 토사류가 퇴적될 수 있도록 하는 것이 바람직하며 절개면 경사도가 완만한 장소 또는 낙석방지옹벽과 절개면 하부 사이에 여유가 있는 곳에 시공하는 경우가 많다.

4) 피암터널(Rock Shed)

피암터널은 일반적으로 도로 인근에 여유폭이 없고, 낙석 발생의 가능성이 있는 급경사의 절개면, 높이가 높은 절개면(30m 이상) 또는 낙석의 규모가 커서 낙석방지울타리나 옹벽으로 막아낼 수 없어 도로상에 낙석이 직접 떨어질 수 있는 구간에 설치한다. 피암터널은 강재나 철근 콘크리트 등을 이용한 터널형태의 구조물로 절개면 상부에서 발생된 낙석을 도로 바깥쪽으로 이동하게 하여 낙석에 의한 피해를 방지하는 시설을 말한다. 피암터널의 상부에 완충재(경량성 토재, 토사나 폐타이어)를 설치하여 낙석의 충격을 흡수하며 피암터널 상단부 표면은 경사지게 하여 발생된 낙석의 충격에너지를 감소시킬 수 있다.



<그림 4> 피암터널의 예

5) 식생공법(Vegetation)

낙석보호대책으로서 식생공법은 동결융해로 인한 비탈면 균열 발생, 비탈면 침식 작용, 암석 이완 등을 감소시킨다. 식생공법은 기상, 비탈면 경사도, 일조량 등을 고려하여 선택되어야 한다.

2.3 선정 시 고려할 사항

낙석방지시설의 선정 시에는 낙석에너지에 대한 정확한 예측이 필요하다. 따라서, 절개면의 지형, 지질, 예상되는 낙석의 규모와 절개면 높이, 낙석발생 가능성, 피해빈도 등에 대하여 정확하게 조사를 실시하여, 조사결과에 의한 분석을 근거로 예상되는 낙석의 규모와 발생위치, 그리고 낙석에너지를 추정하여 이를 낙석방지시설의 기능, 흡수 가능 에너지, 장단점 등을 비교하여 낙석방지시설을 선정한다.

【설 명】

과거 낙석피해에 대한 조사결과를 보면 낙석방지시설이 설치되어 있음에도 불구하고 도로 까지 낙석이 떨어진 경우가 많이 발생되었다. 이러한 사례를 구체적으로 분류하면 다음의 네 가지로 나눌 수 있다.

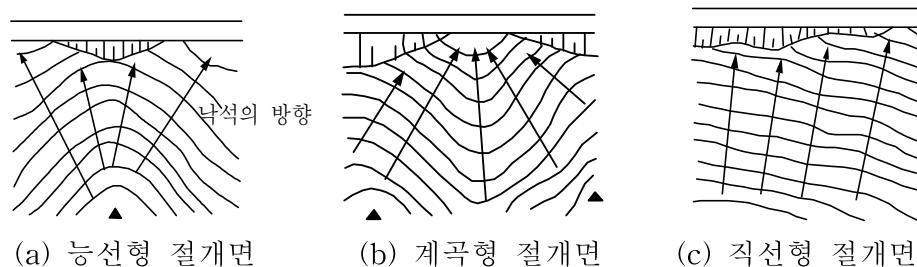
1. 적절한 낙석방지시설이 설치되었음에도 불구하고 낙석의 규모가 커서 낙석방지시설이 낙석 에너지에 견디지 못하고 무너진 경우
2. 낙석방지시설의 높이나 폭 등 규모가 작아서 발생된 낙석을 막지 못하고 도로로 떨어 진 경우
3. 낙석방지시설의 도로종단방향으로의 설치길이가 낙석 예상 구간에 비하여 짧게 설치되었거나, 혹은 인접한 두 시설사이의 틈새로 낙석이 노면에 떨어진 경우
4. 유지관리의 소홀로 낙석방지시설이 제 기능을 하지 못한 경우

이러한 문제점들은 예상되는 낙석의 규모나 위치 등에 대한 예측이 정확하지 못한 경우와 낙석방지시설의 특성 및 흡수가능 에너지를 정확하게 파악하지 못했기 때문이다.

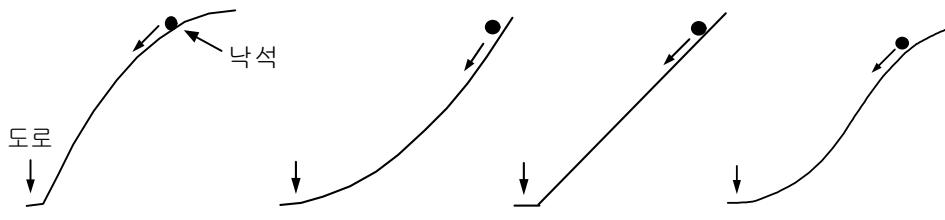
따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 낙석방지시설의 선정 시 낙석에너지에 대한 정확한 예측이 필요하며 이에 따라 적정한 규모의 시설을 적정한 위치에 설치하여야 한다. 낙석방지시설의 선정 시에는 절개면의 지형 및 지질, 예상되는 낙석의 규모, 낙석의 발생확률, 피해 빈도나 상황을 고려하여 낙석으로 인한 피해를 최소화할 수 있도록 해야 한다. 따라서 절개면의 상황, 즉 절개면의 지형, 지질, 식생 분포 및 종류 등의 조사결과를 분석하고 이를 근거로 하여 각종 낙석방지시설의 기능 및 내구성, 시공성, 유지관리의 편리성 등을 검토하고 필요에 따라 낙석방지시설을 선정하여, 설치해야 한다. 이를 위하여 다음과 같은 점들이 고려되어야 한다.

가. 절개면의 지형 및 지질

- 절개면의 지형은 낙석의 평면낙하궤적과 낙석이 튀는 높이를 좌우하는 중요한 요소이다. 즉, 절개면의 평면 형상은 낙석의 평면낙하궤적에 영향을 미치며, 절개면의 측면 형상은 낙석이 튀는 높이를 좌우한다. 그림 5에서와 같이 절개면의 평면 형상이 능선형일 경우 낙석의 평면낙하궤적은 다른 형태의 절개면 형상보다 분산될 가능성이 높다. 또한, 그림 6(a)에서와 같이 볼록형 절개면에서는 풍화작용으로 침식작용이 활발하게 일어나 복잡한 요철을 보이며, 따라서 튀는 높이가 매우 커질 가능성이 높다. 그림 6(b)의 오목형 절개면에서는 상부 급경사면에서 발생한 탈락형 낙석이 하부로 갈수록 튀는 높이가 낮아지는 특성을 가진다.
- 탈락형 낙석은 주로 절개면의 경사각 $35^\circ \sim 45^\circ$, 뜯돌형은 주로 $45^\circ \sim 55^\circ$ 이상에서 많이 발생하고, 30° 이하에서는 거의 발생하지 않는다. 즉, 뜯돌형 낙석은 급경사 절개면에서 주로 발생하지만, 탈락형 낙석은 낮은 경사도에서도 발생할 수 있다.
- 절개면의 지질특성과 지질구조는 낙석의 형태 및 규모와의 상관성이 높다. 절개면의 구성암 종류에 따라 낙석의 발생 형태 등이 다양하게 변화하며 절리면이나 지층면 같은 지질구조에 의해 낙석 규모 등의 영향을 받는다. 이러한 낙석의 형태와 규모는 낙석의 에너지와 튀는 높이에 영향을 주는 중요한 요소이다. 즉, 낙석이 구형에 가까울수록 그리고 규모가 클수록 높은 낙석에너지를 발생시킨다. 따라서, 낙석방지시설의 선정 및 설치에는 이러한 지질특성이 고려되어야 한다.



<그림 5> 절개면 형태 분류(평면)



(a)볼록형 절개면 (b)오목형 절개면 (c)직선형 절개면 (d)복합절개면

<그림 6> 절개면 형태 분류(측면)

나. 낙석방지시설의 기능 및 내구성

- 낙석방지시설을 선정할 때는 낙석방지시설의 종류별 기능적 한계를 고려해야 한다.
- 낙석방지시설이 낙석에너지에 대해 저항할 수 있는 한계는 시설의 종류나 규모에 따라 다르다. 자료에 의하면 일반적으로 낙석방지망이 저항할 수 있는 낙석의 에너지는 약 10kJ, 낙석방지울타리는 약 50kJ, 낙석방지옹벽은 약 600kJ 정도이다. 그러나, 이 수치는 낙석방지시설의 제원과 구조에 따라 다르다. 따라서 시설의 구조적 특성에 따라 흡수 가능에너지를 계산하여야 하며 이를 예상되는 낙석에너지와 비교하여 낙석을 막아낼 수 있는 시설을 선정해야 한다. 10kJ의 낙석에너지는 0.4톤의 암석이 2.5m의 높이에서 자유 낙하할 경우의 에너지에 상당하며, 50kJ은 0.4톤의 암석이 12.5m에서 낙하하는 에너지를, 600kJ은 3톤의 암석이 20m 높이에서 낙하하는 에너지에 상당한다.

다. 예상되는 낙석의 규모와 에너지

- 낙석에너지는 주로 이동암석의 규모에 좌우되므로 정확한 낙석 중량 추정이 이루어져야 한다. 낙석의 중량 추정은 낙석의 체적(m^3) \times 2.65 t/ m^3 을 이용하여 간단하게 추정할 수 있다. 이 때 2.65 t/ m^3 은 통상적으로 사용되는 암석의 단위중량이며 낙석 부피의 산정은 구의 경우 $\frac{4}{3}\pi r^3$ (r : 구의 반지름(m)), 육면체의 경우는 길이 \times 폭 \times 높이로 낙석 체적(m^3)을 추정할 수 있다. 그러나 만일 현장에서 낙석의 중량에 대한 추정이 불가능할 경우에는 국내 낙석의 평균 중량인 0.4톤을 대신하여 사용할 수 있다. 평균 중량 (0.4톤)은 지난 1년간 국도 주변의 낙석발생지점 275개소로부터 관찰된 낙석 중량의 평균값이다.

- 낙석에너지는 일반적으로 다음의 식으로 계산된다.

$$E_i = \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta}\right) \cdot (1 + \beta) \cdot m \cdot g \cdot H$$

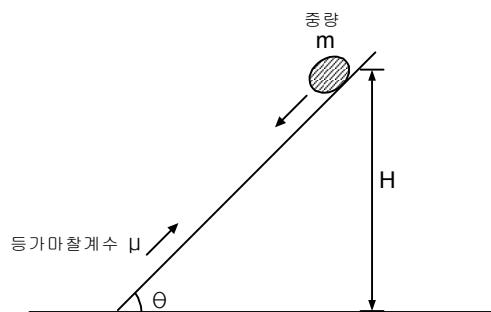
여기서, E_i = 낙석에너지(kJ) θ = 절개면의 경사도

μ = 낙석의 등가마찰계수(표 1 참고)

β = 회전에너지 계수(대개 0.1을 사용)

m = 낙석의 중량(t) H = 낙석의 낙차(m)

g = 중력가속도(보통 $9.8m/s^2$)



<그림 7> 낙석 에너지 산정

<표 2> 절개면의 종류와 등가마찰계수

낙석의 특성	절개면의 특성	등가마찰계수
둥근 모양	경암, 굴곡이 작고 나무 없음	0.05
모나거나 둥근 모양	연암, 굴곡 중-대, 나무 없음	0.15
모나거나 둥근 모양	풍화암, 굴곡 소-중, 나무 없음	0.25
모난 모양	낭떠러지, 굴곡 대-중	0.31

주) 절개면의 굴곡은 절개면 1.0m 당 굴곡의 높이가 0.1m 이하를 소, 0.1 ~ 1.0m를 중, 1.0m 이상을 대로 표시한다.

3 설치 장소

1. 낙석방지망

가. 비포켓식 낙석방지망

- ① 풍화 진행이 빠른 연암이나 풍화암으로 구성된 절개면
- ② 절취 후 절개면의 표면이 고른 절개면

2) 포켓식 낙석방지망

- ① 경암으로 구성되어 있으나 불연속면의 이완 등으로 낙석이 예상되는 절개면
- ② 발파 등으로 인해 절개면의 표면이 거친 절개면

2. 낙석방지울타리

- 가. 절개면 경사가 완만하여 낙석의 높이가 낙석방지울타리 높이보다 작을 것으로 예상되는 절개면
- 나. 경사가 급한 절개면에서 낙석이 방지울타리 밖 도로에 떨어질 가능성이 있는 경우 낙석방지망과 함께 설치.
- 다. 토사가 훈합되어 낙하될 것으로 예상되는 절개면은 옹벽과 함께 설치

3. 낙석방지옹벽

- 가. 토사나 붕괴된 암반이 도로로 떨어지는 것을 막기 위하여 주로 도로가 인접한 곳에 설치
- 나. 옹벽 상부에 낙석방지울타리를 설치하거나 또는 옹벽만을 설치하여 토사나 암반붕괴가 예상되는 지역에 낙석이 도로로 떨어지는 것을 막는 보호공법으로 비탈면 하부에 설치
- 다. 낙석이 우려되나 방호공 또는 보강공을 적용하기에 용이하지 않은 비탈면 하부에 설치
- 라. 도로와 비탈면 하부 사이에 여유가 있는 곳

4. 피암터널

- 가. 도로 인근에 여유폭이 없고, 낙석 발생의 가능성이 있는 급경사의 비탈면, 상향경사를 가진 높이가 높은 비탈면(30m 이상) 중 시공조건이나 경제성 측면에서 비탈면 보강공의 적용이 어려운 구간
- 나. 낙석의 규모가 커서 낙석방지울타리나 낙석방지옹벽으로 막아낼 수 없어 도로상에 낙석이 직접 떨어질 수 있는 구간에 설치

5. 식생공법

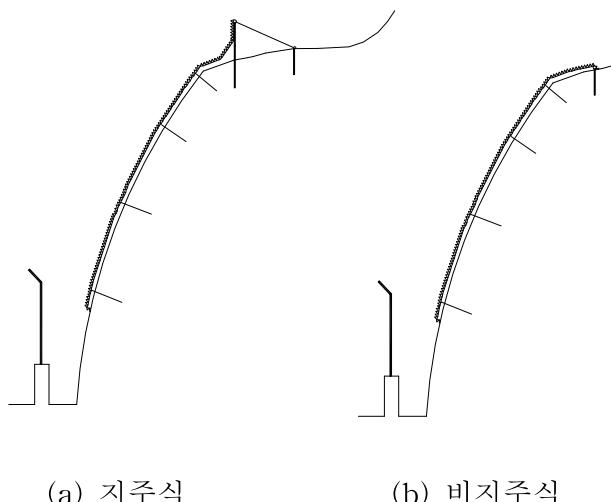
- 가. 동결융해로 인한 지표면 균열 발생 및 풍화 등으로 인한 지표면 침식 작용, 암석 이완 등의 발생이 쉬운 비탈면
- 나. 환경친화적인 시공이 요구되는 비탈면

【설명】

3.1 낙석방지망

낙석방지망은 낙석을 예방하거나 낙석이 발생할 경우 암편이 튀지 않게 절개면 하부로 유도할 목적으로 설치한다. 따라서, 낙석방지망은 소규모의 낙석만 효과적으로 막아낼 수 있다. 낙석방지망의 종류는 절개면의 구성물질과 절개면의 상태에 따라 결정해야 하며 따라서 절개면의 구성물질이나 상태에 따라 그리고 형식에 따라 설치되는 장소가 다르다.

비포켓식은 주로 암반의 균열이 심하고 풍화의 진행이 빠른 연암이나 풍화암으로 구성된 절개면에서 사용한다. 또한, 절취 후 표면이 고르게 처리된 절개면에서 사용된다. 포켓식은 주로 경암으로 구성되어 있거나 발파 등으로 절개면을 절취하여 암블럭의 이완이 심하고 표면이 거친 절개면에 사용한다. 포켓식의 경우에는 상부에 지주 등을 이용하여 낙석입구를 만드는 지주식(그림 8(a))과 상단부 지면에서 고정핀을 이용하여 입구없이 마무리하는 비지주식(그림 8(b))으로 구분할 수 있다. 상부에 낙석입구를 만드는 지주식은 소단 등과 같은 절개면의 중간에 설치하거나 상부로부터 낙석이 예상되는 장소에 설치하며, 비지주식은 낙석방지망을 사용하여 절개면 전반에 걸쳐 설치할 필요가 있는 곳에서 사용한다.



(a) 지주식

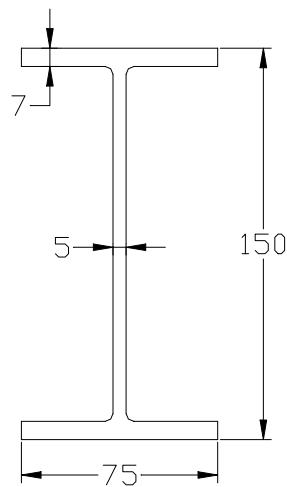
(b) 비지주식

〈그림 8〉 포켓식 낙석방지망의 종류

3.2 낙석방지울타리

낙석방지울타리는 지주, 와이어로프, 철망이 일체로 발생하는 낙석에너지를 흡수하는 시설로 소규모의 낙석방지대책으로 사용된다. 낙석방지울타리에 의해 흡수 가능한 낙석에너지는 지주의 높이, 단면계수, 와이어 로프의 연장, 그리고 와이어로프를 고정하는 방법 등에 따라 좌우된다. 국내에서 일반적으로 사용하는 $150 \times 75 \times 5 \times 7\text{mm}$ 규격의 H형강(그림 9)을 2.5m 높이의 지주로 사용하고 와이어로프를 고정구를 이용하여 지주에 정착하고 60m마다 단부를 설치하는 형식의 낙석방지울타리의 경우 흡수 가능 에너지는 약 50kJ 정도이다. 이는 예상되는 낙석의 중량(t)과 낙하예상높이(m)를 곱하여 구한 낙석의 위치에너지가 약 $4t \cdot m$ 인 낙석을

방어 할 수 있는 값으로 현장에서 낙하할 것으로 예상되는 낙석의 규모와 높이를 추정할 수 있을 경우 낙석방지울타리의 적정성 여부를 쉽게 판단할 수 있다. 낙석방지시설은 절개면 경사, 풍화도, 규모 등 절개면 특성과 낙석의 뛰는 높이 등을 고려(그림 10)하여 결정된다.



