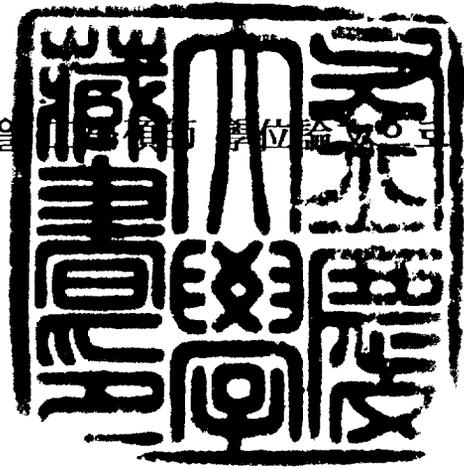


工學碩士 學位論文

H-댐流域 水質改善을 위한
汚染度 調査

指導教授 姜壬錫

이 論文을 爲 荷 學位論文으로 提出함



2002年 2月

釜慶大學教 産業大學院

環境工學科

具本坤

具本坤의 工學碩士 學位論文을 認准함

2001年 12月

主	審	工學博士	朴清吉	
委	員	工學博士	李錫謨	
委	員	工學博士	姜壬錫	

목 차

List of Table

List of Figure

Abstract

제1장 서 론	1
제2장 조사내용 및 방법	2
2.1 연구내용 및 범위	2
2.2 조사지점 및 시료채수	2
2.3 조사방법	3
제3장 H-댐 유역의 기초환경 조사	4
3.1 H-강 유역의 자연환경	4
3.1.1 유역의 개황 및 특성	4
3.1.2 하천 및 수계현황	6
3.1.3 기상 현황	8
3.2 오염원 현황	11
3.2.1 생활하수 발생량	11
3.2.2 공장현황 및 오수발생량	12
3.2.3 축산폐수 현황	13
3.2.4 공장폐수 배출업소 및 발생량	14
3.2.5 H-강 수계 총오염원 현황	15
제4장 결과 및 고찰.....	16
4.1 지류 하천 수질조사 결과	16
4.1.1 지류하천별 수질조사 결과	16
4.1.2 지류천이 회야강 본류 수질에 미치는 영향	20

4.2 H-강 주요 지점별 조사	23
4.2.1 주요 지점별 수질조사 결과	23
4.3 H-댐내 수질조사	28
4.3.1 H-댐 시설 현황	28
4.3.2 댐내 주요지점별 수질조사 결과	29
4.3.3 H-저수지 부영양상태 평가	35
제5장 H-댐 수질관리의 효율화 방안	37
5.1 저수지 유역의 수질관리 효율화 방안	37
5.1.1 하수처리 시설의 확충	37
5.1.2 접촉 산화수로	37
5.1.3 비점 오염원의 관리	38
5.1.4 수생식물에 의한 수질정화	38
5.1.5 수질오염 감시원제 운영	39
5.2 저수지내에서의 수질개선 방안	39
5.2.1 호수의 탈성층화	39
5.2.2 화학약품의 주입	39
5.2.3 준설	40
제6장 결 론	42
Appendix.....	44
감사의 글.....	56
참고문헌	57

List of Table

Table 2.1 Sampling site and number of sampling time in H-dam basin.....	2
Table 2.2 Analytic equipments and methods.....	3
Table 3.1 Status of H-dam basin area.....	4
Table 3.2 Administrative district and population.....	5
Table 3.3 Characteristics of H-river.....	6
Table 3.4 Status of branch stream in H-river.....	8
Table 3.5 Weather data around H-basin area.....	9
Table 3.6 The amount of rainfall in years.....	10
Table 3.7 The amount of wastewater in region.....	11
Table 3.8 Wastewaters from the industry.....	12
Table 3.9 The livestock wastes.....	13
Table 3.10 Wastes discharged from factories.....	14
Table 3.11 The status of pollutant source near a H-river.....	15
Table 4.1 Pollution loading in branch stream.....	20
Table 4.2 Characteristics of H-dam.....	28
Table 4.3 Relation of TSI with parameter.....	36
Table 4.4 Carason's TSI numbers of H-dam.....	36

