

## 오키나와현의 토양유실 현황과 저감대책

정 상 옥

경북대학교 농과대학 교수



### 1. 서 론

오키나와 본섬은 남서제도의 중심이며 오키나와 현의 행정구역은 북위 24° 내지 28°, 동경 123° 내지 131.5° 지역으로 남북 약 400km, 동서 약 1,000km에 분포하는 50개의 유인도와 110개의 무인도로 구성되어 있다. 특히 가장 서남쪽에 있는 興那國島는 대만과 불과 100km 거리에 있다. 그림 1은 남서제도의 위치도를 보여주며 오른쪽의 가장 큰 섬이 오키나와 본섬이다.

오키나와현의 기후는 아열대성으로 본섬의 월 평균 기온은 표 1과 같으며, 년 평균 기온은 22.4°C이며 년 평균 강수량은 2,037mm이다. 오키나와는 태풍의 경로에 위치하고 있어서 매년 10여개의 태풍이 지나가고 있다. 오키나와 지방에는 아열대성 기후에 적합한 식물들이 많은 자라고 있으며, 산호초로부터 생성된 석회암 지질로 구성되어 있는 특성으로 인하여 해안선을 따

라 훌륭한 경관을 나타내고 있으며, 많은 비치와 관광시설이 개발되어 있어 일본 본섬으로부터는 물론 세계 여러 나라로부터 많은 관광객이 오고 있으며 관광이 주요 산업이다.

한편 오키나와는 원래 류큐왕국이었으나 1879년에 일본에 합병되어 오키나와현으로 되었다. 그 후 2차 대전 말기에는 일본에서 유일하게 지상전을 치루었으며 대전이 끝난 뒤에는 미국의 군정하에 있었으며 1972년에 일본에 반환되었다. 지금도 오키나와 지방에는 미국 군사시설이 24,450ha를 차지하고 있다.

표 2는 오키나와현의 토지면적, 경지면적, 인구수, 농가호수 등을 보여주고 있다. 오키나와현의 총 토지면적은 226,679ha이며 이중 경지면적은 44,700ha로 19.7%를 차지하고 있다. 농가호수는 전업농과 겸업농을 합한 것이며 이들의 평균 호당 경작면적은 1.21ha이다.

표 3은 오키나와현의 주요 작물 경작면적과

생산현황을 보여주고 있다. 사탕수수 재배면적이 가장 큰 14,600ha로 총 경지면적의 32.7%를 차지하고 있으며, 수도가 1,160ha, 화훼가 1,150ha, 채소류가 3,410ha, 파인애플이 687ha 등으로 구성되어 있다.

오키나와의 토양유실은 매우 심각한 환경문제를 야기하고 있다. 토양유실로 인한 문제는 농지개발과 도시개발 등으로 인하여 더욱더 심각하게 되었다. 따라서 오키나와의 토양유실 현황과 대책에 관한 연구가 많이 수행되어 오고 있다 (Onaga, 1992; Yoshinaga 등, 1996; Onaga 등, 1997; Yang 등, 1998).

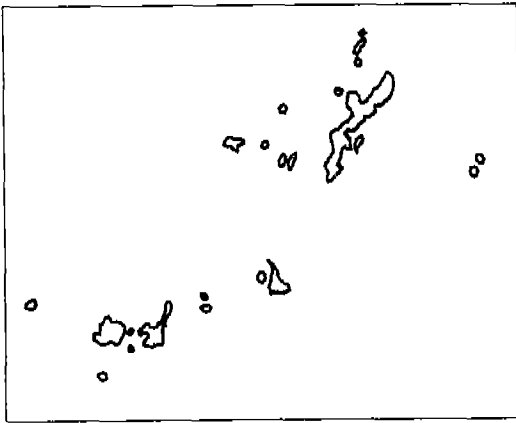


그림 1. 남서제도 (오키나와현)의 분포

표 1. 오키나와 본섬의 월 평균 기온 (단위: °C)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
기온	16.0	16.4	18.0	21.0	23.7	26.1	28.1	27.8	27.1	24.1	21.3	18.1	22.4

표 2. 오키나와현의 토지면적, 경지면적, 인구수 및 농가호수

토지면적	경지면적 (ha)						총인구	농가호수	호당평균면적
	논	밭	수원지	목초지	기타	계			
226,679ha	951	35,700	2,200	4,850	999	44,700	1,290,373	31,588	1.21ha

