

## 절개지에서 토사유출 방지를 위한 둥근잎매듭풀(콩과)의 이용

허 만 규 · 허 흥 욱  
부산대학교 생물교육과  
(1997년 11월 25일 접수)

### Use of *Kummerowia stipulacea* MAKINO(Fabaceae) for the Defense of Washout on Incision Cliff

Man-Kyu Hur and Hong-Wook Huh  
Dept. of Biological Education, Pusan National University, Pusan, 609-735  
(Manuscript received 25 November 1997)

The washout on incision cliff is a serious problem. Incision cliff if not carefully done, can contribute to soil erosion and, by removing covering plants could have a large impact on the temporary of normally the quality of water. Because the washout of soil is influenced by its surface, it is necessary to prevent or diminish soil particle by plantation of grass species. *Kummerowia stipulacea* is an useful species that diminish the injury of soil and rainwater. We study that estimates of preventing soil erosion and river overflow can be obtained from the experimental model developed by several equators. Many potential contaminants are removed by filtration as the water moves slowly through the fields of *K. stipulacea*.

#### 1. 서 론

식물은 침식으로부터 토양을 보호하는데 상당한 역할을 하고 있다. 물에 의한 침식은 나지에 물방울이 튀겨짐으로 침식이 일어나는 물튀김 침식(splash erosion)으로부터 시작된다. 빗방울이 나지에 내리치면 그 효과는 토양입자를 폭발시켜 바깥으로 내보내는 소형의 폭발과도 같다. 단 한번 내리친 비로 헥타아르당 250톤(약 100m<sup>2</sup>)의 토양입자가 물튀김침식에 의하여 이동될 수 있다고 추정하고 있다(최 등, 1995). 특히 토양입자가 작은 표토의 유실이 가장 많게 된다. 표면배수의 제한된 에너지는 미세한 입자와 부식을 이동하지만 큰 입자들은 남게 되므로 토양은 점점 사질토가 되고 이로 인해 토양의 보수력, 이온교환능력 및 식물을 지탱해 주는 토양의 힘은 떨어지게 된다. 식물은 표면배수 속도를 상당히 감소시켜 토양입자들이 쉽게 이동할 수 있을 만큼 에너지가질 수 없게 할 뿐더러 뿌리는 토양입자들을 결합시키고 붙잡는 작용을 한다. 또한 식생은 지표 근처의 바람 속도를 낮추어서 토양 입자가 바람에 날아가지 않도록 하는 기능도 제공한다.

콩과식물, 오리나무, 털갈매나무, 보리수 등의 식물이 질소 고정 능력이 있음이 알려져 있고(Streeter, 1979; King 등, 1988), 그 중 가장 일반적으로 널리 알려진 것이 콩과 식물이다. 콩과 식물은 뿌리에서 공생 질소 고정 세균인 *Rhizobium* sp.의 감염에 의해 근류조직을 형성하여 공중 질소를 고정한다. 한편 근류에서 고정된 질소의 상당량은 근권에서 방출되어 척박한 토양에 비옥화를 가져온다. 둥근잎매듭풀은 콩과식물에 속하는

종이다.

도시의 95%가 시멘트, 아스팔트, 보도블럭 등으로 대체되고(Tiezenberg, 1996), 아파트를 위시한 택지 개발, 녹지 시설과 유락공원, 고가도로 및 고속도로 확장 등으로 건설, 여타 자연 환경 파괴는 간단없이 이루어지고 있다. 이로 인한 토사 유출로 하상계수가 높아지고, 하천의 중금속 축적과 축적된 중금속이 함유된 준설토의 처리 문제, 또한 분진이 공중으로 비산하는 경우에는 빗물에 흙의 함량이 높아지거나 분진이 호흡기를 통해 인체에 들어가는 경우가 빈번하여 도시에서 오히려 폐질환이 늘어가는 등 여러 문제점을 야기시키고 있다. 따라서 절개지 및 사방 조림의 일환으로 도입된 수종인 아카시나무와 죽제비싸리, 자생종 칩 등이 적극 식재되어왔다. 그러나 아카시나무의 왕성한 번식력, 역시 수입 수종인 죽제비싸리의 지독한 냄새, 그리고 칩의 수목 감기에 의해 기존 수목의 고사 등 역기능적 피해를 입고 있다. 이는 목적 후의 파급효과를 간과하거나 소홀히 한 탓이다. 둥근잎매듭풀은 초본류로서 뿌리가 아카시아, 죽제비싸리, 칩 등에 비해 깊게 내리지 않으며, 일년생이고 손으로도 뽑을 수 있으며, 제초제 등으로도 제초가 가능하고 가축의 사료용으로도 쓰일 수 있다. 외국에서는 보리수나무나 오리나무 같은 목본류로 토양의 근류형성과 토양의 양분 유실방지에 대한 이용 방안을 모색하려는 보고가 있었다(Kalastkii와 Pariiskay, 1983; Moiround와 Pearson, 1984). 그러나 목본의 경우 광활한 면적을 수목으로 채우기에는 경제적 비용과 시일이 많이 소요되어 실용화하기는 어렵다. 둥근잎매듭풀