List of Figure

Fig. 3.1 Map of the branch stream of H-river.....	7
Fig. 4.1 Variation of pH in branch stream.....	16
Fig. 4.2 Variation of BOD in branch stream.....	17
Fig. 4.3 Variation of COD in branch stream.....	17
Fig. 4.4 Variation of SS in branch stream.....	18
Fig. 4.5 Variation of T-N in branch stream.....	18
Fig. 4.6 Variation of T-P in branch stream.....	19
Fig. 4.7 Variation of pollution loading in branch stream.....	21
Fig. 4.8 Sampling sites of H-river.....	23
Fig. 4.9 Variation of pH along the H-river.....	24
Fig. 4.10 Variation of BOD along the H-river.....	25
Fig. 4.11 Variation of COD along the H-river.....	25
Fig. 4.12 Variation of T-N along the H-river.....	26
Fig. 4.13 Variation of T-P along the H-river.....	26
Fig. 4.14 Variation of SS along the H-river.....	27
Fig. 4.15 Sampling sites of H-dam.....	29
Fig. 4.16 Variation of temperature in the H-dam sites.....	30
Fig. 4.17 Variation of pH in the H-dam sites.....	30
Fig. 4.18 Variation of BOD in the H-dam sites.....	31
Fig. 4.19 Variation of COD in the H-dam sites.....	32
Fig. 4.20 Variation of T-P in the H-dam sites.....	33
Fig. 4.21 Variation of T-N in the H-dam sites.....	33
Fig. 4.22 Variation of chlorophyll-a in the H-dam sites.....	34

Investigation of water pollution in H-dam basin for improving water quality

Bon-Gon Koo

Department of Environment Engineering Graduate School of Industry
Pukyong National University

Abstract

The result that analysis the water quality data of H-river's main stream, twelve side streams and H-reservoir affecting H-river's main stream is as follows.

The pH values of twelve side streams are about pH 7.5. This values are generally showed in shallow stream. As for BOD, Sam-Ho-Chun had the highest concentration with average 3.6mg/ℓ and Mae-Gok-Chun had the lowest concentration with average 0.5mg/ℓ. The reason that Sam-Ho-Chun had comparatively high organic pollution degree is assumed the living sewage inflow from the region of Ung-sang-Eup residence. In the case of heavy metals, only Fe and Mn of metals are found. Specially Mn concentration of Sam-Ho-Chun (average 1.713mg/ℓ) was very high. Specific point pollution source around Sam-Ho-Chun is assumed the major cause, and after time continuous survey is needed. The total flow quantity of 12 side streams is 228,000m³/day. Mae-Gok-Chun is 25.4%, Peuyng-San-Chun 15.3%, Meoyng-Gok-Chun 11.4%.

As for BOD loading of each side stream, Peuyng-San-Chun is 19.5%, Gok-Chun-Chun 13.5%, O-Bok-Chun 12.4%, Mae-Gok Chun and Meoyng-Gok-Chun 11.9%, Ju-Nam-Chun 9.8%, But Heull-Su-Chun(3.4%), Ju-Jin-Chun(1.1%), So-Ju-Chun

(0.7%) are don't affect highly on the water quality of Hoi-Ya main stream.

As for BOD concentration of major 5 spots of H-river's main stream, Tong-Chun-Gyo is 1.7mg/ℓ, Cho-Chun-Gyo 1.9mg/ℓ, Dae-Dae-Gyo 1.4mg/ℓ, Hoi-Ya-Gyo 1.6mg/ℓ, So-Nam-Bo 1.6mg/ℓ. This show the good water quality of range first grade and second grade. BOD on summertime is relatively lower than on wintertime. As for T-P and T-N concentration of major 5 spots So-Nam-Bo in headwaters region has high value comparatively. This Shows that there is a direct effect of sewage. waste water partly discharged from Ung-Sang region. T-P and T-N are easily deposited and degraded on riverbed during short flow distance.

The concentration of Chlorophyll-a inside H-dam is the lowest on '97 December. The concentration is changed form 18.7μg/ℓ on march to 29.6μg/ℓ on June and is decrease to 20.8μg/ℓ on September again. This result shows that many algae occur on summer time. H- reservoirs is mesotrophic on March, eutrophic on June and Mesotrophic on September, December by TSI value of Carlson Indication table. Therefor we can say that Hoi-Ya reservoirs maintain good water quality. To conserve and improve the water quality of H-river, the setting out periodical design of construct about the capacity increase of sewage disposal plant, the supplement of intercept conduit, the sludge deposit spot of H-riverbed is needed.

The setting out riverbed's conduct and the administrative management on wastewater discharge company are also needed continuously. To improve the water quality of H-reservoirs, The 18 submerged aerator constructed on '96 must be managed efficiently. The increase of the aerator is able to be considered.

제1장 서론

산업의 발달과 인구 증가로 물 수요는 폭발적으로 증가하고 있어 용수 확보를 위한 비용과 인력의 투자는 막대한 증가일로에 있다. 용수공급을 위한 취수원은 크게 저수지, 하천수, 지하수 등으로 나눌 수 있는데, 그 중 저수지 및 하천수에서의 취수량이 절대적으로 차지하고 있어 댐을 포함한 하천수역에 대한 수질관리의 중요성은 매우 크다고 하겠다. 특히 우리나라와 같이 연간 강우량의 60%가 하절기에 집중되는 경우에는 하천의 하상계수가 매우 크므로 윤택한 국민생활과 산업발전에 부응하기 위해서는 풍부한 수량과 양질의 물을 공급할 수 있는 수자원의 확보가 필요하며, 또한 확보된 수자원도 수질오염 방지에 노력하지 않으면 점차 수자원으로서의 가치가 상실하게 될 것이므로 적절한 수질관리가 필요하다.