<그림 9> H형강 단면 형상(단위 : mm)

3.3 낙석방지용벽

낙석방지용벽은 옹벽 상부에 낙석방지울타리를 설치하거나 또는 옹벽만을 설치하여 토사나 암반붕괴가 예상되는 지역에 낙석이 도로로 떨어지는 것을 막는 보호공법으로 비탈면 하부에 설치한다.

낙석방지용벽의 종류와 형태는 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 돌망태 옹벽 등을 모두 사용할 수 있으며, 이를 공법의 적용방안과 해석방법도 매우 다양하므로 설치 및 관리지침서를 준수하여야 한다. 또한, 콘크리트 부재 등의 설계와 같이 다른 설계기준과 중복되는 내용에 대해서는 관련 설계기준과 지침 및 시방서를 준용하여 사용한다.

3.4 피암터널

피암터널은 낙석방지망, 낙석방호울타리, 낙석방호옹벽 등과 같이 낙석으로부터 인명이나 도로를 방호하기 위한 구조물로써, 상부구조(주구, 주빔, 기둥), 하부구조 및 기초로 구성되어 있다.

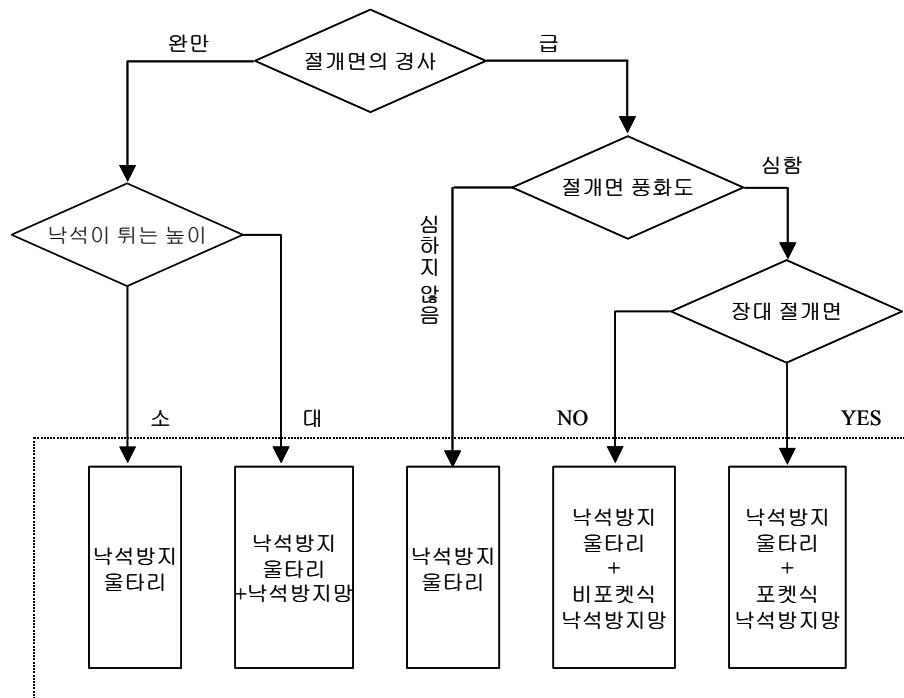
상부구조는 구조부재의 종류에 따라 RC, PC 및 강재의 3종류가 있고, 단면의 형식에 따라 박스형, 문형, 역 L형 및 단순보 구조 형식 등으로 분류된다. 기초로 채용되는 형식에는 직접기초 및 말뚝기초가 있다.

피암터널의 종류, 형태 및 이에 따른 해석방법은 매우 다양하다. 이 설계기준에서 이러한 다양한 내용을 모두 포함하지 않는다. 세부적인 설계기법에 관한 사항은 관련 도서를 참고하고, 타 기관에서 발간된 모든 지침, 시방서를 준용하여 사용할 수 있다.

3.5 식생공법

비탈면 표면을 보호하기 위해 첫 번째로 고려하는 공법은 녹화공법이며, 풍화 및 동결융해 등으로 인해 침식 및 유실이 우려되는 비탈면에 적용하여 준다. 최근에는 친환경적인 건설을 위해 많이 적용되고 있다.

식생이 부적절한 토질조건이나 지표면이 장기적으로 불안해질 가능성이 있는 경우에는 구조물에 의한 비탈면 보호공법을 적용한다.



<그림 10> 낙석방지시설의 종류별 설치 기준

4 구조 및 재료

낙석방지시설은 절개면에서 발생한 낙석이 도로로 유입되는 것을 방지하는 기능을 수행할 수 있는 구조적인 특성을 가져야 한다.

낙석방지시설의 재료 및 구조는 구조검토를 실시한 후에 결정한다.

4.1 낙석방지망

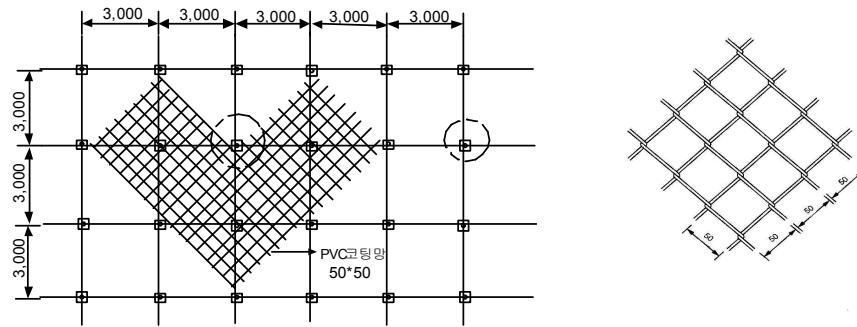
가. 구조

국내에서 일반적으로 사용되는 비포켓식 낙석방지망은 선지름 4.0~5.0mm, 망눈 50×50mm 이상의 철망 위에 가로와 세로 3m 간격으로 와이어로프를 설치하며 종로프와 횡로

프의 각 교차점을 조립구로 엮고 고정판 등을 이용하여 절개면에 부착하는 형태이다(그림 11).

포켓식 낙석방지망은 선지름 4.0~5.0mm, 망눈 50×50mm 이상의 철망 위에 Ø20mm 이상인 와이어로프를 종로프로 사용하여 2m 이하 간격으로 설치하며 횡로프는 Ø16mm 이상의 와이어로프를 사용, 5m 이하 간격으로 설치한다(그림 12). 포켓식에서 사용되는 지주는 종로프를 절개면에 고정하는 역할을 하며 H빔을 사용할 경우 6m 이하, 앵커를 사용할 경우 2m 이하의 간격으로 설치한다. 로프의 교차점에 설치하는 조립구는 애폴시 등을 주입하여 와이어로프의 이완이 없도록 한다.

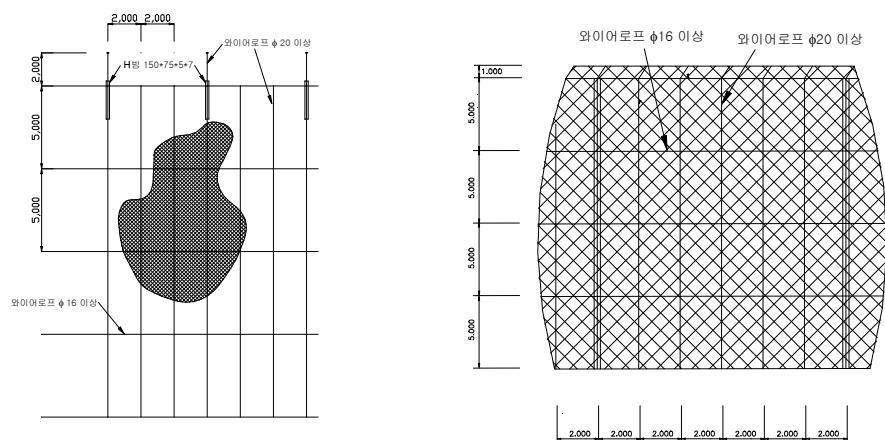
낙석방지망의 구조는 규격에서 다소 차이가 있으나 크게 1000형과 1500형이 있다(표 11).



(a)비포켓식 낙석방지망의 세부구조

(b)철망의 구조

<그림 11> 비포켓식 낙석방지망 구조의 예



<그림 12> 포켓식 낙석방지망 구조의 예

<표 3> 낙석방지망의 규격

종별	철망 규격(mm)		로프 규격(mm)	
	심선 지름	비닐피복 시 (선지름)	종로프	횡로프
1,500형	Ø4.0	Ø5.0×50×50 이상	Ø20 이상	Ø16 이상
1,000형	Ø3.2	Ø4.0×50×50 이상	Ø20 이상	Ø16 이상

주) 선지름은 비닐피복 후의 외경을 표시하며 아연도금 철망을 심선으로 사용한다.

1) 철망

절개면에 일반적으로 시공되는 철망은 1,000형으로 비닐로 코팅되었을 때 선 지름이 Ø4.0mm, 망눈이 50×50mm 이상의 규격을 갖는다. 그밖에 낙석방지망에서 사용되는 형식은 표 1에 제시되어 있다. 철망의 재질은 PVC 코팅망으로 마름모꼴 모양이며, 철망의 무게는 2.6kg/m²이고 가로 폭 5m 이상이다.

2) 와이어로프

와이어로프는 철망을 절개면에 부착시키는 역할을 하며 만일 낙석이 발생할 경우 낙석에너지를 흡수하는데 중요한 역할을 한다. 와이어로프는 종로프의 경우 Ø20mm 이상, 횡로프는 Ø16mm 이상인 것을 사용한다. 절개면에서 일반적으로 사용되는 와이어로프의 무게는 약 1.24kg/40m² 이다

3) 고정핀

고정핀은 낙석방지망을 절개면에 고정하거나 비포켓식 낙석방지망의 와이어로프(종로프와 횡로프)를 연결하는 조립구의 볼트홀 부분에 시공하여 로프와 낙석방지망, 암반을 결착시키는 역할을 한다. 고정핀은 주고정핀과 보조고정핀으로 구별되는데, 주고정핀은 와이어로프의 끝부분을 암반에 고정시키는데 사용되며, 보조고정핀은 로프가 교차하는 지점의 조립구나 인근 부분에 설치한다. 포켓식의 경우, 주 고정핀을 이용하여 절개면 상단에 절취가 끝난 부분으로부터 2~5m 뒤쪽에 망을 고정하거나 절개면 좌우측의 와이어로프 끝 부분을 절개면에 고정시키며 철망이 연결된 부분이나 일정한 간격(정방향에 가깝게 약 60m² 이내)으로 보조 고정핀을 사용하여 망을 결착시킨다.

고정핀의 시공은 고정핀의 지름보다 큰 35mm 내외로 천공하고 고정핀을 심은 후 주입재(몰타르, 에폭시 등을 사용)를 주입하는 순서로 진행된다. 몰타르를 주입재로 사용할 경우 시멘트: 모래: 물의 배합비는 1:1:1로 한다. 주고정핀의 규격은 Ø25mm 이상, 길이 1,500mm 이상이며, 보조고정핀의 경우 Ø16mm 이상, 길이 500mm 이상의 형식을 갖는다. 절개면의 상부와 좌·우측의 고정핀은 와이어로프에 힘이 작용하는 방향의 반대 방향으로 표면에 직각으로부터 15도 가량 경사지도록 시공한다.

4) 지주

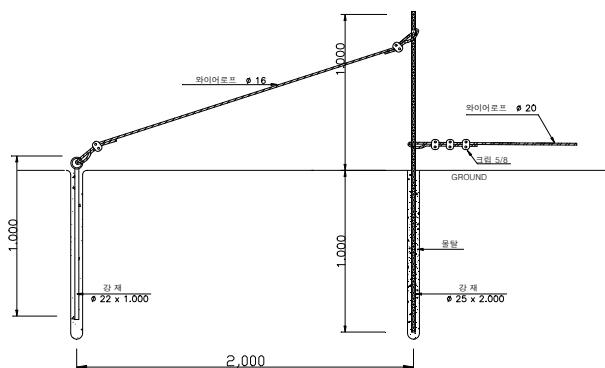
지주는 포켓식 낙석방지망의 상단부에 낙석입구를 설치할 경우 종로프를 절개면 상단에 고정시켜 절개면 하단으로 늘어뜨리는 역할을 한다. 지주는 $150 \times 75 \times 5 \times 7\text{mm}$ 규격인 H형강을 연장 $1,500\text{mm}$ 이상 사용하거나 지름 25mm 이상의 강재를 2m 이상 절개면에 정착시키고 지면 위로는 1m 이상 띄어 설치하기도 한다(그림 13). 지주는 하단으로 떨어지는 로프와 절개면상단의 후방 $2\sim 3\text{m}$ 에서 직경 $\varnothing 22\text{mm}$ 이상, 연장 $1,500\text{mm}$ 이상의 철근에 고정되는 로프가 연결되어 낙석이 종로프와 충돌할 경우 로프의 구조를 지탱하는 역할을 한다. 반면, 낙석입구가 필요 없는 곳은 상단부 지면에서 고정핀을 사용하여 낙석방지망을 절개면에 부착시킨다. 이때, 보조고정핀을 사용하기도 한다.

5) 결속선

결속선은 망과 망이 겹치는 부위와 망과 와이어 로프가 겹치는 부위를 접합할 경우에 사용하는 것으로 망과 같은 규격의 제품(지름 $4.0\sim 5.0\text{mm}$)을 사용하여 풀리지 않도록 60cm 이상 연속해서 망눈에 맞추어 망눈마다 감아 주어야 한다. 망과 망이 겹치는 부위는 50cm 이상 겹쳐야 하며 포개진 구간의 중앙부에 절개면 상부로부터 하단 부까지 전구간에 걸쳐 연결하여야 한다. 망과 와이어로프가 겹치는 부분의 경우 비포켓식 낙석방지망은 조립구와 조립구 사이의 중앙부에 60cm 연속으로 결속하며 포켓식 낙석방지망은 횡 방향과 종 방향 모두 와이어로프를 따라가며 경간 길이의 20% 만큼 고르게 망눈마다 결속해야 한다.

6) 조립구

조립구는 낙석방지망에서 사용되는 와이어로프의 교차점에 설치되는 십자형 구조물로 와이어로프의 이탈을 방지하고 교차지점의 지지력 강화를 목적으로 사용된다. 포켓식의 경우 애폭시 등을 주입하여 와이어로프의 이완을 없애도록 한 조립구를 사용하며 비포켓식에서는 조립구와 고정핀으로 고정한다. 이 때 조립구와 와이어로프사이의 인장력은 $2,500\text{kgf}$ 이상이 되어야 한다.



<그림 13> 지주 구조의 예

나. 재료

낙석방지망에서 사용되는 재료와 규격은 다음과 같다.

1) 와이어로프

와이어로프는 KS D 3514(와이어로프)에 적합하여야 한다. 로프는 직경 16mm 이상을 사용하며, 강연선의 소선구는 6가닥으로 보통 Z형 꼬임 ($\phi 16\text{이상} \times 6 \times 24$)이어야 한다. 낙석방지망에서 사용되는 와이어로프는 파단 하중에 따른 종류 중 G종과 A종을 사용한다. G종의 경우 로프 지름이 16mm 일 때 117kN 이상, 20mm 일 때 183kN 이상의 파단하중을 견디어야 하며 A종의 경우 로프 지름이 16mm 일 때 126kN 이상, 20mm 일 때 197kN 이상의 파단하중을 견디어야 한다. 소선 지름은 0.88mm이며 아연 부착량은 G종의 경우 85g/m^2 이상, A종의 경우 70g/m^2 이상이어야 한다.

2) 철망

KS D 7036(염화비닐 피복 철선)과 KS D 7018(체인링크 철망)에 적합하여야 한다. 철망에서 사용되는 심선의 지름은 3.20~4.00mm로 아연도금 후 PVC 코팅된 선지름이 4.0~5.0mm, 망눈의 치수가 $50 \times 50\text{mm}$ 이상의 것을 사용한다. 이때 아연 부착량은 국내에서 일반적으로 사용되는 SWMV-GS2종을 기준으로 할 때 심선직경 3.2mm는 30g/m^2 , 심선직경 4.0mm는 35g/m^2 이상이어야 한다.

3) 지주

H형강을 지주로 사용할 경우 KS D 3503(일반구조용 압연강재)에 제시된 종류 중 SS 400을 사용하여야 한다. 재질의 인장강도는 $400\sim 510\text{N/mm}^2$, 항복점은 245N/mm^2 이상이어야 하며 연신율은 17% 이상이어야 한다. 강재를 지주로 사용하는 경우 사용되는 재료는 KS D 3504 (철근 콘크리트용 봉강)의 SD 30A를 사용하여야 한다. 재질의 인장강도는 $441\sim 598\text{N/mm}^2$, 항복점은 294N/mm^2 이상이어야 한다.

4) 결속선

결속선은 코팅 철망과 동일한 재료를 사용한다.

5) 조립구

조립구의 재질은 강재를 사용할 수 있다. 강재는 KS D 3503(일반구조용 압연강재)에 제시된 종류 중 SS 400을 사용한다. 이 때 조립구와 와이어로프사이의 인장력은 24.44kN(2,500kgf) 이상이 되어야 한다.

4.2 낙석방지울타리

가. 구조

국내에서 일반적으로 사용하고 있는 낙석방지울타리는 H형강을 지주로 와이어로프와 철망을 부착시키는 형식이 사용되고 있다. 지주는 상단부가 도로 쪽으로 휘어 있는 곡주식 형태가 주로 사용되고 있으며 신장 능력이 뛰어난 와이어로프와 철망이 부착되므로 낙석 발생 시 지주, 와이어로프 그리고 철망이 일체가 되어 낙석의 에너지를 흡수한다.

1) 지주

낙석방지시설에 사용되는 중간지주는 $150 \times 75 \times 5 \times 7\text{mm}$ 단위 규격이상의 단면계수를 갖는 H형강으로 직선부가 2.5m 이상의 연장을 가지며 상단의 곡선부가 0.5m 이상의 연장을 가지는 것을 이용한다. 지주의 간격은 2~3m 간격으로 설치하며 단부 지주를 매 60~100m마다 설치한다.

단부 지주는 $150 \times 150 \times 7/10$ 단위 규격의 H형강이나 $150 \times 150 \times 4.5$ 단위 규격의 □형강을 주로 사용하며 필요에 따라 다른 규격을 사용할 수 있다. 표 4는 낙석방지울타리에서 사용 가능한 지주의 규격이다.

