

소양호 유역의 탁수발생 실태와 대책

Turbid water in the Lake Soyang watershed and mitigation strategies

김범철

(강원대학교 환경과학과)

Bomchul Kim

(Kangwon National University)



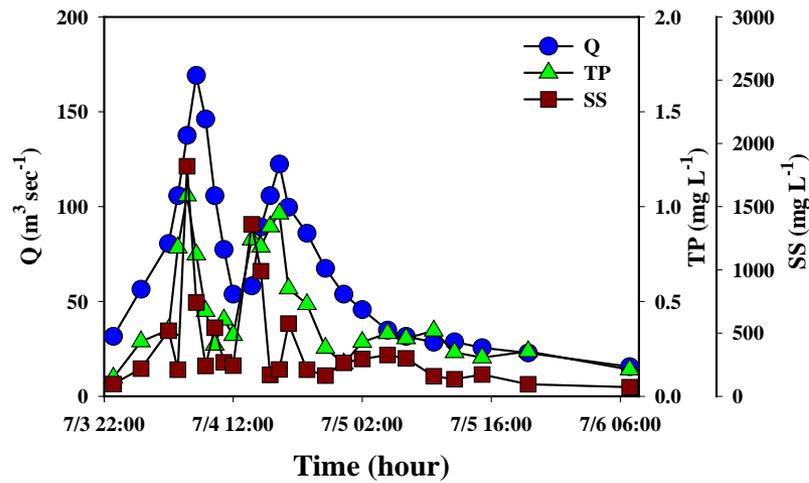
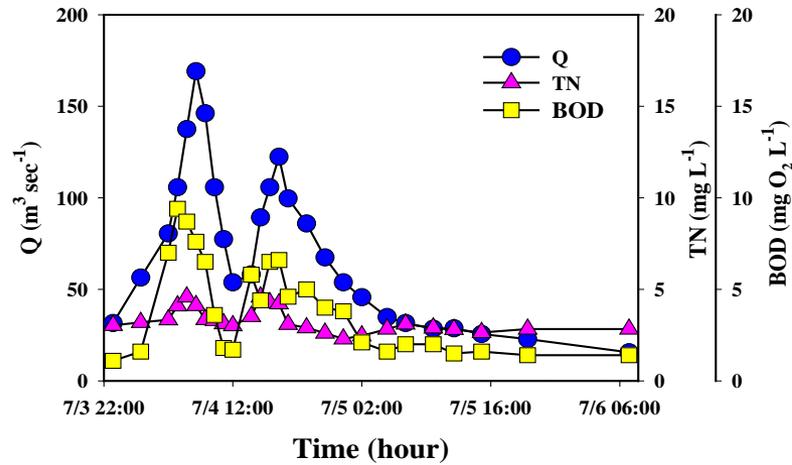
탁수발생 (2006년 7월 15일)

소양호 유입수 (인제)

댐에서 탁수방류 장기화



만대천의 탁수



만대천의 강우시 수질 (2004.7.3~6)

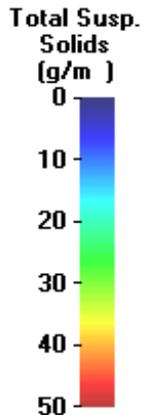
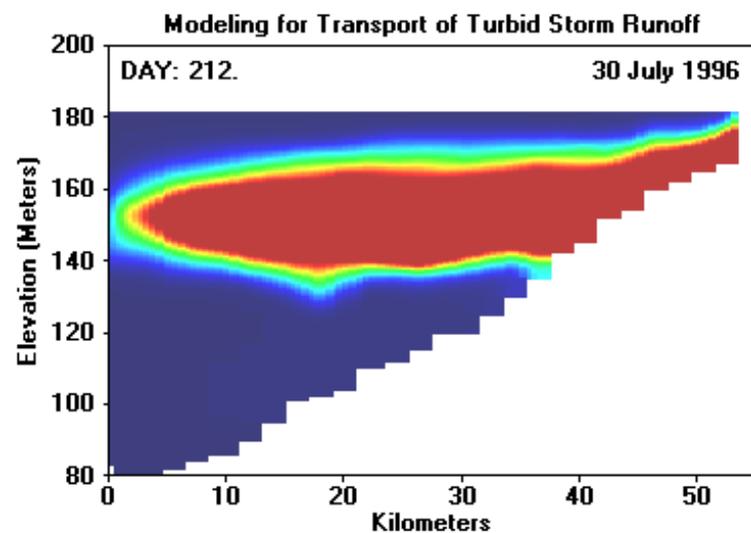
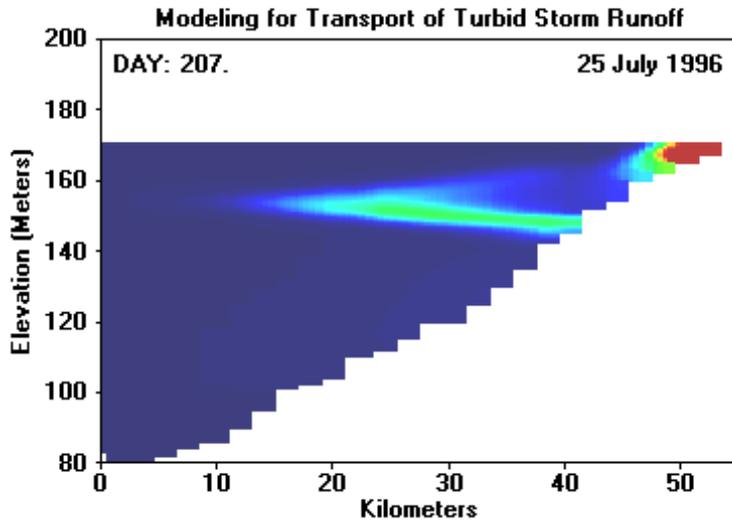
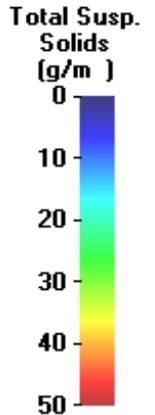
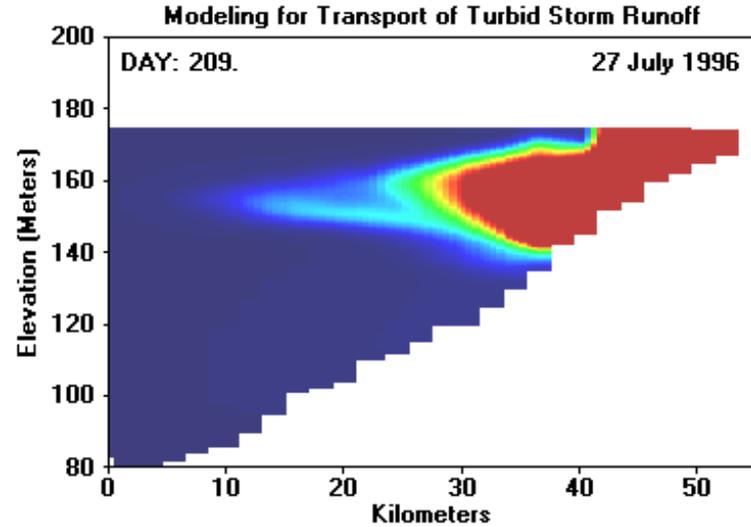
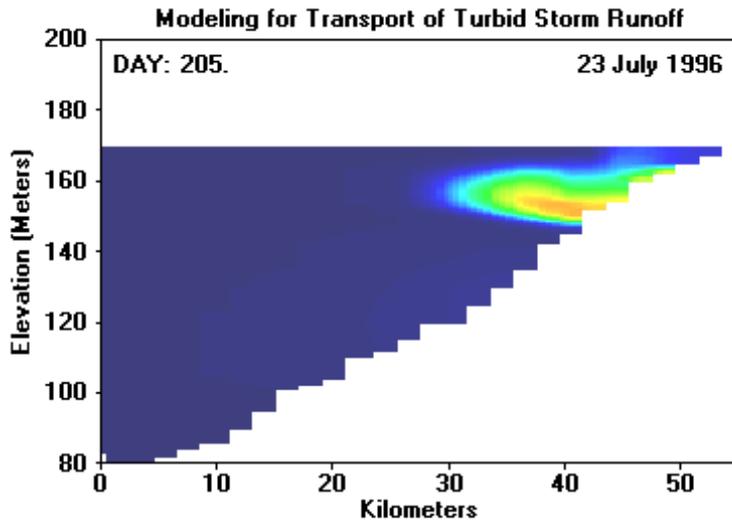
만대천(해안면)의 강우시 각 수질항목의 유량가중평균농도(EMC) (mg L⁻¹)