자료: 沖縄농림수산통계연보, 1998

표 3. 주요 작물의 경작면적과 생산현황

작 물	수확면적 (ha)	수확량 (t)
사탕수수	14,600	756,200
파인애플	687	18,800
벼	1,160	3,640
화훼	1,500	394,600 천본
채소	3,410	71,900

자료: 沖縄농림수산통계연보, 1998

현에서도 토양유실 피해의 심각성을 인식하여 “沖縄縣 적토등 유출방지조례”를 제정하여 1995. 10. 15일부터 시행해 오고 있다. 이 조례에 의하면 개발사업지구에는 적절한 토양유실 방지시설을 설치하여 유출수의 SS농도가 200mg/l를 초과하지 못하도록 규정하고 있다. 그러나 농업지역은 농업의 특성을 감안하여 이 규정의 적용을 제외하고 있으나 토양유실 방지시설은 설치하도록 하고 있다. 농지개발사업지역에서는 토양유실을 방지할 수 있는 설계지침인 土地改良事業 등에 대한 赤土等流出防止對策 設計指針(沖縄縣 農林水産部, 1995)을 제정하여 관련사업의 설계에 적용하도록 하고 있다.

이 조례 시행이후 토양유실량은 농업부분에서는 크게 줄어들지 않았으나 일반 개발사업지구로 부터는 현저하게 줄어들었다.

## 2. 토양유실 메커니즘

토양유실은 빗방울이 지면을 타격할 때 빗방

울이 가지고 있는 타격 에너지에 의하여 토립자가 지면으로부터 분리되게 되고, 이어서 지표유출수의 소류력에 의하여 유출수와 함께 흘러가게 된다. 이 과정은 토양유실량 추정에 많이 이용되는 USLE공식으로 잘 설명될 수 있다 (USDA, 1978). 즉,

$$A = RKLSCP \dots\dots\dots(1)$$

여기서, A = 단위면적 및 단위시간당 토양유실량

R = 강우침식 인자

K = 토양침식 인자

L = 사면 길이 인자

S = 사면 경사 인자

C = 식생 및 관리 인자

P = 영농실행 인자

즉, 토양유실량은 식 (1)의 우변의 각 인자에 의하여 지배되므로 이들 인자들의 값을 감소시킬 수 있으면 그것이 바로 토양유실 저감기법이 될 수 있다. 여기서 R은 강우에 의하여 지배되므로 일반적으로 조절이 불가능하며, 나머지는 조절이 가능하다.

토양침식인자 값은 토성에 의해 지배되는 인자이며 토양첨가제를 사용하여 이 값을 줄일 수 있다. 지형인자인 사면길기와 경사를 줄이므로서 토사유출량을 줄일 수 있다. 식생 및 관리 인자와 영농실행 인자는 토양유실량을 줄이기 위하여 적용할 수 있는 선택요소가 많다. 지표면을 멀칭한다거나 무경운 경작을 한다거나 피복식물을 심는다거나 식생대를 설치하거나 기타 여러

가지 기법을 도입할 수 있다.

### 3. 토양유실 현황

沖繩縣의 토양은 침식과 유출에 취약한 토성으로 구성되어 있어 많은 양의 토양이 유실되어 토양자원 손실은 물론, 인근해양 생태계에도 나쁜 영향을 끼치고 있다. 그 중의 하나가 인근 해역의 산호초를 죽이는 것이다.

1995년 10월부터 토양유출 방지조례가 시행되고 있어 개발사업장으로부터 토양유실량은 현저하게 줄어들었다. 표 4는 조례시행후의 토지이용별 연간 토양유출량의 추정치를 보여주고 있다. 단위면적당 연간 유출량은 농지가 3.9t/ha이고, 개발사업지구의 평균값은 60t/ha이며, 전체 평균은 1.2t/ha이다.

표 5는 오키나와 지방의 작물별 단위면적당 년평균 토양유출량을 보여주고 있다. 가장 넓은 경작면적을 차지하고 있는 사탕수수 2.1t/ha/yr이며 파인애플이 가장 큰 값인 76.7t/ha/yr를 보여주고 있다. 전체 평균은 3.9t/ha/yr이다. 사탕수수는 지표 피복상태가 양호하여 토양유출이 적으며, 파인애플은 엽면적이 작아서 피복이 없는 상태로 노출되는 토양면적이 넓기 때문에 토양유출이 크다.

