

연안역의 토사 및 영양염류 유출에 관한 현지관측 및 대안

이국진* · 김인수** · 池田俊介***

*한국해양대학교 토목환경공학과 대학원, **한국해양대학교 토목환경공학부 교수, ***농경공업대학 이공학과 토목전공 교수

Field Observation and Countermeasure for the effluent of sediment and nutrient on the Okinawa Ishigaki Island

Guk-Jin Lee* · In-Soo Kim** · Shunsuke Ikeda***

*,** Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

*** Graduate School of Science and Engineering Faculty of Engineering Tokyo Institute of Technology, Japan

요약 : 본 연구는 강우에 기인한 연안역의 토사 및 영양염류 유출에 관한 현지관측과 대안[沖繩石垣島]오키나와 이시가키섬]이므로 이를 통한 유출지형분석, 강우강도·조석과의 영향, 유출입자의 특성(탁도, 입도, 영양염류) 등을 확인하였다. 연안부의 토사 유출과 영양염류의 농도는 강우강도와 조수간만의 시간적 변화에 따라 지역적 차이를 보였으며, 하천유역 주변 토지 이용형태와 주변 식생의 분포 비율에 따라 변화되어지고 있음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 현지관측, 토사 및 영양염류, 강우강도, 조석, 식생

ABSTRACT : We studied field observation and countermeasure about the effluent of sediment and nutrient materials on the Okinawa Ishigaki Coast according rainy season. though this observation, we found out the analysis of outflow topography, intensity of rainfall and effects on the tide, the property of effluent materials etc. The sediment and nutrient concentration of the Okinawa Ishigaki coast are different on the regional sites according to vary with time variation of intensity of rainfall and the ebb and flow. We could confirm to vary with utilized waterways land area and distribution of surrounding vegetation.

KEY WORDS : field observation, effluent of sediment and nutrient materials, intensity of rainfall, ebb and flow, vegetation

1. 서론

전 국토에 걸친 개발사업과 주변 토지형질 변화는 과거와 동일한 강우의 자연현상에도 불구하고 심화된 침식을 통한 연안역의 퇴적을 유발시키고 있다. 이와 같은 토사유출은 연안역의 저서 생태계에 직접적인 영향을 미치고 있으며, 토사와 함께 유출된 질소와 인 등의 영양염류는 잠재적 적조요인으로 작용하고 있다(中島洋平 등, 2002).

현재 우리나라의 대규모 개발 사업장에서는 환경영향평가의 협의 내용에 따라 토사유출 방지를 위한 침사지를 설치·운영하고 있으나, 부지확보·유지관리 미흡·설계치 미 준수 등에 의한 문제가 제기되고 있으며, 그 이외의 소규모 개발사업과 나지, 농지 등에서는 토사유출에 관한 방지시설이 전무한 실정이다. 이에 연안역의 토사유출에 관한 대책수립을 위하여 현지관측을 통한 토사 및 영양염류의 정량적 유출량 파악을 위한

방법의 제시가 필요하게 되었다.

본 연구는 연중 3개월간 일본 오키나와현 이시가키섬의 장마·태풍에 관한 토사 및 영양염류의 정량화된 연안역 유출량을 분석한 현지관측이며, 그에 따른 대안 마련을 목적으로 한다.

2. 현지관측 개요

2.1 관측지 개요

관측 대상 지역은 동경124°00", 북위24° 30"에 위치한 섬이며, 1998부터 5년간 평균 강우량(Fig. 2)을 관측, 2002~3년(2년간) 장마기간인 5월과 태풍기간 8, 9월의 연 3개월간 현장관측을 실시하였다. 관측대상지역은 Fig 1과 같으며 최고봉은 해발 560m, 하천전장 4.6km, 유역면적 16.14km², 관측 면적 중 산림지역면적이 전 면적의 70%를 차지하고 있었고, 1997년 댐 건축에 따른 하류지역 농지(밭)의 비중이 증가되고 있었다. 연간 강우량 2061mm, 하구에서 2.0km까지의 하천영역이 조석의 영향

*대표저자: 이국진, jin95180@bada.hhu.ac.kr 051)410-4983

**정회원, iskim@hanara.kmaritime.ac.kr 051)410-4416

***sikeda@fluid.cv.titech.ac.jp 81-3-5734-2597

받고 있었으며, 하절기 최대 1m 이상 조수간만의 차이를 보였다. 평균기는 24℃의 아열대성기후로 국지적 강우강도의 집중이 많이 나타나고 있으며, 2002년 관측에서는 강우강도와 토사 유출, 영양염류 유출농도, 조수현상에 따른 각 물질의 유동과 그 분포상태를, 2003년에는 나지와 식생서식지역의 토사유출률을 관측 비교·분석하였다.