강우사상	BOD	SS	COD	TN	NO ₃ -N	NH ₃ -N	TP	DIP
2003.6.27~6.28	3.3	430	17.1	3.86	2.10	0.274	0.652	0.062
2003.7.8~7.10	3.4	251	8.3	3.68	2.30	0.151	0.441	0.036
2003.7.18~7.19	5.1	735	15.0	3.90	1.98	0.331	0.704	0.042
2003.7.21~7.25	6.7	1,349	18.4	3.82	1.80	0.146	1.094	0.074
2003.8.19~8.21	3.3	414	6.5	2.35	1.80	0.834	0.347	0.049
2003.8.23~8.25	2.2	294	5.5	1.72	1.06	0.110	0.647	0.086
2003.9.5	4.5	424	10.8	2.56	1.83	0.159	0.259	0.090
2003.9.12~13	2.7	660	6.4	2.07	1.67	0.048	0.458	0.058
2003.9.18~9.19	2.5	340	5.6	1.69	1.23	0.123	0.096	0.066
전체 평균	3.7	544	10.4	2.85	1.75	0.242	0.522	0.063

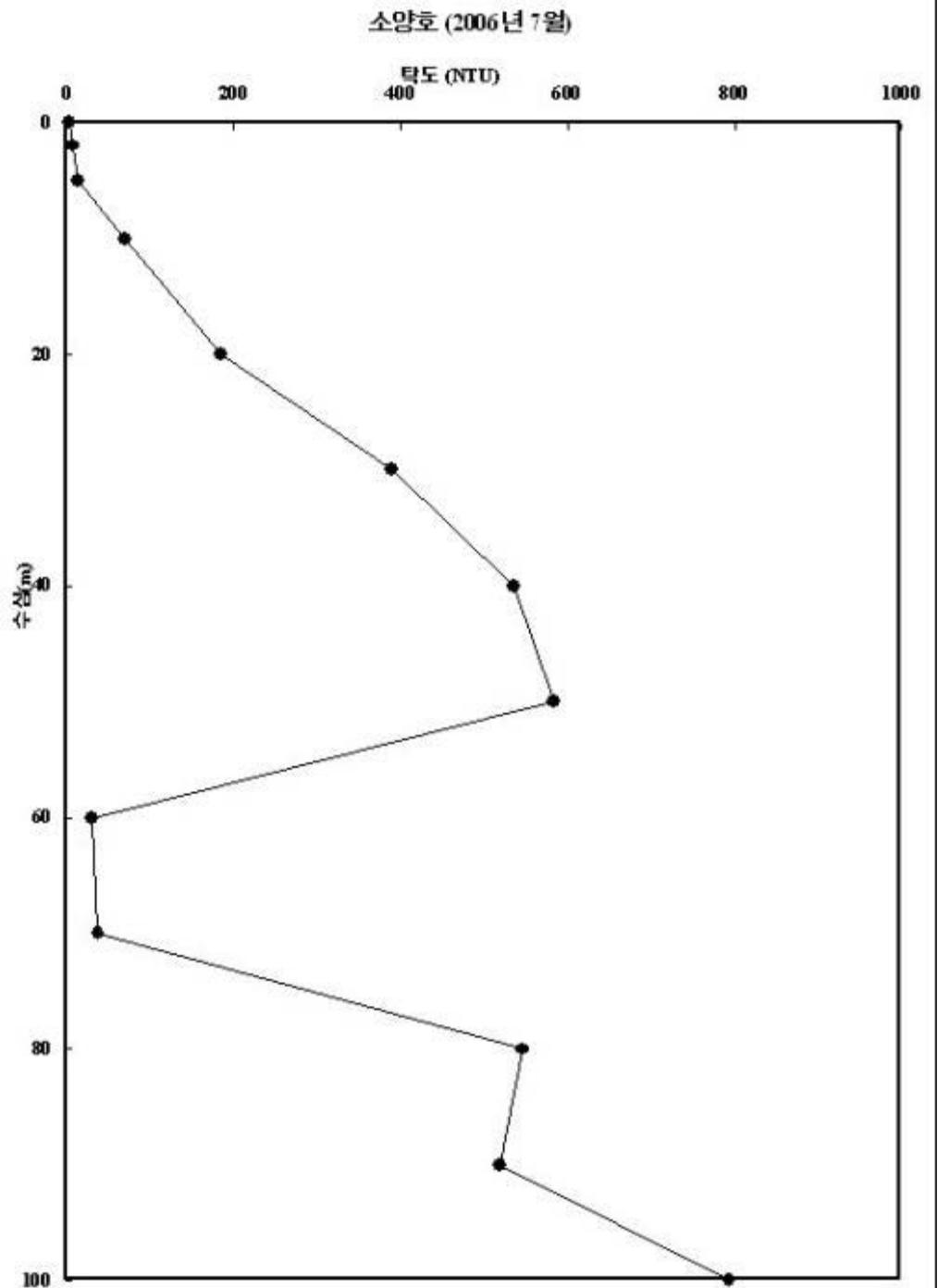
BOD 는 3등급, 부유물질은 5등급

대형댐 내에서 탁수이동

-수온이 낮아 중층으로 유입한다 (소양호)
(수질모델 CEQUAL-W2 를 이용한 simulation, 1996년)



소양호의 수심별 탁수 사진 (2006.7.24)



