

# 농가주택 법면 보호공을 위한 환경친화블럭의 적용성 평가

## Application of Environmentally friendly block for the slope stability and protection of Rural Housing

신 방 응\* 오 세 옥\*\* 권 영 철\*\*\* 조 천 희\*\*\* 한 현 구\*\*\*\*  
Shin, Bangwoong Oh, Sewook Kwon, Youngcheul Cho, Cheonhee Han, Hyungu

### Abstract

Green environment is most important factor to human being taking a side view of psychological aspect. But, as the civilization progresses rapidly, the green environment decreases. At present, various environmentally friendly methods are developed to prevent the ill effect of the concretes. In this study, Ecostone retaining wall method, which is a kind of environmentally friendly block, are used for verifying the application to the slope stability and protection of rural housing. In case of rural housing and structure, the height of the slope is not high and additional loading doesn't act on the slope except the gravity loading of housing and structure. From the result of the stability analysis of Ecostone, 3m to 7m Ecostone retaining wall can have an equivalence capacity comparing with the concrete retaining wall. Therefore, Ecostone method can apply to retaining wall with the structural safety and environmentally friendly aspect using the plants and vegetation.

키워드 : 환경친화블럭, 사면안정, 에코스톤, 농가주택, 유한요소해석

Keyword : environmentally friendly block, slope stability, Ecostone, rural housing, FEM analysis

### 1. 서론

최근 국토개발에 따라 국토의 자연환경이 매우 악화되고, 녹지가 극도로 감소하고 있다. 이러한 현상은 도시와 농촌을 불문하고 급속도로 확산되고 있다. 그러나 녹색 환경은 동물은 물

론 인간에게 있어서도 살아가기 위한 기본적인 조건이다.

녹색환경은 정신적인 면에서의 편안함과 환경 심리적인 면에서 생활의 활력을 주며 나아가 인간성의 회복에도 도움을 준다. 또한 생활환경에서도 여름에 시원하고 겨울에 온화하며 防災나 公害의 측면에서도 매우 우수한 것으로 평가되고 있다. 최근 인공구조물을 수목을 이용하여 녹화하는 수정 녹화공법(修景綠化工法)이 지속적으로 개발되고 있다.

\* 충북대학교 토목공학과 교수

\*\* 한국표준과학연구원 시설안전계측센터 연구원

\*\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\*\* (주) 에코텍 대표이사



다. 이렇게 형성된 기둥의 전단응력도는 녹색블럭 I형에서 지질에 따라 다르지만 로옴층에서 상시(장기)·지진시(단기)에서 공허 옹벽구배 63°에서 26°에서 그리고 옹벽 경사  $H=7.5\sim 8.0m$  정도에서 안전한 것으로 밝혀졌다.

옹벽배면의 지형 및 지질의 상태에 따라 옹벽을 보다 견고하고 옹벽고 5.0m 이상으로 하고 싶은 경우에는 블럭간에 콘크리트를 주입하고 철근을 삽입하여 철근콘크리트 옹벽이 되게 한다.

블럭은 배력철근이 돌출 되어 있고 주입되는 콘크리트에 의해 고정되어 인접한 블럭이 일체가 되며 토압, 부등침하 및 지진에 대해 견고하며, 토사의 유출이 줄어들게 된다. 따라서 블럭 내의 흙의 공동화가 줄어들게 되며 식물이 고사되는 것을 막을 수 있다.

블럭은 배벽 및 저판에 통수공이 있기 때문에, 옹벽의 배면의 배수가 충분하기 때문에 기존에 사용되고 있는 栗石이 필요 없게 된다. 따라서 블럭 내의 수목의 성장에 도움을 주게 된다.

### 2.3 식재

녹색옹벽의 배면에 栗石으로 채움을 한다면 수목의 뿌리가 栗石으로 인해 배면 지반까지 이르지 못하고 블럭 안에 머물게 되어 수목의 성장에 방해가 되기 때문에 콘크리트 면이 노출되어 있는 상태가 되므로 修景녹화의 의미가 없게 된다.

옹벽의 배면에 울석으로 채움을 한다면 지하수가 지표면까지 상승하지 못할 것이며 혹서가 계속된다면 블럭 내의 흙이 습윤 상태가 되지 못하여 결국 수목이 고사될 수 있다.

본 녹색옹벽공법은 위의 두 가지 사항을 고려하여 배수용으로 사용되는 栗石은 주입되는 콘크리트 배면에 설치하여 블럭 내의 채움흙이 지반에 접촉하고 있어 수목이 시들지 않도록 하였다.

식재의 종류는 철쭉이나 진달래 등의 관목 등의 경우에는 블럭 1개에 2분을 식재한다.

잡초의 번성 등 식재의 관리에 문제가 있을 경우에는 특수 멀칭재 등으로 흙의 일부를 덮는다면 잡초의 관리에 어려움이 줄어들 것이다. 나아가 常綠의 담쟁이덩굴을 심는다면 거의 관리가 필요 없게 된다.

식재 후 1년째에만 특히 여름철(7월, 8월, 9월)에는 1개월에 3~4회 정도 물을 충분히 공급하여 준다. 이렇게 되면 식재의 뿌리가 배면 지반까지 뻗어 수목이 자라게 되고 1년 내에 콘크리트를 완전히 피복 하게 된다. 이렇게 되면 잡초의 발육도 방지하게 된다. 2~3년 후에는 수목의 발육부족을 느껴 물을 보충하여도 수목의 생육에는 도움을 주지 못한다.