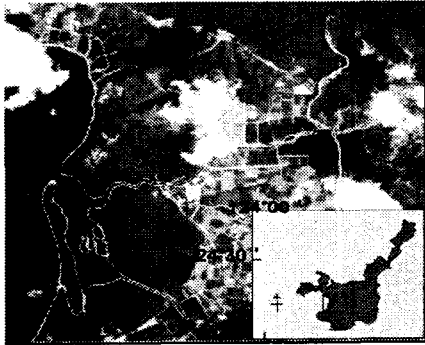


Fig. 1 Observation area

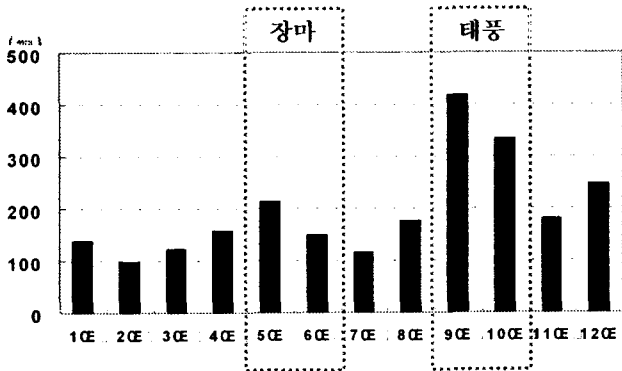


Fig. 2 Monthly Rainfall ('1998~2002' The average value)

2.2 관측방법

Potable형 관측기기를 이용하여 연속계측과 수질계측을 동시에 수행하였고, 측정지점은 Fig. 3에 표시하였다. 각 측정지점과 관련한 집수영역의 지형 및 면적은 Table. 1에 나타내었다. 2002/8/13~2002/11/4까지 6개 지점(St.A~St.F)에서 유속, 탁도, 수심계측을 하였고, 유역 내 3지점에서는 강우량을 측정하였다. 유속은 전자유속계 ACM-16M, Compact EM, 탁도는 광학식 탁도계 ATU3-8M Compact CLW, 수심은 압력식수심계 Diver를 이용하여 15분 간격으로 측정하였다. 측정기기의 설치지점은 각 위치 교량에서 하천바닥까지 고정 설치하였으며, 하천의 유량변화는 댐 관리사무소의 자료를 이용하였다. 2002/10/6~2002/10/9, 2002/10/18~2002/10/19동안 St.C,D,E,F 지점에서 자동채수기 6712 Portable Sampler(Isco)를 설치하여 흡입 채수하였다. 채수 샘플은 실험실로 이송 PO₄-P(Ortho-phosphate), P-P(Particulate Phosphorus), T-P(Total Phosphorus), NH₄-N