소양호 내 탁수의 변화

상 - 2006. 7.24
중상 - 2006. 8.10
중 - 2006. 9. 8
중하 - 2006.11.24
하 - 2007. 3. 21

-탁수층이 점점 심층
으로 가라앉음

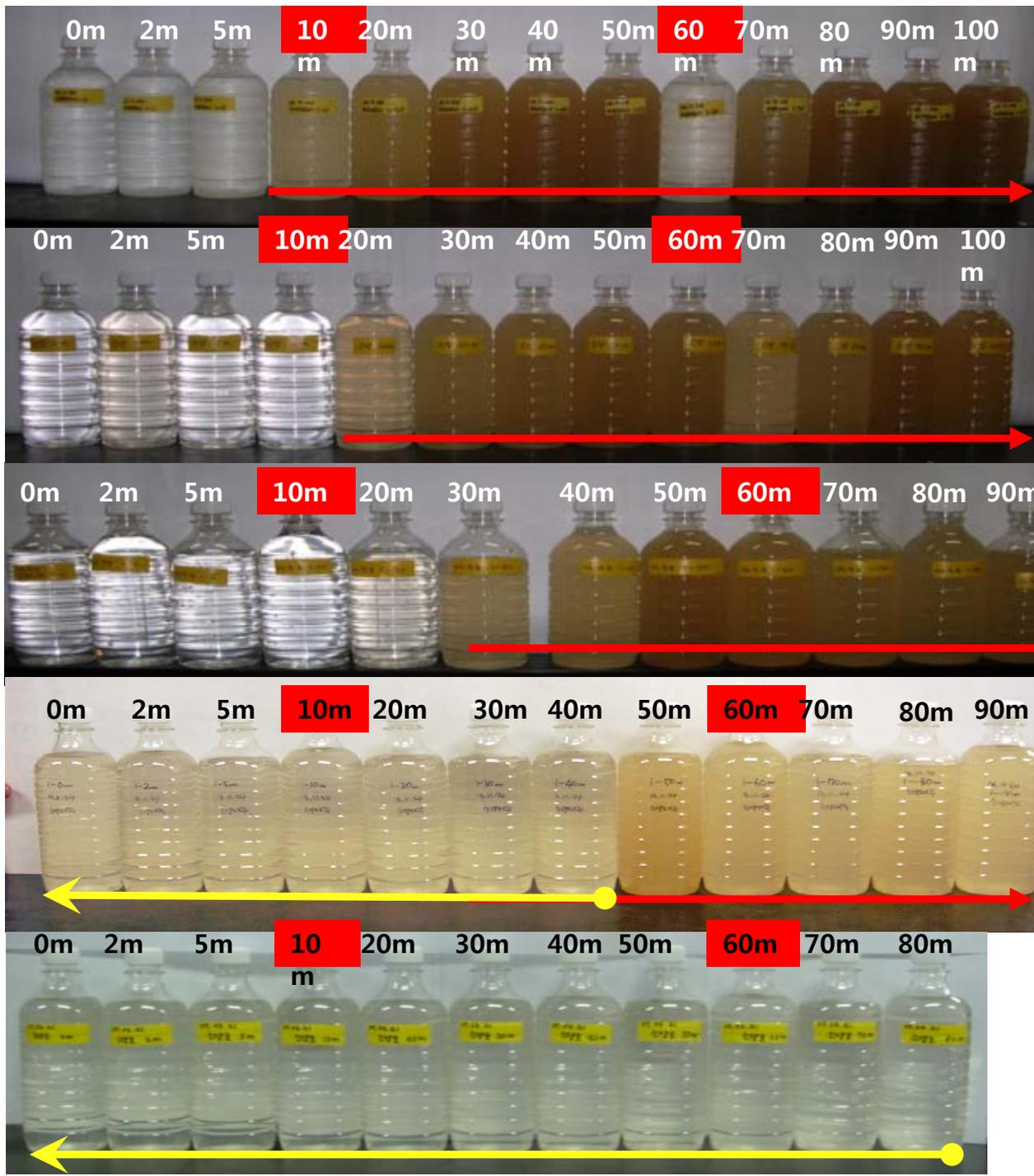
-심층의 물은 정체
되어 있다.

-2006년 11월 중순 중층
의 탁수가 표층까지 확산

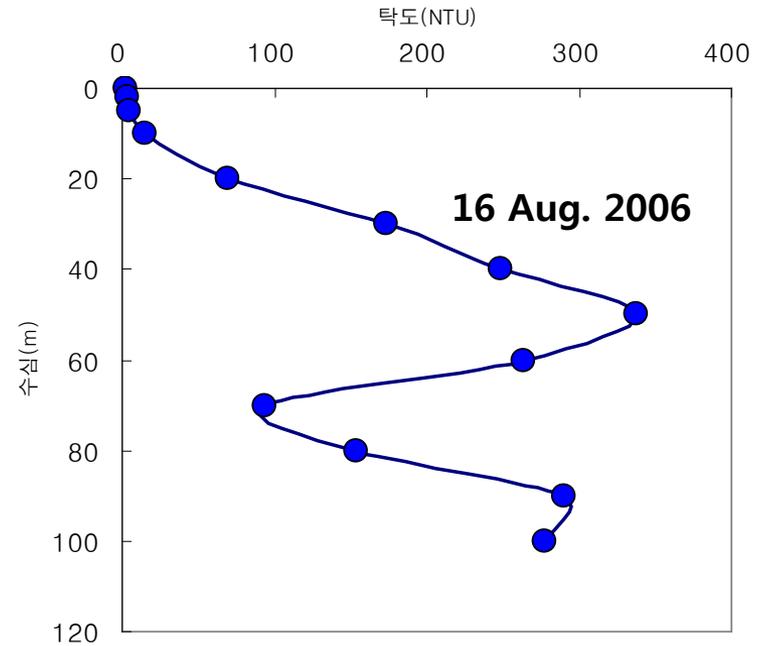
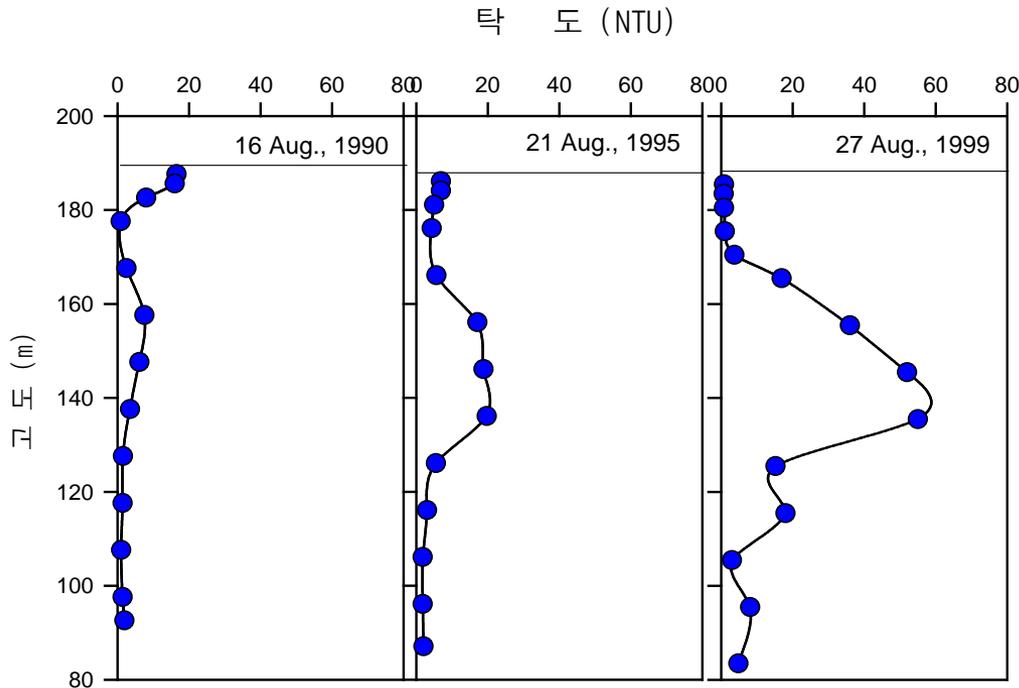
-2007.1월 20일경 표층
최고 탁도를 보임
(45NTU)

-2월중순 경 완전히 혼합

-2007.3.21일 현재
전수심에서 약16NTU의
탁도를 유지하고 있다.