### 4. 저감대책

토양유실은 발생원별로 구분하면 농경지와 개발사업지구로 나눌 수 있다. 따라서 발생원에 따라 저감대책이 다를 수 있다. 저감대책은 분류기준에 따라 소프트웨어적 방법과 하드웨어적 방

표 4. 토지이용별 연간 토양유출량의 추정치(1996~1997)

구 분		면 적 (ha)	연간유출량 (t/yr)	단위면적당 연간유출량 (t/ha/yr)
기존 지목	산림	87,913	4,000	0.045
	목초지	7,600	500	0.066
	농지	44,800	176,200	3.9
	택지	13,354	600	0.045
	도로	9,180	400	0.044
	하천,수로	2,899	0	0
	기타	35,554	1,600	0.045
	소계/평균	201,299	183,300	0.91
미군 기지	나지	66	24,900	377
	기타	24,384	3,600	0.15
	소계/평균	24,450	28,500	1.2
개발 사업	토지개발	241	23,700	96
	구획정리	46	930	20
	용지조성	47	1,570	33
	공원조성	64	6,440	101
	하천사업	-	5,200	-
	도로개발	110	1,310	12
	리조트개발	245	790	3.2
	기타 민간사업	94	10,800	115
	소계/평균	847	50,740	60
합 계/평 균	226,596	262,540	1.2	

자료: Nakasone, Higa 등, 1998

표 5. 작물별 단위면적당 년평균 토양유출량  
(단위: t/ha/yr)

작 물	토양유실량
사탕수수	2.1
파인애플	76.7
수원지	2.1
목초지	0.3
비료작물	0.1
채소	4.8
벼	-
휴경 밭	0.3
평균	3.9

법, 일시적인 방법과 영구적인 방법으로 나눌 수 있다. 농경지에서의 토양유실 저감대책은 물리적 방법, 화학적 방법 및 영농관리실행 방법으로 구분할 수 있다.

### 가. 농경지

농경지에서의 토양유실은 세계적인 문제로 인식되고 있다. 영농활동으로 인한 토양의 교란과 수확 후에 나지 상태로 유지함으로써 토양유실이 많이 발생하고 있다. 따라서 각 국에서는 토양유실로 인한 토지자원의 유실과 유실토양이 수계에 유입되어 수질을 저하시키는 것을 방지하기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 농경지에서의 토양유실 저감대책을 물리적 방법, 화학적 방법 및 영농관리실행 방법으로 구분하여 설명하면 다음과 같다 (Garrick, 1999).

沖繩縣의 土地改良事業等에 대한 赤土等流出防止對策 設計指針(沖繩縣 農林水産部, 1995)에는 발생원 대책, 농지에서의 유출방지대책, 시공시의 대책, 유지관리시의 대책, 및 영농시의 대책으로 구분하고 있다.

#### 1) 물리적 방법

물리적 방법은 토양입자의 이동을 방지하는 방법으로, 적절하게 시공된 물리적 시설이 토양유실 저감에 가장 효과적이다. 이는 일시적 또는 영구적으로 토양의 이동을 방지할 수 있는 차단시설을 설치하는 방법이다.

농민들이 사용할 수 있는 방법에는 지표면 멀칭, 식생대(filter strip, buffer strip), cover crop, 방풍림 등이 있다. 가장 확실한 방법은 콘크리트나 강재를 이용하여 차단시설을 설치하는 것이다.

일단 유실된 토양이 하천이나 바다로 흘러가

는 것을 방지하는 방법에는 농경지 유역 말단부에 침전시설을 만들어 유출수를 일정시간 체류시키므로써 상당부분의 유실토사를 차집하여 수계오염을 방지할 수 있다.

### 2) 화학적 방법

화학적 방법은 화학약품이나 유기물을 토양에 혼입 또는 살포하여 토양을 몽치게하여 침식을 방지하는 일시적인 방법이다. 화학약품은 주로 토양의 물리성을 개량하여 입단구조로 만든다. 화학약품으로는 PVA나 PAM(polyacrylamide)이 이용되는데, PVA는 토양개량제이며 PAM은 부유토립자를 몽치게하여 침강시켜 유실을 방지한다. PAM은 특히 화재후의 삼림지에서 침식 방지에 많이 이용된다.