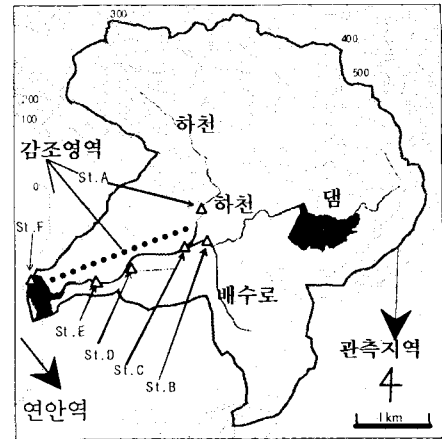


Fig. 3 View Position

Table. 1 Classification of Watershed area and Land Use

	St.A	St.B	St.C	St.D	St.E	St.F
Forest	5.9 397.6%	1.3 (65.1%)	10.3 399.8%	0.04 35.5%	11.0 372.8%	11.4 372.1%
Rice field	0.02 39.3%	0.17 32.5%	0.19 31.5%	0.19 323.9%	0.49 38.3%	0.49 33.1%
Farm	0.0 39.0%	1.4 321.5%	1.5 311.4%	0.53 365.3%	2.7 37.5%	2.7 (17.3%)
River/Dam	0.01 39.1%	0.05 36.4%	0.45 38.47%	0.01 39.9%	0.51 38.4%	0.68 34.3%
Others	0.12 32.0%	0.27 34.4%	0.47 38.75%	0.04 34.3%	0.51 38.1%	0.50 33.2%
Total	6.1 3100%	3.2 3100%	12.9 3100%	0.8 3100%	15.1 3100%	16.1 3100%

Unit: km²

(Ammonia), NO₃-N(Nitrate), NO₂-N(Nitrite), P-N(Particulate Nitrogen), T-N(Total Nitrogen)등의 영양염류와 용존형 유기탄소(DOC : Dissolved Organic Carbon), 입자형 탄소(P-C : Particulate Carbon), 현탁물질(SS : Suspended Solid), TIN(Total Inorganic Nitrogen)등을 분석하였다. 영양염류 농도는 AACS-II (BLAN-LUEBBE), 용존형 유기탄소 농도와 입자성 탄소 농도 분석은 TOC-5000A(SHIMADZU)의 분석 장비를 이용하였으며, SS는 Fig. 4와 같이 탁도측정을 통한 환산값으로 계산하였다. Table 2에서 분석항목과 방법 및 사용기기를 나타내었다.

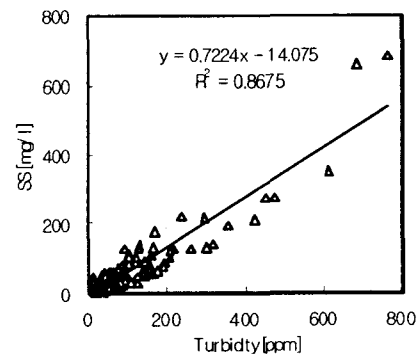
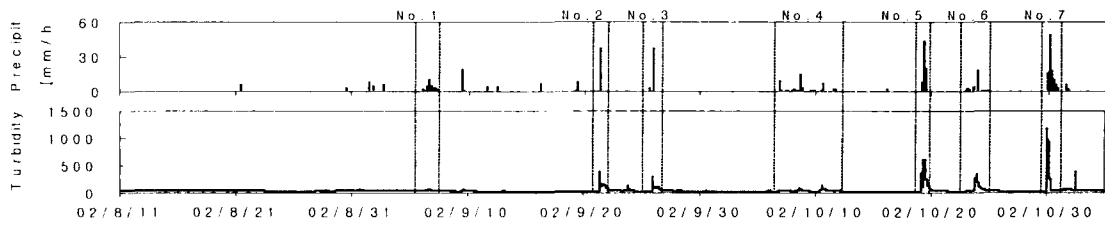


Fig. 4 Exchange rates of SS



Rain No	Point	Area [km ²]	Precipitation		Flow Discharge			Turbidity Max [ppm]	weight of sediment	
			Total [mm]	Hourly-max [mm/hour]	Total [10 ⁴ m ³]	Max [m ³ /s]	Unit area Max [m ³ /s/km ²]		Total [t] ^{*)}	Unit area [g/m ²]
No.1	A	6.1	87	10.5	3.4	0.7	0.1	73	0.6	0.09
	B	6.6			2.9	0.5	0.1	135	0.6	0.09
	C	12.9			1.4	1.6	0.1	57	2.7	0.21
	D	0.8			0.0	0.2	0.3	71	0.1	0.13
	E	15.1			3.5	6.0	0.4	81	8.5	0.56
	F	15.9			6.6	9.1	5.8	200	-12.6	-7.9
No.2	C	12.9	45	40	1.3	7.4	0.6	387	1.1	0.89
	E	15.1			7.1	5.0	0.3	196	8.3	0.55
	F	15.9			1.2	5.2	3.3	132	2.7	1.7
No.3	C	12.9	46	38.5	1.2	5.7	0.4	288	8.3	0.64
	E	15.1			1.5	5.9	0.4	231	1.3	0.86
	F	15.9			12.7	3.9	2.5	152	1.9	1.17
No.4	C	12.9	92.5	14.5	5.2	6.2	0.5	125	1.2	0.96
	D	0.8			1.9	0.27	0.3	219	0.8	0.96
	E	15.1			7.0	1.1	0.7	192	1.5	0.96
	F	15.9			21.1	7.6	5	248	8.7	5.5
No.5	C	12.9	118	43.5	3.3	9.9	0.8	615	6.5	5.0
	D	0.8			1.2	0.5	0.6	733	2.0	2.5
	E	15.1			2.9	8.7	0.6	688	49.9	3.3
	F	15.9			10.8	4.9	3.1	509	20.9	1.3
No.6	C	12.9	79	18.5	4.1	9.6	0.7	341	3.6	2.8
	D	0.8			0.7	0.3	0.3	381	0.81	1.00
	E	15.1			6.9	1.3	0.8	259	4.3	2.9
	F	15.9			6.8	5.7	3.6	176	5.3	3.4
No.7	C	12.9	210.5	49.5	/	/	/	1189	/	/
	D	0.8			8.3	3.3	4.1	1362	4.4	5.4
	E	15.1			/	/	/	845	/	/
	F	15.9			/	/	/	679	/	/