소양강 탁도의 증가추세



소양호에서 강우 직후 댐 앞 지점에서 조사한 탁도의 수직분포

- ▶ 매년 증가하고 있다.
- ▶ 호수의 부유물질 1급수 기준은 1 mg/l, 15 mg/l 이상은 5급수
- ▶ 미국의 하천 탁도 기준은 40 NTU

탁수가 호수생태계에 미치는 영향

- 침수수초 감소 - 탁수발생 2주 후 모두 소멸
 - ▶ 수초대에 서식하는 저서동물 감소
 - ▶ 수초에 산란하는 어류의 산란장 감소
- 식물플랑크톤 침강
- 동물플랑크톤 섭식 방해
- 먹이생물 감소로 인한 어류 감소
 - ▶ 어류의 포식능력 저하 - 쏘가리 시계 감소
 - ▶ 어병의 증가
- 인 증가로 인한 부영양화

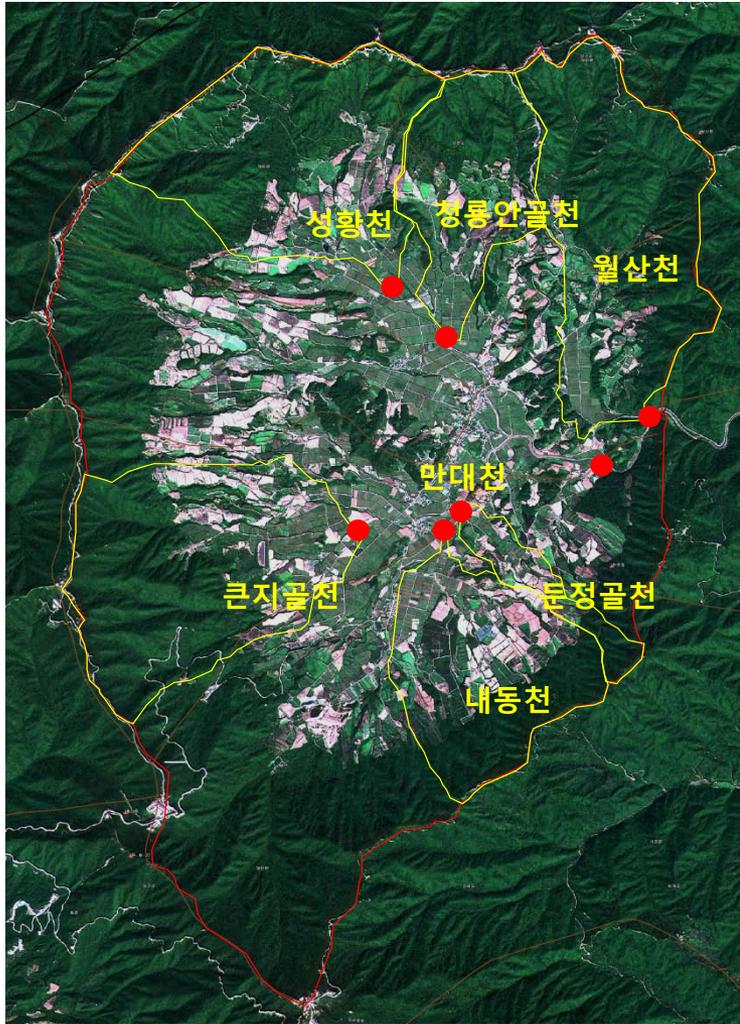
토사유입이 하천생태계에 미치는 영향

▶ 하천의 먹이연쇄는



- ▶ 모래는 자갈 사이를 메워 수생곤충과 어류의 서식지를 없앤다.
- ▶ 수생곤충의 감소는 어류의 먹이 감소를 의미
- ▶ 자갈사이를 메워 어류의 산란지를 없애고 부화율을 감소시킨다.
- ▶ 농경지 유출수의 인으로 인한 하천의 부영양화 피해
- ▶ 토사의 유출은 → 생태계 파괴, 어류 감소

해안면내 배수구역별 수질 비교



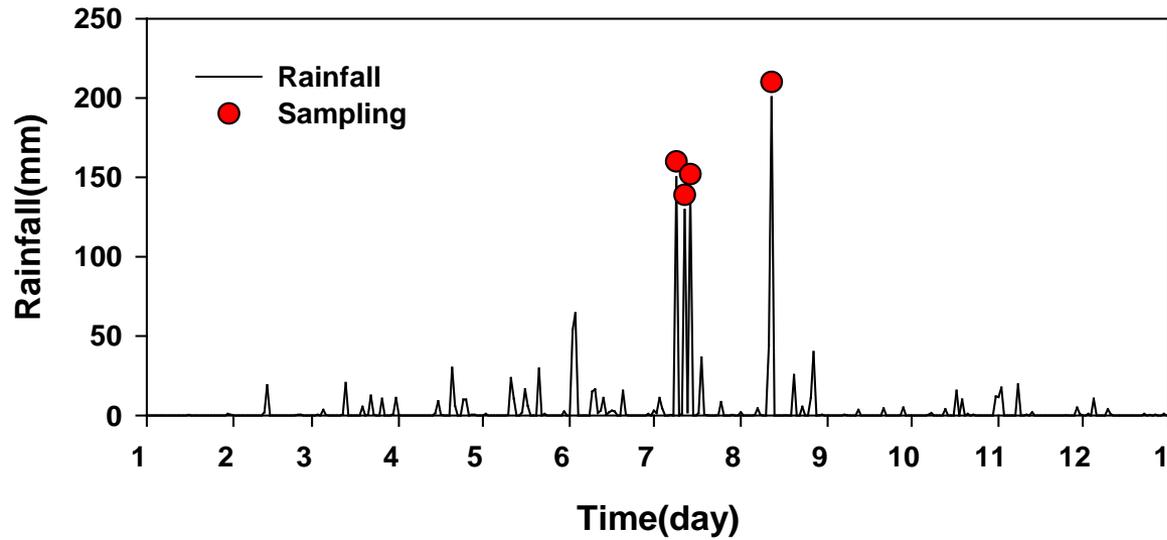
양구군 해안면 유역도

유역명	유역면적(km ²)
내동천	4.628
둔정골천	1.015
큰지골천	6.969
성황천	6.514
청룡안골천	3.561
월산천	6.687
만대천	59.990