# tan 20

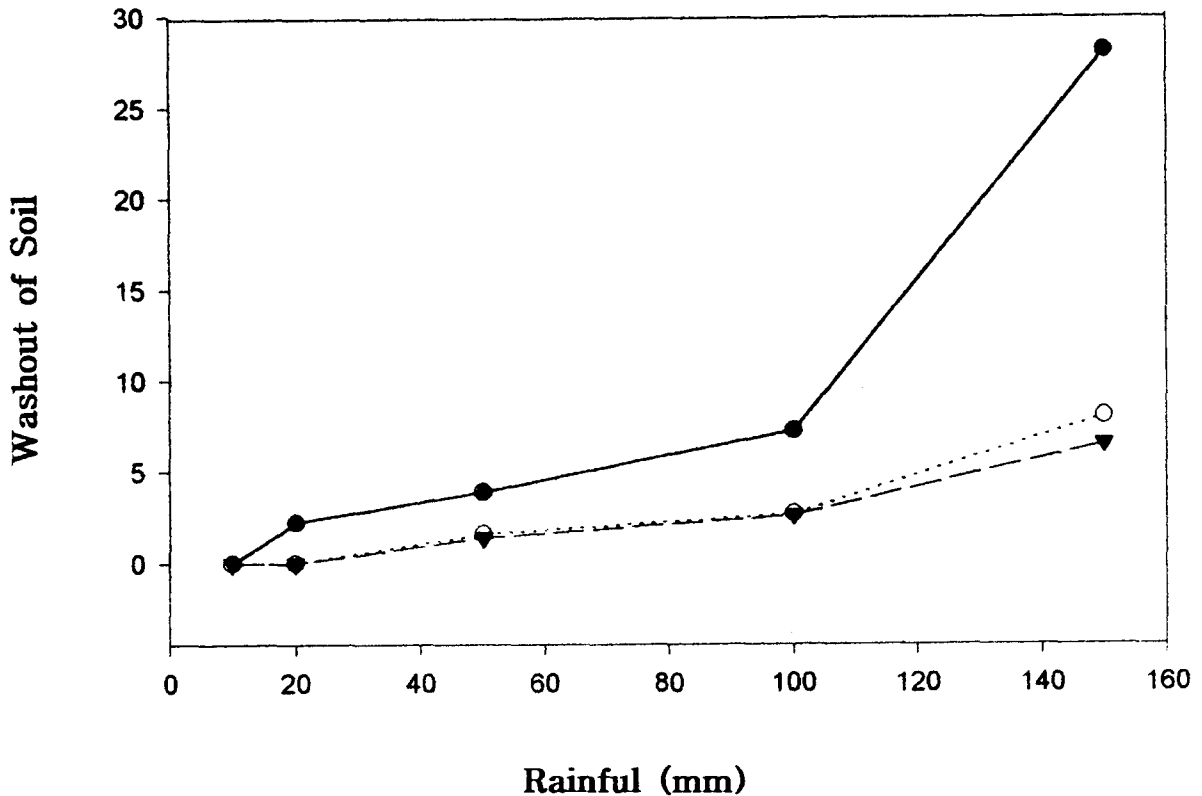


Fig. 1. The washout of soil at the slope of tan20° .