* 1 : 1 [t] = 1000 [kg]

Fig. 5 Precipitation and Turbidity, Sediment yield estimation in St. C

Table. 2 Observation Items and Equipments

Items		Method
Flow Velocity		Electromagnetic Velocimetry (Alec Electronics Co.)
Turbidity		Turbidity meter (Alec Electronics Co.)
Depth		Water level meter (Daiki Rika Kogyo Co.)
SS		Filtration
Carbon	P-C	SSM-5000A (SHIMADZU Co.)
	DOC	TOC-5000A (SHIMADZU Co.)
Nitrogen	T-N	AACS-II (BRAN LUBBE)
	NO ₃ -N	
	NO ₂ -N	
Phosphorus	NH ₄ -N	
	T-P	
PO ₄ -P		
Sediment size distribution		SALD-3000 (SHIMAZU Co.)

3. 관측결과

Fig. 5는 St.C 지점의 강우량과 탁도를 나타내었다. 관측기간 중 33회의 강우가 있었으나, 7회를 제외하고는 강우량이 10mm 미만으로 연안역에 토사유출이 관측되지 않았다. 토사유출이

관측된 7회의 강우에 대하여 비교·분석하였으며, No.5의 강우량은 1년에 1회 정도, No.7은 9년에 1회 정도 관측되는 비정상적인 강우강도였다.

3.1 탁도의 변동

관측지점 St.C를 기준으로 No.5, No.7에서 500ppm을 초과하는 높은 농도의 탁도 수치가 관측되었으며, 이외 5회의 강우에서는 60~400ppm의 탁도가 관측되었다. 강우강도와 탁도와의 관계는 Fig. 6에서와 같이 총 강우량보다 시간최대 강우량에 밀접한 관계가 있는 것으로 관측되었다.

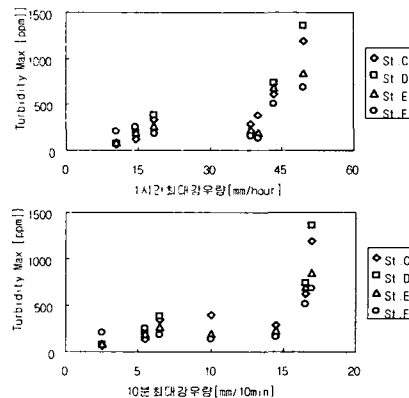


Fig 6 Relation of Turbidity and Precipitation

3.2 토사유출량

Fig. 7은 St.C,D,E 지점의 토사유출량을 나타내었다. No.1~No.4(총 강우량 270mm)의 토사유출량의 합계는 No.5(강우량 118 mm)와 비슷한 수치를 나타내었다. No.5의 강우량이 No.1~No.4의 총 강우량에 절반 이하임에도 불구하고 토사유출량이 높았다. St.E 지역에서 2002/9/1~2002/10/29일까지 134ton의 토사유출이 있음을 관측하였으며, 그 중 No.5 기간동안 토사유출량이 50ton이었다. 즉 토사유출은 강우강도 크며, 하천이나 수로를 통하여 흘러 보낼 수 있는 충분한 유량이 발생했던 강우의 집중도가 원인이라고 생각된다