조사지점 및 유역면적

배수구역별 수질 비교

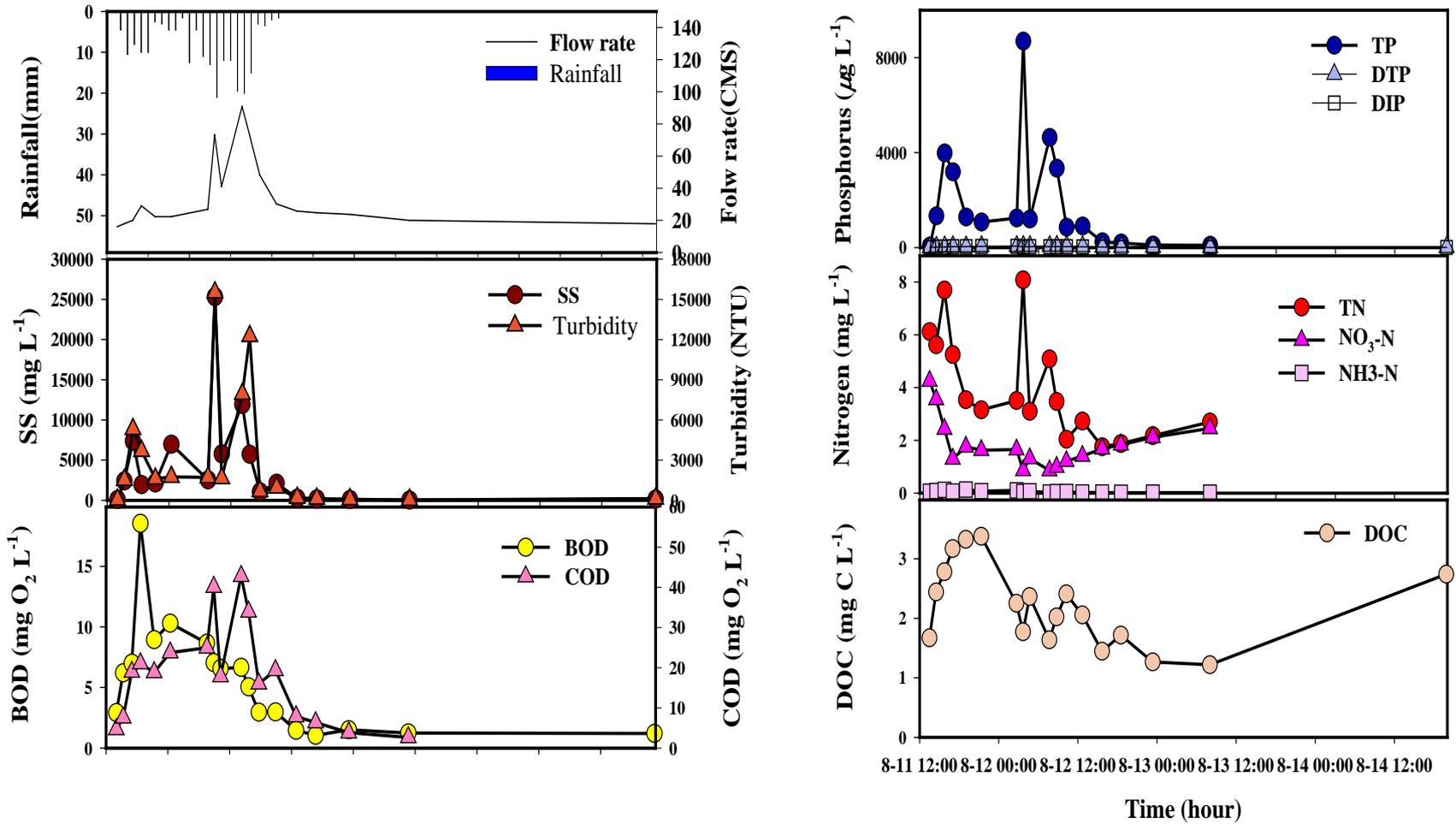
수질조사시기(2009년)



조사횟수	조사 시기	강우량(mm)
1차	7월 9~10일	149
2차	7월 12~13일	118
3차	7월 14~16일	148
4차	8월 11~14일	210
총 계		625

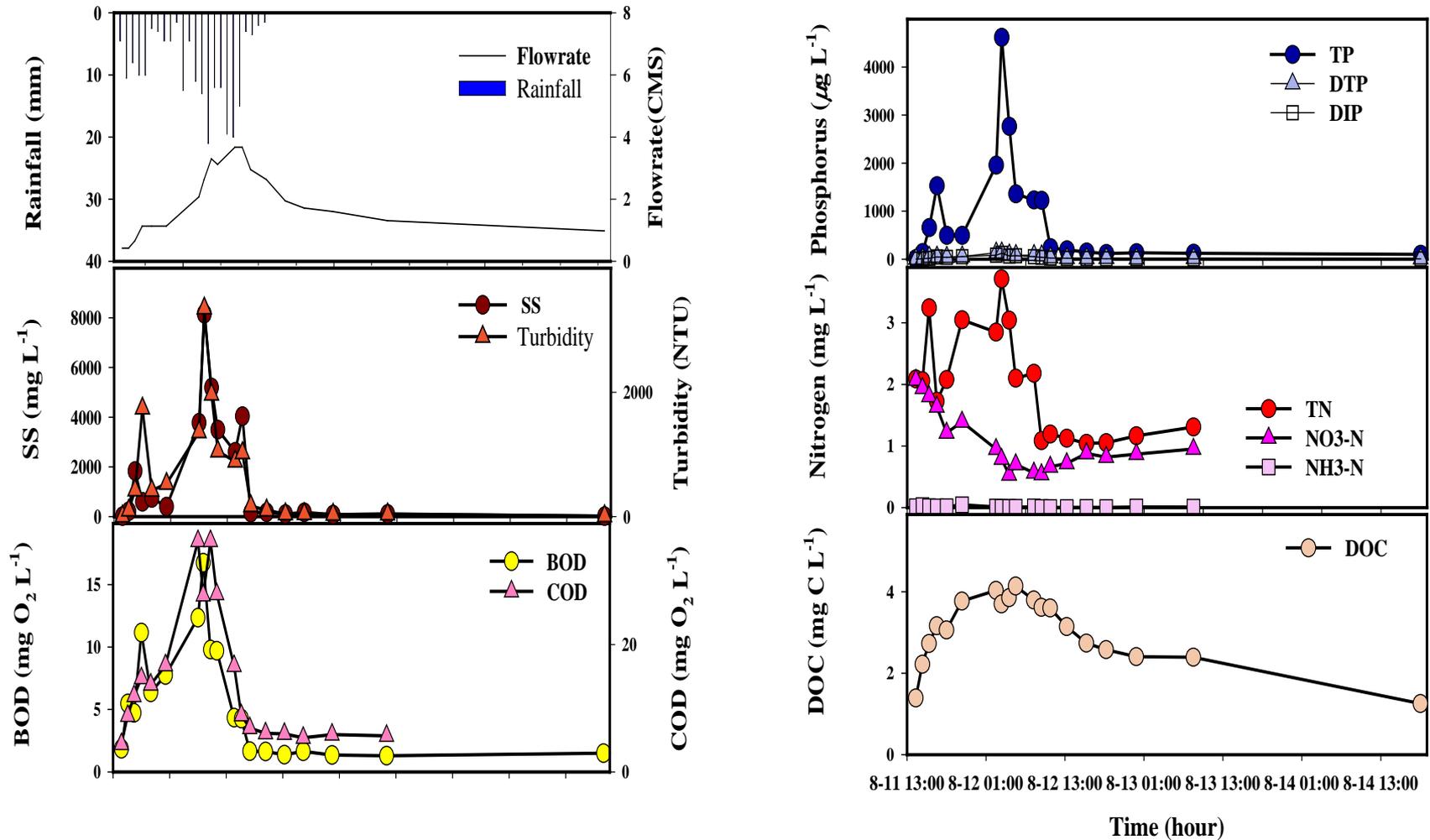
배수구역별 수질 비교

•저감시설이 집중 된 유역(내동천, 2009년 8월 11~14일)



