

# 토석류 충격하중을 고려한 누수식 생태보 안정성

JOURNAL OF DISASTER PREVENTION



송평현  
(주)세일지오텍 대표이사

## 1. 서론

다양한 문화생활을 영위하고 있는 현대인의 문화생활중 하나로 주변에 있는 산림내로의 가벼운 등산이 많은 사랑을 받고 있다.

산림내의 계곡은 주로 급경사지로 이루어져 있어 계곡수가 빠르게 흐르는 특징을 보여 계곡내에 다양한 생물의 서식 및 생태환경이 척박하여 등산객들에게 쾌적하고 상쾌한 생태환경을 제공하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 각 지방자치단체별로 계곡부에 일정한 간격으로 누수식 생태보를 만들어 습지생물의 서식환경 및 습지식물의 성장을 도모하여 주민들의 쾌적한 생활환경을 제공하고자 하는 노력이 시도되고 있다.

그러나 우면산 산사태이후 토석류 발생시 토석류의 충격하중이 계곡부에 설치되는 구조물의 안정성에 미치는 영향에 대한 관심이 증대되고 이를 고려한 구조물의 안정성을 고려하고자 하는 움직임이 있으나 토석류 방호시설에 대한 기준이나 지침이 확립되어 있지 않아 토석류 방호 구조물의 설계 및 시공시 많은 어려움이 발생하고 있는 실정이다.

따라서 본 자료는 토석류 방호시설 설계의 적정성에 대한 분석을 위하여 토석류 특성치의 이론식과 경험식을 비교 분석하고 토석류 동적 추력이 작용하는 조건에 대한 안정성개념에 대하여 기술하고자 한다.

또한 서울시의 특정지역에 시공되어 있는 누수식 생태보에 대한 현황을 조사, 분석하고 토석류 산정식 및 동적추력의 작용각도에 따른 동적 추력의 이론 산정치와 실제 현장에 설치되어 있는 방호구조물과 비교하였다.

## 2. 누수식 생태보

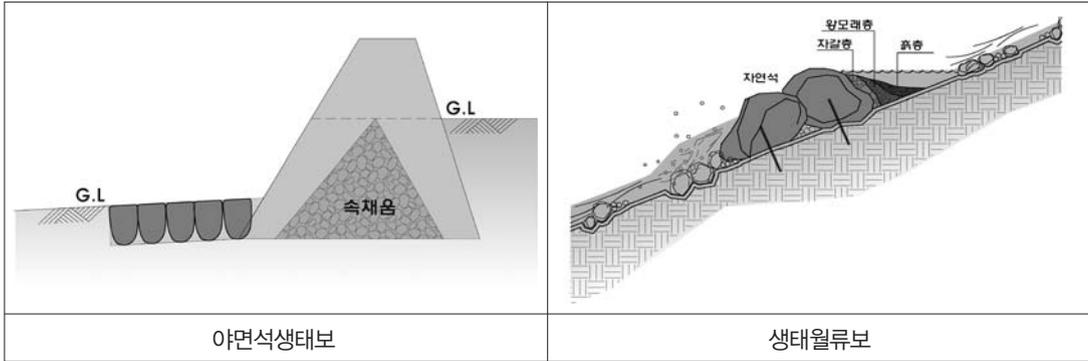
### 2.1 개요

산림내 건천화 심화에 따른 우수저장 능력을 함양하여 수생식물 및 생물의 종다양성을 복원하고 계곡수의 직강화로 인한 수자원 낭비를 방지하여 쾌적한 산림환경을 제공하고자 누수식 생태보를 설치하고 있으며 누수식 생태보의 형태 및 시공현황, 환경개선효과등은 다음과 같다.

### 2.2 누수식생태보 단면

누수식 생태보는 시멘트 사용없이 바위, 돌 등을 이용한 돌쌓기 방식으로 친환경적 공법으로 시공되며 물을 저장하여 지속적으로 공급함으로써 장기적 물 공급의 원천이 되며 다음과 같은 다양한 형태의 단면으로 구성된다.

<p>작은 돌층 왕모래층 중간 돌층 자갈층 바위층</p> <p>누수식 생태보 대표단면도</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시멘트 사용없이 바깥쪽에서 안쪽으로 바위층, 돌층, 자갈층, 왕모래층, 흙층 순서로 쌓음</li> <li>- 보의 하부 두께는 보높이의 1/2 정도</li> <li>- 상부 두께는 보높이의 1/3 정도 (계류 환경에 따라 변경 적용)</li> <li>- 흙은 모래에, 모래는 자갈에, 자갈은 약간 큰 돌에, 큰 돌은 바위에 기대는 방식으로 유기체적 대응력이 발휘됨</li> </ul> <p>조성 방법</p>
<p>사석</p> <p>G.L.</p> <p>사석생태보</p>	<p>돌망태</p> <p>돌망태생태보</p>



### 2.3 누수식생태보 설치현황

누수식 생태보는 2005년도부터 설치되고 있으며 설치후 모니터링 결과 생태보 배면에 물웅덩이가 조성되어 초화류와 개구리 등의 생물서식이 확인되어 생태환경개선 효과가 양호하였으며 우면산 산사태 발생시에도 누수식 생태보는 상태가 양호한 상태로 보존되었다.