## 3. 옹벽의 안정성 평가

### 3.1 서론

본 장에서는 Ecystone의 안정성 평가에 그 목적이 있으며 일반적으로 농가주택의 법면고가 도심지의 경우에 비해 상대적으로 낮고 부지도 넓은 편이라 할 수 있다.

따라서, 본 안정해석은 크게 사면 절개 후 절개지에 옹벽을 시공하는 경우와 부벽 설치하고 성토하는 경우, 그리고 배면을 1 : 1.5로 개착하여 배면에 채움을 시공하는 3가지 경우를 고려하였다. 안정성의 평가에 있어서 옹벽 블럭 상호간은 철근 콘크리트로 인해 완전히 일체화된 구조물이라 가정하였다.

환경친화블럭이 녹색옹벽공법의 경우에는 단면의 형상이 매우 복잡하고 흙과 콘크리트가 함께 존재함으로써 옹벽체의 단위중량을 정확하게 산정 하기는 어렵다. 이 때문에 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 사용하여 옹벽체의 단위 중량을 산정 하였다.

옹벽의 형상은 [그림 3]과 같이  $0.6\times 0.6\times 1.225m^3$ 으로 단순화 시켰으며 이에 대응하는 등가의 단위 중량을 산정 한다. 현재 블럭의 규격 표는 다음과 같다.

표 1. Ecostone의 규격표

	중량 (t)	블럭간 콘크리트 타설량(m <sup>3</sup> )	거푸집 면적(m <sup>2</sup> )	블럭안 토량(m <sup>3</sup> )
Eco-stone	0.266	0.0411	0.2083	0.20

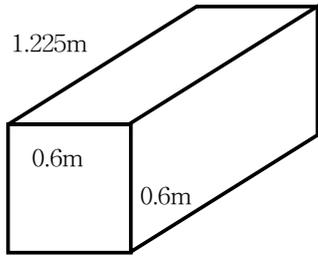


그림 3. 단순화 된 블럭 단면

블럭 안을 채움할 흙의 단위 중량을 1.5t/m<sup>3</sup>으로 가정하면 한 블럭의 단위중량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{(266 + 0.2 \times 1500)}{(0.6 \times 0.6 \times 1.225)} = 1283 \text{kg/m}^3 = 1.28 \text{t/m}^3$$

따라서 옹벽체의 안정성 검토에서는 복잡한 벽체의 형상을 간단히 하고 그 단위 중량은 1.28t/m<sup>3</sup>을 적용시켰다.

### 3.2 절토 사면에 시공한 Ecostone의 안정

#### (1) 해석조건

절토사면의 경우에는 절토부 표면 정리 후 절토사면의 경사에 맞춰 옹벽 블럭을 조적하는 방법으로 시공한다. 옹벽과 원지반과의 사이에는 잡석을 이용해 채움을 하게 되는데 옹벽의 안정성 검토 측면에서는 원지반이 활동 임계각도로 활동하려할 때 이 활동력을 이용하여 옹벽의 안정성을 검토하였다. 원지반의 물성정수는 조밀한 자갈 섞인 모래의 경우를 사용하였으며

단위중량 2.1t/m<sup>3</sup>, 내부마찰각 40°를 적용시켰다. (한국도로공사, 도로설계요령)

표 2. 해석에 사용된 물성정수(절토)

구분	적용치
콘크리트 기초의 단위중량( $\gamma_c$ )	2.5 t/m <sup>3</sup>
배면토의 단위중량( $\gamma$ )	2.1 t/m <sup>3</sup>
내부마찰각( $\phi$ )	40°
벽면마찰각( $\delta = 2/3 \phi$ )	26.67°
허용지지력도	30 t/m <sup>2</sup>
활동에 대한 안전율	1.5
전도에 대한 안전율	2.0

#### (2) 형상치수

환경친화 블럭을 적용한 옹벽의 경우 대부분 각도를 유지하여 시공하게 되며 해석은 대표적인 경우를 본 논문에 기재하고 상세한 해석 결과는 [표 4]에 정리하였다.

절토 법면에 적용한 옹벽의 형상치수는 다음과 같다. 옹벽의 각도는 16.7°, 옹벽의 높이 5m, 지표경사 0°를 적용시켰다.

기초의 형상은 옹벽의 경사에 따라 변화하며 그림과 같은 재원으로 구성되며 각 재원은 다음과 같다[그림 4 참조].

- a=0.5m    b=0.2m    c=0.5m    d=0.2m
- e=0.17m    f=0.57m    g=0.23m    h=0.32m

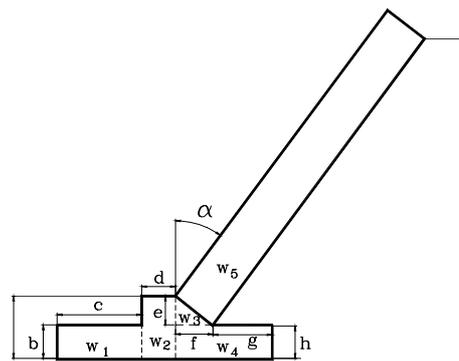


그림 4. 옹벽의 형상치수

(3) 토압

절토사면의 토압을 산정은 시행썰기법을 사용하였다. 시행썰기법은 옹벽 배면토내에 슬립면을 가정하고 옹벽 배면과 슬립면으로 형성되는 흙 썰기의 힘의 균형에서 토압을 구하여 이것의 최대치를 주동토압합력  $P_a$ 로 결정하는 방법이다[그림 5 참조].