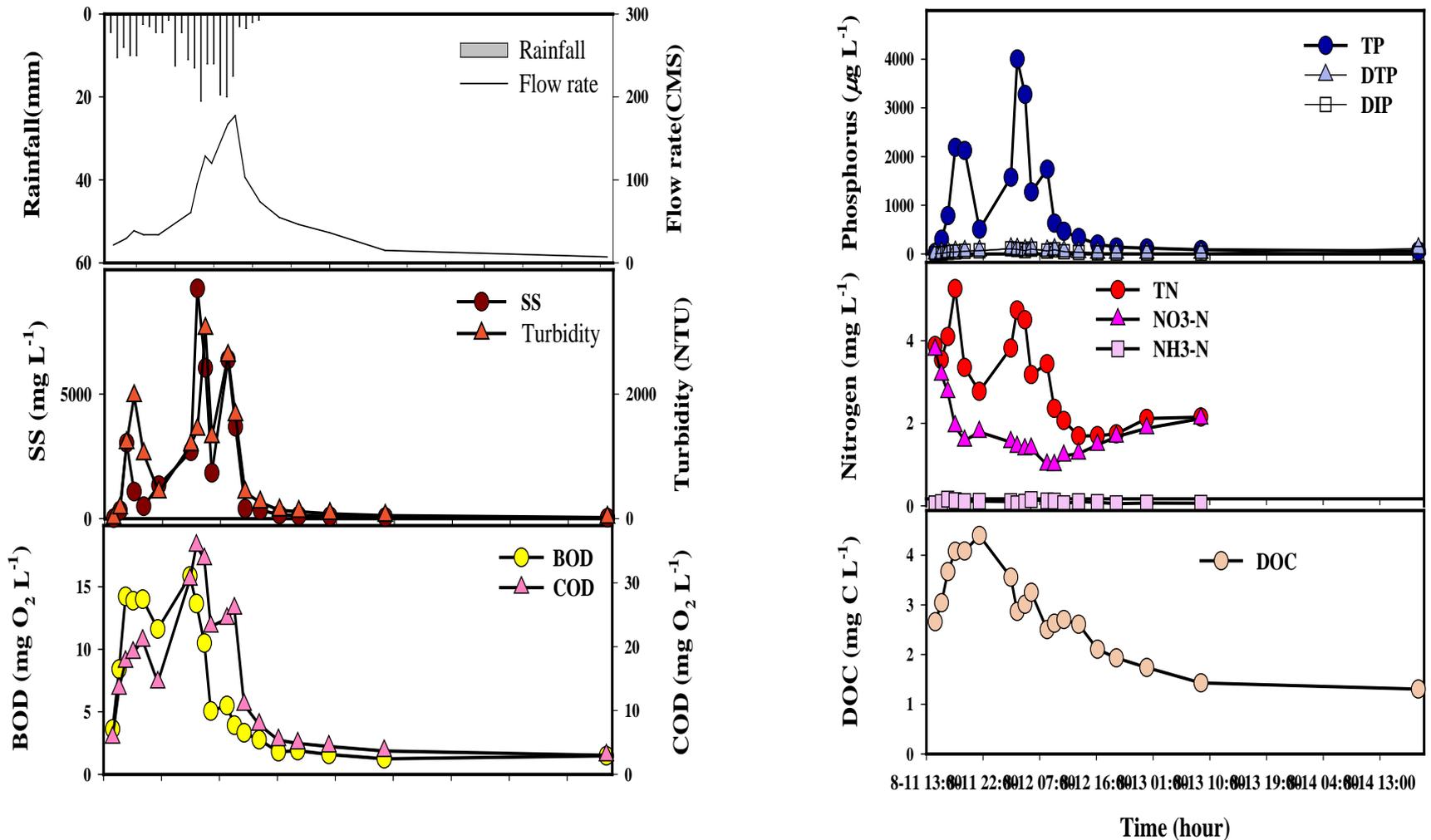
배수구역별 수질 비교

- 농지보다 산림이 많은 유역(월산천, 2009년 8월 11~14일)



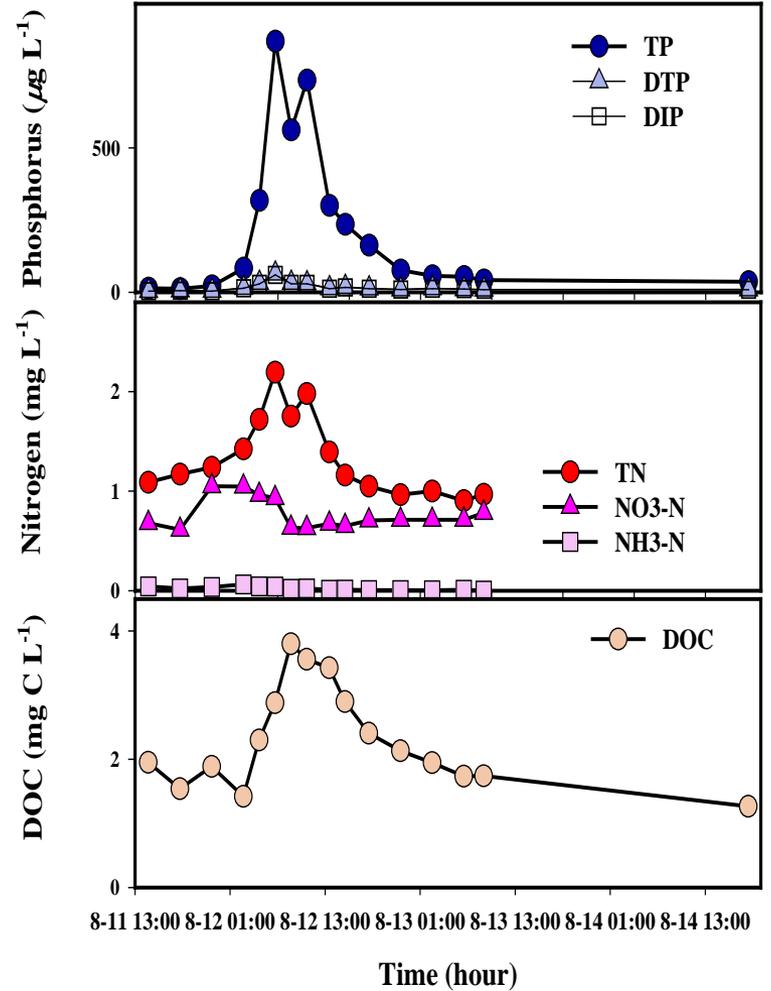
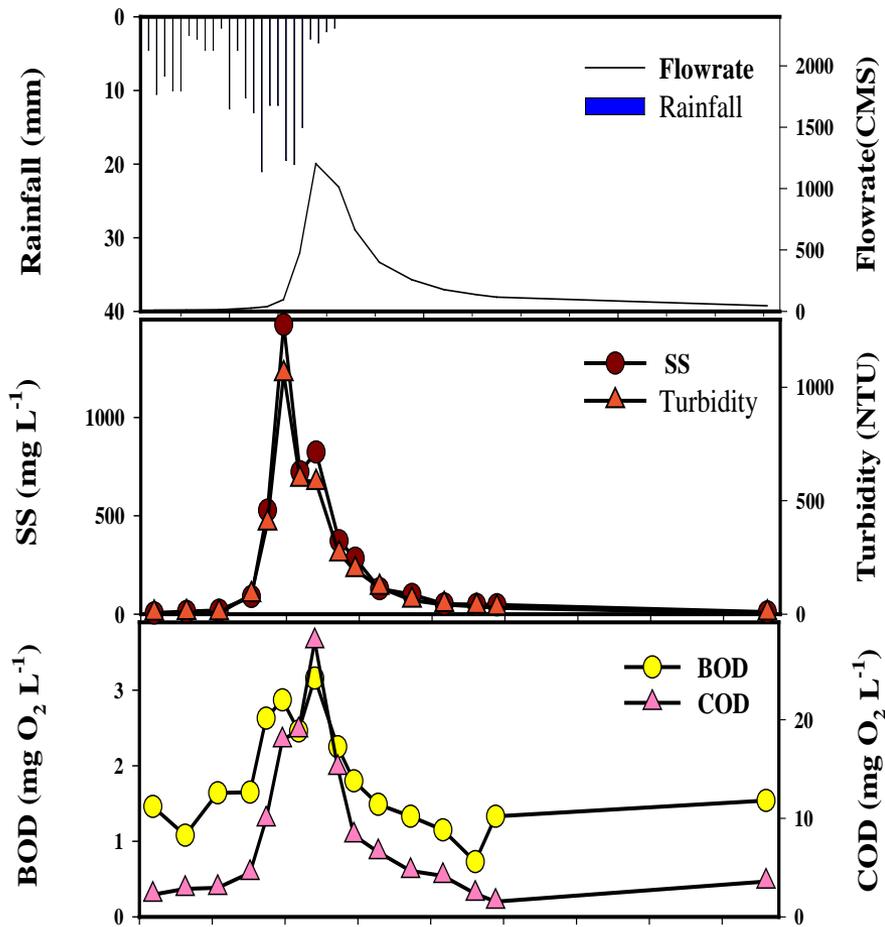
배수구역별 수질 비교