●:Barren land, ○:*Kummerowia stipulacea*, ▼:*Kummerowia stipulacea*+*Zoysia japonica*

*Kummerowia stipulacea* (Max.) MAKINO은 초지, 노번의 나지 또는 개간지 등에 널리 자연 군락을 이루고 근류를 형성하는 일년생 콩과 식물로서, 공생 질소 고정 능력에 의해 1차생산성을 증가시키고 근권토양의 성질을 개선하여, 군락의 성장과 생태계의 천이에 기여하는 식물로서 주목되고 있다. 또한 둥근잎매듭풀은 우리나라에 자생하는 종이므로 사방 공사용으로 널리 사용되어도 무방할 것으로 사료된다. 따라서 둥근잎매듭풀이 어느 정도 토사 유출을 방지할 수 있는지 살펴보고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 인공 경사지에서 토양 유실 정도

인공 경사지에서 둥근잎매듭풀이 표토의 유실 방지에 효과가 있는지 인공 강수량을 분무하여 정도를 조사하였다. 경사지를 만들기 위해 50 x 42 x 30 cm 아크릴 상자를 제조하였다. 여기에 나지에서 성장하고 있는 둥근잎매듭풀을 상자 크기의 떼를 만들어 심토와 표토가 떨어지지 않도록 유의하여 아크릴 상자에 심었다. 상자 당 식물의 개체수(100개), 식물체의 크기(40개, < 5 cm; 30개, < 10 cm; 40개, < 15 cm) 등 제반조건을 동일하게 설정하도록 유의하였다. 잔디와 같이 심을 때는

두 종의 개체수를 절반으로 하여 임의로 배치하였다. 아크릴 상자를 tan10°, tan20°, tan30°, tan40°, tan50°, 그리고 tan60°로 조정하여 경사면이 되도록 하였다. 경사면을 자연 상태로 두어 땅이 자연 상태와 같은 정도를 유지한 후 강우량을 각 상자당 1시간에 각각 10 mm, 20 mm, 50 mm, 100 mm, 그리고 150 mm씩 강우하여 토양의 유실 정도를 조사하였다. 아크릴 상자보다 큰 빈 상자에 유출된 토양의 양을 측정하였다. 순수한 토양 무게를 산출하기 위해 토사유출이후 수분을 건조시켜 강우이전의 토양습도와 일치시켰다.

### 2.2 실제 모델에 의한 우수 및 토사유출량

#### 2.2.1 우수량 산정

우수량 산정에 있어서 유출계수는 중요한 인자이다. 그리고 유출계수는 기후, 지세, 지질, 지표현황, 강우강도, 강우지속시간, 배수면적 및 배수시설 등의 영향을 직접 받을 수 있다. 건설부에서 산출하는 시설 기준에 따른 유출계수를 적용하였다(대한토목공학회, 1985). 즉 공지는 0.10-0.30, 잔디와 일년생 초지는 0.05-0.25이므로 둥근잎매듭풀은 초지의 최저값(0.05) 및 최대값(0.25)을 적용하였다. 공중구성으로부터 총괄 유출계수를 구하는 총괄 유출계수(C) 산정식은 다음과 같다.