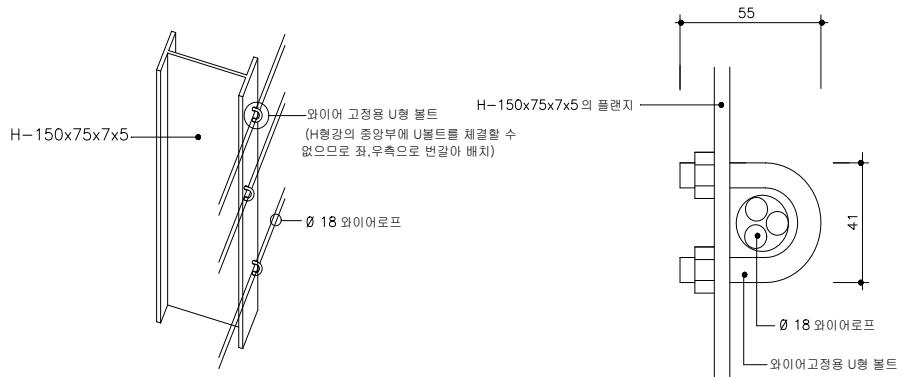
H $200 \times 100 \times 8 \times 5.5$ 인 H형강을 지주로 사용하여 3m의 지주간격으로 설치할 경우 흡수 가능한 에너지가 증가하여 따라서 성능 강화의 목적으로 이러한 형식을 사용할 수 있다.

2) 와이어로프

와이어로프는 지름 18mm의 케이블을 표준으로 사용하며 울타리 지주의 직선부에 30cm 간격으로 설치하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 낙석방지울타리의 성능을 강화하기 위한 목적으로 20cm 간격으로 좁혀 설치할 수 있다. 와이어로프는 각 지주에 구멍을 뚫어 와이어로프를 통과시키고 단부 지주에서 인장을 주어 고정시키는 방법과 표준도의 와이어 고정구를 사용하는 방법 그리고 M 12mm 이상의 U형 볼트를 사용하여 와이어로프를 지주에 고정시키는 방법(그림 14)이 있다(그림 15). 이때 U형 볼트는 H형강의 중앙부에 설치할 수 없으므로 좌·우측을 번갈아 배치한다.

3) 철망

철망은 마름모꼴 모양으로 망 눈의 치수는 $50 \times 50\text{mm}$ 이상이고 PVC로 코팅된 망을 사용한다. 철망과 와이어로프는 경간 길이의 20% 이상 결속해 주어야 한다.



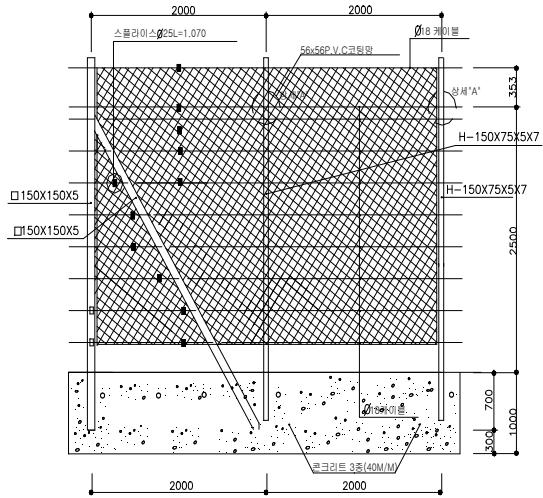
<그림 14> U형 블트 예

<표 4> 낙석방지울타리의 지주 규격

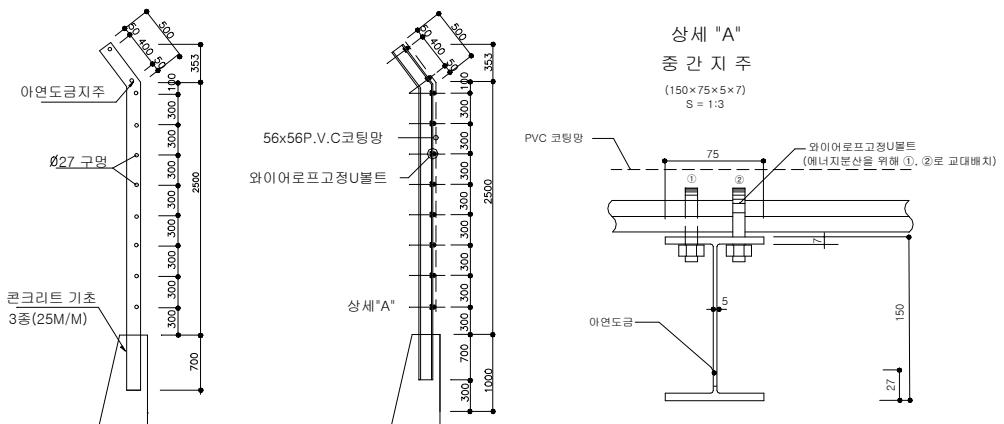
와이어로프		중간지주			단부	흡수 가능 에너지(kJ)
지름	간격 (mm)	단면치수 (mm)	매입길이 (mm)	표준간격 (mm)		
Ø18	200~300	H150×75 ×5×7	700 이상	2000~3000	H150×150×7/10 □150×4.5	48
Ø18	200~300	H200×100 ×5.5×8	700 이상	2000~3000	H175×175×7.5/11 □175×5.0	56
Ø18	200~300	H200×100 ×5.5×8	700 이상	2000~3000	H200×200×8/12 □175×5.0	61

주) 1. 단부의 지주와 벼름재는 같은 규격을 사용한다.

2. 흡수 가능 에너지 계산은 지주간격 2.0m, 와이어로프 간격 30cm를 기준으로 하였다.



측 면 도
(단 부 지 주)
(중 간 지 주)



<그림 15> U형 볼트를 사용한 낙석방지울타리의 예

나. 재료

낙석방지울타리에 사용되는 재료와 규격은 다음과 같다.

1) 지주

- 낙석방지울타리의 지주에 사용되는 재질은 KS D 3503(일반구조용 압연강재)에 제시된 종류 중 SS 400을 사용한다. 재질의 인장강도는 $400\sim510\text{N/mm}^2$, 항복점은 245N/mm^2 이상이어야 하며 연신율은 17% 이상이어야 한다.
- 아연부착량은 600g/m^2 이상이어야 한다.

2) 와이어로프

와이어로프의 외접원직경은 18mm 이상으로 절단하중은 157kN이상이어야 한다. 아연도금 부착량은 소선에 대해 $230\text{g}/\text{m}^2$ 이상이어야 하며 기타 규격은 KS D 3514(와이어로프)를 따라야 한다.

3) 철망

낙석방지울타리에서 사용하는 철망은 낙석방지망에서 사용하는 것과 동일한 제품으로 KS D 7036(염화비닐 피복 철선)과 KS D 7018(체인링크 철망)에 적합하여야 한다. 철망에서 사용되는 심선의 지름은 3.20~4.00mm으로 아연도금 후 P.V.C 코팅한 선의 지름은 4.0~5.0mm이며 망눈의 치수는 $50\times50\text{mm}$ 이상의 것을 사용한다. 이때 아연 부착량은 국내에서 일반적으로 사용되는 SWMV-GS2종을 기준으로 할 때 심선직경 3.2mm는 $30\text{g}/\text{m}^2$, 심선직경 4.0mm는 $35\text{g}/\text{m}^2$ 이상이어야 한다. 피복의 색은 녹색 계통의 색을 사용한다.

<표 5> 낙석방지시설 관련 한국산업 규격

종 류	구 조	관 련 규 정
낙석방지망	와이어로프	KS D 3514(와이어로프) G종과 A종
	철망	KS D 7036(염화비닐 피복 철선) SWMV-GS 2종 KS D 7018(체인링크 철망) V종
	지주	KS D 3503(일반구조용 압연강재) SS400 KS D 3504(철근 콘크리트용 봉강) SD 30A
	결속선	KS D 7036(염화비닐 피복 철선) SWMV-GS 2종 KS D 7018(체인링크 철망) V종
	조립구	KS D 3503(일반구조용 압연강재) SS400
낙석방지 울타리	지주	KS D 3503(일반구조용 압연강재) SS400
	와이어로프	KS D 3514(와이어로프) G종과 A종
	철망	KS D 7036(염화비닐 피복 철선) SWMV-GS 2종 KS D 7018(체인링크 철망) V종

4.3 낙석방지용벽

가. 구조

1) 철근

1. 옹벽에는 건조수축 및 온도변화에 의해 발생하는 균열을 방지하기 위하여 다음과 같이 철근을 옹벽의 지표 밖 노출면에 배치하는 것이 좋다.
 - ① 연직방향 철근비는 옹벽 유효길이분의 옹벽 저면의 면적비에 대해서 0.0015 이상으로 한다.
 - ② 수평방향 철근비는 매설길이방향의 단면적에 대하여 0.0025 이상으로 한다.
2. 조립철근은 강성을 확보할 수 있도록 충분하게 배치한다.
3. 철근의 끝부분은 반원형의 후크 또는 직각 후크까지이며, 확실하게 정착을 해야 한다.

2) 수축이음 · 신축이음

1. 옹벽에는 표면에 V자형의 홈을 파서 수축을 방지하기 위한 수축이음을 설치하는데 이 때 설치간격은 9m 이하이어야 한다.
2. 옹벽 길이 방향으로 30m(중력식, 반중력식 옹벽은 10m) 이하마다 신축이음을 설치하되 지형을 고려하여 낙석의 충격이 작을 것이라고 판단되는 위치에 설치한다.
3. 신축이음부는 연결재, 채움재(joint filler), 밀봉재(joint sealing) 및 부대품을 설치하고 옹벽상단에 난간 등이 설치될 경우, 난간도 절단하여야 한다.
4. 채움재는 기 타설된 콘크리트 면에 충분히 밀착시켜 수밀성이 확보되도록 해야 하며, 다음 구간의 콘크리트 타설시 뜨거나 밀리지 않도록 단단하게 고정시켜야 한다.

3) 배수

지형 등을 고려하여 옹벽 배면에 지표수와 지하수가 많을 것이라고 생각되는 경우에는 옹벽내 배수공, 지반의 수발공, 배수총 및 필요한 배수설비를 시공하여야 하며 이들의 치수와 구조 등은 현장의 상황에 적합하게 결정하여야 한다.

나. 재료

낙석방지용벽이 콘크리트 옹벽일 경우는 「건설공사 비탈면 표준시방서」의 「제10장 콘크리트 옹벽의 재료」와 같으며 콘크리트의 강도는 설계에 따른다.

1) 벼림 콘크리트

벼림콘크리트의 압축강도는 15MPa 이상으로 한다.

2) 구체 콘크리트

KS F 4009에 규정된 레디믹스트 콘크리트로서 설계에서 요구하는 강도 이상이어야 하고, 공기량 $4.5\pm1.5\%$, 슬럼프 $15\pm2.5\text{cm}$, 굽은골재 최대치수 25mm 이하로 한다.

3) 문양 거푸집

옹벽전면에 미관적인 측면을 고려하여 문양을 넣는 것을 권장하며, 문양거푸집으로는 합성수지 무늬거푸집 또는 이와 상응하는 무늬거푸집을 사용하고, 그 재질은 제조업체의 시방에 따른다.

4) 신축이음의 연결재, 채움재, 밀봉재 및 부대품

1. 신축이음 연결재

- ① 슬립바는 KS D 3504의 원형봉강 SR300의 규정에 적합한 지름 30mm 철근으로, 에폭시도장을 하고 자유단은 최소한 300mm 길이에 대하여 승인된 그리스를 고르게 칠해야 한다.
- ② 플라스틱 캡은 KS M 3401 또는 KS M 3404에 합치하거나 동등 이상의 관을 사용하며, 고정단의 단부는 마스킹 테이프 등으로 밀봉한다.

2. 조인트 채움재는 KS F 2538의 규정에 적합하고 KS F 2471의 시험규정에 합격한 제품을 사용한다.

3. 조인트 밀봉재는 KS F 4032의 S.C.O-1-A-N의 규정에 적합한 제품으로서 KS F 4910 U-2-8020 -A-N 규정 이상의 품질이어야 하며, 콘크리트와의 부착력이 강하고, 저온에서 박리되지 않는 제품이어야 한다.

4. 부대품

- ① 프라이머는 얼룩이 지지 않고 사용하기에 적합하며, 기준에 적합한 재료를 사용한다.
 - ② 백업재는 이음매의 폭보다 치수가 20~50% 더 크고, 모양이 둥근 폴리에틸렌 품막대를 사용한다.
5. 철근은 KS D 3504의 이형봉강 SD300 및 SD400의 규정에 적합하여야 한다.
 6. 옹벽 뒤채움잡석은 경질이고 변질된 염려가 없는 잡석 또는 조약돌로서 입경 150mm 내외의 대소알이 적당한 입도로 혼합된 것이어야 한다.
 7. 옹벽 되메우기용 재료는 유기질토, 동토, 빙설, 초목, 다량의 부식물을 포함한 흙이 섞이지 않아야 하며, 함수나 건조에 의하여 불안정하게 되는 실트나 점토 및 불량 연석 등은 제외된 것이어야 한다. 또한, KS F 2312 다짐시험에 의한 소요 다짐도와 설계밀도 및 강도정수를 만족해야 하며 배수성이 양호하고 함수비 변화에 따른 강도 특성의 변화가 적은 사질토이어야 한다.
 8. 배수구멍에는 KS M 3401 또는 KS M 3404에 규정된 관경 65~100mm의 관 또는 동등 이상의 것을 사용한다.

4.4 피암터널

가. 구조

1) 깎기

피암터널을 시공하기 위한 깎기는 「건설공사 비탈면 표준시방서」의 「제5장 비탈면 깎기」의 해당규정을 따른다.

2) 기초지반

- 피암터널이 놓일 기초지반은 구조물 및 뒤채움 하중을 포함한 전체 상부하중에 대하여 충분한 지지력을 가져야 하며, 과도한 침하를 유발해서는 안 된다.
- 상부토파 두께의 변화에 따른 구조물의 부등침하를 예상하여 구조물 바닥면에 일정량의 캠버를 둘 수 있다. 이때, 캠버의 양은 구조물 총 길이의 1% 이내로 한다.

3) 뒤채움

- 콘크리트 피암터널은 뒤채움시 별도의 다짐을 실시하지 않으나 강재 피암터널 및 파형 강판 피암터널의 경우는 1층 다짐 완료 후 두께가 0.2m 이하이어야 하며, 그 밀도는 3 층 또는 50m³마다 KS F 2312의 C, D 또는 D방법으로 구한 최대건조밀도의 95% 이상이 되어야 한다.
- 강재 및 파형강판 피암터널의 뒤채움부 다짐작업중에는 강재 및 강판벽체로부터 0.6m 이내에 다짐장비를 제외한 중장비의 주행을 엄격히 통제하여야 한다. 측면다짐 시 다짐 장비는 구조물 길이방향과 나란하게 주행시켜야 하며, 상부다짐 시에는 피암터널 길이 방향과 직각으로 주행시키도록 한다.
- 파형강판 피암터널의 경우는 구조물 양측의 다짐높이 차이는 한층 다짐두께 이하이어야 하며, 편토압으로 인한 구조물 변형시에는 하중을 제거하여 단면형상을 바로잡은 후 다시 다짐을 실시하도록 한다.

4) 콘크리트 피암터널

- 콘크리트 타설 시에는 재료분리가 생기지 않고, 골고루 채워져서 공극이 발생하지 않도록 하여야 하며 균열발생시 전문가의 검토 후 적절한 조치를 취할 수 있도록 한다.
- 건조수축에 의한 균열이 발생하지 않을 길이로서 정해진 당해 타설분량의 콘크리트는 연속하여 타설하여야 하며, 재료분리가 일어나지 않는 타설속도를 유지하여야 한다.
- 콘크리트 타설 후 바이브레이터 등을 이용하여 다짐을 시행하여야 한다.
- 콘크리트의 건조수축으로 인한 균열을 방지하기 위해 적절한 간격으로 수축이음부를 두어야하며 용수 혹은 유수에 의하여 콘크리트의 품질이 저하되지 않도록 한다.
- 콘크리트에는 균열발생이 최소가 되도록 시공 시 주의하여야 하며 균열발생이 예상되는 구간에는 필요한 대책을 강구하여야 한다.
- 터널내부와 외부의 온도 차이에 의한 영향으로 신축이음이 필요한 경우에는 신축이음을 둘 수 있다.

5) 프리캐스트 피암터널

1. 프리캐스트 콘크리트 부재의 운반과 설치는 부재에 손상을 주지 않는 요령으로 해야 한다.
2. 프리캐스트 콘크리트 부재는 하중보다 용량이 큰 기계적인 양중장비를 사용하여 제자리에 정밀하게 세워 시공허용오차 내로 설치해야 하며 항시 직립위치를 유지하게 하고, 부재의 조작은 부재에 과재응력이나 손상이 가지 않는 요령으로 명시된 양중장치나 쿠션패드를 사용해야 한다.
3. 프리캐스트 콘크리트 부재는 힘의 편심작용이 없게 정확한 위치에 세우고, 지지면과 완전하고 균등하게 접합되게 해야 한다.
4. 설치가 완성되었을 때 부재가 수직, 수평, 사각 및 선에 맞고 각과 연단은 구조물선에 평행해야 한다.
5. 설계도서에 명시된 대로 소음방지봉함을 시공하고, 밀착된 봉함이 되도록 15% 이상 압축해야 한다.
6. 설계도서에 명시된 대로 충전재를 제자리에 설치해야 한다.

6) 강재 피암터널

1. 강지보재 기초부에 전달되는 하중이 큰 경우에는 충분한 지지력을 제공할 수 있는 바닥보강 콘크리트 받침을 사용하여야 한다.
2. 경사 또는 굴착면이 튀어나와 강지보재의 설치가 곤란한 경우에는 튀어나온 부분을 제거한 후 설치하여야 하며 깍기면의 안정을 위하여 필요시 깍기면에 콘크리트 뿐어붙이기를 실시한 후 강재 피암터널을 시공할 수 있다.
3. 시공된 강지보재를 수정하여야 할 경우에는 1조 단위로 하여야 한다.

4. 개단면 구조물의 기초부

- ① 개단면(아치형 단면) 구조물의 경우 강판벽체를 지지할 수 있는 기초 콘크리트 구조물을 정확한 위치에 설치해야 하며, 베이스채널 간격은 측량을 통해 확인해야 한다.
- ② 강판과 기초 콘크리트는 베이스채널을 이용하여 연결하는데 베이스채널은 콘크리트 타설 전에 매설앵커와 함께 설치하며, 콘크리트 타설 후에는 앵커로 고정시킨 앵글(anchored connection angle)을 사용할 수 있다. 채널은 강판과 직각으로 연결되도록 한다.