수원으로 이용하는 저수지가 양호한 수질상태를 유지하기 위해서는 유입되는 오염원의 근본적인 차단에 있다 하겠으나 현실적으로 상당한 어려움이 뒤따른다. 도심 주변의 대부분 하천은 유역으로부터 흘러드는 각종 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 및 비점 오염원으로 인하여 수질이 갈수록 악화되고 있는 실정이다. 특히 저수지 및 인공댐의 경우에는 집수구역에서의 인위적 활동 및 자연적인 특성에 의하여 유기물, 질소, 인 등의 오염물질이 호소내로 유입되어 장기간 체류하면서 화학 및 생물학적으로 많은 수질변화를 일으킨다.

울산시의 상수원인 H-댐 저수지는 1986년 완공되어 울산시민에게 하루 27만톤의 식수를 공급하는 주요한 상수원 댐이다. 그러나 댐이 축조된 지 10년이 지났고, 댐 상류인 양산시 웅상읍, 울산시 웅촌면 등에서 유입되는 공장폐수, 생활하수, 축산폐수 등과 '94년 9월부터는 상대적으로 수질이 더 나쁜 낙동강 원수 유입으로 인하여 H-저수지의 수질은 갈수록 악화될 우려가 있다. 따라서 하천이나 저수지 등의 수자원을 수질오염으로부터 보호 및 관리하기 위해서는 유입되는 오염원이 댐이나 하천의 수질에 미치는 영향을 면밀하게 조사 및 분석하는 것이 무엇보다 중요하다고 하겠다.

이에 본 연구에서는 H-댐 유역에 대한 수질특성 및 댐 내에서의 수질변화 등을 조사하여 효율적인 수질관리를 위한 기초자료로 활용하고자 한다

제2장 조사내용 및 방법

2.1 연구내용 및 범위

(1) 연구의 범위

- 1) H-강으로 유입되는 주요 지류하천 12개 지점
- 2) H-강 상류로부터 거리별 주요 5개 지점
- 3) H-댐내 대표 5개 지점

(2) 연구내용

- 1) 댐 유역 기초환경 조사
- 2) 이화학적 수질조사
- 3) 생물학적 수질조사
- 4) H-저수지의 부영양화 평가
- 5) H-저수지 및 유역의 수질개선 대책

2.2 조사지점 및 시료채수

H-강 지류하천 12개 지점에 대해서는 3월, 6월, 9월, 11월 4회에 걸쳐 조사하였으며, H-강 본류 5개 지점은 매월 1회, H-저수지는 12, 3, 6, 9월 등 분기1회 5개 지점 표층 및 심층에 대하여 조사하였다. 유역별 조사지점 및 횟수는 아래 Table 2.1에 나타내었다.

Table 2.1 Sampling site and number of sampling time in H-dam basin

구 분 내 용	지류 하천	회야강 본류	회야저수지
조사 지점	덕계천,평산천,주진천,혈수천,소주천,주남천,명곡천,삼호천,고연천,용당천,곡천천,오복천 등 12개 지류천의 하류지점	통천교,초천교,대교,회야교,소남보 등5개소의 수질 대표지점	취수탑,방수로,신리분교,신리고개,통천 등 각 5개소의 표층 및 심층(6m)지점
조사 횟수	분기 1회	월 1회	분기 1회

2.3 조사방법

측정항목별 분석방법은 Table 2.2에 나타내었는데, 시료의 수온 및 투명도는 현장에서 바로 측정하였으며, BOD 외 기타 항목들은 시료보존방법에 따라 전처리를 한 후 아이스박스에 보관하여 실험실로 운반 후 환경오염공정시험법 및 Standard Method에 의거하여 즉시 시험하였다.

Table 2.2 Analytic equipments and methods

항 목	분 석 방 법	비 고
수온	휴대용 디지털온도계	Testo 901 (독일)
pH	pH Meter	WTW pH 539 (독일)
DO	윌클러법 (현장에서 용존산소 고정 후 즉시 실험)	
BOD	윌클러 아지드변법	20℃에서 5일간 배양
COD	산성 과망간산칼륨법	
T-P	흡광광도법	HP 8452A (미국)
T-N	흡광광도법	HP 8452A (미국)
SS	GF/C 여지로 여과 후 중량법	
중금속	ICP(유도결합플라즈마 발광광도법)	Varian Liberty-Series II(호주)
클로로필-a	전처리 후 흡광광도법	HP 8452A (미국)
투명도	Secchi Disk(백색원판:직경25cm)	
유량	디지털 유속계 사용	Tamaya UC-3(일본)