누수식 생태보 설치 현황



누수식 토암담(생태보) 전경

상부 초화류 생육

하부 물웅덩이 내 다슬기 생육

### 3. 토석류 특성치

#### 3.1 설계 토석량(Design Debris Volume)

토석의 부피는 정량적으로 정확하게 평가하는 것이 매우 어렵다. 그 이유는 다음과 같은 원인을 생각해 볼 수 있다. 첫째, 토석류가 사면파괴에 의해 유발되는지 계곡의 침식에 의해서 발생하는지의 초기 지점의 특성을 파악하기 어렵다. 둘째, 계곡부에 쌓여있는 토석재료의 양과 크기, 계곡의 곡률과 폭, 계곡바닥의 경사, 토석류 흐름 특성에 의해 계곡부에서 포함되는 토석량을 측정하기 어렵다. 끝으로 계곡부의 장애물, 지형경사의 변화, 계곡폭의 확대와 같은 지형특성을 정량적으로 분석하는 것이 어렵다. 따라서 일반적으로 대책구조물의 위치 또는 임의 위치에서 발생 가능한 최대 토석의 부피는 이론식, 경험적 상관관계를 이용하여 다음과 같이 결정한다.

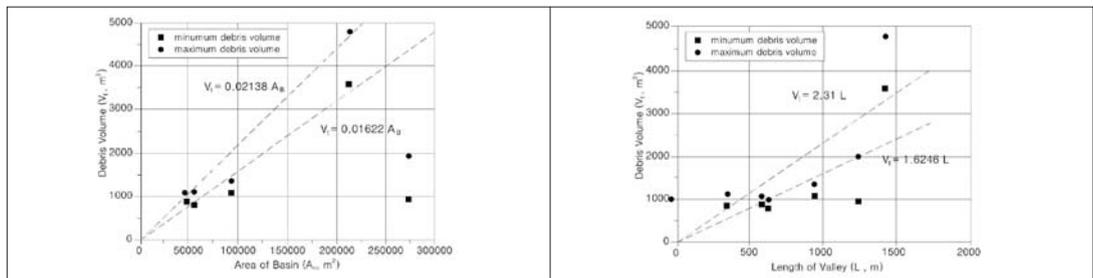
##### 1) 이론식을 이용한 설계 토석량

	$V_t = V_i + \sum(L_i \times B_i \times Y_i) - \sum(L_i \times B_i \times D_i)$ <p>여기서, <math>V_t</math>: 토석 총부피(<math>m^3</math>)  <math>V_i</math>: 초기 붕괴량(<math>m^3</math>)  <math>L_i</math>: 계곡의 단위 길이(m)  <math>B_i</math>: 계곡의 폭(m)  <math>Y_i</math>: 계곡의 침식두께(m)  <math>D_i</math>: 계곡의 퇴적두께(m)</p>
<p>야면석생태보</p>	<p>생태월류보</p>

(그림 3.1) 계곡의 평균폭과 침식두께

##### 2) 경험적 상관관계를 이용한 설계 토석량

2006년 영동고속도로에서 발생한 토석류 조사결과를 이용하여 유역면적과 발생한 토석량의 상관성을 조사한 결과 다음과 같은 식이 도출되었다.



(그림 3.2) 유역면적 및 계곡길이와 토석 퇴적량의 관계

### 3.2 침두 토석량(Peak Debris Discharge)

침두 토석량의 산정방법도 크게 다음과 같이 4가지로 나눌수 있다.

1) 설계변수로부터 계산하는 방법

$$Q_p = vA \quad \text{여기서, } Q_p: \text{침두 토석량(m}^3/\text{s)}, \quad v: \text{토석류 평균흐름속도(m/s)}$$

$$A: \text{계곡부 수로의 단면적(m}^2\text{)}$$

2) 배수시설의 홍수유량 산정방법과 연계하여 계산하는 방법

$$Q_p = Q_w = \frac{C_p}{(C_0 - C_d)} Q_w, \quad \text{여기서, } Q_p: \text{침두 토석량(m}^3/\text{s)}$$

$C_0$  : 토석류 발생전 계곡바닥지반의 용적 농도(=Vs/V=1-n)  
 $C_d$  : 흙과 물이 섞인 토석류의 평균용적농도,  $Q_w$  : 홍수유량(m<sup>3</sup>/s)  
 $V_s$  : 흙의부피(m<sup>3</sup>),  $V$  : 단위부피(m<sup>3</sup>),  $n$  : 간극률

3) 설계토석량(Vt)에 의한 침두토석량 산정방법

제안자	공식	토석류 특성
Mizuyama et al(1992)	$Q_p = 0.135 V_t^{0.78}$	granular debris flow
Mizuyama et al(1992)	$Q_p = 0.019 V_t^{0.79}$	muddy debris flow
Rickenmann(1999)	$Q_p = 0.1 V_t^{0.83}$	

4) 토석류 총량(Q)에 의한 침두토석량 산정방법

$$Q_p = 0.01 \Sigma Q \quad \text{----(식1)} \quad \Sigma Q = \frac{C^* \cdot V_{dap}}{C_d} \quad \text{----(식2)}$$

여기서,  $Q_p$  : 침두토석량(m<sup>3</sup>/s),  $\Sigma Q$  : 토석류 총유량(m<sup>3</sup>)

$C^*$  : 계상퇴적토사의 용적농도(0.6정도),  $C_d$  : 토석류 농도

$V_{dap}$  : 토석류에 의해 생성된 토사량(공극포함;m<sup>3</sup>)

### 3.3 토석류 평균유속(Depth-averaged Mean Velocity)

토석류의 평균유속은 심도에 따른 평균유속을 의미하며 구조물에 가해지는 충격력의 산정과 토석류 최대유량과 같은 다른 설계변수의 산정에도 사용된다.