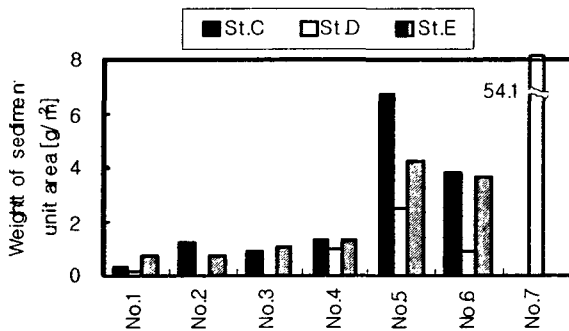


Fig. 7 Effluent of Sediment

3.3 영양염류 유출

Table. 3은 토사유출량과 영양염류가 St.C,E 지점에서 No.4와 No.5의 강우에 대한 면적당 유출 농도를 표시하였다.

Table.3 leaving flow of Nutrients

Rain No.		No.4			No.5	
Point		C	D	E	C	E
Area(km²)		12.9	0.8	15.1	12.9	15.1
Precipitation	Total [mm]	925			118	
Weight of sediment	Total [ton]	12 (0.96)	0.8 (0.96)	15 (0.96)	65 (5.0)	50 (3.3)
	Particulate [kg]	619 (48)	20 (25)	520 (34)	1170 (90)	2453 (163)
Carbon	Dissolved [kg]	90 (7.4)	39 (48)	721 (48)	1076 (83)	1107 (73)
	Total [kg]	1579 (122)	59 (73)	1241 (82)	2246 (174)	3570 (236)
	Particulate [kg]	72 (0.56)	0.7 (0.84)	9.4 (0.62)	32 (2.5)	31.8 (2.1)
Phosphorus	Dissolved [kg]	2.4 (0.19)	0.47 (0.58)	1.8 (0.12)	86 (0.67)	35 (0.23)
	Total [kg]	96 (0.74)	12 (1.4)	11.2 (0.74)	40.6 (3.1)	35.3 (2.3)
	Particulate [kg]	104 (8.0)	2.5 (3.1)	80 (5.3)	178 (14)	202 (13)
Nitrogen	Dissolved [kg]	97 (7.5)	16 (19)	77 (5.19)	164 (13)	140 (9.2)
	Total [kg]	201 (16)	18.5 (22)	157 (10)	342 (26)	342 (23)

() Unit area [mg/m²]

1) 입자형 영양염류의 변동

Fig. 9는 No.4와 No.5에 대한 St.E 지점에서의 SS, 유량, 입자형 영양염류농도의 변화를 나타내었다. P-C, P-P는 SS의 증가와 관련이 있었지만, P-N은 SS의 변화에 대한 밀접한 상관관

계를 보이지 않고 있음이 관측되었다. 결국 P-P는 토사유출량과 관계가 있는 입자 형태임을 알 수가 있었다.

2) 용존형 영양염류의 변동

Fig. 10은 No.4와 No.5의에 관한 St.E 지점의 탁도, 유량, 용존형 영양염류농도 변화를 나타내었다. SS의 농도와 관련한 NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N의 총합으로 TIN을 계산하였으며, DOC의 변동은 보이지 않았지만, No.4와 No.5에서는 NO₃-N, TIN의 농도가 No.5에 대한 PO₄-P(4시간 간격)는 명확히 증가함을 확인할 수 있었다

3.4 조석에 따른 연안역의 토사유출특성

Fig. 8은 No.2,4,5의 간조와 만조시 강우량, 탁도, 수심의 변화를 나타내었다. No.4에서는 강우가 간조시 출수 되어 상류에서 발생한 토사가 연안부에 빨리 유출되었으며, No.5의 경우 만조와 겹쳐져 St.E지역에서 2번의 탁도 피크가 있었음을 알 수 있었다. 즉 간조와 만조기를 중심으로 토사가 대류 되어지고 있다고 생각된다.