제3장 H-댐 유역의 기초환경 조사

3.1 H-강 유역의 자연환경

3.1.1 유역의 개황 및 특성

H-강 유역은 경남 양산시 웅상읍 주율리 원효산(해발 922.2m)에서 발원하여 동쪽으로 유하하다가 부산에서 울산간 지방도로를 따라 북동측으로 유하하여 웅촌면 초정에서 우측으로 유하하여 H-수원지로 유입하고 있다. 위도상으로는 동경 129 ° 17' 04" ~ 129 ° 06' 20", 북위 35 ° 30' 42" ~ 35 °21' 02"에 위치하고, 행정구역으로는 울산시 울주군 청량면 덕하리 외 2개리와 웅촌면 석천리 외 8개리 및 양산시 웅상읍 주남리 외 8개 리 등 1개 광역시 1개 시 3개 읍, 면 21개 리를 포함하고 있다.

유역면적은 127.0km² 유로연장은 28.6km이다. 또한 H-강 유역의 형상은 동서축이 좁은 반면에 남북방향으로 길게 이어지는 장방형의 유역으로 유역의 평균축이 약 4.44km에 달한다. 유역의 평균하상구배는 1/220~1/43로써 중하류부는 대체적으로 완만한 편이나 상류부는 급한 편이며, 하폭은 37.0~115.0m 정도의 하도를 형성하고 있다. 이 유역에 주거하고 있는 가구는 총 19,127가구에 인구 61,410명중 남자 31,846명, 여자 29,564명으로써 그 현황은 Table 3-2과 같다.

토지이용현황은 Table 3.1와 같이 유역면적 127.0km² 중 단면적이 20.56km²로 16.2%, 전면적이 5.38km²로써 4.2%, 임야면적이 88.50km²로써 69.7%, 대지면적(공장,학교포함)이 2.87km²로 2.3%, 기타면적(도로,하천)이 9.69km²로써 7.6%를 각각 점유하고 있다. 유역의 평야면적과 임야면적의 구성비율은 30.3 : 69.7로서 우리나라 전체 비율 35 : 65로 볼 때 H-강 유역의 평야면적이 우리나라 전체 평야면적 비율보다 약간 적게 나타나고 있다.

Table 3.1 Status of H-dam basin area

행정구역			총계		임야		경지면적						대지		기타	
시.군	읍.면	동.리	면적	%	면적	%	소계	%	답	%	전	%	면적	%	면적	%
		21	127.0	100	88.50	69.7	25.94	20	20.56	16.2	5.38	4.2	2.87	2.3	9.69	7.6
울주군	청량면	3	9.87		7.08		1.88		1.49		0.39		0.21		0.70	
	웅촌면	9	52.61		35.53		9.50		9.50		1.58		0.80		5.19	
양산시	웅상읍	9	64.52		45.88		9.57		9.57		3.41		1.86		3.80	

Table 3.2 Administrative district and population

행정구역			가구수 (호)	가구당 인구(명)	인구(명)		
시.군	읍.면	동.리			계	남	여
2	3	21	19,127	3.2	61,410	31,846	29,564
울주군	청량면	12	3,264	3.4	11,094	5,658	5,436
		3	151	3.3	491	243	248
		덕하리	54		158	75	83
		동천리	34		127	60	67
		중리	63		206	108	98
	웅촌면	9	3,113	3.4	10,603	5,415	5,188
		석천리	86		288	138	150
		대북리	1,059		4,454	2,272	2,182
		숙천리	97		348	178	170
		곡천리	617		1,844	959	885
		은현리	256		793	397	396
		금단리	233		707	368	339
		대대리	431		1,230	628	602
		고연리	257		742	378	364
		통천리	77		197	97	100
양산시	웅상읍	9	15,863	3.2	50,316	26,188	24,128
		주남리	395		1,112	564	548
		용당리	523		1,582	805	777
		삼호리	2,118		6,952	3,684	3,268
		소주리	2,444		7,538	3,995	3,543
		명곡리	816		2,661	1,411	1,250
		주진리	303		900	468	432
		평산리	6,969		22,721	11,702	11,019
		덕계리	2,165		6,500	3,380	3,120
		매곡리	130		350	179	171

3.1.2 하천 및 수계현황

H-강 본류의 수계현황을 보면 양산시 웅상읍 주율리 원효산(해발 922.2m)에서 발원하여 동측방향으로 약 7km정도 유하하다 우측의 웅상읍 매곡리 무명산(해발 561.8m)에서 발원하여 서측방향으로 유하하고 있는 평산천과 합류되어 동북방향으로 유하하다 좌우측에서 각 지천들과 합류하여 유하하다가 웅촌면 숙정에서 오복천과 합류하여 동측방향으로 방향을 바꾸어 H-댐으로 유입된다. H-강의 특성 및 현황은 아래 Table 3.3에 나타내었다.