뒷채움 흙 속에 최대 토압이 생기는 활동면이 존재하는 경우 [그림 5]에서의 AB선과 같이 활동각  $\omega$ 를 갖는 임의의 활동면을 가정하여 토압을 산정하게 된다.

흙썰기의 중량  $W$ 는 [그림 5]에서 삼각형 ABC에 대해 구해진다. 삼각형의 중량을 간단히 하기 위해 기초의 깊이 0.5m을 옹벽의 높이에 포함시킨다.

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \times H \times \{H \cdot \tan(90 - \omega) - H \cdot \tan \alpha\} \times \gamma \\ &= \frac{1}{2} \times 5.5^2 \times \{ \tan(90 - \omega) - \tan \alpha \} \times 2.1 \\ &= 31.76 \times \{ \tan(90 - \omega) - \tan \alpha \} \end{aligned}$$

여기서 주동토압  $P_a$ 의 최대값을 구하기 위해 힘 삼각형을 [그림 6]와 같이 좌표상에 위치시킨다.

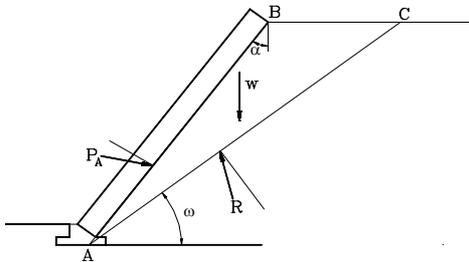


그림 5. 흙 썰기에 ABC에 작용하는 작용력

[그림 6]에서

직선 OA는  $y = \tan[90^\circ - (\omega - \phi)] \cdot x$  직선

AB는  $y = -\tan(\delta + \alpha) \cdot x + W$

따라서 [그림 6]에서 A점의 x좌표는

$$\begin{aligned} &\tan[90^\circ - (\omega - \phi)] \cdot x \\ &= -\tan(\delta + \alpha) \cdot x + W \\ \therefore x &= W \times \frac{\tan(\omega - \phi)}{1 + \tan(\delta + \alpha) \cdot \tan(\omega - \phi)} \\ &= 31.76 \times \{ \tan(90 - \omega) - \tan \alpha \} \\ &\quad \times \frac{\tan(\omega - \phi)}{1 + \tan(\delta + \alpha) \cdot \tan(\omega - \phi)} \end{aligned}$$

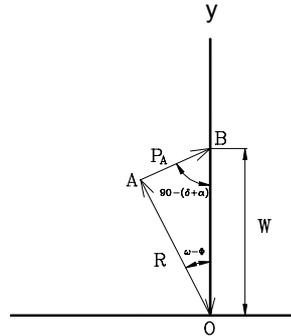


그림 6. 힘의 삼각형

$$\phi = 40^\circ, \quad \delta = \frac{2}{3} \phi = 26.67^\circ,$$

$$\alpha = -16.7^\circ$$

$\omega = 54^\circ, 55^\circ, 56^\circ$ 로 가정하면

$$\omega = 54^\circ;$$

$$\begin{aligned} x &= 31.76 \times \{ \tan(90 - 54) - \tan 16.7 \} \\ &\quad \times \frac{\tan(54 - 40)}{1 + \tan(26.67 - 16.7) \cdot \tan(54 - 40)} \\ &= 3.2360 \end{aligned}$$

$$\omega = 55^\circ;$$

$$\begin{aligned} x &= 31.76 \times \{ \tan(90 - 55) - \tan 16.7 \} \\ &\quad \times \frac{\tan(55 - 40)}{1 + \tan(26.67 - 16.7) \cdot \tan(55 - 40)} \\ &= 3.2528 \end{aligned}$$

$$\omega = 56^\circ;$$

$$\begin{aligned} x &= 31.76 \times \{ \tan(90 - 56) - \tan 16.7 \} \\ &\quad \times \frac{\tan(56 - 40)}{1 + \tan(26.67 - 16.7) \cdot \tan(56 - 40)} \\ &= 3.2472 \end{aligned}$$

따라서 임계활동각을 55°로 가정하면

$$P_A = \frac{X_{max}}{\sin[90^\circ - (\delta - \alpha)]}$$

$$= \frac{3.2528}{\cos(26.67 - 16.7)} = 3.3026t/m$$

$$K_A = \frac{2P_A}{\gamma H^2} = 0.1039$$

(4) 안정성 검토

① 자중 및 모멘트

[그림 5]에서 옹벽의 자중 및 토압에 대한 모멘트의 계산은 다음 표와 같다.