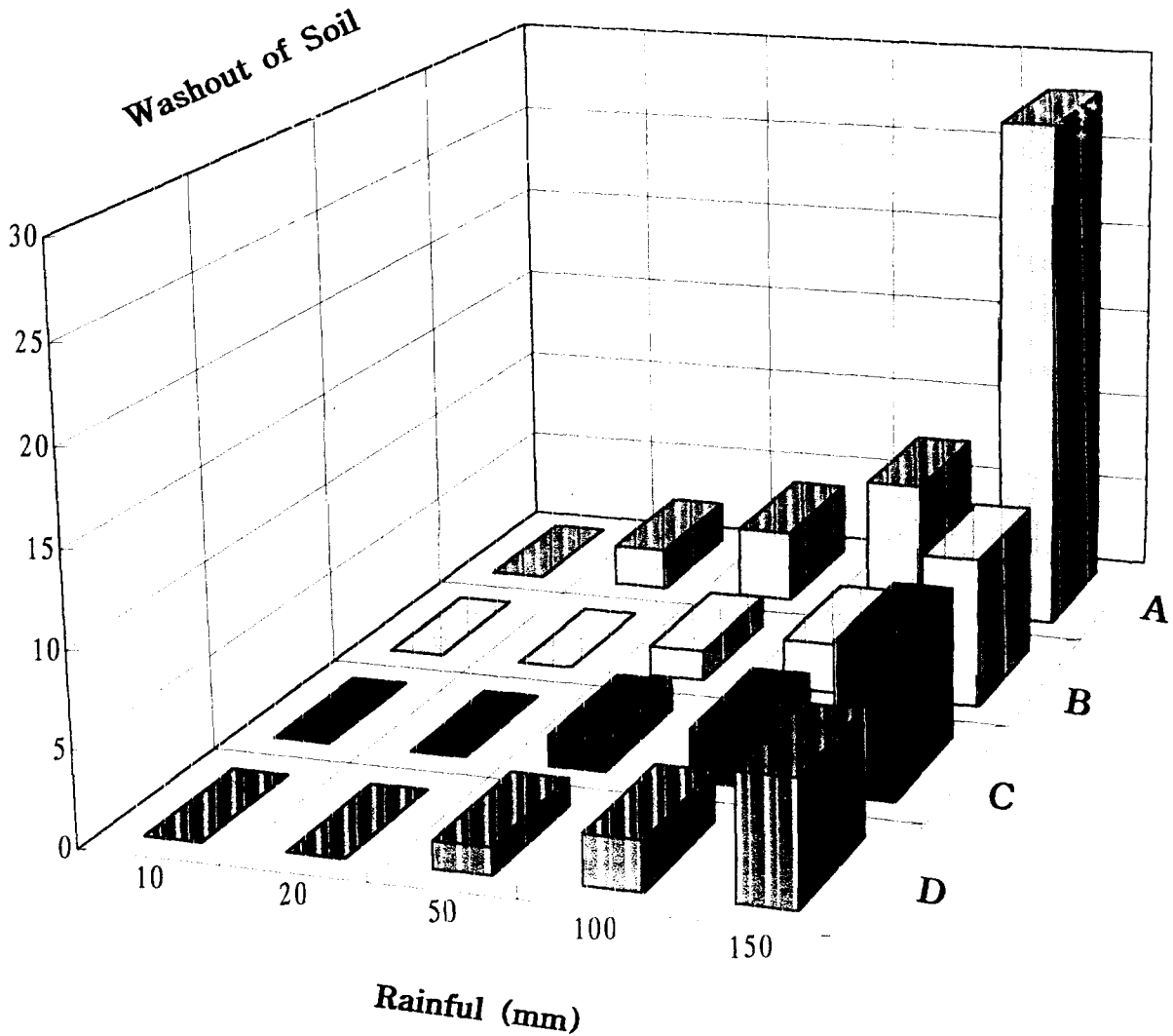


Fig. 2. The washout of soil at the slope of  $\tan 40^\circ$ . A: Barren land, B: *Kummerowia stipulacea*, C: *Zoysia japonica*, D: *Kummerowia stipulacea* + *Zoysia japonica*

$$C = \frac{\sum_{i=1}^m C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^m A_i}$$

( $C_i$ : 공중의 기초유출계수,  $A_i$ : 공중의 총면적,  $m$ : 공중의 수)

기상학적 강우량을 1시간 세기로 환산한 값을 mm/hr로 나타내어 강우강도라 하며 강우강도와 강우계속시간과의 관계를 표시한 식을 강우강도공식이라 한다(성기석, 1997; 안상진, 1997). 합리식에 사용되는 강우강도공식 (I) 중에서 Japanese형을 사용하였다.

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} \pm b}$$

(I: 강우강도(mm/hr), t: 강우지속시간(mim), a, b: 상수)

연도에 사용되는 강우강도공식(II)

$$r = \frac{501.5}{\sqrt{t} + 0.154}$$

채택 년도는 사업의 종류, 배수 시설물의 수용 연한과 수용 안전을 감안하여 산정하는 것으로 본 연구 지역은 택지 개발 사업으로 통상 적용되는 10년(110)빈도를 이용하여 강우강도를 산정하였으며 유달시간은 소유역에서 표준치 30분을 적용하였다. 이 표준치를 가지고 부산광역시 해운대구 B지역 택지개발계획(부산광역시, 1997)에 적용시켰다. 모델에 사용된 면적은 공동주택 186,612m<sup>2</sup>, 근린생활시설 8,806m<sup>2</sup>, 공원 21,121m<sup>2</sup>, 학교 및 공공시설부지 33,911m<sup>2</sup>이다.