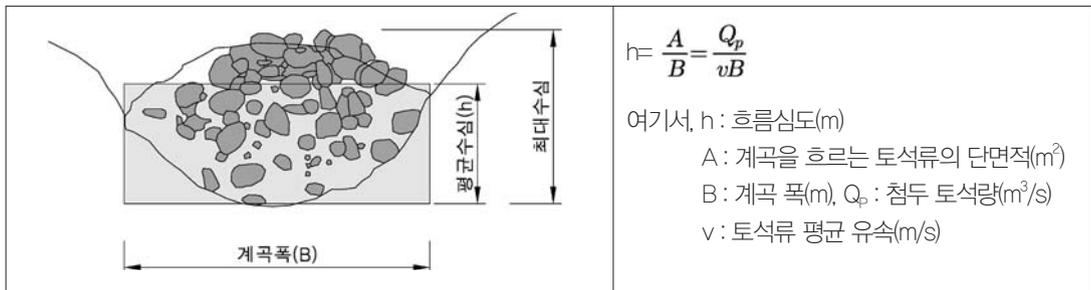
〈표 3.1〉 설계토석량( $V_s$ )에 의한 침투토석량

제안자	공식	흐름모델	토석류 특성
Takahashi(1981)	$v = \frac{2}{3} \epsilon H^{3/2} S^{1/2}$	Dilatant granular flow	Debris Flow
Rickenmann(1999)	$v = 2.1 Q_p^{0.33} S^{0.33}$	Empirical equation	Debris Flow

여기서,  $v$ : 평균유속(m/s),  $\epsilon$ : 토석류의 부피농도와 관련된 차원계수 ( $\approx 3.25m^{-1/2}s^{-1}$ )  
 $H$ : 토석류 흐름심도(m),  $S$ : 계곡바닥의 경사(= $\tan\theta$ ),  $Q_p$ : 침투토석유량

### 3.4 흐름심도(Average Flow Depth)

토석류의 흐름단면은 매우 불규칙하며 표면이 일정하지 않으므로 흐름단면에서의 최대수심의 높이를 정확히 산정하거나 정의 하기는 어렵다. 계곡에서 흐르는 토석류 선단파를 횡단으로 절단했을 때 가운데 직선계곡부에서는 가운데 부분이 높고 양측이 낮으며, 곡선부에서는 바깥쪽과 안쪽의 수심차이가 발생한다. 여기에서 정의하는 토석류의 수심은 수로단면적을 직사각형으로 가정하고 최대 유량이 발생할 때 형성되는 평균적인 수심을 의미한다.



(그림 3.3) 토석류 흐름단면과 평균수심 산정

### 3.5 동적추력과 충격(Dynamic Thrust and Impact)

토석류에 가해지는 동적하중은 토석전체 질량이 갖는 동적 추력(Dynamic Thrust)과 토석류 또는 토석류내에 포함된 거석이 구조물과 부딪힐 때 구조물에 전달되는 동적충격하중(Dynamic Impact Force)으로 구분할 수 있으며 다음과 같이 산정하고 있다.

#### 가. 동적추력(Dynamic Thrust)

동적추력은 계곡단면을 가득 채운 토석에 의해 가해지는 전체적인 하중으로 간주하며 다음 식을 이용하여 산정한다.

## | 기획특집 |

$$F = \rho A v^2 \sin\beta, \text{ (또는 } F = \rho Q_d v \sin\beta \text{)}$$

여기서,  $F$  : 동적추력(Dynamic Thrust, kN),

$\rho$  : 토석류의 밀도( $t/m^3$ )

$A$  : 토석류이 흐르는 수로의 단면적( $m^2$ ),

$v$  : 흐름의 평균유속( $m/s$ )

$Q_d$  : 흐름의 최대유량( $m^3/s$ ),

$\beta$  : 방어구조물과 계곡의 각도( $^\circ$ )

### 나. 동적충격하중(Dynamic Impact Force)

동적충격하중은 토석류 또는 거석이 구조물에 부딪히면서 가하는 하중으로서 충격 후 구조물에 발생하는 변위와의 상관성을 고려하여 산정할 수 있으며 다음 식을 이용하여 산정한다.

$$F = \frac{Mv^2}{d} \text{ (또는 } F = \sqrt{Mv^2 K} \text{)}$$

여기서,  $F$  : 동적충격하중(Dynamic Impact Force, kN),  $M$  : 거석의 질량(kg)

$v$  : 흐름의 평균유속( $m/s$ ),  $d$  : 충돌 후 구조물에 발생하는 변위( $m$ )

$K$  : 구조물의 강성( $kN/m$ , 단순빔인 경우  $K = 48EI/L^3$ )

## 4. 토석류 특성치 분석

### 4.1 생태보 설치현황

서울시 사가정 공원 산림내에 생태보존을 위해 설치되어 있는 생태보의 현황을 고려하여 토석류 특성치를 이론식에 의한 방법과 실제 사가정 공원내에 설치되어 있는 누수식 생태보의 유역면적 및 폭과 수심등을 고려하여 상호 비교분석하였다. 사가정 공원내의 계곡은 좌,우측 계곡과 합류부로 구성되어 있으며 유역면적 283,838 $m^2$ , 계곡길이 1,270m, 계곡폭 1.9m~6.1m 계곡심도 0.4m~2.0m로 구성되어 있으며 현황은 다음과 같다.