표 3. 자중 및 토압에 대한 모멘트 계산

구분	단면적 (m <sup>2</sup> )	단위 중량 (t/m <sup>3</sup> )	연직력 (t)	압 (m)	회전 모멘트 (t·m)
W1	0.2×0.5=0.1	2.50	0.25	0.25	0.0625
W2	0.5×0.2=0.1	2.50	0.25	0.60	0.1500
W3	0.17×0.57×1/2=0.049	2.50	0.12	0.89	0.1104
W4	0.8×0.3276=0.262	2.50	0.66	1.10	0.7207
W5	5.22×0.6=3.132	1.28	4.0	1.45	5.8133
계			5.23		6.8569

하중	연직력 (t)	수평력 (t)	x (m)	y (m)	저항 모멘트 Mr (t·m)	전도 모멘트 M (t·m)
자중	5.29				6.8569	
토압	0.57	3.21	1.73	1.83	0.9869	5.8907
계	5.86	3.21			7.8439	5.8907

② 전도에 대한 안정

$$F_{OT} = \frac{cMr}{\sum M}$$

$$= \frac{7.8439}{5.8907} = 1.33 < 2.0 \quad \therefore \text{불안정}$$

③ 활동에 대한 안정

$$F_S = \frac{\sum V \times \tan \phi_B}{\sum H} = \frac{5.860 \times 0.7}{3.213} = 1.28 < 1.5$$

∴ 불안정

위와 같은 방법으로 옹벽의 경사와 옹벽고를 변화시켜 안정성을 평가한 결과는 [표 4]와 같다.

안정성 평가 결과 옹벽의 경사가 1 : 0.3(16.7°)인 경우에는 대략 옹벽고가 3m를 넘어서면 서부터 불안정한 결과를 보이고 있으며 1 : 0.5(26.6°)에서는 옹벽고 7m 이상에서 불안정을 보이고 있다.

또한 옹벽의 경사가 1 : 0.7(35.0°)부터는 10m 이상, 그리고 1 : 1.0(45.0°)에서는 옹벽고 15m 이상에서도 시공이 가능할 것으로 판단된다. 1 : 1.0 경사에서 안전율이 급증하는 이유는 배면의 활동각이 대략 45°부근에서 형성되고 있으므로 흩쇄기가 매우 작게 형성되며 그 결과 활동력의 감소를 유발시키고 있기 때문이다.

표 4. 절토 사면에 시공한 Ecostone의 안정성 평가 결과

옹벽의 경사	옹벽의 높이(m)	안정성 검토			
		전도(Fsa=2.0)		활동(Fsa=1.5)	
1 : 0.3 (16.7Deg)	3	2.77	안정	2.13	안정
	4	1.82	불안정	1.59	안정
	5	1.33	불안정	1.28	불안정
	6	1.04	불안정	1.07	불안정
	7	0.86	불안정	0.92	불안정
	8	0.72	불안정	0.81	불안정
	9	0.628	불안정	0.73	불안정
	10	0.56	불안정	0.66	불안정
	12	0.45	불안정	0.57	불안정
	14	0.39	불안정	0.51	불안정
	15	0.37	불안정	0.48	불안정

옹벽의 경사	옹벽의 높이(m)	안정성 검토			
		전도(Fsa=2.0)		활동(Fsa=1.5)	
1 : 0.5 (26.6Deg)	5	2.91	안정	2.20	안정
	6	2.32	안정	1.81	안정
	7	1.92	불안정	1.54	안정
	8	1.63	불안정	1.33	불안정
	9	1.41	불안정	1.17	불안정
	10	1.24	불안정	1.04	불안정
	11	1.10	불안정	0.94	불안정
	12	0.99	불안정	0.85	불안정
	13	0.90	불안정	0.78	불안정
	14	0.83	불안정	0.72	불안정
	15	0.76	불안정	0.66	불안정

옹벽의 경사	옹벽의 높이(m)	안정성 검토			
		전도(Fsa=2.0)		활동(Fsa=1.5)	
1 : 0.7 (35.0Deg)	5	8.41	안정	5.05	안정
	6	6.82	안정	4.17	안정
	7	5.71	안정	3.54	안정
	8	4.90	안정	3.07	안정
	9	4.28	안정	2.69	안정
	10	3.79	안정	2.40	안정
	11	3.39	안정	2.15	안정
	12	3.06	안정	1.95	안정
	13	2.78	안정	1.77	안정
	14	2.55	안정	1.62	안정
15	2.34	안정	1.49	불안정	

옹벽의 경사	옹벽의 높이(m)	안정성 검토			
		전도(Fsa=2.0)		활동(Fsa=1.5)	
1 : 1.0 (45.0Deg)	13	39.69	안정	18.28	안정
	14	36.76	안정	16.94	안정
	15	34.21	안정	15.77	불안정

그러나 본 안전성 평가에서는 상술한 바와 같이 배면의 물성이 매우 양호한 경우에 한하며, 암반 절리 발달 등 전단 응력 증가로 인한 안전을 저감요소가 발생했을 경우에는 더욱 상세한 해석이 필요할 것으로 사료된다.

### 3.3 성토의 경우에 대한 Ecostone의 안정

#### (1) 해석조건

배면을 높은 성토고로 시공해야할 경우에는 [그림 7]과 같이 일정간격으로 부벽을 설치하여 안정성을 도모하게 된다. 부벽의 설치는 횡방향으로 3개의 블럭마다 설치하게 된다.