5. 강판조립

- ① 강판조립은 설계도서 또는 시공계획서에 따라 실시되어야 하며, 하류측(낮은쪽)에서 상류측(높은쪽)으로 진행하고, 필요할 경우에는 지지대, 또는 강선을 이용하여 설계단면 형상이 유지되도록 한다.
- ② 곡률반경이 변하는 위치 외에는 구조물 길이방향으로 이음부의 위치가 연속되지 않도록 조립해야 한다.
- ③ 볼트의 공칭 조임토크는 $200\sim400\text{N}\cdot\text{m}$ 로서 전체에 걸쳐 균등한 토크로 조립해야 한다. 강판 조립이 완료된 후에는 길이방향 이음부와 원주방향 이음부에 대해 각각 볼트 전체수량의 3%에 해당하는 수량을 무작위로 선정하여 토크계이지로 검사하여야 한다.

하며, 공칭토크 범위 밖의 볼트 수량이 검사대상 수량의 10% 이상일 경우는 전체 볼트를 대상으로 다시 조임을 실시해야 한다.

6. 토피부의 시공

- ① 강판구조물 천단부(crown)에서 최소 토피두께까지의 영역은 구조적 뒤채움부에 준하여 시공하며 최소 토피두께가 확보되지 않은 상태에서는 다짐장비를 제외한 중장비의 구조물 상부 통행을 금지해야 하며, 중량물을 약적해서는 안 된다.

나. 재료

1) 콘크리트 피암터널

1. 콘크리트의 배합 및 운반

- ① 콘크리트는 설계조건을 만족시키며, 재료분리 및 공극이 발생되지 않을 정도의 위커 빌리티를 갖도록 배합을 정하여야 한다.
- ② 배합된 콘크리트는 비빈 후 가능한 한 빨리 타설하여야 한다. 비빈 후 타설이 완료할 때까지의 시간은 외기 온도가 25°C 이상인 경우에는 1.5시간, 25°C 이하일 때에는 2시간을 초과하여서는 안 된다. 단, 자연제를 사용하는 경우에는 콘크리트의 품질의 변동이 없는 범위 내에서 책임기술자의 승인을 얻어 상기의 시간제한을 조정할 수 있다.
- ③ 콘크리트의 혼장배합은 시방배합을 기준으로 사용재료, 타설방법 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- ④ 배치플랜트 배합콘크리트는 재료의 분리, 손실, 이물질의 혼입이 생기지 않는 방법으로 운반하여야 한다. 운반에는 교반기(agitator)가 부착된 운반차를 사용하여야 하며, 기타의 운반방법에 의할 때는 운반방법의 적정성을 검증하여야 한다.

2. 프리캐스트 콘크리트 부재

- ① 콘크리트의 기준강도는 도면 또는 특기에 따르되 30MPa 이상으로 한다.
- ② 치밀하고 고강도의 콘크리트가 요구될 경우에는 시멘트 무게의 10% 미만으로 포조란 혼화재를 유용화제와 함께 혼합할 수 있다.
- ③ 부재는 명시된 치수, 형상대로 제작된 것이어야 한다.

2) 강재 피암터널

1. 강재는 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호한 강재를 사용하여야 한다.
2. 강재의 재질은 KS D 3503에 규정된 SS400을 표준으로 하며 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 한다.
3. 강재는 작용하중, 피복덮개 등을 고려하여 적절한 단면과 치수가 되도록 한다.
4. 강지보재의 이음 개소는 거치 및 시공성을 고려하여 정하되 이음개소를 최소화하고 구조적으로 유리한 곳에서 견고하게 체결될 수 있도록 제작하여야 한다.

3) 파형강판 피암터널

1. 파형강판

- ① 파형강판의 규격은 표준형과 대골형으로 구분되며 KS D 3503, 3506 기준을 만족하는 구조용 강재를 사용하여야 하며, 용융아연도금된 것이어야 한다. 단, 단기간 동안 임시구조물로 사용하고자 할 경우에는 아연도금을 생략할 수 있다.
- ② 강판은 특별히 지정되지 않는 한 반드시 최종형태로 성형하고, 볼트구멍을 편침한 후에 용융 아연 도금해야 하며, 도금 후에는 임의 절단하거나 형상을 변화시켜서는 안 된다.

2. 볼트 및 기타

- ① 강판조립에 사용하는 볼트, 너트는 표준규격에서 정하는 제품을 사용해야 하며, 콘크리트와 연결시키기 위한 앵커볼트, 베이스채널은 각각 볼트 및 강판의 재료기준에 부합하여야 한다.
- ② 단기간 임시구조물로 사용할 경우 외에는 상기 금속부속자재는 반드시 아연도금 되거나, 녹슬지 않는 재료를 사용해야 한다.

3. 구조적 뒤채움재료는 다진 후 압축성이 작고 내구성이 우수한 부순돌, 자갈, 입도분포가 양호한 모래 등 감독자(또는 감리자)가 확인한 재료, 또는 혼합물로서, 표 6과 같이 노상재료 이상의 품질을 보유해야 한다.

<표 6> 지중강판구조물의 구조적 뒤채움재료의 품질기준

분류	A	B
등급	보조기층재급(SB-1, SB-2)	노상토급
통일분류 기호	GW, SW, GP, SP	SM, SP

4) 완충재

낙석이 피암터널의 지붕에 떨어졌을 때의 충격을 완화시키기 위한 완충재로는 모래와 폐타이어를 주로 사용하며 EPS도 사용할 수 있다.

1. 모래

완충재로 사용할 모래의 함수비 및 침입깊이 기준은 표 7과 같다.

〈표 7〉 완충모래의 품질기준

단위중량 (MN/m ³)	함수비(%)	침입깊이(mm)	비 고
15.4	0.4	37	1.5m 높이에서 자유낙하시켜서 포설
15.6	0.3	24	1.2kN의 롤러로 5회 왕복 다짐
15.7	1.1	21	200ℓ의 물을 뿌림

※ 침입깊이는 3kN의 추를 0.7m 두께의 모래에 올려놓았을 때 침입된 깊이

2. 폐타이어는 가볍고 탄성이 좋은 승용차용을 사용한다.
3. EPS(발포폴리스티렌)는 KS A 1513 포장용 발포폴리스티렌 완충재에 규정된 제품을 사용한다.

5 낙석방지시설의 설계 및 설치

5.1 낙석방지시설의 설계

가. 낙석방지망

1) 비포켓식 낙석방지망

낙석의 하중과 망의 무게를 견딜 수 있는 와이어 로프의 지름을 결정하고 전체 하중이 고정핀에 작용한다고 가정하고 고정핀의 안정을 계산하여 설계한다.

2) 포켓식 낙석방지망

낙석방지망의 흡수기능 에너지와 망에 충돌하는 낙석에너지를 비교하여 설계하여야 하며 지주의 강도와 안정성 검토를 실시하여야 한다.

나. 낙석방지울타리

낙석이 낙석방지울타리를 뛰어 넘지 않도록 적정한 높이와 이격거리를 결정한 후 울타리의 허용범위 내에서 흡수기능 에너지를 결정하여 낙석에너지와 비교하여 설계하며 기초의 안정성에 대해 검토하여야 한다.

【설 명】

낙석방지시설의 설계시 우선적으로 고려해야 할 것은 구조물이 받아야 하는 외력, 즉 낙석의 에너지이다. 이 경우, 예상되는 낙석 등의 중량, 낙하속도 및 낙석방지시설의 작용방향,

작용위치 등이 고려되어야 하며 이들은 각 현장의 지형 및 지질, 절개면 풍화도, 식생 및 다른 낙석방지시설의 유무에 따라 크게 다르다. 따라서, 낙석방지시설을 설계할 때에는 현장조사가 필수적으로 선행되어야 하며, 이러한 현장조사와 과거 낙석 등의 경험을 바탕으로 설계에 필요한 변수(낙하가 예상되는 암석의 중량, 낙하 높이, 절개면의 높이 등)를 결정하여야 한다.

낙석방지시설의 설계 방법은 에너지 계산에 의한 것과 정적인 강도 계산에 의한 것이 있으며, 본 지침에서는 에너지 계산에 의한 방법을 적용하였다. 낙석방지시설의 설계 시에는 항상 적정의 안정성을 예상할 수 있어야 하며, 노선의 특성, 낙석의 발생 가능성, 그리고 경제성을 감안하여야 한다.

가. 낙석방지망

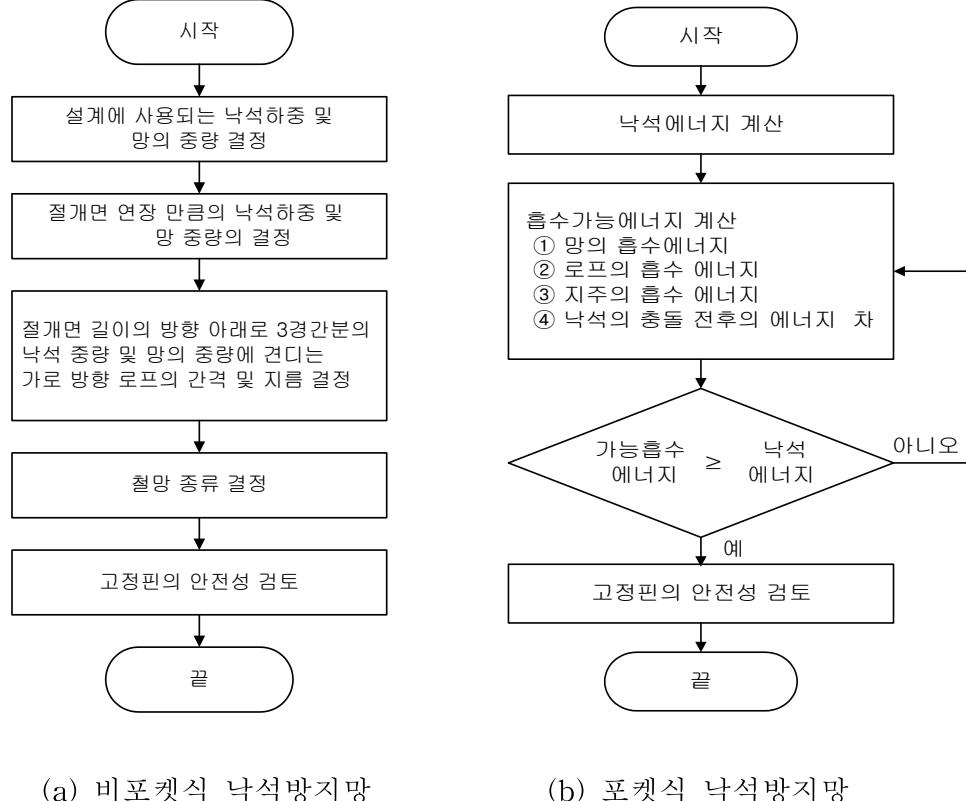
낙석방지망의 설치가 필요할 경우 설계에 앞서 우선적으로 고려되어야 할 것은 어떤 형식의 방지망을 설치할 것인가이다.

비포켓식과 포켓식 낙석방지망의 선택은 표 6에 제시된 장단점을 고려하고 앞서 설명된 바와 같이 절개면의 상태와 시공성을 고려하여 결정하여야 한다.

<표 8> 낙석방지망의 장단점 비교

구분	비포켓식	포켓식
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 절개면에 낙석과 낙석방지망을 밀착시켜 암편의 이탈을 방지함 	<ul style="list-style-type: none"> - 발생된 낙석이 절개면의 하단부에 모이게 되므로 낙석 제거 등 유지관리 용이
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 고정핀설치 시 암반의 크랙 발생으로 2차의 낙석발생 위험 조성 - 낙석발생 시 조립구에 의한 적체로 낙석방지망 파손 및 처리작업 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> - 대규모 낙석 발생시 하단부의 상대적 충격력 과다로 낙석방지망 파손 우려

이들 낙석방지망의 설계과정을 간략하게 정리하면 그림 16과 같다.



<그림 16> 비포켓식과 포켓식 낙석방지망의 설계 과정 흐름도

1) 비포켓식 낙석방지망의 설계

비포켓식 낙석방지망은 모암과 결합력이 상실된 암편을 망과 모암의 마찰력으로 낙석을 억제하는 것이다. 따라서, 낙석방지망은 이 경우에 발생하는 망의 장력과 함께 자체 중량을 견딜 수 있는 강도가 필요하다. 따라서 탈락할 것으로 추정되는 낙석의 하중 및 망의 자체 중량에 견딜 수 있는 로프의 지름을 결정하며, 로프에 작용하는 전체 하중이 고정핀에 작용한다고 가정하고 고정핀의 안정성에 대하여 계산한다.

비포켓식 낙석방지망은 다음과 같은 순서에 의해 설계한다.

- ① 설계에 사용할 낙석하중과 낙석방지망 자체의 중량을 결정한다.
- ② 종로프 1개의 경간에 작용하는 낙석 하중 및 망의 자체 중량에 견딜 수 있는 종로프의 지름을 결정한다.
- ③ 낙석 하중 및 망의 자체 중량에 견딜 수 있도록 횡로프의 지름을 결정한다. 이때 횡로프에는 절개면 길이 방향 아래쪽 3경간의 망자중 및 낙석 하중이 등분포 하중으로 작용하는 것으로 간주한다.
- ④ ③과 같은 하중에 견딜 수 있도록 망의 심선 지름을 결정한다.
- ⑤ 종로프와 횡로프에 작용하는 전체 하중이 고정핀에 작용한다고 가정하고 고정핀의 안정성을 계산한다.

한편, 현장에서 위와 같은 과정에 의해 설계가 불가능할 경우에는 표 7에 제시된 추정낙석중량과 최대 절개면 길이 및 경사도를 참고로 하여 적절한 형식을 선정하여 설치할 수 있다.

〈표 9〉 낙석방지망의 형식과 사용가능 조건

종별	비닐피복 철망규격 (mm)	로프 규격 (mm)	최 대 절개면 길 이	추정낙석 중 량 (/40m ²)	최 대 절개면 경사도
1,500형	Ø5.0×50×50	Ø16 이상	50m	1,500kg 까지	1 : 0.5
1,000형	Ø4.0×50×50	Ø16 이상	50m	1,000kg 까지	1 : 0.5

(a) 종로프 하중

종로프는 그림 17에 표시된 1의 폭사면내의 낙석중량 및 자중에 견디어야 하며 안전율은 와이어로프 과단하중에 대해 2이상으로 한다.

종로프에 작용하는 하중 W_v 는 다음과 같다.

$$W_1 = W_{11} + W_{12} + W_{13} + \dots + W_{1n}$$

$$W_2 = w_n \cdot l \cdot H$$

$$W_v = W_1 + W_2$$

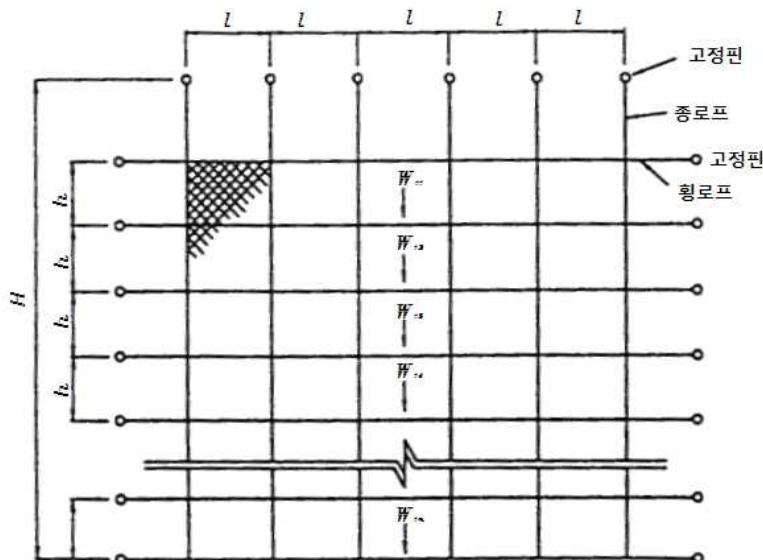
여기에서 W_1 : 횡로프 1 경간의 비탈 전장분의 낙석하중

$W_{11}, W_{12}, W_{13}, \dots, W_{1n}$: 폭 1, 높이 h 범위에서의 사면의 낙석중량

W_2 : 1 폭당 낙석방지망 전체의 하중

w_n : 낙석방지망의 단위면적당 중량

W_v : 종로프에 걸리는 하중



〈그림 17〉 와이어로프 개요도

(b) 횡로프하중

횡로프는 법장방향아래방향 3 경간의 자중 및 낙석중량을 등분포하중으로 받는 것이다. 역시 직하량 f 는 스판 1의 10%로 가정한다.

$$w = \frac{W_h}{l}$$

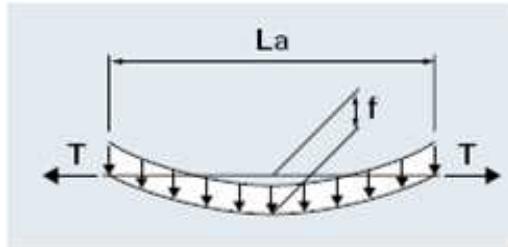
$$W_h = W'_1 + W'_2$$

$$T = \frac{W_l^2}{8f}$$

여기서, W_1' : 그림 17에서 폭 1과 높이 3h 범위내 낙석중량

W_2' : 그림 17에서 폭 1과 높이 3h 범위내 낙석방지망중량

W_h : 횡로프에 걸리는 하중



<그림 18> 횡로프에 작용하는 하중

(c) 망에 걸리는 하중

망에 걸리는 하중은 (b)와 같은 방법으로 고려된다.

(d) 비탈면의 구배에 의한 보정

실제로 설계계산에 이용되는 하중은 지반과 낙석간의 마찰계수 및 비탈면구배에 의해 다음의 식에 의해 보정한다.

$$W_a = (\sin\theta - \mu\cos\theta) W$$

여기서, W' : 실제 작용하는 하중

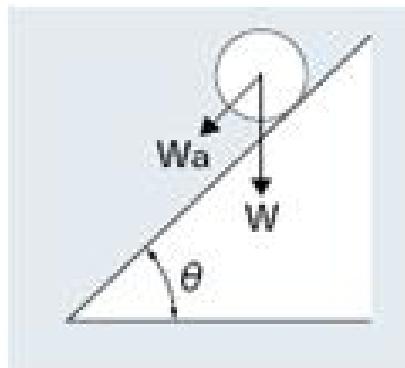
W : 낙석중량, 낙석방지망 자중

Θ : 비탈면구배

μ : 지반과 낙석의 마찰계수(≈ 0.5)

(e) 고정핀의 강도

고정핀은 종로프 및 횡로프 하중이 작용하는 것으로 강도 및 안정계산을 한다.