### 2.2.2 토사유출량

사업지구의 사업 목적을 위해 절, 성토공사시 지표상태에 따라 우수에 의해 토사가 유출되어 인근 하천에 영향을 미치게 된다. 본 연구지역인 B지역에서 기존 수로를 기준으로 유역면적을 산출하였다. 이 면적에서 발생

Table 1. The washout of soil on the surface

Draining area	Area	Degree of rainfall (mm/hr)	Coefficient of outflow	Min.~Max. of outflow (m <sup>3</sup> /sec)
Valley A	29.5	89.06	0.4~0.6	2.92~4.38
Valley B	10.2	89.06	0.4~0.6	1.01~1.51
Outlet of Water	218.7	-	-	32.5
Suyoung River	12,300	-	-	1.150
Valley A*	29.5	89.06	0.05~0.25	0.37~1.83
Valley B*	10.2	89.06	0.05~0.25	0.13~0.63
Total	39.7	89.06	-	0.50~2.46

\* : Its value means the number when valley is covered with *Kummerowia stipulacea*.

하는 토사유출이 어느 정도인지 산출하였다. 토사유출량의 원단위는 나지 및 황폐지는 300, 개발지 및 초지는 15, 나대지는 2, 보통의 임지는 1을 적용하므로 본 연구에서는 사업지구 특성상 황폐지로 고려하였다. 또한 하천에 가중되는 지구별 토사유출량은 다음과 같이 산출하였다. 토사유출량 저감 방안으로 둥근잎매듭풀로 피복을 한다면 어느 정도 감소 효과를 가져오는지 조사해 보았다.

$$\text{지구별토사유출량} = \frac{300 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{year}}{97 \text{ day}/\text{year}}$$

2.2.3 하천에 미치는 영향

앞서 기술한 우수량 및 토사유출량을 근거로 계곡에서 하천에 합류되는 지점에서의 유량 및 토사유출로 가중되는 가중농도를 산출하여 하천에 미치는 영향을 조사하였다.

$$\text{가중농도} = \frac{\text{토사유출량}(\text{ton}/\text{일}) \times 10^6(\text{mg}/\text{ton})}{\text{우수유출량}(\text{m}^3/\text{sec}) \times 86,400(\text{sec}/\text{일})}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 인공 경사지에서 토양 유실 정도

경사지 tan10°, tan20°에서는 강우량이 단위 시간당 50 mm 까지는 토양의 유실이 거의 없었다(Fig. 1). 이는 앞표면위로 물이 흘러내려 토양 바로 위에는 물이 많이 스며들지 않는 것으로 나타났다. 경사가 높을수록 오히려 표토의 유실이 많이 발생하였다. 특히 과량의 강우시(단위 시간당 100 mm정도) 표토의 유실이 발생하였다. Fig. 2는 tan40°에서의 결과를 나타낸 것이다. 이는 건조한 토양이 최대함수량 한계를 초과할 경우 급격한 토양 유실이 발생함을 의미하며 이럴수록 표토를 피복하는 초본류의 존재가 절실한 것이다. 또한 초본류의 피복시, 잔디와 같은 잎이 가는 종보다는 넓은 종이 좋은 것으로 나타났다. 둥근잎매듭풀을 잔디와 함께 심을 때에도 강우량이 적을 때에는 둥근잎매듭풀을 단독으로 심을 때와 큰 차이를 나타내지 않았다. 100mm이상 과량의 강우시는 둥근잎매듭풀과 잔디를 함께 심는 것이 보다 효과적이었다. 이는 잔디의 뿌리가 둥근잎매듭풀보다 치밀한 것이 주요한 감소 원인으로 사료된다. 토양 유실이 일부 일어난 후 뿌리가 노출되는 불리한 환경조