사가정공원 위치현황 1



사가정공원 위치현황 2



누수식 생태보현황 1



누수식 생태보현황 2



누수식 생태보현황 3



누수식 생태보 현황조사광경



돌망태형 누수식 생태보



찰쌓기형 생태보



토석류 방호형 Net 설치현황



계곡부 토석 발생부 현황



석축하부 세굴현황

생태보는 좌측계곡에 18개소, 우측계곡에 3개소, 합류부에 3개소가 설치되어 있으며 그 현황은 다음과 같다.

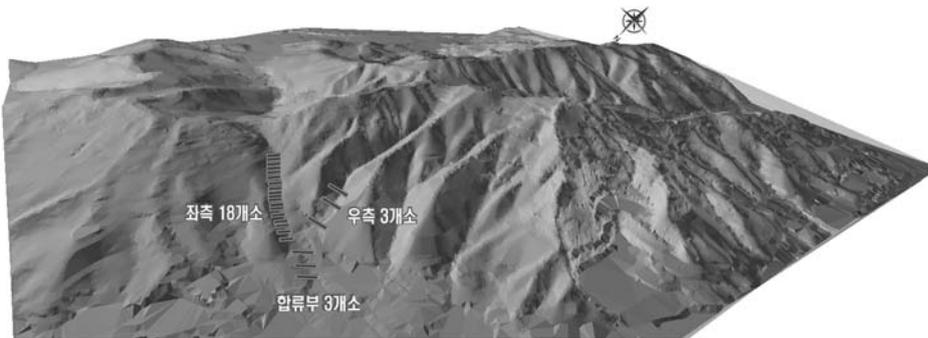
〈표 4.1 공원내 생태보 설치현황〉



#### 4.2 보 위치별 토석류 특성치 분석

이론 및 경험식에 의한 토석류 특성치와 실제 현장에 시공되어 있는 보의 상관성을 분석하기 위하여 검토대상지내 계곡의 24개소 생태보에 대한 현황을 파악 하였으며 이론 및 경험치에 의한 토석류 특성치와 현장에 시공되어 있는 계곡현황의 실제 단면과 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

생태보 위치에 따른 계곡현황을 파악한 후 유역면적, 토석류발생량, 유속등을 산정하였으며 산정 이론식에 의한 방법과 실제 현장에 시공되어 있는 단면과 비교검토를 실시한 결과 개략 이론치에 의한 필요소요 단면적이 실제 시공되어 있는 단면적 보다 약 2배정도 크게 산정됨을 알 수 있었다.