楊 등(1998)은 오키나와에 널리 분포하는 침식성 토양인 國頭마이지 토양에 목탄과 유기질 비료를 각각 1%, 5%, 10%씩 섞었을 때 침식억제 효과를 실험하였는 바 원래토양에 비하여 유기질을 혼입한 토양에서 토양유실량이 훨씬 감소하였다고 보고하였다.

또 soil sealant나 hydroseeding 기법을 이용하여 작물이나 풀이 자랄 때까지 토립자가 지면에 부착되어 있게 한다.

### 3) 영농관리실행

토양유실을 저감시킬 수 있는 영농관리실행에는 많은 방법들이 있다. 즉, 효율적인 관개용수의 관리, 적절한 관개방법의 선정, cover crop, 작부체계, 등고선 경작, 작물잔재의 이용, 경운방법, 인공습지, 초생수로, 완충지역의 시설 등 여러 가지가 있다.

토사유출 억제 측면에서의 최적영농실행기법(BMP's)이란 경험, 실험 및 설계기법을 결합하

여 토양침식을 방지할 수 있는 경제적인 영농실행 방법을 말한다. 예를 들면 토양침식이 적은 점적관개나 스프링클러 관개를 채택하여 지표유출을 줄인다거나, 유실 토사의 포집을 위하여 filter strip을 설치하는 방법 등이 있다.

### 4) 오키나와의 토양유출 저감대책

오키나와의 농지 토양유출 방지대책으로는 여러 가지가 사용되고 있다. 채소밭의 경우 대만에서 수입한 벚짚으로 멀칭한 경우도 많으며, 중산간지 사탕수수나 파인에플 밭에는 각 구획마다 말단에 소규모 토사침사지가 있으며, 한 지역의 말단에는 다시 중규모 침사지가 설치되어 있어 유실 토사가 차집되게 되어 있다.

또 중산간지 관개배수사업으로 건설된 소규모 저수지에서도 저수지 유입부에 토사 침전시설을 설치하여 토사가 저수지로 유입하지 못하게 하고 있다.

### 나. 개발사업

개발사업은 도로공사, 단지조성공사, 토지개발, 리조트개발 등이 있다. 이러한 개발사업은 주로 공사기간 동안에 많은 토사유출이 발생할 수 있다.

이러한 개발사업 진행중에 큰 비가 오게되면 매우 높은 농도의 유출수가 하천이나 바다로 흘러가게 되어 심각한 토양유실 피해를 일으킬 수 있다. 이러한 토양유실을 방지할 수 있는 공법으로는 첫째, 지표면으로부터 토양입자의 이동을 방지하는 표토보호공법, 둘째, 일단 지표면에서 탈락된 토립자가 표면 유출수나 수로 유출수에 의하여 이동하는 것을 방지하는 유출억제공법, 셋째, 유출된 탁수를 침전지에서 침전시킨 후에

홀러보내는 탁수처리공법, 마지막으로 토사유출수의 확산을 방지하는 확산방지공법으로 구분할 수 있다.

#### 1) 표토보호공

표토보호공에는 일시적인 것과 영구적인 것이 있다. 일시적인 방법으로는 지표면을 멀칭하거나, 시트로 덮는다거나, 자갈부설, 롤러 다짐 등의 물리적 방법과, 입단화제를 살포하거나 유제(emulsion)를 살포하여 화학적으로 토립자가 뭉치게 하여 토사유출을 방지하는 방법이 있다.

영구적인 방법으로는 식생공, 자갈부설, 모르타나 콘크리트 부설 등이 있다.

#### 2) 유출억제공

유출 억제공법은 다시 지표면 유출억제와 수로 유출억제로 나눌 수 있다. 지표면 유출억제 공법으로는 토사 차단 울타리 설치, 원통형 또는 직육면체 형상의 토사차집장치(gabion) 설치, 소규모 제방설치, 토사차단 수목 식재공법 등이 있다.

수로 유출억제 공법으로는 수로의 분리, 현장에 가설 배수로 설치, 토사침전조 설치, 침투조 설치, 일시 침사지 설치 공법 등이 있다.