건에서도 견딜 수 있는 콩과식물이 유리하다. 콩과류중에서도 줄기와 잎의 상층부가 지면에서 높으면 토양 유실 방지 효과는 감소된다. 따라서 강우시 식물체가 표토에 피복되어 토양을 덮는 것이 더 효과적이다. 둥근잎매듭풀은 콩과식물로서 역시 근류가 형성되고, 이들에 의해 질소 고정 능력이 있어 경사지의 척박한 토양에서도 잘 자란다. 또한 환경 요인으로는 수분이 가장 중요하며 (Ratico, 1992), 경사지에서 토양 유실 방지 효과가 크므로 사방용으로도 널리 이용될 수 있음을 제시한다. 강우시간에 대한실험으로서, 적은 강우량일때도 강우시간이 길어져 흡착수 이상이 되면 토사유출이 있었으나 그 양은 사초과, 둥근잎매듭풀, 잔디, 토끼풀 등 어떤 초본류이든 효과가 있었지만(데이터 생략) 본 연구는 우리나라의 경우 장마와 여름의 집중호우로 인한 대량 토사유출이 크게 문제가 되므로 이를 저감하는데 주안점을 두었다.

3.2 실제 모델에 의한 우수량 및 토사 유출량 측정

3.2.1 우수량 산정

공중의 구성은 불침투지역에 대해서는 용도 지역별 전폐율이나, 도로율, 포장율 등에 의해 결정될 수 있다. 실제 총우수 유출량을 산출한 결과는 Table 1과 같다. 계곡(가)은 사업 지구 중앙을 지나 수영강에 합류되는 폭 5~6m의 계곡이며, 계곡(나)은 사업지구 우측 가장 사리를 지나는 폭 2~3m의 계곡이다. 둥근잎매듭풀 조성시 우수유출량은 계곡(가)은 87.3%나 줄어들고 계곡(나)은 약 87.1%로 현저한 감소가 이루어 질 수 있다. 실제로 강우시 둥근잎매듭풀이 잎맥을 중심으로 V자모양을 하며, 땅에 누워 깔리면서 그 위로 물이 흘러 마치 배수 명거 혹은 기왓장을 포개어 놓은 것과 같은 효과를 가져온다.

3.2.2 토사유출량

부지정리를 위한 절, 성토공사시 지표상태에 따라 우수에 의해 토사가 유출되어 인근 하천(수영강)에 영향을 미치는 바, 본 조사에서는 사업 지구의 특성을 고려하여 황폐지에 적용되는 토사유출량의 원단위를 설정하여 Table 2와 같이 산정하였다. 유역(가)은 토사유출량이 241.5(ton/일)에 달하고 유역(나)은 83.5(ton/일)에 달

Table 2. The washout of soil on two different valleys

Draining area	Area (ha)	Unit of washout** (m <sup>3</sup> /ha.yr)	Density of washout (ton/m <sup>3</sup> )	Amount of washout (ton/day)
Valley A	29.5	3.09	2.65	241.5
Valley B	10.2	3.09	2.65	83.5
Valley A*	29.5	0.01	2.65	0.78
Valley B*	10.2	0.01	2.65	0.27
Total	39.7	-	-	1.05

\* : Its value means the number when valley is covered with *Kummerowia stipulacea*.

\*\* : 300m<sup>3</sup>/ha.97day/yr.

Table 3. The washout of landslide and waterflow with and without *Kummerowia stipulacea*

	Washout(soil) (ton/day)	Washout(waterflow) (m <sup>3</sup> /sec)	Concentration (mg/l)	Amount of flowing water (m <sup>3</sup> /sec)
CWO	3.251	5.89	638.8	1.150
CWW	1.05	2.46	0.42	3.93
Diminution(%)	99.97	58.23	99.93	99.66

CWO : Construction work without *Kummerowia stipulacea*.

CWW : Construction work with *Kummerowia stipulacea*.

하였다. 따라서 토사유출이 공사시 강우가 있으면 1일에 10톤 트럭으로 33대 분량이 유실된다는 결론에 이른다. 이 유실된 토사는 바로 수영강에 직접 영향을 주어 Table 3과 같은 결과를 초래한다. 이는 방지하는 한 방법으로 Table 2의 결과를 효과적으로 이용한다면 공사 이전이나 공사중에도 둥근잎매듭풀이 공사 방해가 되지 않으므로 흩뿌려 놓을 수 있다. 그러면 유역(가)은 11.75(ton/일), 유역(나)은 4.05(ton/일)가 유출되어 총합 15.78(ton/일)밖에 유출되지 않는다. 물론 중장비에 의해 일부 둥근잎매듭풀이 파괴된다고 할지라도 감소의 양은 대단한 것이다. 그 외 분진방지를 위해 살수하는 물의 양을 줄일 수 있다.