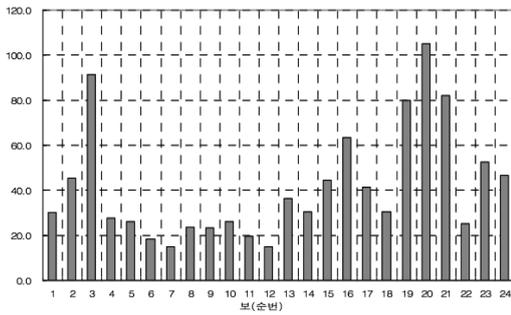
(그림 4.1) 사가정 공원 계곡내의 누수식 생태보 현황 및 지형특성

〈표 4.2〉 보 위치별 상관관계 분석결과



보의 순번	조건		이론 및 경험치의 토석류 특성치				현장 보의 특성치			상관치 (%)
	유역면적 (m <sup>2</sup> )	계곡 길이 (m)	첨두 토석량 (m <sup>3</sup> /s)	토석류 유속 (m/s)	동적추력 (kN)	토석류 통과이론 단면적 (m <sup>2</sup> )	폭 (m)	보 높이 (m)	실제시공된 보단면적 (m <sup>2</sup> )	
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
1	67,776	257	21.87	3.26	246	6.71	2.9	0.7	2.0	30.26
2	86,603	265	25.45	3.71	326	6.86	2.4	1.3	3.1	45.48
3	97,012	300	30.15	3.24	337	9.31	5.0	1.7	8.5	91.34
4	98,936	307	28.32	4.11	412	6.89	1.9	1.0	1.9	27.57
5	100,627	313	29.09	3.95	397	7.36	2.4	0.8	1.9	26.07
6	102,536	326	29.53	4.1	418	7.20	2.2	0.6	1.3	18.33
7	107,742	355	31.05	4.2	450	7.39	2.2	0.5	1.1	14.88
8	109,710	362	31.55	4.23	461	7.46	2.2	0.8	1.8	23.60
9	110,746	369	32.07	4.09	463	7.84	2.3	0.8	1.8	23.47
10	112,173	377	32.29	4.28	477	7.54	2.2	0.9	2.0	26.24
11	114,299	394	34.21	4.27	528	8.01	2.6	0.6	1.6	19.47
12	117,058	415	35.83	4.04	524	8.87	3.3	0.4	1.3	14.88
13	120,340	435	37.38	3.96	535	9.44	3.8	0.9	3.4	36.23
14	122,241	452	39.91	3.68	531	10.85	5.5	0.6	3.3	30.43
15	124,046	470	39.7	3.85	553	10.31	4.6	1.0	4.6	44.61
16	126,080	490	40.77	3.85	568	10.59	4.8	1.4	6.7	63.46
17	127,310	505	40.63	3.99	587	10.18	4.2	1.0	4.2	41.25
18	127,882	512	40.29	4.13	602	9.76	3.7	0.8	3.0	30.34
19	118,910	526	41.75	3.65	552	11.44	6.1	1.5	9.2	80.00
20	119,160	538	41.97	3.68	558	11.40	6.0	2.0	12.0	105.22
21	123,321	585	41.76	3.73	515	11.20	4.6	2.0	9.2	82.17
22	264,012	1,120	106.90	4.96	1,447	21.55	3.9	1.4	5.5	25.33
23	274,630	1,230	81.04	5.74	1,682	14.12	3.7	2.0	7.4	52.41
24	283,838	1,270	89.01	4.89	1,440	18.20	5.0	1.7	8.5	46.70

토석류 통과단면적⑥ = 첨두토석량③ / 토석류유속④, 계곡단면적⑨ = 계곡폭⑦ × 보 높이⑧  
상관치⑩ = (계곡단면적⑨ / 토석류 통과단면적⑥) × 100%



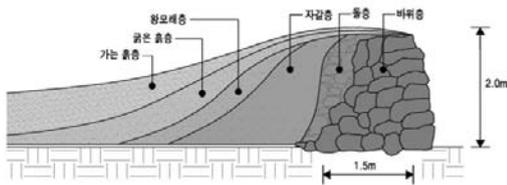
(그림 4.1) 이론토석류 통과단면과 실제단면의 상관성

검토대상지내 24개소 보위치별 토석류 특성 이론치에 의한 토석류 통과 단면적과 실제현장에 시공되어 있는 보에 대한 단면을 분석한 결과 현장에 시공되어 있는 실제 계곡단면이 이론치에 의해 산정된 단면대비 14.88~105.22% (평균41.66%)로 이론치보다 실제 시공되어 있는 계곡단면이 작게 되어있는 것으로 나타났다.

## 5. 토석류 특성치를 고려한 생태보 안정성 검토

### 5.1 검토단면 및 물성치

검토단면은 바깥쪽에서 안쪽으로 바위층, 돌층, 자갈층, 왕모래층, 흙층 순서로 쌓은 생태보이며 하부 두께는 보높이의 1/2 정도 상부 두께는 보높이의 1/3 정도로 구성되어 있으며 물성치는 <표 5.1>과 같다.



(그림 5.1) 검토단면

구분	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	내부마찰각 (°)	점착력 (kPa)	탄성계수 (MPa)	포아송비 (ν)
가는흙	18	25	5	10	0.33
굵은흙	18	27	5	10	0.33
왕모래	18	28	0	15	0.32
자갈층	20	30	0	30	0.30
돌층	21	32	0	100	0.30
바위층	23	35	0	200	0.27

<표 5.1> 해석물성치

### 5.2 토석류 작용하중

#### 5.2.1 작용하중 계산식

토석류 동적추력은 생태보 배면의 조건에 따라 식 (5.1)과 (식5.2)와 같이 산정 한 후 평균치를 적용하였다.

$$P = 1.5\rho Av^2 \sin\beta / A' \text{ (식 5.1, 한국도로공사 경험식, 제안식보다 50%크게 산정)}$$

$$P = 2.5\rho Av^2 \sin\beta / A' \quad (\text{식 5.2, 홍콩 제안식})$$

여기서, P:토석류 하중(kN/m<sup>2</sup>),  $\rho$ :토석류의 밀도(t/m<sup>3</sup>), A:토석류 수로단면적(m<sup>2</sup>)  
 $v$ :흐름의 평균유속(m/s)  $\beta$ :방어구조물과 계곡의 각도(°) A':방어구조물 면적(m<sup>2</sup>)  
 (식 5.1)은 한국도로공사에 제안한 경험치에 안전율을 고려하여 1.5배로 산정하였음.

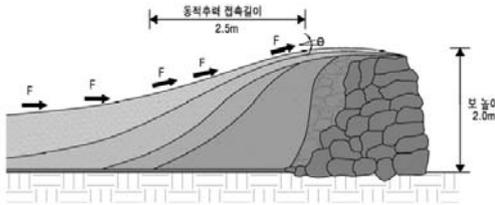
### 5.2.2 작용하중 산정

본 검토대상지 누수식생태보 단면중 대표단면인 SITE-5번 방호구조물에 동적추력이 작용하는 경우 각도에 따른 작용하중은 다음과 같다.