<그림 19> 비탈면구배

2) 포켓식 낙석방지망의 설계

포켓식 낙석방지망은 낙석에너지와 낙석방지망의 흡수 가능 에너지를 계산하고 이 두 에너지를 비교하여 낙석방지망의 흡수 가능 에너지가 낙석에너지보다 크도록 설계한다. 낙석방지망은 망을 구성하는 각 구조(철망, 와이어로프, 지주, 기둥 로프)의 성능이 가능 한도까지 동시에 발휘하도록 함으로써 흡수 가능 에너지를 추정할 수 있다. 그러나 각 구조의 성능차이, 시공성, 유지관리 등을 감안하면 철망 이외의 모든 구조(재료)가 철망보다 먼저 파괴되지 않도록 해야 한다. 또, 낙석에너지가 망의 흡수 가능 에너지보다 클 경우에는 낙석방지울타리, 낙석방지옹벽 등과 함께 사용하여야 한다. 또한 낙석방지망의 기능을 발휘하는 데 중요한 와이어로프의 지주는 와이어로프의 성능이 충분히 발휘될 때까지 강도 부족이나 이동 등이 일어나지 않도록 설계해야 한다.

포켓식 낙석방지망의 설계는 다음과 같은 순서에 의해 진행된다.

- ① 낙석의 중량과 속도 등을 추정하여 낙석 에너지를 결정한다.
- ② 포켓식 낙석방지망의 흡수 가능 에너지를 계산한다.
- ③ 흡수 가능 에너지가 낙석 에너지보다 크면, 로프의 하중에 견디도록 지주의 안정성을 검토한다.

(a) 낙석에너지의 계산

낙하하는 낙석이 포켓식 낙석방지망에 그림 17과 같이 충돌한다고 가정할 때 작용하는 낙석의 에너지(E_w)는 다음의 식을 이용하여 추정 가능하다.

$$E_w = \left(1 - \frac{\mu}{\tan \Theta}\right) \cdot m \cdot g \cdot H \sin^2 \Theta_o$$

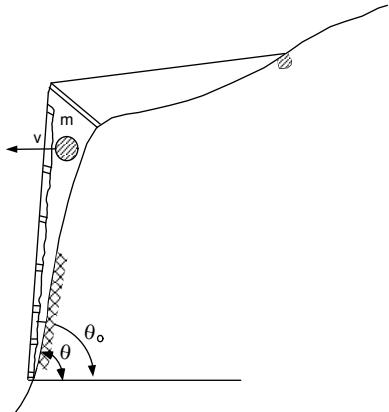
E_w : 낙석에너지 Θ : 절개면 경사각

m : 낙석의 중량 H : 낙차

Θ_o : 낙석방지망의 경사 g : 중력 가속도(보통 $9.8m/sec^2$)

μ : 등가 마찰 계수

상기 식을 이용하여 일반적인 국내 암반 절개면의 경사도인 $1:0.5$ 와 낙석의 질량 $0.3 \sim 3.0$ 톤을 대입하여 계산한 낙석의 예상 높이별 낙석에너지는 표 8과 같다.



〈그림 20〉 낙석의 충돌방향

〈표 10〉 낙석방지망에 작용하는 낙석 에너지

(단위 : kJ)

낙석중량(t)	낙석 예상높이		
	10m	20m	30m
0.3	22.74	45.49	68.24
0.4	31.44	62.88	94.32
0.5	37.91	75.82	113.73
1.0	75.81	151.64	227.46
1.5	113.73	227.46	341.19
2.0	151.63	303.28	454.92
2.5	189.55	379.10	568.65
3.0	227.46	454.92	682.37

(b) 포켓식 낙석방지망의 흡수가능 에너지 계산

낙석방지망의 흡수가능 에너지(E_r)는 다음의 식에 의해 계산된다.

$$E_r = E_N + E_R + E_P + E_{HR} + E_L$$

이 때, E_N : 철망의 흡수에너지 E_R : 로프의 흡수에너지

E_P : 지주의 흡수에너지 E_{HR} : 기둥 로프의 흡수에너지

E_L : 충돌 전후의 에너지 차

낙석방지망의 흡수가능 에너지를 구하기 위한 각 구조의 흡수 가능 에너지 계산식은 부록에 포함되어 있다.

이들 식과 현재 국내에서 사용되고 있는 낙석방지망의 제원을 이용하여 계산한 낙석방지망과 철망의 흡수 가능 에너지는 표 9와 같다.

<표 11> 낙석방지망과 철망의 흡수가능 에너지

낙석질량(t)	E_N (kJ)	E_R (kJ)	E_P (kJ)	E_{HR} (kJ)	E_L (kJ)	E_r (kJ)
0.3	26.51	5.1	0.002	-0.007	19.2	51.11
0.4	28.90	5.8	0.002	-0.007	20.5	55.10
0.5	31.31	6.4	0.003	-0.006	21.6	59.81
1.0	39.44	8.7	0.005	-0.005	23.8	72.94
1.5	45.12	10.5	0.006	-0.005	24.7	81.82
2.0	49.68	12.1	0.008	-0.005	25.1	88.88
2.5	53.52	13.6	0.009	-0.004	25.4	95.03
3.0	56.93	14.9	0.01	-0.004	25.6	100.44

- 주) 1. 지름 4.0mm의 철망을 사용한 경우를 계산하였다.
 2. 낙석의 밀도는 $2.65t/m^3$ 을 사용하였다.
 3. 계산은 종로프 간격 2m, 횡로프 간격 5m를 기준으로 하였으며 부록 1의 계산식을 사용하였다.

(c) 포켓식 낙석방지망의 설치 적정성 판단

포켓식 낙석방지망은 낙석에너지와 낙석방지망의 흡수 가능 에너지를 비교하여 설치 가능 여부가 결정된다. 즉, 낙석방지망의 흡수 가능 에너지가 낙석에너지보다 클 경우에만 그 기능을 정상적으로 발휘할 수 있으므로 설계 시 망의 흡수가능 에너지가 예상되는 낙석에너지보다 크도록 해야 한다.

본 지침에서는 국내에서 일반적으로 사용되는 포켓식 낙석방지망의 규격으로 계산한 망의 흡수 가능 에너지(표 9)와 절개면과 낙석 조건에 따라 예상되는 낙석에너지(표 8)를 비교하여 국내에서 일반적으로 사용되는 형식의 포켓식 낙석방지망의 사용가능여부를 표 10으로 표시하였다.

<표 12> 포켓식 낙석방지망의 사용가능여부

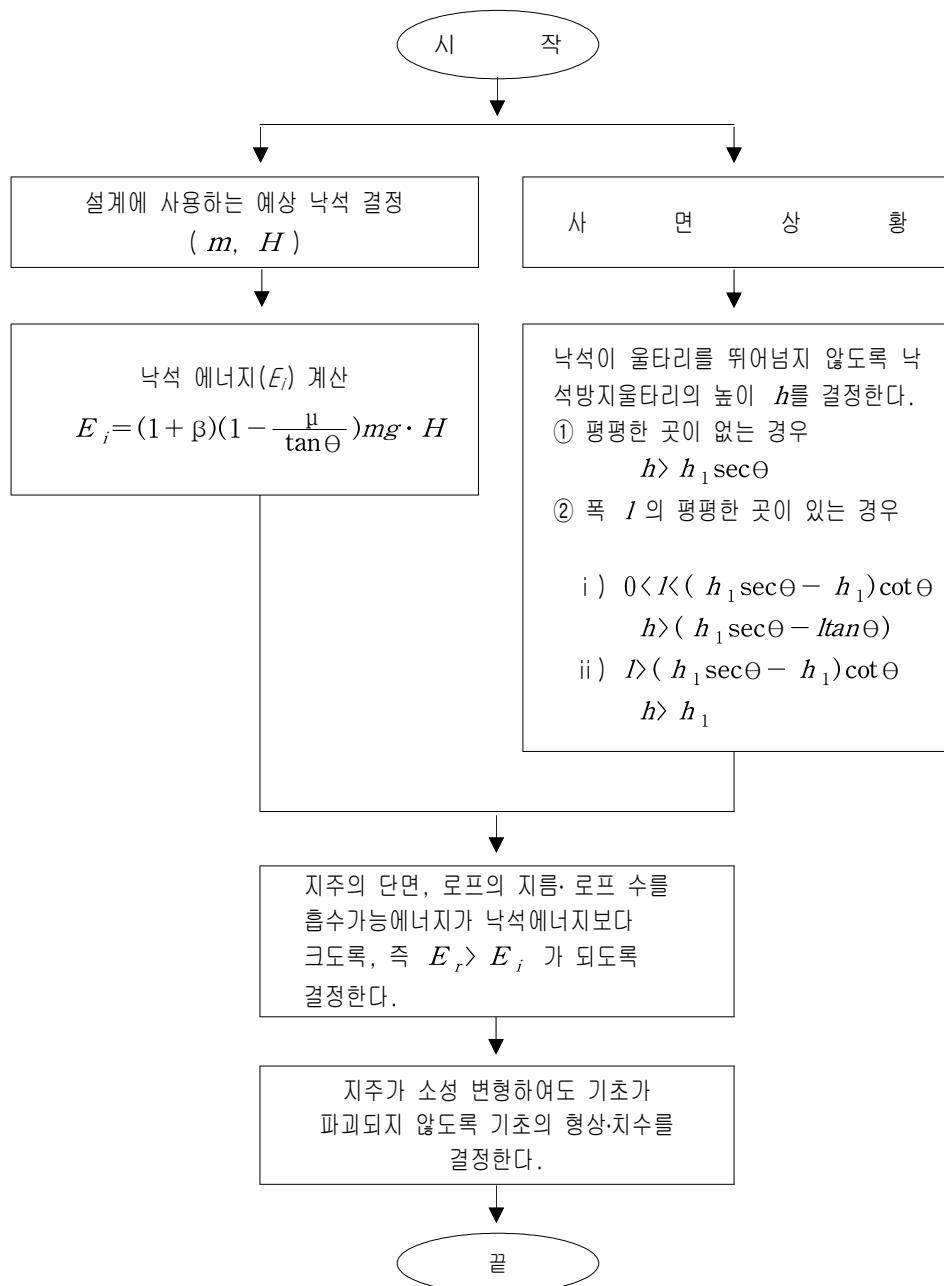
낙석 중량(t)	낙석 예상 높이		
	10m	20m	30m
0.3	○	○	×
0.4	○	×	×
0.5	○	×	×
1.0	×	×	×
1.5	×	×	×
2.0	×	×	×
2.5	×	×	×
3.0	×	×	×

주) ○ : 사용가능(흡수가능 에너지 > 낙석에너지)

× : 사용불가(흡수가능 에너지 < 낙석에너지)

나. 낙석방지울타리

낙석방지울타리는 지주, 와이어로프, 철망이 일체가 되어 낙석의 에너지를 흡수하는 것으로 비교적 규모가 작은 낙석방지대책으로 효과적이며 절개면의 상황에 따라 종류와 규격을 결정해야 한다. 낙석은 여러 가지 원인이 복잡하게 관련되어 발생하는 자연현상으로 그 형태도 복잡하고 발생위치나 규모 등의 차이도 큰 편이다. 따라서, 절개면의 지형 및 지질 특성에 대한 조사와 고려를 바탕으로 과거 낙석 등의 경험을 기초로 종류와 치수를 결정하여야 한다.



<그림 21> 낙석방지울타리의 설계 흐름도

낙석방지울타리는 암편이 울타리를 뛰어 넘지 않도록 적정한 높이를 확보하고 지주 및 와이어로프의 허용범위 이내에서 낙석에너지를 흡수할 수 있도록 부재 배치를 결정하고 기초 안정이 확보되도록 설계되어야 한다. 따라서, 낙석방지울타리의 설계시에는 방지울타리의 높이, 이격거리, 흡수 가능 에너지, 기초의 안정성 등에 대한 고려가 선행되어야 한다.

그림 18은 낙석방지울타리의 설계 및 설치 작업공정을 간략하게 도식화한 그림이다.

1) 낙석방지울타리의 높이

낙석방지울타리의 높이는 낙석이 튀는 높이와 절개면의 경사도에 의해 결정되어야 한다. 절개면과 직각방향인 낙석이 튀는 높이는 절개면의 굴곡이 큰 경우를 제외하면 일반적으로 2m 이하이므로 절개면의 경사도가 θ 인 경우 낙석방지울타리의 필요 높이는 일반적으로 $(2 \cdot \sec\theta)$ 로 계산된다. 그러나, 국내 절개면의 대부분이 발파에 의해 절취되어 절개면의 굴곡이 매우 크며 따라서 튀는 높이가 2m 이상이 되는 경우도 있으므로 주의가 필요하다. 또한, 절개면 앞에 낙석방지울타리를 설치할 수 있는 평지가 존재할 경우 낙석방지울타리의 높이를 평지의 거리 즉, 이격거리에 따라 낮출 수 있다.

개면으로부터 직각으로 측정한 낙석이 튀는 높이를 h_1 으로 하고, 절개면 경사도가 θ 인 경우 낙석방지울타리의 필요 높이는 다음과 같은 식으로 계산한다(그림 19).

① 낙석방지울타리 뒤에 절개면 하단부와 이격거리가 없는 경우

$$h > h_1 \sec\theta$$

② 낙석방지울타리 뒤에 폭 I 의 평평한 곳이 있는 경우

i) 이격거리(I)가 최소 필요이격거리보다 작은 경우 필요높이 계산식

즉, $0 < I < (h_1 \sec\theta - h_1) \cot\theta$ 일 때,

$$h > h_1 + \{(h_1 \sec\theta - h_1) \cot\theta - I\} \tan\theta$$

$$h > h_1 + (h_1 \sec\theta - h_1) - I \tan\theta$$

$$\therefore h > h_1 \sec\theta - I \tan\theta$$

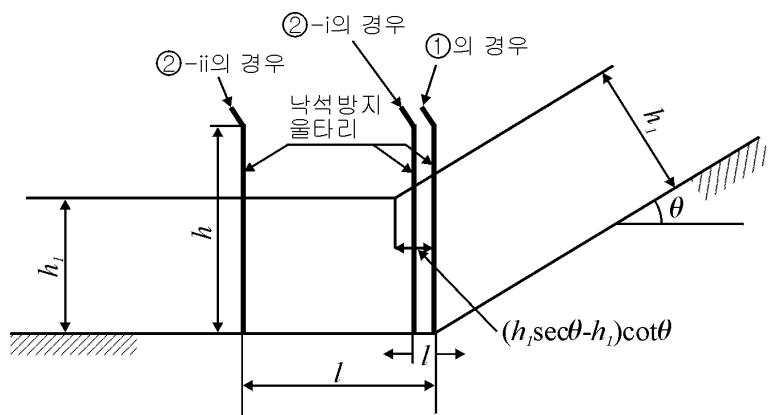
ii) 이격거리(I)가 최소 필요이격거리보다 큰 경우 필요높이 계산식

즉, $I > (h_1 \sec\theta - h_1) \cot\theta$ 일 때

$$h > h_1$$

그러나, 현재 국내에서 사용되고 있는 낙석방지울타리는 높이 2.5m를 표준으로 하고 있으며 낙석방지울타리의 높이를 증가시킬 경우 흡수가능에너지가 감소할 수 있으므로 이를 감안하고 65° 의 절개면 경사도와 1.5m의 절개면내의 낙석이 튀는 높이를 표준으로 하여 계산한 최소 필요 이격거리는 다음과 같다.

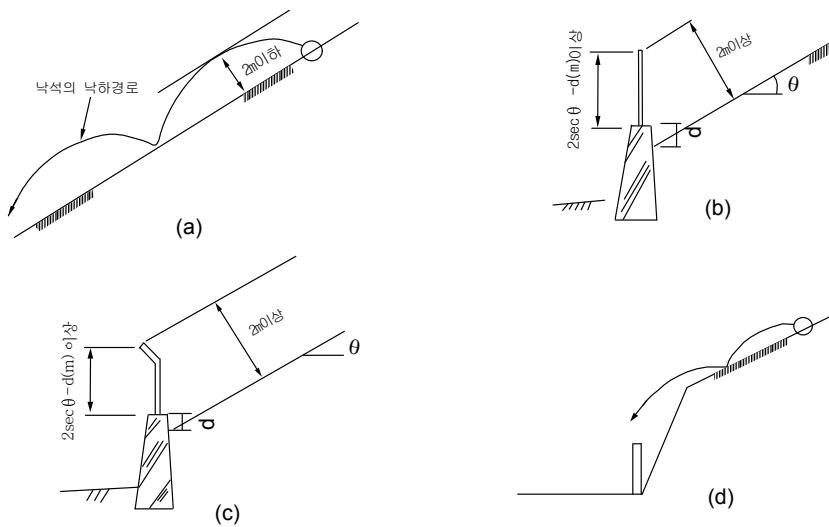
$$(h_1 \sec\theta - h_1) \cot\theta = (1.5m \times \sec 65^\circ - 1.5m) \times \cot 65^\circ = 0.96(m)$$



〈그림 22〉 낙석방지울타리의 설치 위치와 높이

즉, 국내의 절개면과 낙석특성을 고려 할 때 최소한 이격거리가 0.96m 이상 확보되어야 한다. 만일 0.96m 이상의 이격거리를 확보하기 어려운 경우에는 낙석방지망을 함께 사용하여 낙석이 낙석방지울타리를 넘어 도로에 떨어지는 것을 막을 수 있다.

낙석이 튀는 높이는 절개면의 요철이 큰 경우를 제외하고 일반적으로 그림 20(a)과 같이 2m 이하이다. 따라서 튀는 높이 $h_1 = 2m$ 로 하고, 최저울타리 높이는 그림 20(b), (c)와 같이 $(2 \sec \theta - d)m$ 로 한다. 이 때, d 는 기초 높이이다. 단, 그림 20(d)과 같이 절개면 경사가 절개면 도중에서 변화하는 경우 또는 절개면의 굴곡이 큰 경우 등에는 낙석이 낙석방지울타리를 뛰어 넘을 가능성이 있으므로 설치 위치, 울타리 높이 설정에 주의가 필요하다. 특히, 국내 절개면의 경우, 발파에 의해 절개면의 절취가 이루어지고 있어 절개면의 굴곡이 매우 편이므로 절개면의 굴곡에 따라서는 4~5m까지 낙석의 튀는 높이가 증가할 가능성이 높다. 따라서, 이 경우 h_1 를 적절하게 조정하여 높이를 계산하여야 한다.