표 5. 해석에 사용된 용된 물성정수

구분	적용치
콘크리트 기초의 단위중량( $\gamma_c$ )	2.5 t/m <sup>3</sup>
배면토의 단위중량( $\gamma$ )	1.9 t/m <sup>3</sup>
내부마찰각( $\phi$ )	30°
벽면마찰각( $\delta=2/3 \phi$ )	26.67°
허용지지력도	30 t/m <sup>2</sup>
활동에 대한 안전율	1.5
전도에 대한 안전율	2.0

#### (2) 형상치수

적용된 형상치수는 옹벽의 각도(  $\alpha$  )는 16.7°, 옹벽의 높이 5m, 지표 경사 0°, 부벽의 설치간격 3.6m, 부벽의 두께 0.2m 등이다. 기초의 형상은 옹벽의 경사에 따라 변화하며 그림과 같은 재원으로 구성되며 각 재원은 다음과 같다.

$$a = 0.17m \quad b = 0.57m \quad c = 1.5m$$

$$d = 5.22m \quad e = 2.77m$$

#### (3) 토압

옹벽에 작용하는 토압은 배면토 1.9t/m<sup>3</sup>, 내부마찰각 30°를 이용하여 산정 한다.

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A$$

$$= 1/2 \times 1.9 \times (5 + a + 0.2)^2 \times 0.333$$

$$= 9.122t/m$$

부벽에 작용하는 총 토압 = 9,122 × 3.6 = 32.90 t/m

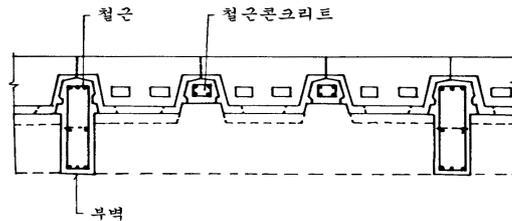


그림 7. 부벽식 옹벽의 단면도

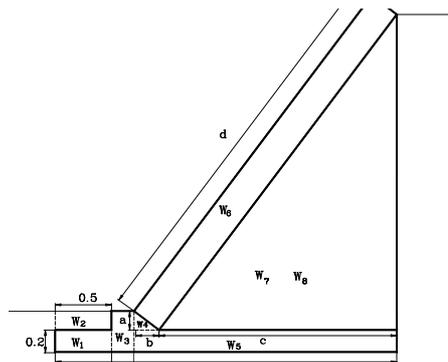


그림 8. 부벽식 옹벽

(4) 안정성 검토

① 자중 및 모멘트

[그림 8]에서 옹벽의 자중 및 토압에 대한 모멘트의 계산은 다음 표와 같다.

표 6. 옹벽의 자중 및 토압에 대한 모멘트 계산

구분	단면적 (m <sup>2</sup> )	단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	연직력 (t)	암 (m)	모멘트 (t·m)
W1	0.2×0.5×3.6=0.36	2.5	0.90	0.25	0.225
W2	0.5×0.17×3.6=0.31	1.9	0.59	0.25	0.147
W3	0.2×0.37×3.6=0.27	2.5	0.67	0.59	0.393
W4	(0.17×0.57)/2×3.6=0.18	2.5	0.45	0.89	0.398
W5	2.07×0.2×3.6=1.49	2.5	3.73	2.02	7.562
W6	5.22×0.6×3.6=11.28	1.3	14.43	1.45	20.928
W7	(5.17×1.5)/2×0.2=0.78	2.5	1.94	2.28	4.412
W8	(5.17×1.5)/2×3.4=13.19	1.9	25.06	2.28	57.008
계			47.77		91.073

하중	연직력 (t)	수평력 (t)	x (m)	y (m)	Mr (t·m)	M (t·m)
자중	47.77		1.91		91.073	
토압		32.90		1.79		58.92
합계	47.77	32.90		1.79	91.073	58.92

합력의 작용 위치

$$d = \frac{(\sum Mr - \sum M)}{V}$$

$$= \frac{(91.07 - 58.92)}{47.77} = 0.67294$$

② 전도에 대한 안정

$$F_{OT} = \frac{cMr}{\sum M} = \frac{91.07}{58.92} = 1.55 < 2.0$$

∴ 불안정

③ 활동에 대한 안정

활동에 대한 활동마찰계수는 0.7로 한다.

$$F_s = \frac{\sum V \times \tan \phi_B}{\sum H} = \frac{47.77 \times 0.6}{32.90}$$

∴ 불안정  
= 0.87 < 1.5

④ 지지력에 대한 안정

$$e = B/2 - d = 2.77/2 - 0.67 = 0.715$$

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B \times l} \left( 1 + \frac{6 \times e}{B} \right)$$

$$= \frac{47.77}{2.77 \times 3.6} \left( 1 + \frac{6 \times 0.715}{2.77} \right) \quad \therefore \text{안정}$$

$$= 12.17 < 30$$

위와 같은 방법으로 옹벽의 경사를 변화시켜 안정성을 평가한 결과는 [표 7]과 같다.

부벽을 설치하고 배면 성토를 실시하였을 경우 옹벽경사 1 : 0.7(35.0°) 이상에서는 소요의 안전율을 얻을 수 있는 것으로 평가되었다.

표 3. 성토 사면에 시공한 Ecostone의 안정성 평가 결과

옹벽의 경사	안정성 검토					
	전도	활동	회전	지지력	지반	
1 : 0.3 (16.7Deg)	1.55	불안정	0.87	불안정	12.17	안정
1 : 0.5 (26.6Deg)	2.88	안정	1.23	불안정	6.95	안정
1 : 0.7 (35.0Deg)	4.54	안정	1.59	안정	4.67	안정
1 : 1.0 (45.0Deg)	7.70	안정	2.13	안정	3.08	안정
1 : 2.0 (63.4Deg)	24.46	안정	3.94	안정	1.61	안정

3.4 배면을 개착(open cut)하여 시공한 Ecostone의 안정

(1) 해석조건

배면을 1 : 1.5로 open cut하여 시공한 경우에 대한 안정성 평가 결과는 다음 표와 같다. 안정성 검토시 back fill의 재료는 단위중량 1.9t/m<sup>3</sup>, 내부마찰각 30°, 점착력 0t/m<sup>2</sup>인 지반을 기준으로 하였다.