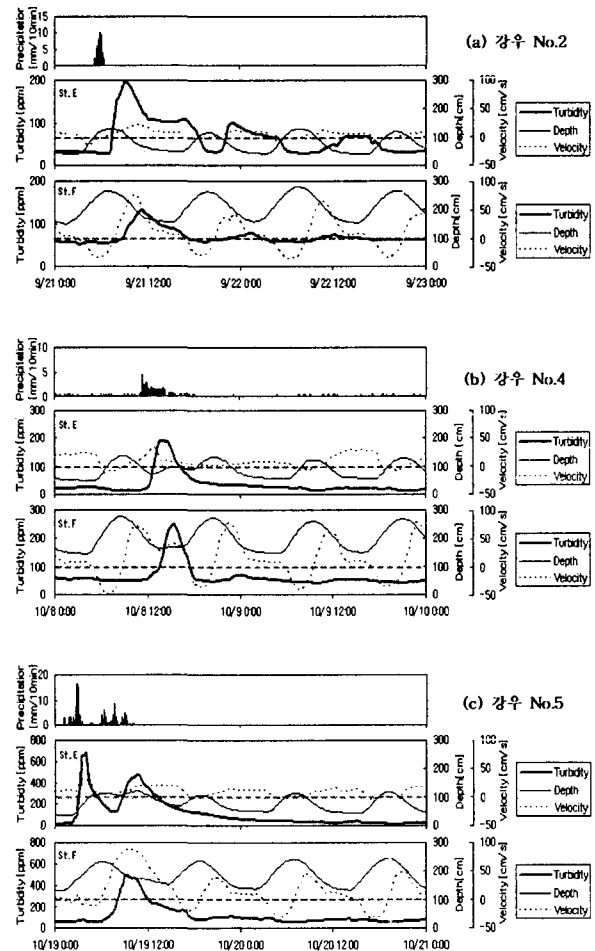


Fig. 8 Change of rainfall, Turbidity and depth [St.E, St.F]

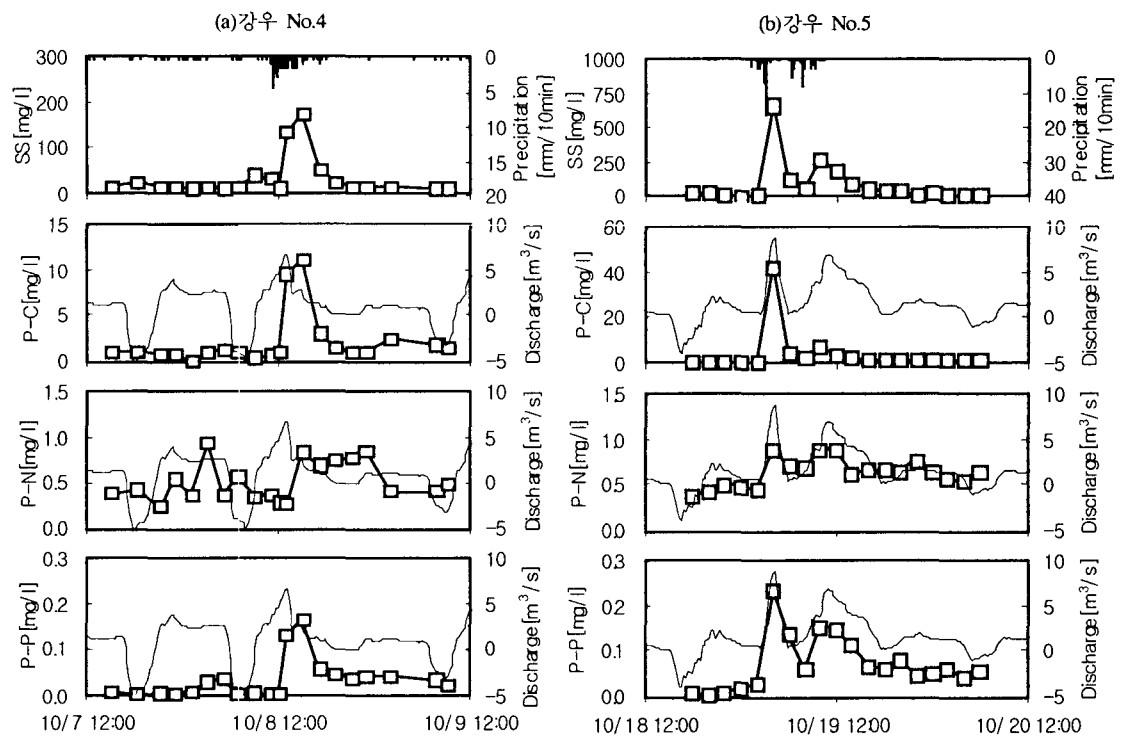


Fig. 9 Change in Concentration of SS, Flux and Particulate Nutrients[St.E]