Table 3.3 Characteristics of H-river

주요지점	유역면적 A(km ²)	유로연장 L(km)	유역평균폭 A/L(km)	형상계수 A/L ²	하폭 (m)
H-댐 지점	127.0	28.6	4.44	0.16	220
오복천 합류전	96.3	19.9	4.84	0.24	115
곡천천 합류전	72.0	17.8	4.05	0.23	101
용당천 합류전	58.0	13.6	4.26	0.31	68
주남천 합류전	40.6	11.6	3.50	0.30	76
혈수천 합류전	33.8	10.2	3.32	0.33	56
주진천 합류전	24.8	8.2	3.01	0.37	73
평산천 합류전	10.7	7.0	1.54	0.22	37

H-강으로 유입되는 주요 지류천은 총 12개 하천으로 H-강 상류로부터 좌측에는 평산천, 주진천, 혈수천, 소주천, 주남천, 고연천, 곡천천, 오복천 등이 있고, 우측 상류로부터는 매곡천, 명곡천, 삼호천, 용당천 등이 자리잡고 있다. 지류천별 위치도 및 현황은 Fig 3.1과 Table 3.4에 나타내었다.

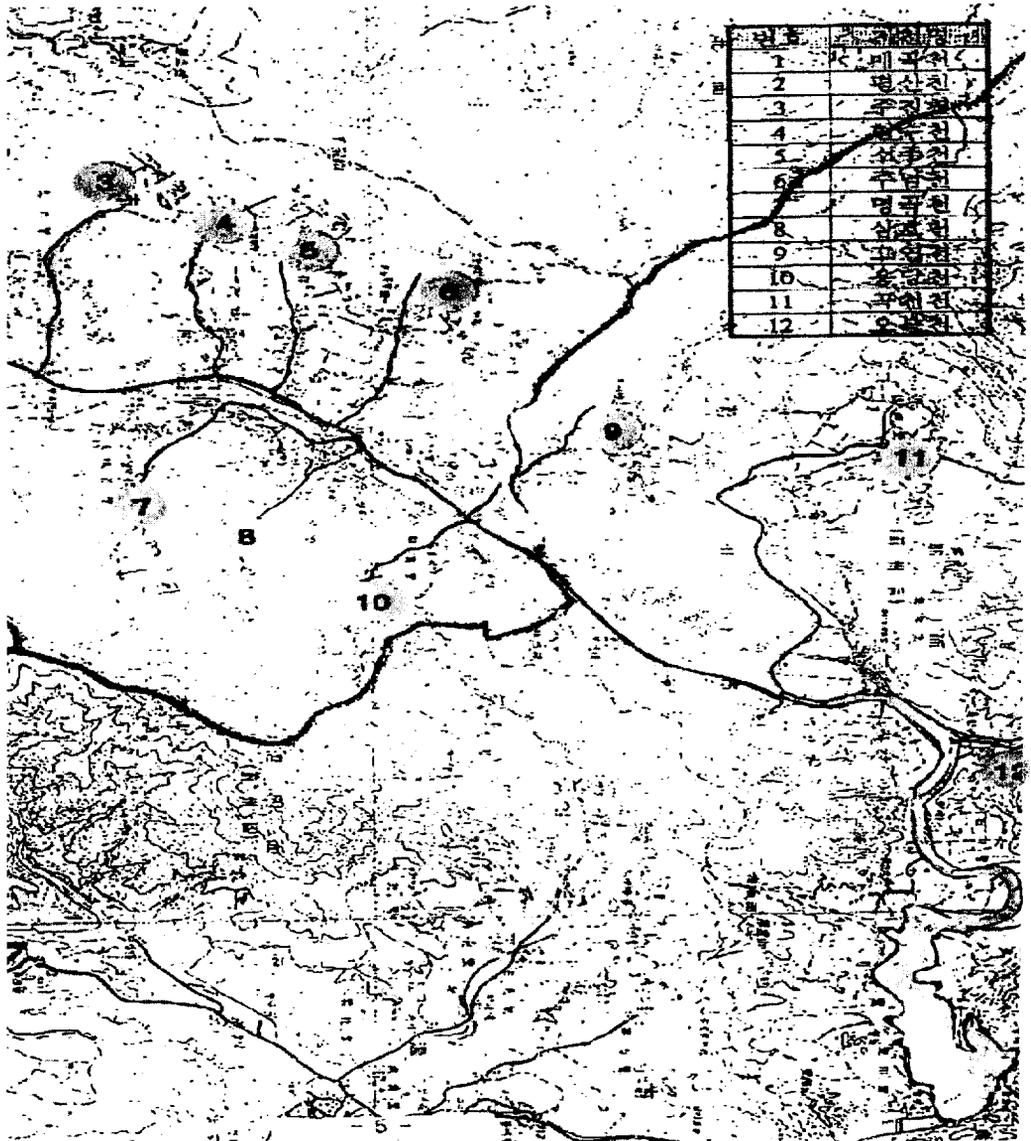


Fig. 3.1 Map of the branch stream of H-river.