〈그림 23〉 낙석방지울타리 위치 선정 시 고려해야 할 사항

2) 이격거리

낙하하는 낙석의 튀는 높이가 낙석방지울타리의 높이보다 높을 경우나 낙석에너지가 울타리의 흡수 가능 에너지보다 클 경우 낙석방지울타리의 이격거리를 적절하게 조절함으로써 낙석방지울타리의 기능을 증대시킬 수 있다. 특히, 이격거리는 절개면 내에서의 낙석이 튀는 높이가 2m 이상이 될 것으로 예상될 경우 낙석을 효과적으로 막을 수 있는 방법으로 제안될 수 있다. 이격거리는 대개 절개면으로부터 1~2m 이내에서 절개면과 주변의 여건에 따라 결정하여야 하며, 특히 예상되는 낙석의 크기와 절개면의 높이 및 경사도를 고려하여 결정되어야 한다.

표 11, 12, 13은 0.4톤의 낙석이 낙하하면서 2m 이상의 절개면내 튀는 높이를 가질 것으로 예상되는 경우, 각각 다른 낙석 높이와 경사도에 의해 발생되는 낙석의 도약 높이를 절개면 하부로부터의 이격거리에 따라 계산한 것으로 2.5m 높이의 낙석방지울타리로 낙석을 막을 수 있는 가를 제시한 것이다. 따라서 현장에서는 이 표를 사용하여 낙석방지울타리가 적절하게 사용될 수 있는 가를 판단할 수 있으며 낙석방지울타리만으로 낙석을 방어할 수 없을 경우 낙석방지망 등을 함께 사용하여 낙석이 튀는 높이를 낮추어야 한다.

<표 13> 이격거리가 0m인 경우 낙석방지울타리의 적용가능 여부

절개면 높이	절개면 경사도			
	1:1.0	1:0.7	1:0.5	1:0.3
10m	○	○	×	×
20m	○	×	×	×
30m	×	×	×	×

주) ○: 적용 가능, ×: 적용 불가

<표 14> 이격거리가 1m인 경우 낙석방지울타리의 적용가능 여부

절개면 높이	절개면 경사도			
	1:1.0	1:0.7	1:0.5	1:0.3
10m	○	○	○	○
20m	○	○	○	×
30m	×	×	×	×

<표 15> 이격거리가 2m인 경우 낙석방지울타리의 적용가능 여부

절개면높이	절개면 경사도			
	1:1.0	1:0.7	1:0.5	1:0.3
10m	○	○	○	○
20m	○	○	○	×
30m	○	×	×	×

- 주) 1. 절개면 경사도는 절개면의 높이를 1로 가정하고 절개면의 횡단 길이를 소수점(0.3, 0.5 등)으로 표시한 것이다.
 2. 표에서 낙석방지울타리의 사용이 불가능한 것으로 표시된 경우 낙석방지망과 함께 사용하면 낙석의 뛰는 높이를 낮출 수 있다.

3) 낙석에너지와 흡수가능 에너지의 계산

(a) 낙석에너지 계산

설계에 사용되는 낙석에너지(E_i)는 앞서 기술한 바와 같이 간단한 수식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$E_i = \left(1 - \frac{\mu}{\tan \Theta}\right) \cdot (1 + \beta) \cdot m \cdot g \cdot H$$

여기서, E_i = 낙석에너지(kJ)

Θ = 절개면의 경사(도)

μ = 낙석의 등가마찰계수

β = 회전에너지 계수(대개 0.1을 사용함)

m = 낙석의 중량(t)

H = 낙석의 낙차(m)

g = 중력가속도(9.8 m/s²)

이때, 낙석의 충돌위치는 지주간 중앙에서 낙석방지울타리 높이의 2/3 위치로 하고 낙석의 충돌방향은 방지울타리와 직각으로 고려한다. 이는 울타리 높이의 2/3 지점에 낙석이 부딪혔을 경우와 지주사이의 중간에 낙석이 부딪혔을 때의 흡수 가능 에너지가 가장 적기 때문에 설정한 것이다.

(b) 낙석방지울타리의 흡수가능 에너지 계산

낙석방지울타리가 견딜 수 있는 에너지를 흡수 가능 에너지로 표현하며 이는 다음의 식으로 계산한다.

$$E_T = E_R + E_P + E_N$$

이때, E_T : 흡수 가능 에너지

E_R : 와이어로프의 흡수에너지

E_P : 지주의 흡수에너지

E_N : 철망의 흡수에너지

위 식의 와이어로프 및 지주와 철망의 흡수에너지를 산정하는 방법은 부록에 자세히 설명되어 있다.

현재 국내에서 사용되고 있는 H형강 150×75×5×7mm 규격의 낙석방지울타리 구조와 제원을 이용한 계산 결과와 현장실험을 통해 확인된 낙석방지울타리의 흡수 가능 에너지는 약 50kJ 정도이다. 그러나, 이 수치는 와이어로프가 지주에 고정구로 정착되었을 경우의 흡수 가능 에너지로 와이어로프가 지주의 구멍을 따라 단부까지 연결되는 형식의 경우에는 이보다 작은 흡수 가능 에너지를 가질 것으로 예상된다. 따라서, 낙석방지울타리를 설계할 경우 흡수 가능 에너지인 50kJ를 예상되는 낙석에너지와 비교함으로써, 국내에서 주로 사용되는 낙석방지울타리 형식의 설치 적정성 여부와 낙석방지울타리의 다단식 설치 여부 및 다른 형식의 낙석방지울타리 설치 여부 등을 고려하여야 한다.

(c) 낙석방지울타리의 설치 적정성 판단

낙석방지울타리는 흡수 가능 에너지 이내의 낙석에너지를 흡수할 수 있다. 따라서, 낙석의 위치에너지($m \cdot g \cdot H$)는 다음의 식을 만족시켜야 하며 울타리의 흡수 가능 에너지가 낙석 에너지를 초과할 수 있도록 다양한 형식과 사양을 갖는 낙석방지울타리의 설계가 요구된다.

$$m \cdot g \cdot H \leq \frac{E_T}{(1+\beta) \cdot (1 - \frac{\mu}{\tan \Theta})}$$

$$\text{단, } (1+\beta) \cdot (1 - \frac{\mu}{\tan \Theta}) \leq 1.0$$

이 때, m : 낙석의 질량

H : 낙차

g : 중력 가속도

E_T : 울타리의 흡수가능 에너지

μ : 등가 마찰 계수

Θ : 절개면 경사도

β : 회전 에너지 계수

4) 기초의 설계

낙석방지울타리의 기초는 울타리가 허용 최대변위량(15°)에 도달할 때까지 안정을 확보해야 한다. 낙석방지울타리는 콘크리트 옹벽 위에 설치하는 것을 원칙으로 하며, 이때 흠모멘트(bending moment)와 전단력에 대하여 안정성을 검토해야 한다. 이에 대한 자세한 계산식은 부록에 포함시켰다.

5.2 낙석방지시설의 설치

낙석방지시설은 도로 및 절개면의 충분한 조사를 토대로 시설이 제 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 설치한다.

가. 낙석방지망

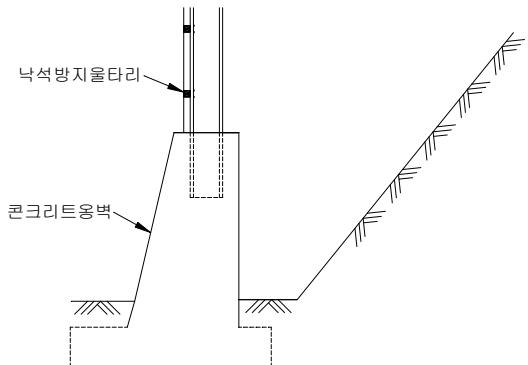
1. 낙석방지망은 절개면에 있는 뜬돌이나 이완이 심한 암괴들을 먼저 제거한 후에 시공하여야 한다.
2. 낙석방지망은 낙석이 발생할 우려가 있는 전체 절개면에 시공하여 낙석에 대처하는 것으로 낙석 크기, 절개면의 경사, 낙석의 높이에 따라 낙석방지망 망눈의 크기와 종·횡 와이어 로프선의 굵기, 설치간격을 조절해야 한다.
3. 절개면의 하단부에 낙석방지울타리가 설치된 경우에는 낙석방지망의 하단부 높이를 조절하여 설치한다. 이 때, 낙석방지망의 하단부 높이는 낙석방지울타리의 높이까지로 한다. 낙석방지울타리가 없는 곳은 지면에서 1m 정도 띄어 설치한다.
4. 암질과 현장 상황에 따라 적절하게 록볼트나 록앵커를 병행할 경우 낙석방지망의 흡수 가능에너지를 증가시키는 효과를 얻을 수 있다.
5. 낙석방지망 상단부의 지반이 경암으로 구성된 경우, 절취가 끝난 지점으로부터 2m 이상, 토사나 풍화암으로 지반이 약한 곳은 5m 이상되는 지점에 지름 25mm 이상, 연장 1,500mm 이상의 고정핀을 사용하여 고정시킨다. 고정핀에 주입재를 주입할 때에는 반드시 강제적인 방법을 이용하여 충진시켜야 한다.
6. 비포켓식 낙석방지망은 교차점마다 정착장치를 사용하여 절개면에 고정시켜야 한다. 이때, 고정핀을 시공해야 하는 절개면내 위치의 암질이 불량하거나 파쇄대가 발달하여 고정핀이 기능을 발휘할 수 없을 것으로 판단되는 경우 고정핀의 위치를 약 1m 내외 이동하여 설치하여야 한다. 한편, 비포켓식 낙석방지망의 상부와 좌·우측은 반드시 모두 주고정핀을 이용하여 절개면에 고정시켜야 한다. 고정핀은 앞 서 설명된 바와 같이 지름 25mm 이상, 연장 1,500mm 이상의 고정핀을 사용한다.
7. 포켓식 방지망의 좌·우측은 지름 25mm 이상, 연장 1,500mm 이상의 주고정핀을 이용하여 절개면에 부착하여야 한다. 포켓식 낙석방지망은 방지망이 연결되는 부분이나 일정 간격(약 $60m^2$ 이내)으로 지름 16mm 이상, 연장 500mm 이상의 보조고정핀을 사용하여 절개면에 고정한다. 절개면의 연장이 길어 낙석방지망을 연결하는 경우에는 반드시 500mm 이상 겹쳐야 하며 중앙부에 결속선을 이용하여 절개면의 상부에서 하단부까

지 전구간에 걸쳐 연결해야 하며 보조고정핀을 사용하여 절개면에 부착시킨다.

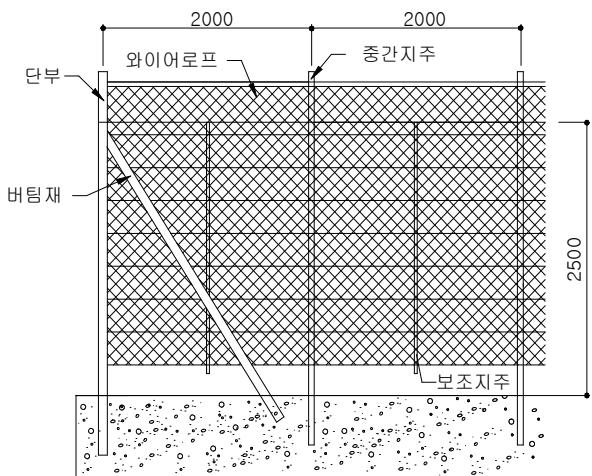
나. 낙석방지울타리

1. 낙석방지울타리는 일반적으로 낙석발생이 예상되는 절개면의 최하단 또는 중간에 설치하여 낙석을 저지하는 것을 목적으로 한다. 따라서 절개면의 최하부에서 추정되는 낙석의 낙하속도나 낙석 에너지가 큰 경우, 절개면 내에 설치하여 낙석운동에너지를 순차적으로 흡수하도록 하는 것이 필요하다.
2. 절개면의 굴곡이 심할 경우나 국부적인 돌기가 있어 낙석이 낙석방지울타리의 높이 이상으로 틸 것으로 예상되는 경우 혹은 절개면의 상황이 다단식 낙석방지울타리의 설치가 불가능한 경우에는 낙석방지망과 함께 설치하는 것이 효과적이다. 낙석방지망과 낙석방지울타리를 동시에 사용할 경우에는 반드시 망의 하단부 높이가 방지울타리의 높이와 동일해야 한다.
3. 낙석방지울타리의 설치 시 울타리의 설치 연장은 예상되는 낙석의 폭보다 어느 정도 여유있게 설치하는 것을 기본으로 하며 지형 등의 이유로 연속적으로 길게 설치할 수 없을 경우나 100m 이상 설치할 필요가 있는 경우 낙석방지울타리를 나누어 설치하며 이럴 경우 새로 시작되는 울타리의 단부와 30cm 이내의 이격을 두고 붙여서 설치해야 한다. 이때 단부사이의 틈은 낙석이 나오지 않도록 철망 등으로 막아야 한다.
4. 낙석방지울타리의 위치는 콘크리트 옹벽을 설치하고 그 위에 방지울타리를 설치하며 뒷채움은 하지 않는 것을 원칙으로 한다. 이는 독립기초에 의해 발생되는 문제점을 해결할 수 있으며 낙석방지울타리와 절개면 사이의 공간을 확보함으로서 낙석방지울타리의 기능을 증가시키는 효과를 가져올 수 있다. 또한 콘크리트 옹벽과 절개면 사이에 뒷채움을 하지 않을 경우 그 배후에 포켓이 형성되어 어느 정도 규모의 낙석이나 토사류를 퇴적시킬 수 있다(그림 25). 다만, 기존에 설치된 옹벽이 있는 경우와 같이 부득이한 경우는 기존의 방법에 따라 유지 관리한다. 단, 독립기초를 사용할 경우, 단부는 2경간 이상의 연속 기초를 사용해야 한다.
5. 낙석의 형상이 날카로운 형태이거나 송곳 모양인 경우에는 낙석이 와이어로프 사이를 빠져나가 도로로 유입되는 경우가 발생하기도 하며 이를 방지하기 위하여 그림 26과 같은 보조지주를 설치하여 로프의 일체화와 함께 울타리의 흡수에너지를 증가시키는 효과를 발휘 할 수 있다. 단, 사용 시에는 절개면의 상황 및 재해 이력 등을 고려해야 한다. 보조지주로 사용되는 재료로는 너비 50mm 이상, 폭 20~50mm, 두께 1.6mm 이상인 각 파이프를 사용하며 U형 볼트를 이용하여 와이어로프와 고정한다.
6. 낙석방지울타리를 설치할 때는 울타리의 모든 나사부에 방청을 위한 그리스(grease)를 칠해야 하며 이는 울타리의 유지관리 시 해체 및 조립을 용이하게 하기 위해서이다.
7. 새로운 재원이나 형태를 가진 낙석방지울타리를 설계하거나 설치하고자 할 때에는 새로운 형식의 낙석방지울타리가 어느 정도까지의 에너지를 흡수 가능한지 평가해야 한다.
8. 낙석방지망과 낙석방지울타리의 품질확보를 위하여 시공자는 설치 전에 발주기관의 사전공급원 승인을 받은 제품을 사용·시공하여야 한다. 이를 위하여 시공자는 계약예정일로부터 1년이내 기간중 공인 성능시험기관에서 실시한 동종제품의 시험성적서를 발주처에 제출하여야 한다. 그렇지 못할 경우에는 시공중이거나 현장에 설치될 낙석방지

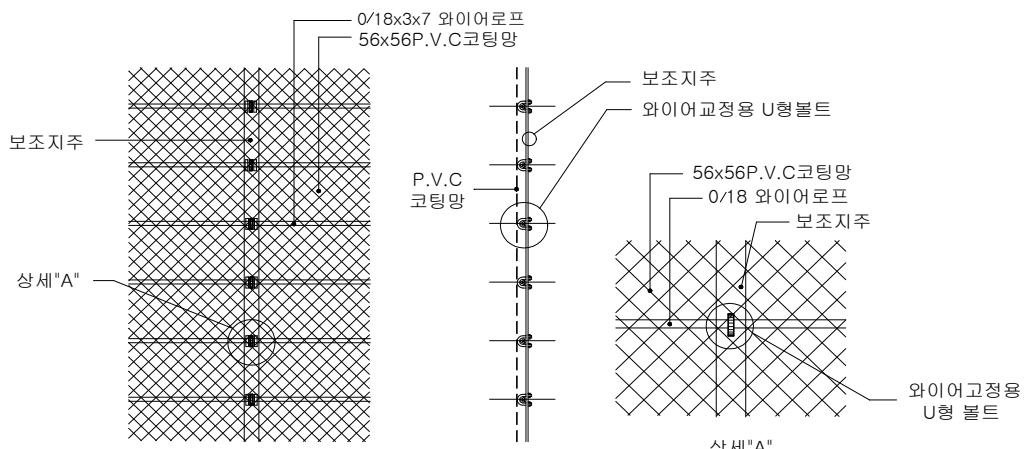
망과 낙석방지울타리 각 구조의 시험용 표본을 무작위로 최소한 0.2% 또는 5개 이상을 채취하여 공인기관의 품질시험을 거쳐야 하며 그 결과가 본 지침의 기준에 적합하여야 한다. 이를 위한 시험비는 품질시험의 합격을 조건으로 하여 1회의 시험비를 발주처에서 별도로 계상 지불한다. 현장반입 재료의 검수는 제품선정시의 재료 성능 결과를 준용한다. 그러나 현장재료에 대한 미비점이 있을 것으로 판단되는 경우에는 제품 선정시와 동일한 시료채취시험을 시행한다.



<그림 24> 뒷채움을 하지 않은 시공 예



(a) 설치 예



(b) 상세 도면

<그림 25> 보조지주의 설치 예

6 유지관리

유지관리의 목적은 낙석방지시설을 항상 최상의 상태로 보전하여 제 기능을 발휘할 수 있도록 하는 것이다. 따라서, 낙석방지시설이 제 기능을 할 수 있도록 주기적인 점검과 유지 보수를 하고, 관련 기록을 유지 및 보관한다.

점검 결과에 따라 보수나 대체가 필요한 경우 신속히 처리해야 한다.