유역면적 : 119,160m<sup>2</sup>, 붕괴율 : 0.34%, 붕괴심도 : 2.5m, 계곡길이 : 538m, 계곡폭 : 6.0m

침식두께 : 0.5m, 계곡바닥 간극률 : 40%,  $\rho_s$ : 2.6,  $\rho_w$ : 1.2,  $\Theta$ : 11°,  $\phi$ : 30°

유출계수 : 0.8, 지속시간 : 5분, 유역면적 : 119,160m<sup>2</sup>



(그림 4.2) 토석류 작용하중

〈표 4.2〉 각도별 토석류하중 산정

작용 추력 (kN)	동적추력 접촉길이 (m)	면적 (A',m <sup>2</sup> )	방어구조물 각도에 따른 작용하중(kN/m <sup>2</sup> )					
			5°	10°	15°	20°	25°	30°
558	2.5	12.0	3.24	6.46	9.63	12.73	15.73	18.61

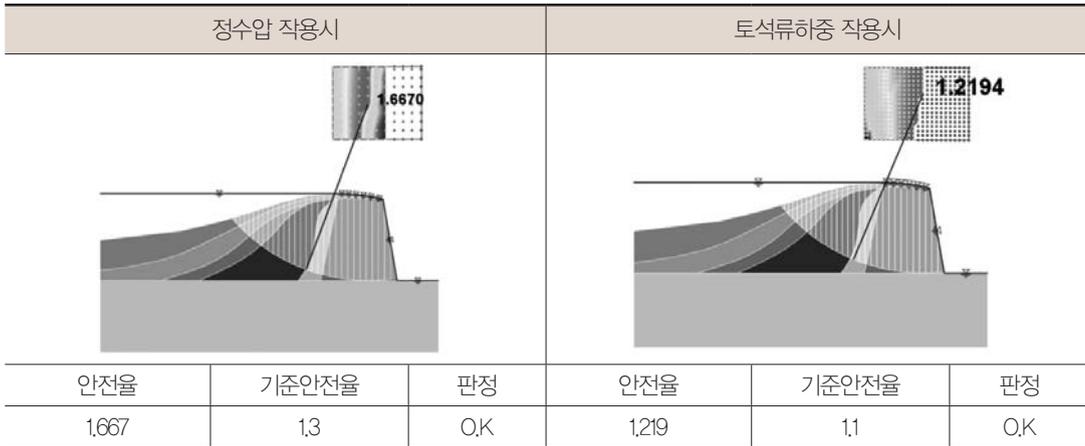
## 5.3 안정성 검토결과

### 5.3.1 한계평형해석결과

동적추력이 방호구조물에 15°의 각도로 작용하는 경우에 대한 한계평형해석결과는 다음 그림 (5.3~5.4)와 같다. (해석프로그램 SoilWorks)

검토단면	평상시		
	안전율	기준안전율	판정
	3.7234	1.5	OK

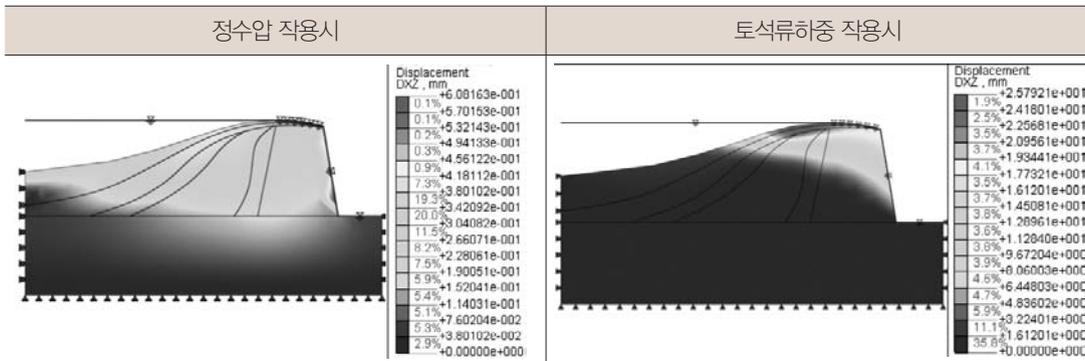
(그림 5.3) 한계평형해석 대표단면 및 안정검토 결과(평상시)



(그림 5.4) 한계평형해석 안정검토 결과(정수압 작용시, 토석류하중 작용시)

### 5.3.2 수치해석결과

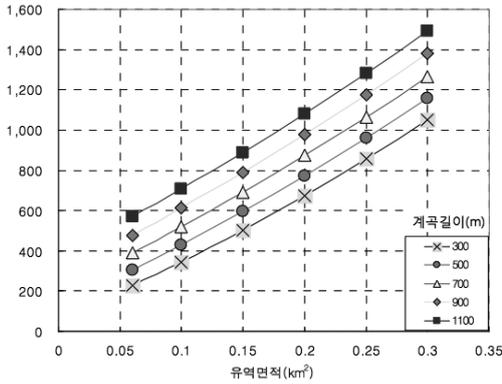
방호구조물에 15°의 각도로 추력이 작용하는 경우에 대한 수치해석결과는 그림 (5.5)와 같다.