표 8. 해석에 사용된 물성정수(성토)

구분	적용치
콘크리트 기초의 단위중량( $\gamma_c$ )	2.5 t/m <sup>3</sup>
배면토의 단위중량( $\gamma$ )	1.9 t/m <sup>3</sup>
내부마찰각( $\phi$ )	30°
허용지지력도	30 t/m <sup>2</sup>
활동에 대한 안전율	1.5
전도에 대한 안전율	2.0

(2) 형상치수

적용된 구조물의 형상 및 형상치수는 다음과 같다. 굴착경사는 1 : 1.5(33.69°), 옹벽의 각도( $\alpha$ )는 16.7°, 옹벽의 높이 5m, 지표 경사 0°, 등이다. 기초의 형상은 옹벽의 경사에 따라 변화하며 그림과 같은 재원으로 구성되며 각 재원은 다음과 같다.

기초의 형상은 옹벽의 경사에 따라 변화하며 그림과 같은 재원으로 구성되며 각 재원은 다음과 같다.

a=0.5m   b=0.2m   c=0.5m   d=0.2m  
 e=0.17m   f=0.57m   g=0.23m   h=0.32m

(3) 토압

배면을 굴착하여 시공한 경우에 굴착한 원지반은 안정한 상태를 유지하고 있으며 성토된 부분의 토압이 옹벽에 작용하게 될 것이다. 이때 작용하는 토압은 절토부의 토압과 성토부의 토압으로 나누어 생각해 볼 수 있으며 계산 결과에 따라 더 큰 토압을 작용토압으로 사용한다.

① 절토부 토압

원지반 표면의 활동마찰각  $\delta'$  는  $2/3 \phi$  정도라고 여기지만 이것은 토압이 커져서 비경제적이며 시공시에는 절단을 충분히 하는 조건으로  $\delta' = \phi$  로 한다. 뒷채움 흙의 중량은

$$W = \frac{1}{2} \times 5.5 \times \{5.5 \tan(90 - 33.69) - 5.5 \tan 16.7\} \times 1.9$$

$$= 34.48 \text{ t/m}$$

$\omega = 33.69^\circ$  ,  $\delta' = \phi = 30^\circ$  ,  $\delta = 2.3\phi = 20^\circ$  ,  
 $\alpha = -16.7^\circ$   
 이므로

$$P_A = \frac{W \sin(\omega - \delta')}{\cos(\omega - \delta' - \delta - \alpha)}$$

$$= \frac{34.48 \times \sin(33.69 - 30)}{\cos(33.69 - 30 - 20 + 16.7)}$$

$$= 2.22 \text{ t/m}$$

$$K_A = \frac{2P_A}{\gamma H^2} = \frac{2 \times 2.22}{(1.9 \times 5.5^2)} = 0.077$$

② 성토부 토압

$$W = \frac{1}{2} \times H \times \{H \cdot \tan(90 - \omega) - H \cdot \tan \alpha\} \times \gamma$$

$$= \frac{1}{2} \times 5.5^2 \times \{ \tan(90 - \omega) - \tan \alpha \} \times 2.1$$

$$= 28.74 \times \{ \tan(90 - \omega) - \tan \alpha \}$$

$\phi = 30^\circ$  ,  $\delta = \frac{2}{3} \phi = 20^\circ$  ,  $\alpha = -16.7^\circ$

$\omega = 48^\circ, 49^\circ, 50^\circ$ 로 가정하면

$\omega = 48^\circ$  ;

$$x = 28.74 \times \{ \tan(90 - 48) - \tan 16.7 \}$$

$$\times \frac{\tan(48 - 30)}{1 + \tan(20 - 16.7) \cdot \tan(48 - 30)}$$

$$= 5.5030$$

$\omega = 49^\circ$  ;

$$x = 28.74 \times \{ \tan(90 - 49) - \tan 16.7 \}$$

$$\times \frac{\tan(49 - 30)}{1 + \tan(20 - 16.7) \cdot \tan(49 - 30)}$$

$$= 5.5233$$

$\omega = 50^\circ$  ;

$$x = 28.74 \times \{ \tan(90 - 50) - \tan 16.7 \}$$

$$\times \frac{\tan(50 - 30)}{1 + \tan(20 - 16.7) \cdot \tan(50 - 30)}$$

$$= 5.5227$$

따라서 임계활동각을 49°로 가정하면

$$P_A = \frac{X_{max}}{\sin[90^\circ - (\delta - \alpha)]}$$

$$= \frac{5.5233}{\cos(20 - 16.7)} = 5.35t/m$$

$$K_A = \frac{2P_A}{\gamma H^2} = 0.1925$$

절토부 토압과 성토부 토압을 비교하여 큰 값을 토압으로 산정한다. 즉 토압은 5.35 t/m, 주동토압 계수는 0.1925 를 적용시킨다.

(4) 안정성 검토

① 자중 및 모멘트

옹벽의 자중 및 토압에 대한 모멘트의 계산은 다음 표와 같다.