### 3.2.3 하천에 미치는 영향

Table 3은 결과 수영강에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 특히 계곡(가)과 (나)는 수영강과 주변의 배후 습지 없이 바로 연결된다. 토사유출량과 우수유출량이 늘어나고 하천의 농도도 탁하게 될 것이다. 따라서 하천의 녹조류, 부착성 플랑크톤같은 광합성 생물의 생존을 위협하는 파급효과를 유발하게 될 것이다. 수영강으로 토사가 유입되는 나지인 조사지역에 둥근잎매듭풀이 전면 산포되어 있다면 토사유출량은 4.86%, 우수유출량은 41.77%, 하천에 가중되는 유출농도는 11.62%, 조사지역과 수영강이 합류되는 지점에서의 유량은 2.55%밖에 증가하지 않는다. 물론 초본류로 완벽하지 지표면을 회복하기는 어려울 것이다. 그러나 현행 방법대로 절개지의 토사유출은 인근 하천의 탁도를 높이고 상류에서 유입되는 중금속오염원이 있다면 유출된 토사와 혼합하게 되므로 하천을 준설할 때 드는 비용과 준설된 토양은 중

금속과 폐기물이 다량의 토사와 혼합되어 침전된 것이므로 그 준설토를 어디에 버릴 것이며, 그 매립에 필요한 장소, 비용, 그리고 매립장건설시 유출되는 토사는 어떻게 할 것인가를 고려해야 할 것이다.

### 5. 결 론

경사지를 이용한 나지에서 시간당 100mm이상 강우시 토사유출이 현저하게 증가한 반면 둥근잎매듭풀의 피복시 토사유출의 저감효과가 있었다. 택지개발 예정지를 모델로 하여 둥근잎매듭풀을 이용한 토사유출방지 효과는 나지에 비해 95.1%의 저감효과가 있었으며, 우수유출량은 58.2%의 저감효과가 있었다. 따라서 절개지에서 자생력이 강한 둥근잎매듭풀(콩과)을 조성하면 토사 및 우수유출방지에 탁월한 효과를 가져올 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- 대한토목공학회, 1985, 토목공학 핸드북, 대한토목공학 하수도 시설기준, 70pp.
- 부산광역시, 1997, 부산 반여지구 택지개발사업 환경영향평가서.
- 성기석, 1997, 환경수리수문학, 동화기술, 376~399pp.
- 안상진, 1997, 지문학, 구미서관, 27~66pp.
- 최주섭, 구자공, 박석희, 이성기, 임승달, 임재명, 정재훈, 1995, 환경과학 개론, 동화기술, 143~146pp.
- Kalastkii, L.V. and A.N. Pariisky, 1983, Nitrogen-fixing symbiosis of *Actinomyces* with plants.

- Biol. Bull., 9, 171~182.
- King, B.J., S. Hunt, G.E. Weagle, K.B. Walsh, R.H. Pottier, D.T. Canvin and D.B. Layzell, 1988, Regulation of CO<sub>2</sub> concentration in soybean nodules observed *in situ* spectroscopic measurement of leghemoglobin oxygenation, Plant Physiol., 87, 296~299.
- Moiround, A. and V.G. Pearson, 1984, Symbiotic relationships in actinorhizae. In: Genes in microbes plant interactions, Verma, D.P.S. and T.H. Hohn(eds.), Springer-Verlag, New York, 205~223pp.
- Racico, A., C. Platoni, N.D. Fanzo, and G. Wittmer, 1992, Bound water in drum wheat under drought stress, Plant Physiol., 98, 908~912.
- Streeter, J.G., 1979, Allantoin and allantoic acid in tissues and stem exudate from field-grown soybean plants, Plant Physiol., 63, 478~480.
- Tiezenberg, T., 1996, Environmental and Natural Source Economics. Harper Collins College Publishers, 614pp.