Table 3.4 Status of branch stream in H-river

하천명	유로연장(km)	유역면적(km ²)	구 간		비 고
			기 점	종 점	
매곡천	5.3	12.2	양산시 웅상읍	양산시 웅상읍	지류
평산천	2.3	8.8	''	''	''
주진천	2.0	3.3	''	''	''
혈수천	1.5	2.8	''	''	''
소주천	2.3	2.4	''	''	''
주남천	3.5	7.0	''	''	''
명곡천	3.2	7.5	''	''	''
삼호천	1.0	2.3	''	''	''
용당천	1.8	5.0	''	''	''
고연천	1.0	6.6	울주군 웅촌면	울주군 웅촌면	''
곡천천	6.7	19.9	''	''	''
오복천	4.4	15.3	''	''	''

· 자료 : 한국 하천 열람

3.1.3 기상 현황

H-강 유역은 우리나라 동남단 내륙과 동해에 속하고 있어 동절기에는 대륙성기후의 영향을 받아 한랭건조하며, 기온의 일교차와 연교차가 심하고 하절기에는 해양성기후의 영향을 받아 고온다습하여 강우량도 비교적 많은 지역에 속한다. 따라서 동절기에는 다소 추운 반면에 하절기에는 무더운 기온분포를 보이고 있다.

울산측우소의 최근 10년간(1988년~1997년) 기상 및 강우 관측기록을 분석한 결과

Table 3.5와 같다. 연간강우량은 우리나라 연평균강우량 1,200mm보다 많아 회야강 유역(명곡 우량관측기록)이 1,545.1mm이고 일일최대 강우량은 541.0mm(명곡 '91. 8. 22)로 나타났으며, 연평균 발열량은 1,159.9mm, 연평균 상대습도 67.5%, 연평균 강우일수는 96일을 나타내고 있으며 강설일수는 3일, 결빙일수는 76일이다.

Table 3.5 Weather data around H-dam basin area

(관측소 : 울산, 명곡, 관측기간 : 1988~1997)

월별	기온(℃)					월평균강우량(mm)		평균 풍속(m/sec)	최대 풍속(m/sec)	발열량(mm)	평균상대습도(%)
	평균	평균 최고	평균 최저	최고	최저	울산	명곡				
1	1.6	7.2	-2.8	13.5	-9.2	33.7	37.6	2.5	10.7	58.5	52.6
2	3.1	8.3	-1.3	15.9	-7.6	48.3	62.0	2.6	10.0	57.5	56.1
3	7.3	12.4	2.7	19.8	-3.2	77.9	89.6	2.5	9.8	86.6	62.2
4	13.2	18.9	7.7	26.5	1.5	106.8	117.3	2.4	10.7	117.0	64.5
5	17.4	23.1	12.1	30.8	6.9	85.4	128.3	2.1	8.8	140.1	68.8
6	21.1	25.7	16.9	31.8	12.3	195.9	220.7	1.9	7.4	122.0	76.8
7	25.0	28.9	21.7	35.3	17.7	224.4	245.9	1.9	8.3	128.0	81.8
8	25.1	29.9	22.6	31.1	19.3	255.0	321.0	2.1	10.4	141.6	80.7
9	21.4	25.6	17.8	31.3	11.6	194.1	184.0	1.8	8.0	90.3	79.2
10	15.8	21.6	10.9	27.1	4.0	56.0	63.6	1.8	8.6	92.6	68.8
11	9.5	15.7	4.4	22.1	-2.3	36.4	39.9	1.9	9.4	66.9	61.8
12	4.2	10.1	-0.5	18.8	-7.0	33.0	35.2	2.3	9.7	58.4	56.6
연평균	13.8	18.9	9.2	35.3	-9.2	1,347.0	1,545.1	2.2	10.8	1,159.9	67.5

다음은 H-강 유역의 최근 4년간('95~'98) 상류(웅촌면), 댐(H-정수장) 및 기상대에서 관측한 월별 강우량을 Table 3.6에 나타내었다. H-강 유역의 연간 강우량은 우리나라 연평균 강우량 1,200mm에 비하여 '95, '96년에는 비교적 적으나 '97, '98년도에는 월등히 많았다. 강우량은 하천의 수질에 결정적인 영향을 미치는데 최근 2년간의 많은 강우로 H-댐 수질에도 좋은 영향을 끼친 것으로 보아진다.