표 9. 자중 및 토압에 대한 모멘트 계산

구분	단면적 (m <sup>2</sup> )	단위 중량 (t/m <sup>3</sup> )	연직력 (t)	암 (m)	회전 모멘트 (t·m)
W1	0.2×0.5=0.1	2.50	0.25	0.25	0.0625
W2	0.5×0.2=0.1	2.50	0.25	0.60	0.1500
W3	0.17×0.57×1/3 =0.049	2.50	0.12	0.89	0.1104
W4	0.8×0.3276 =0.262	2.50	0.66	1.10	0.7207
W5	5.22×0.6=3.132	1.28	4.0	1.45	5.8133
계			5.228		6.8569

하중	연직력 (t)	수평력 (t)	x (m)	y (m)	저항모멘트 Mr (t·m)	전도모멘트 M (t·m)
자중	5.23				6.8569	
토압	0.32	5.43	1.73	1.83	0.5498	9.951
계	5.61	5.43			7.4067	9.951

② 전도에 대한 안정

$$F_{OT} = \frac{cMr}{\sum M} = \frac{7.4067}{9.9510} = 0.74 < 2.0$$

∴ 불안정

③ 활동에 대한 안정

활동에 대한 활동마찰계수는 0.6으로 한다.

$$F_S = \frac{\sum V \times \tan \phi_B}{\sum H} = \frac{5.606 \times 0.6}{5.428} = 0.62 < 1.5$$

∴ 불안정

안정성 평가 결과는 다음 [표 10]과 같다.

표 10. 배면을 개착(open cut)하여 시공한 Eco-stone의 안정성 평가 결과

옹벽의 경사	옹벽의 높이 (m)	안정성 검토			
		전도(Fsa=2.0)		활동(Fsa=1.5)	
1 : 0.3 (16.7Deg)	3	1.58	불안정	1.05	불안정
	5	0.74	불안정	0.62	불안정
	10	0.30	불안정	0.31	불안정
1 : 0.5 (26.6Deg)	3	2.52	안정	1.44	불안정
	5	1.23	불안정	0.81	불안정
	10	0.47	불안정	0.34	불안정
1 : 0.7 (35.0Deg)	3	4.74	안정	2.30	안정
	5	2.47	안정	1.29	불안정
	10	0.97	불안정	0.51	불안정
1 : 1.0 (45.0Deg)	3	15.86	안정	5.99	안정
	5	9.09	안정	3.52	안정
	10	4.02	안정	1.54	안정

안정성 검토 결과 대부분의 경우에서 불안정한 결과가 나왔으며 5m 이상의 옹벽을 시공하고자 하는 경우에는 안전율을 향상시킬 수 있는 공법을 병행하는 방안을 모색해야 할 것으로 사료된다.

3.5 급경사지에 시공한 Ecostone 옹벽

급경사지에 옹벽을 시공하는 경우에는 어느 앵커를 사용하여 철근콘크리트를 고정시키는 방식을 사용한다. 본 해석에서는 앵커를 시공이 옹벽의 변형에 미치는 영향을 알아보려고 유한

요소프로그램을 사용하여 옹벽 경사 16.7°일 때 최대 15m까지 옹벽고를 시공하여 이 때 발생하는 변형량을 검토하였다.

옹벽의 안정성 평가와 동일한 조건에서 유한요소해석을 실시하였으며 수치해석을 위한 메쉬의 구성은 [그림 9]와 같다.

본 해석을 위해서는 범용 FEM 프로그램인 PENTAGON<sup>3D</sup>를 사용하였으며 지반의 모델링에는 Quad 4 solid 요소를 사용하였으며 지반 내에 설치된 앵커는 Frame 요소를 사용하였다. 앵커는 예상과괴면을 포함할 수 있도록 모델링하였다. 본 해석은 평면 변형을 조건으로 모델이하였으며 좌측과 우측 끝부분은 수평고정, 연직 자유, 최하단부는 연직고정, 수평 자유로 하였다.

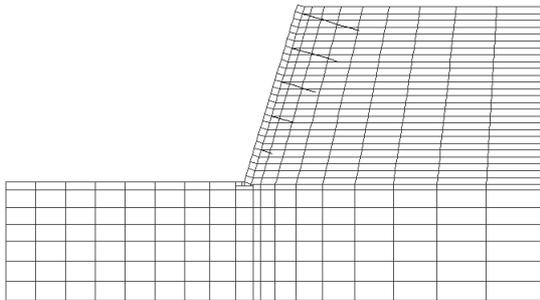
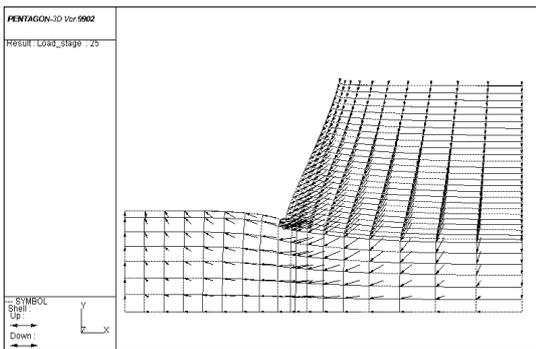
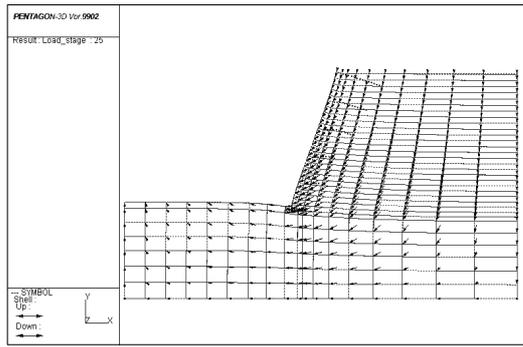