【설명】

절개면과 낙석방지시설은 해가 거듭되면서 풍화 등에 의해 변화하며 이에 따라 낙석방지 시설에도 변형이 발생되고 이를 방지할 경우 도로의 안전 상의 문제를 일으키게 된다. 특히, 폭풍이나 호우, 파랑 등의 영향이 절개면과 방지시설의 변형에 중요한 요인으로 작용하며

낙석이나 절개면 붕괴와 같은 재해를 일으키는 원인이 된다. 따라서, 유지관리에 있어서는 절개면의 지질, 지형 및 기상조건과 낙석방지시설의 기능과 특성 등을 충분히 숙지해 두는 것이 중요하다.

유지관리의 내용은 점검, 유지보수, 대책 등으로 구성된다. 점검은 낙석재해방지차원에서 시행해야 하므로 절개면과 낙석방지시설 각각에 대해서 점검해야 한다. 점검 결과, 이상징후나 변형 등의 징후가 발견되었을 때에는 상황에 따라서 적절한 대응을 해야 한다. 일반적으로 경미한 변형에 대해서는 유지보수를, 그 외의 변형에 대해서는 정밀조사를 시행한 후 위험도가 매우 높은 절개면에 대해서는 적절한 대책공법을 강구하여야 하며, 그 외의 경우에는 감시나 계측 등의 대응을 취한다.

1) 점검

낙석에 대해 효과적인 유지관리를 하기 위해서는 주기적인 점검이 필수적으로 요구된다. 점검은 절개면과 낙석방지시설에 대해 각각 시행되어야 하며 점검을 안전하고 효과적으로 수행하기 위해서는 절개면이나 낙석방지시설에 철재 등으로 제작된 점검용 계단이나 안전로프 등을 설치해 두는 것이 좋다.

낙석방지시설의 점검에는 다음 세 가지의 점검이 항상 수행되어야 한다.

(a) 일상점검

도보나 차 위에서 낙석방지시설의 변형이나 이상을 조기 발견하기 위해 주로 육안으로 점검을 시행하는 것이다.

(b) 정기점검

낙석방지시설에 대해서 일정한 주기로 상세히 점검한다. 점검 결과는 낙석방지시설의 이상유무를 평가하여 유지보수로 대응할 지 또는 정밀조사가 필요한지를 판단한다. 정밀조사시에는 낙석방지시설의 이상유무와 함께 절개면의 위험도와 예측되는 낙석의 규모 등을 함께 평가하며 따라서 구조물 및 절개면의 전문가와 함께 점검하는 것이 필요하다. 특히, 강우나 지하수는 절개면과 낙석의 안정성에 미치는 영향이 매우 크므로 산마루 측구 등과 같은 배수시설에 대한 점검을 정기점검 시 수행하여야 한다.

(c) 임시점검(부정기)

장마철, 태풍, 해빙기 등의 시기에 안정도가 낮은 지점에 대해 사전에 순회관찰하며 낙석이나 절개면의 붕괴여부, 낙석방지시설의 변형 여부를 조사한다. 낙석이나 절개면 붕괴 등 재해발생 또는 심각한 낙석방지시설의 변형이 확인되었을 경우에는 우선 현지 답사를 통한 관찰이나 사진촬영을 실시하고 낙석방지시설이 기능을 유지할 수 있는지를 점검한 후 본래의 기능을 유지하지 못할 것으로 판단되는 경우에는 응급조치나 2차 재해방지를 위한 조사를 신속하게 수행하여야 한다.

2) 유지보수

낙석방지시설의 유지관리는 초기의 크랙, 파손 등 후에 커다란 변형으로 이어지는 징조를 조기에 발견하는 것이 중요하다. 그러므로, 크랙, 변형, 파손유무와 이들의 진행을 정기적으로 검토하고 경과를 기록해야 한다. 또한 이러한 현상이 방지시설의 국부적인 현상으로 경미한 것인지 안정성 여부에 관련된 중대한 사항인지를 판단하여 신속한 대책을 강구해야 한다.

(a) 낙석방지망

낙석방지망은 철망의 파손이나 변형 등을 방지하게 되면 위험하기 때문에 항상 응급보수가 가능하도록 필요한 조치를 해두는 것이 중요하다. 와이어로프의 파손이나 고정핀의 흔들림 등이 관찰될 경우에는 현재 시설의 안정성이나 강도 등에 문제가 없는지 점검해야 한다. 보수가 필요하고 시일이 필요한 경우에는 응급보강대책을 시공해 두어야 한다. 낙석방지망의 설치부에 해를 거듭하면서 식생이 번성한 경우에는 절개면 표면의 풍화가 진행되어 보다 규모가 큰 붕괴를 초래할 가능성이 있으므로 주의가 필요하다.

(b) 낙석방지울타리

낙석방지울타리는 낙석으로 인한 변형, 파손이 없는지를 검토하고 동시에 와이어로프의 휨정도나 인장이 충분한지 등을 점검하고 필요에 따라서는 와이어로프를 재인장해 주어야 한다. 또한 지주부의 경우 부식 상태나 아연도금의 훼손 여부 등을 확인하고 점검해야 한다. 그리고 배면에 토사가 다량으로 퇴적되어 있는 경우에는 이를 제거해야 한다.

특히, 배면의 낙석을 제거하기 위하여 지주를 절단하였다가 재 설치하는 경우에는 낙석방지울타리가 초기 시공 때와 동일한 흡수능력을 가질 수 있도록 한다. 절단된 와이어로프를 보수할 경우 와이어로프의 연결은 지주부에서 고정구나 U형 볼트를 이용하여 고정하도록 하여야 하며 지주가 아닌 중간부에서 연결하는 것은 피해야 한다.

부 록

부록 1. 낙석방지망의 흡수 가능 에너지 계산공식

낙석방지망의 흡수 가능 에너지(E_r)는 다음 식에 의해 계산된다.

$$E_r = E_N + E_R + E_P + E_{HR} + E_L \dots \dots \dots \quad (1)$$

이 때, E_N : 철망의 흡수 에너지

E_R : 상단 횡로프 및 2번째 단 횡로프의 흡수 에너지

E_P : 지주의 흡수 에너지

E_{HR} : 기동 로프의 흡수 에너지

E_L : 충돌 전후의 에너지의 차이

각 부재의 흡수 에너지는 아래에 제시하는 과정에 의해 계산된다.

1) 철망의 흡수 에너지 (EN)

철망의 최대 하중에서의 변형량은 과거의 시험 결과를 통해 대략 경간의 1/2로 고려되나, 철망의 흔들거림을 감안하여 경간의 1/4로 생각한다.

부록-그림 1에서,

P : 철망에 발생하는 인장력

δ : 철망의 변위량

h : 로프 간격

이라고 한다면,

$$\delta = \frac{h}{4}, \tan \Theta = \frac{\delta}{h/2} = \frac{1}{2}$$

이므로, E_N 은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

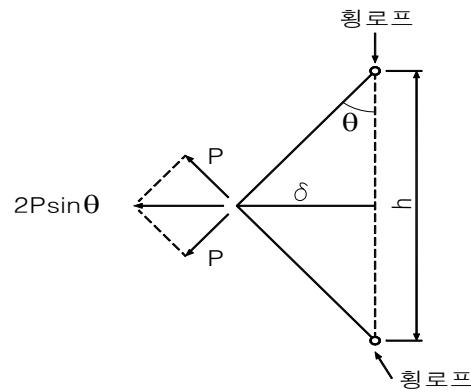
$$E_N = 2P \sin \Theta \cdot \delta = 0.22P \cdot h \dots \dots \dots \quad (2)$$

또한, 철망에 발생하는 장력은 낙석의 크기에 따라 다르며, 낙석의 직경을 D 로 한다면, 철망에는 $1.5D$ 폭에 영향을 미칠 수 있다고 생각할 수 있으므로 이것을 식으로 나타내면,

$$P = 1.5 D \cdot p$$

p : 폭 1m당 철망의 강도

가 되며, 이 결과를 정리하면 부록-표 .1과 같다.



부록-그림 1 철망에 발생하는 인장력

부록-표 1 낙석 질량과 철망 장력

낙석 질량 (t)	직경 $D(m)$	p (kN/m)	P (kN)	E_N (kJ)
0.3	0.596	26.5	24.01	26.51
0.4	0.661	"	26.2	28.9
0.5	0.707	"	28.46	31.31
1.0	0.891	"	35.85	39.44
1.5	1.020	"	41.02	45.12
2.0	1.123	"	45.16	49.68
2.5	1.209	"	48.65	53.52
3.0	1.302	"	51.75	56.93

주) 이 표안의 수치는 각 철선 지름 4.0mm의 철망을 사용한 경우이다.

낙석 형상은 단위 체적 질량이 $2.65t/m^3$ 인 구체로 하였다.

2) 와이어로프의 흡수 에너지 (ER)

철망에 발생한 인장력은 상단과 그 아래 2개의 와이어로프에 전달된다. 따라서, 와이어로프의 흡수 에너지는 상단 횡로프 및 그 하단의 와이어 로프의 흡수 에너지를 산출하여 더하면 된다. 부록-그림 2에서

I : 지주 간격

T : 망의 장력 P 로 인해 로프에 발생하는 인장력

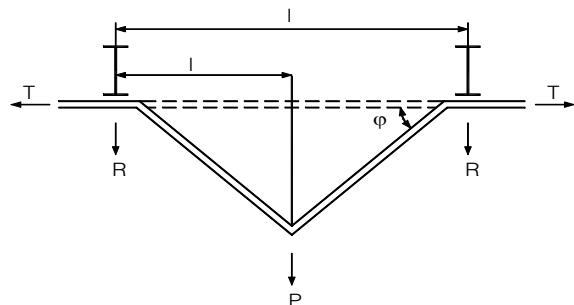
R : 종로프를 통하여 지주에 작용하는 힘

이라 한다면, 철망 장력 P 와 그로 인해 횡로프에 발생하는 장력은 아래의 두 식을 만족하는 T 로 구해진다.

$$R = P/2,$$

$$T = \frac{R}{\sin \phi} = \frac{P}{2 \sin \phi}$$

$$\cos \phi = \frac{I}{I + \frac{T \cdot L}{E \cdot A}}$$



부록-그림 2 와이어 로프에 발생한 인장력

이 때, E : 와이어로프의 탄성 계수

A : 와이어로프의 단면적

L : 와이어로프의 전체 길이

예로서, $L=30m$, $I=2m$, $E=1\times 10^5 N/mm^2$, $A=101mm^2$ 로 했을 경우의 P , R , T 의 관계를 부록-표 2에 나타냈다. 이렇게 해서 구한 횡로프의 인장력 T 로 흡수 에너지를 산정한다. 포켓식 낙석방지망과 같이 횡로프 안전율은 2이상으로 한다.

부록-표 2 낙석 질량과 와이어 로프 장력

낙석 질량(t)	P (kN)	R (kN)	E_R (KJ)	T (kN)
0.3	23.7	11.9	5.1	42.2
0.4	25.9	12.9	5.8	44.8
0.5	28.1	14.1	6.4	47.4
1.0	35.4	17.7	8.7	55.6
1.5	40.5	20.3	10.5	60.9
2.0	44.6	22.3	12.1	65.1
2.5	48.1	24.1	13.6	68.5
3.0	51.8	25.8	14.9	72.8

$$E_R = 2 \cdot \frac{L}{2E \cdot A} (T^2 - T_0^2) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

이 때, E : 와이어로프의 탄성 계수,

A : 와이어로프의 단면적

L : 와이어로프의 전장

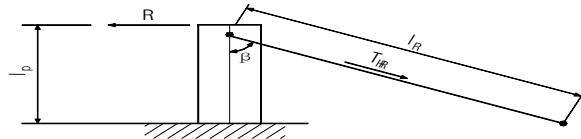
T : 와이어로프의 장력 (단, $T_y / T \geq 2$)

T_0 : 와이어로프의 초기 장력 (통상 5 kN)

T_y : 와이어로프의 항복장력

3) 지주의 흡수 에너지(E_P) 와 기동 로프의 흡수 에너지(E_{HP})

지주에는 부록-그림 3과 같이 힘이 작용한다.



부록-그림 3 지주에 작용하는 힘

R : 종로프로부터 전달되는 힘

T_{HR} : 기동 로프의 장력 (안전율 ≥ 3)

다만, 기둥 로프는 구조 전체를 지탱하는 중요한 부재임과 동시에, 낙석의 직접적인 영향을 받게 될 가능성도 높기 때문에 안전율은 3이상으로 한다. 지주의 흡수 에너지 E_P , 기둥 로프의 흡수 에너지 E_{HR} 의 산정은 아래의 순서에 따른다.

(1) 지주 기초가 고정된 경우

가) 지주의 분담 수평력(W_P) 및 기둥 로프 장력(T_{HR})을 구한다.

$$\left. \begin{aligned} W_P &= \frac{3E' \cdot I \cdot I_R \cdot R}{I_P^3 \cdot E \cdot A + 3E' \cdot I \cdot I_R} \\ T_{HR} &= \frac{E \cdot A \cdot I_P^3 \cdot R}{I_P^3 \cdot E \cdot A + 3E' \cdot I \cdot I_R} \operatorname{cosec} \beta \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

이 때, E' : 지주의 탄성 계수

I_P : 지주 높이

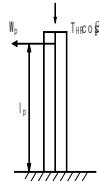
A : 기둥 로프의 단면적

I : 지주의 단면 2차 모멘트

E : 기둥 로프의 탄성 계수

I_R : 기둥 로프 길이

나) W_P (수평력), $T_{HR} \cos \beta$ (연직 압축력)에 따라 지주 기반부에 발생하는 응력(σ)을 구하고, 지주의 항복 응력 σ_y 와 비교하여 $\sigma_y > \sigma$ 가 되도록 설계한다(부록-그림 4 참조). 이 경우의 E_P 와 E_{HR} 는 다음의 식으로 산출한다.



부록-그림 4 지주에 작용하는 수평력과 연직압축력

$$\left. \begin{aligned} E_P &= \frac{W_P^2 \cdot I_P^3}{3E' \cdot I} \\ E_{HR} &= \frac{I_R}{E \cdot A} (T_{HR}^2 - T_0^2) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

T_0 : 기둥 로프 초기 장력

부록-표 3 낙석 질량에 따른 지주의 흡수에너지 (지주 기초 : 고정)

낙석 질량(t)	P (kN)	R (kN)	E_P (kJ)	E_{HR} (kJ)
0.3	24.01	12.0	0.002	-0.007
0.4	26.28	13.12	0.002	-0.007
0.5	28.46	14.23	0.003	-0.006
1.0	35.85	17.93	0.005	-0.005
1.5	41.02	20.51	0.006	-0.005
2.0	45.16	22.58	0.008	-0.005
2.5	48.65	24.33	0.009	-0.004
3.0	51.75	25.88	0.01	-0.004

(2) 지주 기초를 헌지로 고려할 경우

$T_{HR} = R \operatorname{cosec} \beta$ 로부터

$T_{HR} < T_y$ 가 되도록 설계한다. 이 때의 E_P , E_{HR} 의 산출은 다음 식으로 한다.

$$\left. \begin{array}{l} E_P = 0 \\ E_{HR} = \frac{I_R}{E \cdot A} (T_{HR}^2 - T_0^2) \end{array} \right\} \dots \dots \dots \quad (6)$$

부록-표 4 낙석 질량에 따른 지주의 흡수에너지(지주 기초 : 헌지)

낙석 질량(t)	P (kN)	R (kN)	E_P (kJ)	E_{HR} (kJ)
0.3	24.01	12.0	0.0	-0.012
0.4	26.28	13.12	0.0	-0.012
0.5	28.46	14.23	0.0	-0.011
1.0	35.85	17.93	0.0	-0.011
1.5	41.02	20.51	0.0	-0.010
2.0	45.16	22.58	0.0	-0.010
2.5	48.65	24.33	0.0	-0.010
3.0	51.75	25.88	0.0	-0.010

4) 낙석 충돌 전후의 에너지의 차이 (E_L)

낙석이 낙석방지망에 충돌하면 낙석과 방지망이 하나가 되어 운동한다. 이 경우의 에너지 손실을 나타낸 것으로, 다음 식으로 산출한다.

$$E_L = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot E_W \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

이 때, E_W : 낙석의 운동에너지 (kJ)

m_1 : 낙석 중량

m_2 : 낙석 방지망 중량

단, 에너지 손실을 산출할 때의 낙석방지망의 질량으로 유효한 범위에 대해서는 충분히 해명되어 있지 않으나, 주경간이 2m인 경우에는 범위를 4경간(8m)으로 하는 경우가 많다.