- 해안면 전체의 오염물질이 유출되는 지점(만대천, 2009년 8월 11~14일)



배수구역별 수질 비교

•인북천 (2009년 8월 11~14일)



배수구역별 수질 비교

2009년 7월 9~10일 EMC(mg/L)

지점	BOD	SS	TN	TP
내동천	1.61	5,160	2.90	2.24
둔정골천	1.31	880	2.23	2.03
큰지골천	2.59	13,835	2.73	2.79
성황천	5.79	4,052	2.92	2.85
청룡안골천	4.48	4,915	1.94	2.57
월산천	2.44	4,031	1.86	1.09
만대천	1.00	2,957	2.23	1.27
인북천	2.78	1,084	1.46	0.74

미국의 하천수질 기준은 탁도 (SS) 약 40

배수구역별 수질 비교

2009년 8월 11~14일 EMC(mg/L)

지점	BOD	SS	TN	TP
내동천	5.36	5,044	3.58	2.01
둔정골천	9.44	17,254	3.65	2.87
큰지골천	5.83	7,501	2.76	1.71
성황천	9.55	2,971	3.67	1.59
청룡안골천	5.64	5,048	2.41	2.49
월산천	4.86	1,623	0.84	0.85
만대천	6.15	2,412	2.84	1.08
인북천	4.86	1,623	0.84	0.85

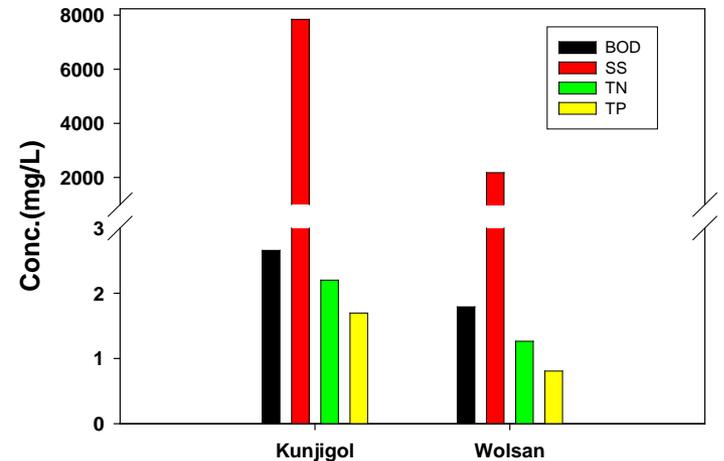
미국의 하천수질 기준은 탁도 (SS) 약 40

Specific export coefficient (kg/ha/event) from two comparative subbasins in the watershed of Lake Soyang where is very high in cultivated area.

Watershed	BOD	SS	TN	TP
Kunjigol	1.07	3,624	0.94	0.76
Wolsan	0.69	773	0.46	0.29

EMCs (mg/L)

Watershed	BOD	SS	TN	TP
Kunjigol	2.7	7,850	2.20	1.69
Wolsan	1.8	2,180	1.26	0.81



The export loadings(kg .yr⁻¹ .km⁻²) in each watershed.

Watershed	Land use	BOD	TN	TP	Reference
EPA, USA	Mixed agricultural	-	1,650	113	Reckhow et al.(1980)
	forested	-	286	23.6	
	urban	-	997	191	
USA and Europe	forest	-	100~630	0.7~88	Loehr et al.(1989)
	Rural cropland	-	2,100~7,960	6~290	
Wisconsin, USA	agricultural	-	669	26.2	Clesceri et al.(1986)
	forest	-	407	17.6	
Eastern, USA.	forest	-	300	5~10	Rast and Lee (1978)
	agricultural	-	500	50	
Mandae	agricultural - forest	2,387	1,651	448	2003
		4,989	6,794	859	2004
Jawoon	agricultural -forest	1,087	3,284	258	2005
		863	-	151	2006

- The amounts of TP exported from these two basins were considerably high compared to other many studies

과거연구와의 수질 (EMC) 비교 - 만대천

2004년도

2009년도

강우 사상	강우량	SS	TN	TP
1차	34	267	3.7	0.4
2차	62	288	3.3	0.3
3차	51	246	2.9	0.3
4차	137	535	3.3	0.5
5차	200	411	2.9	0.4
평균		349	3.2	0.4

강우 사상	강우량	SS	TN	TP
1차	149	2,957	2.2	1.3
2차	118	1,500	2.1	1.1
3차	148	1,547	1.9	0.7
4차	210	2,412	2.8	1.1
평균		1,717	2.3	1.1

2009년의 탁도가 2004년에 비해 더 높았다.

과거연구와의 수질 비교(인북천)

2004년

2009년

강우 사상	강우량 mm	SS mg/L	TN mg/L	TP mg/L
1차	36	227	2.5	0.3
2차	94	47	1.3	0.1
3차	50	157	1.4	0.2
4차	176	236	1.3	0.3
5차	176	206	1.4	0.2
평균		174	7.9	0.2

강우 사상	강우량 mm	SS mg/L	TN mg/L	TP mg/L
1차	150	1,084	1.5	0.7
2차	132	1,789	1.5	1.1
3차	143	720	1.1	0.4
4차	245	1,623	2.8	1.1
평균		1,304	1.7	0.8

2009년의 탁도가 2004년에 비해 더 높았다.

침식 방지 사업

- 사면보호



- 객토로 인하여 생성된 산 사면면의 보호를 위한 목적으로 조성

- Seed spray나 식생매트를 이용하여 식생을 조성한다.

- 식생의 활착을 유도하면 토양의 응집력을 강화시키고 사면을 안정시킬 수 있다.

- 강우나 강풍으로 인하여 훼손되기가 쉽다.



← 사면보호의 예(해안면)

침식 방지 사업



사면보호 시설의 훼손 모습(해안면)

침식 방지 사업

- 식생수로



- 식생을 조성하고 이를 유지하는 것이 어렵다. 홍수 시 내구성 유의.

- 생물서식처가 되지 못하므로 생태학적으로 건강하지 않다.