그림 9. 메쉬의 구성



(a) 앵커로 보강이 없는 급경사지 옹벽의 변형도 및 변위벡터(scale=50배)



(b) 앵커로 보강한 급경사지 옹벽의 변형도 및 변위벡터(7× ϕ 12.7, scale=50배)

그림 10. 급경사지에 시공한 Ecostone 옹벽의 변형비교

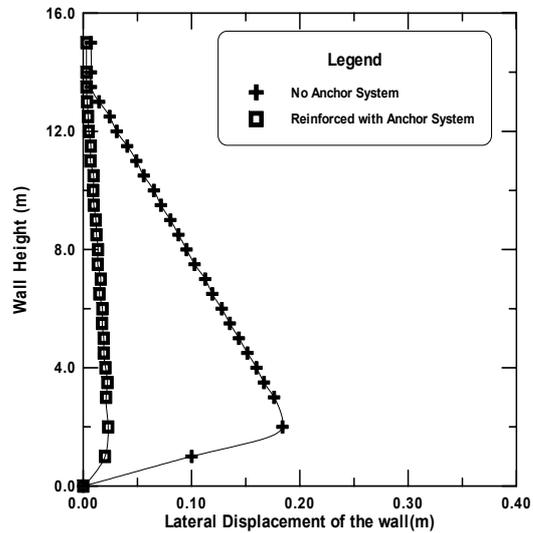


그림 11. 보강 유무에 따른 옹벽체의 수평변위

보강에 따른 변형 억제 효과를 확인하기 위하여 보강전과 보강 후에 대해 각각 해석을 시행하였다. 해석시에 앵커는 7× ϕ 12.7을 기준으로 삼았다.

[그림 10]은 앵커를 통해 보강한 경우와 보강하지 않은 경우에 대한 옹벽의 변형도 및 변위벡터를 50배의 scale로 표현한 그림이며 최대

변위는 옹벽 높이의 1/3보다 조금 낮은 위치에서 발생하고 있다. 해석을 통해 발생한 옹벽의 높이별 횡변위를 [그림 11]에서 표현하였으며 분석 결과 앵커를 시공한 경우가 시공하지 않은 경우의 횡변위의 11.96%~18.35%의 변위만이 발생하고 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론 및 제언

농가주택 법면의 보호 및 안정성을 확보함과 동시에 수목을 이용하여 구조물을 녹화할 수 있는 환경친화블럭의 안정성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 절개지에 시공한 옹벽(Ecostone)의 안정성 평가 결과 옹벽의 경사가 경사에 따라 차이가 있었지만 3m에서 7m 가량의 옹벽고에서 가장 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 판단되며, 안전율 저감요소가 발생했을 경우에는 이러한 요소를 충분히 고려해야 할 것이다.

2) 배면에 성토를 해야 할 경우에는 부벽을 사용하여 옹벽의 안정을 향상을 도모하여야 한다.

3) 배면을 개착하여 토사로 채움을 하는 경우에는 대부분 불안정한 결과가 나왔으며 5m 이상의 옹벽을 시공하고자 하는 경우에는 안전율을 향상시킬 수 있는 공법을 병행하여야 할 것으로 평가되었다. 또한 급경사지에서는 앵커로 보강했을 때 상당한 변형 억제 효과를 볼 수 있었다.

4) 급경사지, 높은옹벽고로 시공한 경우에는 앵커 등의 보강방법을 별도로시공해야 할 것을 사료되며 보강후의 옹벽의 횡변위는 보강전에 비해 11.96%~18.35%의 변위만이 발생하고 있는 것으로 나타났다.

5) 농가주택의 경우 옹벽고가 높지 않고 추가적인 재하중이 발생하지 않는 경우가 대부분이며, 따라서 구조적인 안정성을 확보할 수 있으며 녹화를 이용한 수려한 외관을 조성하는 환경친화블럭이 기존콘크리트가 주는 환경적 측면의 부작용을 완화할 수 있는 대안으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 社團法人 日本道路協會, 道路土工, "擁壁、カルベート、仮設構造物工指針"
2. 社團法人 全日本建設技術協會, 建設省制定, 土木構造物標準設計2, 擁壁(石築、もたれ式、重力式、片持ばり式、控え壁式)
3. 日本土質工學會, "傾斜地の侵食防止工法", 1976
4. 土木施工, "PrecastBlockを利用した擁壁の設計と施工對策", Technical data, 土木施工, pp.79~87, 2000.
5. Tien huang, "Mechanical behavior of inter-connected concrete-block retaining wall", *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE*, pp.197~203, 1997
6. Fang, Y. S. and Ishibshi, I. "Static earth pressures with various wall movements." *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE*, pp.317~333, 1986
7. 사단법인 대한토목학회, 건설교통부 제정, "도로교 표준시방서", 1996
8. 조성민, 이재훈, 정충기, 김명모, "연약한 지반에 시공된 과다 변형사례 분석", 한국지반공학회 1995년 춘계학술발표회, 1995
9. 한국건설기술연구원, "옹벽블럭개발에 관한 연구", 1988