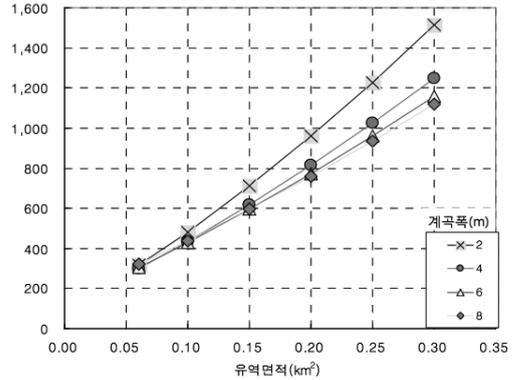
(그림 5.5) 수치해석 결과

### 5.4 조건별 동적추력검토

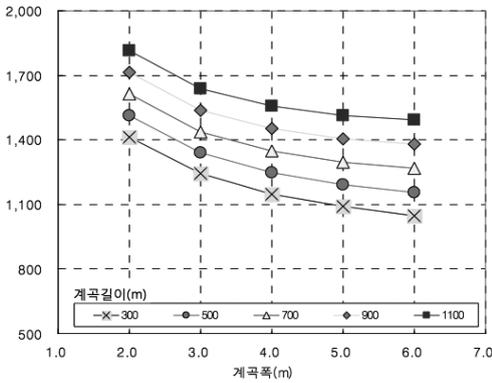
유역면적, 계곡길이, 계곡폭의 변화에 따른 동적추력의 변화양상을 분석하기 위하여 계곡경사 10°, 붕괴심도 2.5m의 조건에 대한 유역면적별, 계곡길이별, 계곡폭별에 대한 누수식생태보의 동적 추력을 산정하였다. 검토대상지역의 최소유역면적은 67,776m<sup>2</sup>, 최대유역면적은 283,838m<sup>2</sup>이므로 유역면적 조건을 60,000~300,000m<sup>2</sup>으로 하여 산정하였다. 또한 각각의 경우에 대해 현장 여건을 고려한 계곡폭, 계곡길이를 동적추력을 산정하였으며 그 결과는 다음과 같다.



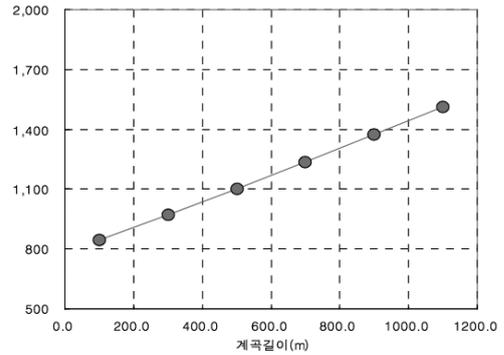
(그림 5.6) 계곡폭 6m인 경우  
유역면적, 계곡길이별 동적추력



(그림 5.7) 계곡길이 500m인 경우  
유역면적, 계곡폭별 동적추력



(그림 5.8) 유역면적 300,000m<sup>2</sup>인 경우  
계곡폭, 계곡길이별 동적추력



(그림 5.9) 붕괴심도 2.5m인 경우  
계곡길이별 동적추력

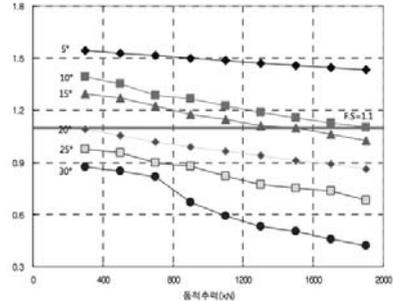
### 5.5 조건별 안정성 검토

생태보 높이 1.5m, 2.0m인 경우에 대하여 동적추력 300kN~1,900kN, 충격각도 5°~30°의 조건에 대하여 안정성을 검토한 결과는 다음과 같이 충격각도 5°~10°인 경우에 안전율을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 동적추력과 배면의 각도를 고려하여 토석류 충격하중을 최소화 하는 경우 안정성이 크게 증대됨을 알 수 있었다.

| 기획특집 |

〈표 5.3〉 생태보 높이 1.5m인 경우 충격각도에 따른 안전율변화

토석류동적추력		충격각도에 따른 안전율					
(kN)	(kN/m)	5°	10°	15°	20°	25°	30°
300	50.0	1,5434	1,3925	1,2947	1,0914	0,9752	0,8764
500	83.3	1,5282	1,3503	1,2688	1,0557	0,9544	0,8516
700	116.7	1,5132	1,2846	1,2256	1,0165	0,9005	0,8179
900	150.0	1,4998	1,2641	1,1782	0,9907	0,8791	0,6724
1,100	183.3	1,4854	1,2262	1,1466	0,9656	0,8211	0,5945
1,300	216.7	1,4713	1,1905	1,1126	0,9389	0,7708	0,5338
1,500	250.0	1,4585	1,1577	1,0988	0,9121	0,7539	0,5034
1,700	283.3	1,4449	1,1259	1,0602	0,8925	0,7363	0,4593
1,900	316.7	1,4327	1,1040	1,0239	0,8643	0,6841	0,4223