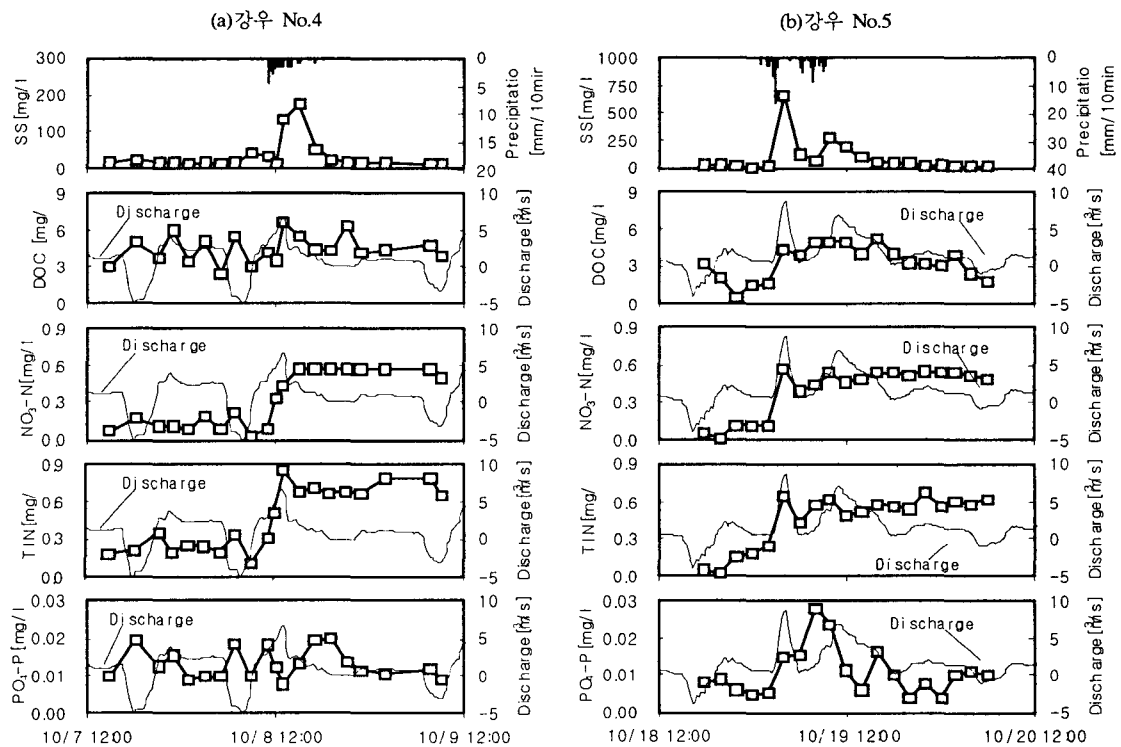


Fig. 10 Change in Concentration of SS, Flux and Dissolved Nutrients[St.E]

3.5 나지와 식생서식지역의 토사유출량 관계

토사유출과 식생의 피복율과의 관계를 알아보기 위하여 나지와 식생피복지역을 구분하여 같은 조건에서 관측(Fig. 11)을 실시하였다. 관측기간은 2003/9/10~2003/9/11(1,320분), 총 강우량 110mm, 경사구배 1/150, 나지면적 1,898m²·식생서식면적 1,035m², 시간최대 강우량 14mm이었으며, 관측결과는 Fig 12.13에 나타내었다.