Table 3.6 The amount of rainfall in years

년도 지역 월별	1995			1996			1997			1998		
	상류	댐	기상대	상류	댐	기상대	상류	댐	기상대	상류	댐	기상대
계	1212.8	1314.8	950.9	1202.2	1061.2	987.9	1541.1	1222.2	1233.4	2154.1	2018.9	1704.9
1	47.4	46.5	45.2	88.8	80.1	70.7	7.9	7.0	7.7	111.3	121.2	115.9
2	16.5	14.6	16.6	1.5	0.4	0.3	3.3	3	4.6	105	103.8	74.1
3	77.9	76.5	63.5	108.6	113.2	97.1	41.6	28.9	26.4	73.7	56.5	56
4	109.1	81.4	75.3	108.6	525.2	63.9	73.7	44.6	37.9	219	176.2	167.6
5	216.2	206	198.4	157.2	144.2	138.8	241.5	185.4	196.5	189.2	178.5	178.9
6	204.5	252.1	125.2	283.2	267.5	275.6	327.9	253.1	369.5	333.1	369	263.3
7	296.3	270.2	203.7	204.9	188.5	190.2	218	146.8	172.4	371.5	326.1	237.5
8	182.2	188.2	173.9	88.7	84	61.8	234.7	191.7	169.3	271.3	212	226.4
9	0	55.2	0	6.8	0.5	2.8	48.6	56.5	38.2	340	358.3	259.6
10	56.5	40.2	47.1	65.8	52.2	11.8	0	0	0	114	99.5	107.1
11	6.2	2.5	2	56.2	46.4	48.0	245.8	212.5	164	26	17.8	18.5
12	0	0	0	32.2	32	26.9	104.1	92.7	62.9	-	-	-

3.2 오염원 현황

H-강 유역의 오염원에는 크게 나누어 점오염원과 비점오염원으로 나눌 수 있는데, 여기서는 주로 점오염원만 다루었다. 주요 점오염원에는 댐상류 웅촌 및 웅상지역의 생활하수, 공장폐수, 축산폐수 등이 있다

3.2.1 생활하수 발생량

생활하수량은 일반적으로 가정에서 배출되는 가정오수가 대부분으로 그 지역의 인구, 생활수준에 따라 다소 다른데, 지역별 생활하수 발생량은 Table 3.7에 나타내었다

Table 3.7 The amount of wastewater in region

지역별		가구수	인구수	발생량 (m ³ /일)
계		19,433	60,874	15,827
웅촌면	소계	3,579	10,558	2,745
	곡천	617	1,844	479
	금단	233	707	184
	은현	256	793	206
	고연	257	742	193
	대대	431	1,230	320
	초천	104	303	79
	통천	77	197	51
	석천	86	288	75
	대북	1,059	4,454	1,158
웅상읍	소계	15,863	50,316	13,082
	용당	523	1,582	411
	삼호	2,118	6,952	1,808
	주남	395	1,112	289
	소주	2,444	7,538	1,960
	명곡	816	2,661	692
	주진	303	900	234
	평산	6,969	22,721	5,907
	덕계	2,165	6,500	1,690
	매곡	130	350	91

- 자료 : 울산광역시, 양산시 통계자료 ('97. 12)
- 생활하수 발생량 : 260 ℓ/인 /일 기준

3.2.2 공장현황 및 오수발생량

H-강 유역의 공장 현황은 Table 3.8에 나타내었는데, 총 업체수 665개에 종업원은 18,865명으로 1인 오수발생량 40 ℓ를 기준하여 하루 755m³의 오수가 발생한다. 공장폐수는 전량 차집관로를 통하여 H-하수종말처리장으로 유입시켜 처리 후 우회관로를 통하여 H-댐 하류로 방류시키고 있다.

Table 3.8 Wastewater from the industry

지역별		업소수	종업원수	오수발생량 (m ³ /day)
계		665	18,865	755
응촌면	소계	233	2,990	120
	곡천	39	349	14
	금단	26	134	5
	은현	10	53	2
	고연	80	1,294	52
	대대	42	943	38
	초천	8	32	1
	통천	1	4	0.1
	석천	-	-	-
	대북	27	191	8
응상읍	소계	432	15,865	635
	용당	31	769	31
	삼호	9	297	12
	주남	35	2,987	119
	소주	128	4,549	182
	명곡	4	116	5
	주진	24	692	28
	평산	119	2,620	105
	덕계	82	3,835	153
	매곡	-	-	-

- 자료 : 울산광역시, 양산시 통계자료 ('97. 12)
- 생활하수 발생량 : 260 ℓ/인 /일 기준

3.2.3 축산폐수 현황

유역에서 발생하는 축산폐수 현황을 Table 3.9에 의하면 웅촌면에서 167m³/일, 웅상읍 지역에서 252m³/일로 총 419m³/일의 축산 폐수가 발생하는 것으로 조사되었다.