부록 2. 비포켓식 낙석방지망 설계예

1. 설계 참고자료

- 1) 낙석대책편람(일본도로협회, 1993)
- 2) 낙석대책기술매뉴얼(일본철도종합기술연구소, 1999)

2. 검토 대상 낙석방지망

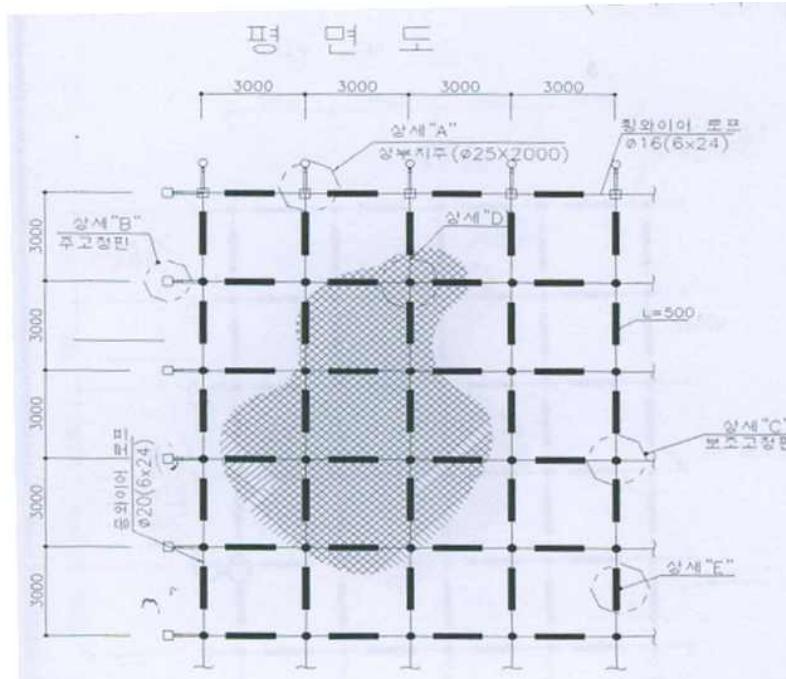
- 1) 비포켓식 낙석방지망 설계조건
: 현재 한국도로공사 표준도의 낙석방지망은 1,000형 채택

부록-표 1 낙석방지망의 형식과 사용가능 조건

종별	비닐파복 철망규격(mm)	로프 규격 (mm)	최대 비탈면 길이	추정낙석중량 (/40m ²)	최대 비탈면 경사도
1,500형	Ø5.0×50×50	Ø16 이상	50m	1,500kg까지	1:0.5
1,000형	Ø4.0×50×50	Ø16 이상	50m	1,000kg까지	1:0.5

- 2) 한국도로공사 표준도 낙석방지망 구성

: 종로프 간격 3.0m / 횡로프 간격 3.0m



부록-그림 1 낙석방지망 한국도로공사 표준도(2005. 11월 기준)

3. 설계 입력정수

1) 와이어로프의 파단강도

: 통상 G종 와이어로프 적용

부록-표 2 와이어로프 파단강도

구분	$\varnothing 20\text{mm}$		$\varnothing 16\text{mm}$	
	G종	A종	G종	A종
파단하중(kN)	183	197	117	126

2) 철망 유효장력

부록-표 3 철망 유효장력 산정

구분	허용인장 강도(kN)	선교점강도 (kN)	1m당 철망 교점 개수	철망 유효장력 (kN/m)	중량 (kN/m^2)
$\varnothing 4.0 \times 50 \times 50\text{mm}$	1.17	1.15	14.8	16.97	0.032
$\varnothing 5.0 \times 50 \times 50\text{mm}$	1.82	1.79	14.8	26.51	0.047

$$P_a = \frac{2}{1.5} \cdot \cos\left(\frac{\theta_0}{2}\right) (\doteq 1.0 \cdot P_0)$$

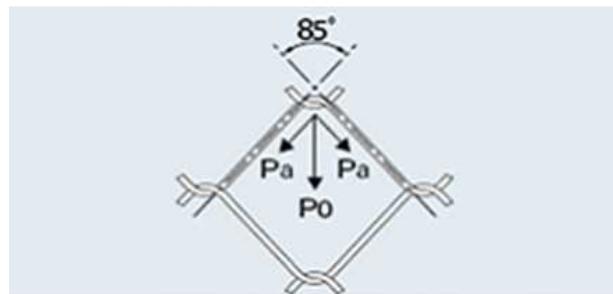
이 때, P_a : 철망의 선교점강도(kN)

P_0 : 교선의 허용인장강도(kN) = $\pi/4D^2\sigma_{sa}$

D : 교선경(mm)

σ_{sa} : 교선의 허용인장응력도(N/mm^2) = 145

θ_0 : 교선의 절곡각도($^\circ$) = 85



부록-그림 2 철망의 장력계산

4. 구조계산

1) 설계 입력정수

사면길이(Ls) : 50m

사면 경사도(θ) : 1:0.5 = 1.107148718 rad

낙석중량(W1') : 1000 kg/40m² = 0.25 kN/m²

마찰계수(μ) : 0.5 (통상 사면의 마찰계수는 0.5 적용)

종로프 간격(La) : 3m

횡로프 간격(Lb) : 3m

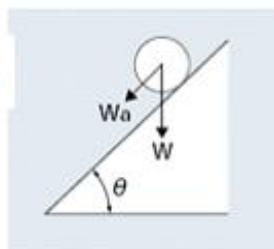
2) 종로프 안정성 검토

종로프 1개의 경간에 작용하는 낙석하중 및 철망 중량을 견딜 수 있도록 종로프 검토

a) 보정계수(K)의 산출 ; $K = 0.670820393$

$$K = \sin \theta - \mu \cdot \cos \theta$$

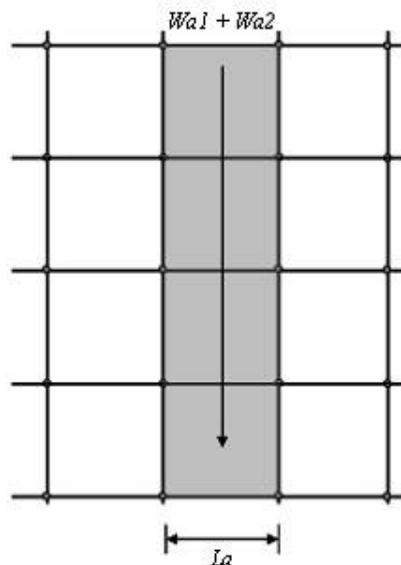
θ : 비탈면구배(0)
 μ : 낙석과 지반의 마찰계수(=0.5)



부록-그림 3 보정계수 산출계산

b) 종로프 작용 낙석중량(Wa1) 산출 : $W_{a1} = 75\text{kN}$

W_{a1} : 낙석중량(kN) = $W_1' La Ls$
 W_1' : 1m² 당 낙석중량(kN/m²)
 La : 종로프 간격(m)
 Ls : 비탈면길이(m)



부록-그림 4 종로프에 작용하는 낙석중량계산

c) 종로프 작용하중(W_a) 산정 : W_a = 56.8 kN

$$W_a = K \cdot (W_{a1} + W_{a2})(kN)$$

d) 종로프 파단하중

종로프 사양 : Ø20mm, G종

종로프 파단하중(T_a) T_a = 183 kN (부록-표 3 참조)

e) 종로프 안정성 검토

$$F_{Sa} = T_a / W_a = 3.22 > 2.0 \therefore OK$$

3) 횡로프 안정성 검토

낙석하중 및 철망 중량에 견딜 수 있도록 횡로프 검토

횡로프에는 절개면 길이 방향 아래쪽 3경간의 망자중 및 낙석하중이 등분포하중으로 작용하는 것으로 간주

a) 횡로프 작용 낙석중량(W_{b1}) 산출 : W_{b1} = 27 kN

$$W_{b2} : 낙석중량(kN) = W_1' L_a L_b N$$

이 때, L_a : 종로프 간격(m)

L_b : 횡로프 간격(m)

N : 횡로프 경간수

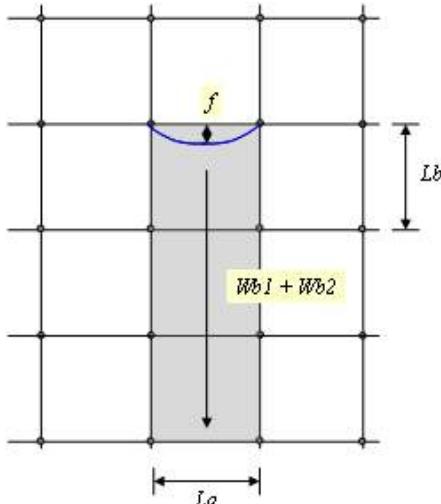
b) 횡로프 작용 철망 자중(W_{b2}) 산출

적용 철망 : Ø4.0×50×50mm

철망 단위중량 : 0.032 kN/m²(부록-표 4 참조)

$$W_{b2} = 3.456kN$$

$$이 때, W_{b2} : 철망자중(kN) = W_2' L_a L_b N$$



부록-그림 5 횡로프에 작용하는 낙석중량 및 철망자중계산

c) 횡로프 작용하중(W_b) 산정 : $W_b = 20.4 \text{ kN}$

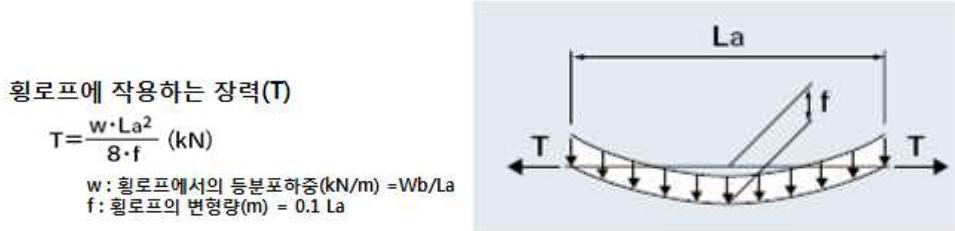
$$W_b = K \cdot (W_{b1} + W_{b2})(kN)$$

d) 횡로프 작용 인장력(T) 산정

횡로프 작용 등분포하중(w) : $w = W_b / L_a = 3.4 \text{ kN/m}$

횡로프 변형량(f) : $f = 0.6 \text{ m}$

횡로프 작용 인장력(T) : $T = 25.5 \text{ kN}$



부록-그림 6 횡로프에 작용하는 안장력계산

e) 횡로프 파단하중

횡로프 사양 : Ø16mm, G종

횡로프 파단하중(T_b) : $T_b = 117\text{kN}$ (부록-표 3 참조)

f) 횡로프 안정성 검토

$$F_{Sa} = T_b / T = 4.58 > 2.0 \therefore \text{OK}$$

4) 철망 안정성 검토

횡로프 검토시 작용하는 하중에 견딜 수 있도록 철망 검토

a) 철망 작용 인장력 : $w = 3.4 \text{ kN/m}$

b) 철망 유효 인장력

적용 철망 : $\emptyset 4.0 \times 50 \times 50\text{mm}$

철망 유효장력(P) : 16.966 kN/m (부록-표 4 참조)

c) 철망 안정성 검토 : $F_{Sa} = P / w = 4.98 > 2.0 \therefore \text{OK}$

5) 보조 고정핀 안정성 검토

종로프와 횡로프에 작용하는 전체 하중이 고정핀에 작용한다고 가정하고 안정성 검토

a) 보조 고정핀 작용 인장력

보조 고정핀 작용 인장력 : $P_a = 3.65 \text{ kN}$ (한국도로공사 표준도 개정(2005) 참조)

b) 보조 고정핀 정착길이 산정

앵커 주면마찰력(ss) : $\sigma_s = 800\text{kN/m}^2$

풍화암 근입으로 가정(부록-표 6 참조)

안전율(F_{Sp}) : 3

앵커볼트 직경(D) : 16mm

정착길이(l_a) : $l_a = P_a \times F_{Sp} / (\pi D \times \sigma_s) = 0.27230416\text{m} < 0.3\text{m} \therefore \text{OK}$

부록-표 4 가압형앵커 주면 마찰저항

지반종류		주면마찰저항(kgf/cm^2)
지반	경암	15~25
	연암	10~15
	풍화암	6~10
	토층	6~12

5. 구조검토 요약

낙석방지망에 대하여 구조검토를 수행한 결과는 아래와 같다.

부록-표 5 구조검토결과

구 분	종로프	횡로프	철망	보조고정핀
적용 사양	$\emptyset 20\text{mm}, G\text{종}$	$\emptyset 16\text{mm}, G\text{종}$	$\emptyset 4.0 \times 50 \times 50\text{mm}$	$\emptyset 16 \times 500\text{mm}$
간격(m)	3 m	3 m	-	종 3m / 횡 3m
안전율 또는 근입장	3.22	4.58	4.98	0.27
검토결과	OK	OK	OK	OK

부록 3. 낙석방지울타리 흡수 가능 에너지 계산

낙석방지울타리의 흡수 가능 에너지 (E_T)는 다음의 식으로 계산한다.

$$E_T = E_R + E_P + E_N \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

이 때, E_R : 와이어로프의 흡수 에너지

E_P : 지주의 흡수 에너지

E_N : 철망의 흡수 에너지

이 때, 지주의 허용 최대 변위각은 15° 로, 와이어로프 허용 신장율은 $2 \sim 4\%$ 로 고려한다. 와이어로프의 흡수 에너지(E_R) 및 지주의 흡수 에너지(E_P)는 다음 순서로 계산한다.

① 와이어로프의 항복 장력 T_y 를 부록-표 1에서 구한다.

부록-표 1 와이어로프의 항복 장력

와이어로프의 지름 (mm)	단면적 $A(\text{mm}^2)$	항복 장력 $T_y(\text{kN})$	파단하중 $T_b(\text{kN})$
ψ18	1.29	118	157

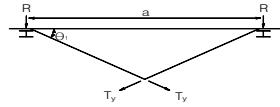
주) 이 표는 와이어로프 3×7 G/O(도금한 Z형 꼬임)를 사용한 경우이다.

② 와이어로프에 항복 장력 T_y 가 작용했을 때의 지주로의 반력 R 을 다음 식으로 구한다. 이 경우 두 개의 와이어로프가 함께 작용하는 것으로 한다(부록-그림 1 참조).

$$R = 2 T_y \sin \Theta_1 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Θ_1 는 다음 식으로 산출한다.

$$\left(\frac{a}{2} + \frac{T_y \cdot L}{2 E_w \cdot A} \right) \cos \Theta_1 = \frac{a}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$



부록-그림 1 와이어로프의 변형

이 때, a : 지주 간격

L : 와이어로프의 전장

E_w : 와이어로프의 탄성 계수

A : 와이어로프의 단면적(부록-표 1)

- ③ 지주의 하단이 소성 헌지를 형성하는데 필요한 힘 F_y 를 다음 식에서 구한다(부록-그림 2 참조).

$$F_y = \frac{M_0}{h_2} = \frac{\sigma_y \cdot Z}{h_2} \dots \dots \dots \quad (4)$$

o] 때, M_0 : 소성 모멘트

h_2 : 작용점까지의 높이

σ_y : H형강의 항복 응력 (보통 235N/mm²)

Z : H형강의 단면 계수



부록-그림 2 지주로의 작용 높이

- ④ 상기에서 산출한 R 과 F_y 를 비교하여, 다음과 같은 조건으로 계산한다.

i) 지주가 먼저 소성 변형할 경우($R \geq F_y$)

- 지주(2개분)의 흡수 에너지

$$E_p = 2 F_y \cdot \delta = 2 F_y \cdot h_2 \tan 15^\circ = 0.54 h_2 \cdot F_y \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

• 와이어로프(2개분)의 흡수 에너지

$$E_R = \frac{L}{E_w \cdot A} (T^2 - T_0^2) \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

이 때, $T : F_y$ 에 대응하는 로프 장력으로 다음의 두 식을 풀어서 구한다.

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \frac{F_y}{2 \sin \Theta_2} \\ \end{array} \right. \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

$$\left(\frac{a}{2} + \frac{T \cdot L}{2 E_w \cdot A} \right) \cos \Theta_2 = \frac{a}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

T_0 : 초기 장력 (5 kN)

ii) 로프가 먼저 항복할 경우 ($R < F_y$)

지주의 흡수 에너지

$$\frac{E_P}{3E_H \cdot I} = R^2 \cdot h_2^3 \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

이 때 E_H : H 형강의 탄성 계수,

I : H 형강의 단면 2차 모멘트

와이어로프의 흡수 에너지

$$E_R = 2 T_y \cdot L \cdot S \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

이 때, $S : T = T_y$ 일 때의 와이어로프의 신장율에서

$$S = \frac{T_y}{E_w \cdot A} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

로 구할 수 있다.

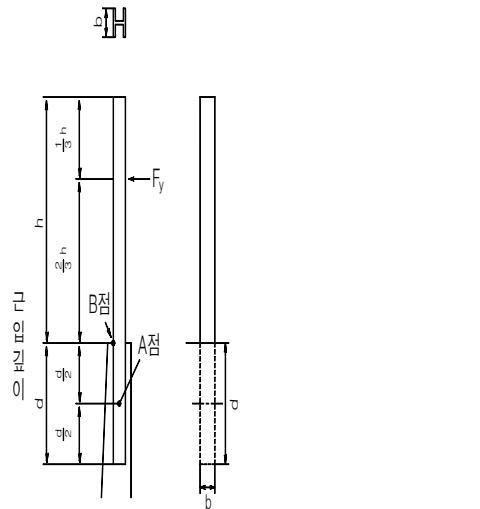
철망의 흡수 가능 에너지를 계산으로 구하는 것은 현시점에서는 불가능하므로 실험값으로부터 $E_N = 25\text{kJ}$ 로 한다.

부록 4. 옹벽 또는 직접 기초의 설계

낙석 방지울타리의 높이를 h , 근입 깊이를 d 로 하고, 낙석 하중 F_y (지주 하단에 소성 헌지를 형성할 때의 하중)가 작용했을 때의 지주 기초의 응력을 다음과 같이 계산한다.

1) 흔 모멘트에 대해

지주 근입 깊이의 $1/2$ 지점(부록-그림 1의 A점)을 중심으로 회전한다고 가정한다면, 지주의 흔 모멘트 M 은 다음 식으로 나타낼 수 있다.



부록-그림 1 방지 울타리 지주의 설치

$$M = F_y \left(\frac{2}{3} h + \frac{d}{2} \right) \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

따라서, 부록-그림 1의 B점에서의 흔 압축 응력 σ 는,

$$\sigma = \frac{F_y}{A} + \frac{M}{Z} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2)$$

이 때, $A = b \cdot d$ (b 는 H형강의 플랜지 폭)

$$Z = \frac{b \cdot d^2}{6} \quad (\text{단면 계수})$$

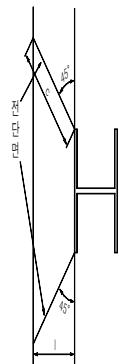
가 되며, 이 σ 가 콘크리트의 허용 흔 압축 응력 σ_a 보다 작으면 좋다.

2) 편칭 전단에 대해

부록-그림 2에 나타난 것과 같은 전단면이 형성된다고 가정한다. 이 경우의 전단면에 발생하는 전단 응력 τ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$2 \tau \sin 45^\circ \cdot c \cdot d = F_y, \quad c = \sqrt{2}l$$

$$\therefore \tau = \frac{F_y}{2 \cdot l_d} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$



부록-그림 2 방지 울타리 지주의 설치

이 때 τ 가 콘크리트의 허용 편칭 전단 응력 τ_a 보다 작으면 좋다.

참 고 문 현

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989.
2. 건설교통부, 도로공사표준시방서, 1996
3. 건설교통부, 도로부대시설 표준도(배수시설, 안전시설편), 1998
4. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 1999.
5. 한국건설기술연구원, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 연구(I), 1998
6. 한국건설기술연구원, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 연구(II), 1999
7. 日本道路協會, 道路土工 のり面工・斜面安定工指針, 1999
8. 日本道路協會, 落石對策便覽, 2000
9. Tennessee Department of Transportation, Special provision regarding wire rope rock retaining system, 1990
10. TRB, Landslides: Investigation and mitigation, Special report 247, 1996

도로안전시설 설치 및 관리지침 연혁(2008. 12월 기준)

지침 명	연 도	제정 및 개정	비고
도로안전시설 설치 및 관리지침 -낙석방지시설 편-	2000. 11 2002. 8 2008. 12	제정 부분개정 부분개정	