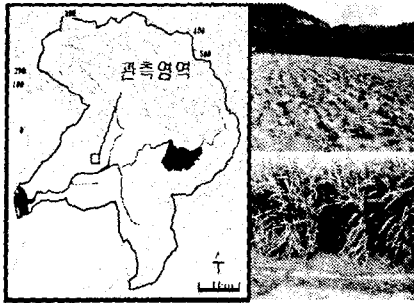


Fig. 11 Observation area at effluent of sediment

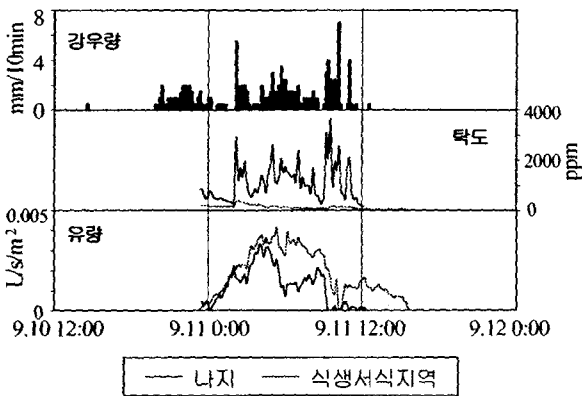


Fig. 12 Comparison of Unproductive and Vegetation land (Rainfall, Turbidity, Flux)

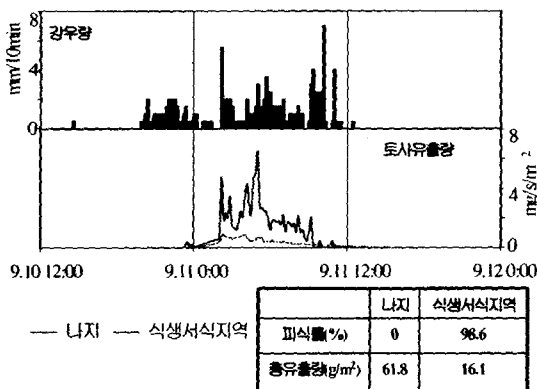


Fig. 13 Comparison of Sediment yield estimation

4. 결 론

본 연구에서 연안역의 토사 및 영양염류 유출에 관하여 다음과 같은 결과가 관측되었다.

- (1) 비정기적 강우강도(연간 1회 정도 발생 가능한 강우)가 연안역에 유출되는 전체 토사량의 40% 정도에 영향을 미치고 있음이 관측되었다. 즉 비정기적 강우강도에 대한 연안역 토사유출 방지대책을 고려하지 않으면 안 될 것이다.
- (2) 상대적으로 토사유출량이 많은 강우에서 영양염류가 입상 상태의 인(P)이 유출되었으며, 토사유출이 작은 강우에서는 용존 상태의 탄소(C)와 질소(N)가 유출되었다.
- (3) 강우와 조석과의 시간적 변화에 따라 연안역에 유출된 토사가 감소영역에서 주기적 유동을 하고 있는 것이 관측되었다.
- (4) 나지와 식생서식지역(피식율 98%)의 강우시 유출되는 탁도의 유출 응답률은 나지가 10배가량 높은 유출수치를 나타내고 있음이 관측되었다.

연안역의 토사유출 저감을 위한 대안으로 개발지역의 침사지 용량규제에서 유출수의 SS 농도규제로의 변환이, 침사지 미 설치지역(소규모 개발지역, 나지, 농지 등)에서는 토사유출구 주변에 식생 그린벨트 설치의 검토가 필요할 것이다.

후 기

본 연구는 동경공업대학 이공학연구과 토목 수공학연구실과 공동연구 되었음.

참 고 문 헌

- [1] 손광익(1998) '개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구 (I)', 행정자치부 국립방재 연구소 연구보고서
- [2] 최상기, 송영일, 서성철(2003) '수질분야 환경영향예측내용과 사후환경 조사결과와의 비교·분석', 한국환경정책평가원 pp.73~79, 131~136
- [3] 高もく 惠(2004) '沖縄縣石垣島における降雨土砂流出に関する研究' 東京工業大學 學位論文
- [4] 赤松良久(2003) 'マングロープ水域の水利と物質循環' 東京工業大學學位論文
- [5] 中島洋平, 池田俊介, 赤松良久, 宮本泰章, 山口悟司(2002) '石垣島名藏川における土砂・栄養塩の流出に関する現地観測' 學會投稿中
- [6] 山口悟司(2003) '沖縄石垣島名藏川における河川水中の濁質・栄養塩特性に関する現地観測' 東京工業大學 學位論文