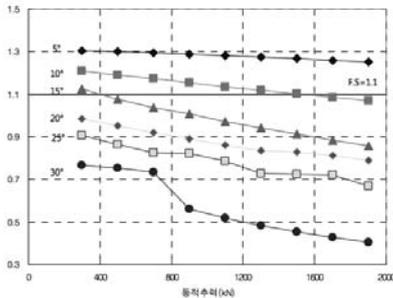


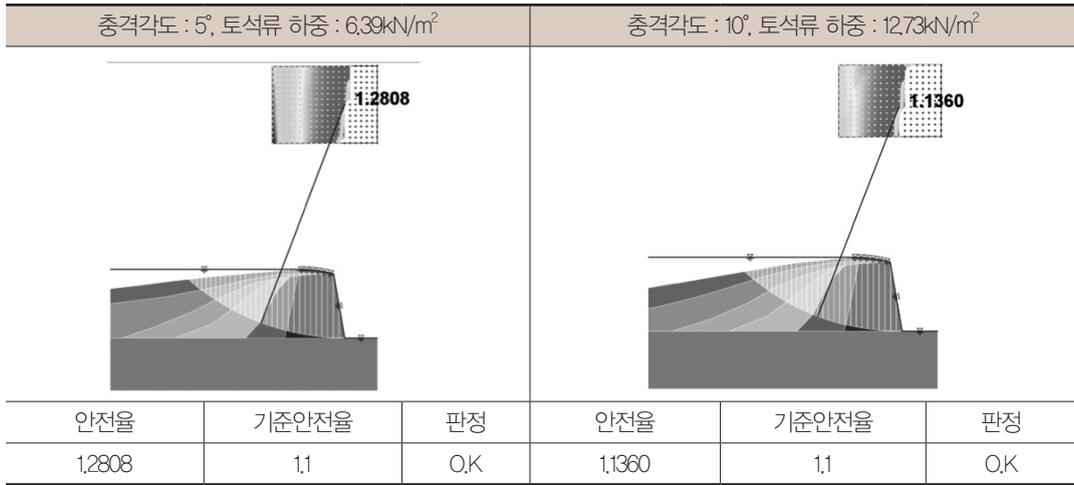
충격각도 : 5°, 토석류 하중 : 6.39kN/m <sup>2</sup>			충격각도 : 10°, 토석류 하중 : 12.73kN/m <sup>2</sup>		
안전율	기준안전율	판정	안전율	기준안전율	판정
1.4854	1.1	O.K	1.2262	1.1	O.K

(그림 5.10) 생태보 높이 1.5m인 경우 동적추력 1,100kN 작용시 안정검토 결과

〈표 5.4〉 생태보 높이가 2.0m인 경우 충격각도에 따른 안전율변화

토석류동적추력		충격각도에 따른 안전율					
(kN)	(kN/m)	5	10	15	20	25	30
300	50.0	1,3032	1,2113	1,1236	0,9850	0,9070	0,7665
500	83.3	1,3015	1,1915	1,0775	0,9516	0,8640	0,7528
700	116.7	1,2945	1,1724	1,0385	0,9200	0,8249	0,7334
900	150.0	1,2876	1,1537	1,0067	0,8893	0,8205	0,5601
1,100	183.3	1,2808	1,1360	0,9730	0,8614	0,7851	0,5191
1,300	216.7	1,2736	1,1184	0,9416	0,8353	0,7260	0,4838
1,500	250.0	1,2669	1,1014	0,9118	0,8268	0,7229	0,4530
1,700	283.3	1,2603	1,0852	0,8839	0,8127	0,7215	0,4280
1,900	316.7	1,2538	1,0692	0,8578	0,7895	0,6698	0,4038





(그림 5.11) 생태보 높이 2.0m인 경우 동적추력 1,100kN 작용시 안정검토 결과

## 6. 결론

본 검토에서는 토석류 특성치를 고려한 동적추력으로부터 계산한 보의 단면과 실제 보의 단면을 비교하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 본 검토에서는 동일 계곡부 내의 24개소 보를 대상으로 현장에서의 보의 단면을 측정하고, 토석류 특성치를 고려한 보의 단면을 각각 비교검토하였다.
- (2) 토석류 특성치로부터 계산된 보의 단면은 실제 계곡부에서의 단면에 비하여 15~105%정도 크게 산정되고, 24개소 평균 약 42%정도가 크게 산정되는 것으로 분석되었다.
- (3) 따라서 이론 토석류 특성치에 의한 충격력으로 보의 안정성을 검토하는 것은 실제 현장에서 발생하는 토석류 충격력보다 큰 값이 적용될 수 있을 것으로 판단되므로 향후 좀더 다양한 분석을 통하여 토석류의 동적추력 산정방법의 개선이 요구된다.
- (4) 생태보 높이가 1.5m, 2.0m 단면에 대하여 동적추력 300kN~1,900kN, 충격각도 5°~30°의 조건으로 안정성을 검토한 충격각도 10°이하에서는 기준안전율을 만족하나 15°이상에서는 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.
- (5) 토석류 동적추력이 작용하는 생태보의 안정성은 동적추력의 작용 각도에 따라 안정성이 큰 영향을 받으므로 방호구조물을 계획하는 경우 배면의 각도를 고려하여 토석류충격하중을 최소화 하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 송 평현외(2014) 산림내 누수식 생태보 안정성검증 학술용역, 한국지반공학회  
한국도로공사 도로교통연구원(2007), 고속도로 토석류 피해저감을 위한 대책방안연구  
GEO Report M,270(2012), Supplementary Technical Guidance or Design of Rigid Debris-  
resisting Barriers  
일본 국토 교통성, 2007, 사망기본계획 책정지침(토석류. 유목대책편)해설