#### 3) 탁수처리공

탁수처리공법은 저류처리시설과 기계처리시설로 구분할 수 있다. 탁수저류처리시설은 자연침전지, 여과침전지, 응집침전지 등이 있으며, 탁수기계처리시설은 기계처리 침전과 기계처리 탈수 공법이 있다.

#### 4) 확산방지공

확산방지공법은 토사유출수의 확산을 근본적으로 차단하는 공법으로서 탁수방지막, 시트파일, 제방축조 등의 방법이 있다.

#### 5) 오키나와의 경우

오키나와의 단지개발 사업현장과 고속도로 건설현장에서는 토양유출 방지를 위하여 롤러다짐공, 시트카버, 약품살포 등의 방법과 수로 분리, 침전지 설치 등의 방법을 적용하여 토사유출 방지조례에 따라 공사를 진행하므로서 토양유실을 최소화 하기 위하여 최선의 노력을 기울이고 있다.

### 5. 요약

오키나와 지방의 심각한 문제가 되고 있는 토양유실에 대하여 알아 보았다. 먼저 오키나와의 자연적 사회적 현황을 소개하였으며, 이어서 오키나와 지방의 토양유출 현황과 토양유출 저감 방법에 대하여 소개하였다. 농지에서의 토양유실 저감기법으로는 물리적, 화학적, 영농관리실행 등으로 구분할 수 있으며, 개발현장에서의 토양유출 저감공법으로는 표토보호공, 유출억제공, 탁수처리공, 확산처리공으로 구분할 수 있다.

오키나와 지방에서는 농지와 개발사업지역에서 토양유출을 방지하기 위하여 최선의 노력을 경주하고 있다. 우리 나라에서도 토양보전을 위하여 노력하여야 할 것이며 특히 토양유실이 심각한 북한의 토양보전공법에 대하여 많은 관심과 투자가 필요할 것으로 사료된다.

본 자료는 필자가 한국과학재단의 지원으로 일본 류큐대학 Onaga 교수를 방문하여 연구한 결과임.

참 고 문 헌

1. Garrick, C. 1999. Effective erosion control. Irrigation Journal. March 1999. pp. 16~17.
2. Higa, E., Mitsumoto, H. et al. 1998. Study of soil erosion prevention and effect of far-mlands. Annual report of Okinawa Prefectural Institute of Health and Environment. Vol. 32. pp. 73~82.
3. Higa, E., Omija, T. et al. 1996. Quantity of soil runoff from pineapple fields. Annual report of Okinawa Prefectural Institute of Health and Environment. Vol. 30. pp. 87~92.
4. Mitsumoto, H., Omija, T. et al. 1998. Soil erosion prevention measures on project site III. Annual report of Okinawa Prefectural Institute of Health and Environment. Vol. 32. pp. 101~110.
5. Nakasone, K., Higa, E. et al. 1998. Estimation of soil loss in Okinawa Prefecture(II). Annual report of Okinawa Prefectural Institute of Health and Environment. Vol. 32. pp. 67~72.
6. Onaga, K. 1992. The present state of soil conservation in Japan. Australian Journal of Soil and Water Conservation. 5(3): 41~45.
7. Onaga, K., Yoshinaga, A. and Tokasiki, Y. 1997. Soil conservation measure and extension in Okinawa, Japan. Sci. Bull. Coll. Agric. Univ. Ryukyus. pp. 255~265.
8. Yang, J., Onaga, K., Gibo, S., and Tokasiki, Y. 1998. Erosion Control of Kunigamimajji soil by applying of different organic matters, Trans. Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering. pp. 149~155.
9. Yoshinaga, A., Onaga, K., Sakai, K. 1996. Soil loss control measure and soil loss protective regulation in Okinawa, Water Utilization Science, No.228, pp. 1~13.
10. USDA. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agricultural Handbook No. 537. pp. 58
11. 楊建英 1999. 流出土砂量の推定手法と土壤流失防止に関する研究 琉球大學 박사학위 논문. pp. 108
12. 楊建英, 翁長謙良, 宣保清一, 渡嘉敷義浩. 1998. 有機質資材混入による國頭マージの侵食抑制効果 農業土木學會論文集, 198: 161~168.
13. 沖繩縣 1998. 沖繩農林水産統計年報.
14. 沖繩縣 農林水産部. 1995. 土地改良事業等における赤土等流出防止対策設計指針. pp. 104