← 식생수로의 예(해안면)

침식 방지 사업



식생수로 시설의 훼손 모습(해안면)

침식 방지 사업

- 침사지



- 체류시간을 늘려 토사를 침적시킨다.
- 강우후 침사지안에 퇴적물에 제거가 요구된다.
- 침사지 수문관리와 사면관리등 꾸준한 유지보수가 필요하다.

침사지(해안면 내동천 상류)

침식 방지 사업



강우후 침사지에 퇴적된 토사

침식 방지 사업

- 돌망태



- 돌망태는 큰 홍수에도 견디며, 쉽게 파괴되지 않는다.
- 다른 사업과 비교 하였을 때, 가격에 비해 실용적이다.
- 돌망태에 식생이 형성될 수도 있다.
- 꾸준한 유지 보수가 필요하다.

← 돌망태 사업의 예(해안면)

침식 방지 사업



현재 실시되고 있는 침식방지사업 공사 현장

침식방지 사업의 효과 분석 및 사업의 제안

1. 완충식생대



- 식생대의 부실한 관리와 좁은 폭 때문에 탁수저감효과가 크게 나타나지 않으며, 강우 후에 많이 훼손됨
- 경작지의 면적, 경사면의 길이 등을 고려하여 식생대를 조성해야함
- 농민 스스로 식생대를 조성하고 관리할 수 있도록 인센티브 제도가 요구됨

침식방지 사업의 효과 분석 및 사업 의 제안

2. 식생수로



- 수로와 연결된 토사부분이 많이 침식/함몰되었으며, 수로내에 설치한 배수구로 풀이 자라고는 있으나 탁수저감에 큰 도움이 되지 못함
- 수로 연결부의 이탈/파손을 감안하여 시공할 필요가 있음
- 급경사가 지역에 설치할 경우 중간에 유속저감시설이 설치되어야 함
- 인접한 농경지의 토사유출을 막기 위해 식생대나 받두렁을 병행할 필요가 있음

침식방지 사업의 효과 분석 및 사업 의 제안

3. 우회수로



- 산림에서 배출되는 유출수를 안전하게 하천으로 배수하여 밭의 토양유실을 저감함으로써 탁수저감효과가 매우 높음
- 사면보호와 같은 공법들과 함께 시공함으로써 더욱 효과가 클것으로 기대됨

침식방지 사업의 효과 분석 및 사업 의 제안

4. 돌망태



- 산림과 농경지 또는 도로와의 경계면에 설치되어 훼손된 사면의 토사유출저감효과가 있으나, 사면적이 넓은 곳은 훼손되어 그 기능을 잃어버림
- 사면보호와 같은 공법들과 함께 시공하거나 사면적과 토압을 고려하여 시공해야함

침식방지 사업의 효과 분석 및 사업 의 제안

5. 사면보호



- 식생의 활착율이 낮고 주변식생과 조화되지 못하여 사면의 안정화에 어려움이 있음
- 훼손된 사면의 기울기가 급한 곳은 대부분 훼손되어 그 효과를 기대하기 어려웠음
- 해안면의 사면이 대부분 경사가 급한 점과 사면의 토양이 마사토인 점을 고려하여 다른 공법을 적용할 필요가 있음

침식방지 사업의 효과 분석 및 사업 의 제안

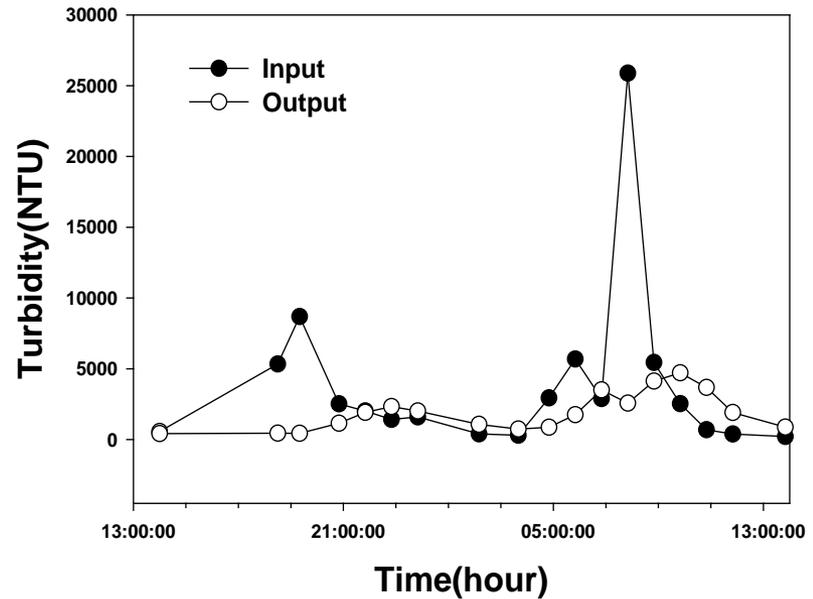
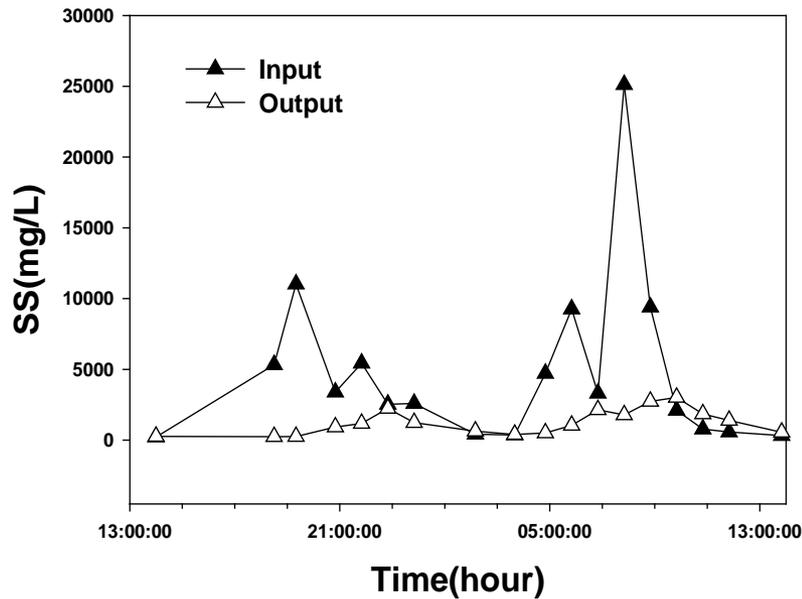
5. 침사지



- 본 시설은 일부의 물만이 유입되도록 설계되어 있어 흙탕물 저감에 큰 효과를 기대하기는 어렵다.
- 지속적인 토사 제거작업이 필요하다.
- 침사지 유입부에 작은 보를 설치하면 더 많은 탁수가 유입될 수 있다.

침식방지 사업의 효과 분석 및 사업의 제안

5. 침사지



- 부유물질, 탁도의 저감은 확실하게 확인할 수 있지만 침사지를 통과하여 배출된 탁도가 418~4,172NTU로 여전히 높은 수준이다

침식방지 사업의 효과 분석 및 사업 의 제안

6. 재배작물변환



- 흙탕물 저감사업의 세부 사업별 중에서 가장 효과적인 사업이라 판단됨
- 복숭아, 포도 등의 과수재배 지역의 표토는 식생으로 덮여있어 토사유출은 최소화될 수 있을 것으로 판단된다
- 작물전환기 동안의 농민의 수익/손실금액의 일정비율을 정부에서 보조하면 농민들에게 많은 도움이 될 수 있고 장기적인 탁수저감에 효율적일 것으로 판단됨