Table 3.9 The livestock wastes

지역별	계				발생량 (m ³ /일)	지역별	계				발생량 (m ³ /일)		
	우사		돈사				우사		돈사				
	개소	마리	개소	마리			개소	마리	개소	마리			
계	335	2,821	68	26,699	419								
웅 촌 면	소계	260	1,974	19	8,174	167	소계	75	847	49	48,525	252	
	고연	40	140	7	3,420	46	주남	5	195	21	7,666	99	
	검단	51	570	3	900	31	주진	1	20	4	2,860	35	
	곡천	10	100	2	1,530	22	삼호	4	146	2	1,426	22	
	은현	70	522	2	850	29	웅상 읍	덕계	4	5	10	6,075	37
	대북	17	179	4	1,219	21	명곡	10	45	3	573	9	
	대대	28	127	-	-	4	용당	23	126	1	200	6	
	초천	19	73	1	255	6	평산	4	77	4	690	11	
	통천	5	138	-	-	5	매곡	15	102	3	1,962	28	
	석천	20	95	-	-	3	소주	9	131	1	73	5	

· 자료 : 웅촌면, 웅상읍 산업계('98. 6)

· 축산폐수 발생원단위 : 소 35 l/두/일, 돼지 12 l/두/일

3.2.4 공장폐수 배출업소 및 발생량

유역에서 폐수가 발생하는 공장 현황을 Table 3.10에서 보면 전체 공장은 87개소이며, 이들 중 86%인 75개소가 5종 이하인 소규모 공장들이다. 폐수배출량 일일 10,133 m³는 전량 차집관로를 통하여 H-하수처리장으로 유입되고 있다.

Table 3.10 Wastes discharged from factories

지 역 별	배출량 (m ³ /일)	종 별						비 고	
		계	1	2	3	4	5		
계	10,133	87	2	3	3	4	75		
웅촌면	소계	위탁(7.7) 재이용(53) 관로(5)	12	-	-	-	-	12	
	고연	위탁(7.4) 재이용(0.16)	6	-	-	-	-	6	자동차부품
	곡천	재이용(21)	1	-	-	-	-	1	레미콘
	대대	재이용(6.8)	1	-	-	-	-	1	고무 및 플라스틱
	대북	위탁(0.34) 재이용(25) 관로(5)	4	-	-	-	-	4	레미콘, 병원
웅상읍	소계	10,128	75	2	3	3	4	63	
	덕계	97	17	-	-	-	1	16	세차장, 레미콘
	소주	4,927	25	1	1	1	2	20	식료품제조, 섬유제품
	평산	934	9	-	1	2	-	6	종이제품
	주진	48	3	-	-	-	-	3	섬유제품
	주남	1,085	7	-	1	-	1	5	종이제품
	용당	3,007	3	1	-	-	-	2	종이제품
	삼호	29	8	-	-	-	-	8	세차장
	명곡	1	3	-	-	-	-	3	세차장

• 자료 : 양산시, 울산시 환경위생과

3.2.5 H-강 수계 총오염원 현황

Table 3.11에 의하면 H-담 상류에서 발생하는 오·폐수는 총 29,789m³/일이며, 그 중 생활하수가 15,827m³/일로 53%를 차지하고 산업폐수는 10,133m³/일로 34%, 오수정화시설은 2,655m³/일로 9%, 비폐수 공장의 오수가 755m³/로 2.5%, 축산폐수가 419m³/일로 1.5%를 차지하고 있다. 이는 대부분 차집관거를 통하여 H-하수처리장(시설용량 : 32,000m³/일)으로 유입처리 후 회야담 외부로 방류하고 있으나 일부 하·폐수등은 회야강으로 유입될 우려가 있을 것으로 추측된다.

Table 3.11 The status of pollutant source near a H-river

산업폐수		비폐수(공장등록)		생활하수		오수정화시설	
업소(개)	배출량 (m ³ /일)	업소(개)	배출량 (m ³ /일)	인구(명)	배출량 (m ³ /일)	시설수	배출량 (m ³ /일)
87	10,133	665	755	60,874	15,827	133	2,655

축 산 폐 수

허가현황				신고대상				신고미만				배출량 (m ³ /일)
우사		돈사		우사		돈사		우사		돈사		
개소	마리	개소	마리	개소	마리	개소	마리	개소	마리	개소	마리	
2	227	11	8,980	10	383	33	12,096	323	2,211	24	5,623	419

제4장 결과 및 고찰

4.1 지류하천 수질조사 결과

4.1.1 지류 하천별 수질조사 결과

Fig 4.1에서 H-강 상류지점 12개지점의 네차례에 걸친 pH변화를 보면 최저 6.4(삼호천 4차)에서 최고 8.6(평산천 3차)을 나타내고 있다. 상류지점인 평산교에서는 pH 변동폭도 크며 pH도 비교적 높은편(평균 8.2)인데, 이는 하천유량에 비하여 유량집측 면적이 넓어 조류 활동의 영향을 다소 받은 것으로 보인다. 조사시기에 따라서는 3월, 6월, 9월, 11월의 순으로 pH가 높은 편이며, 전체적으로는 pH 7.5 전후의 알은 하천에서 볼 수 있는 비교적 약간 높은 pH값을 보인다.

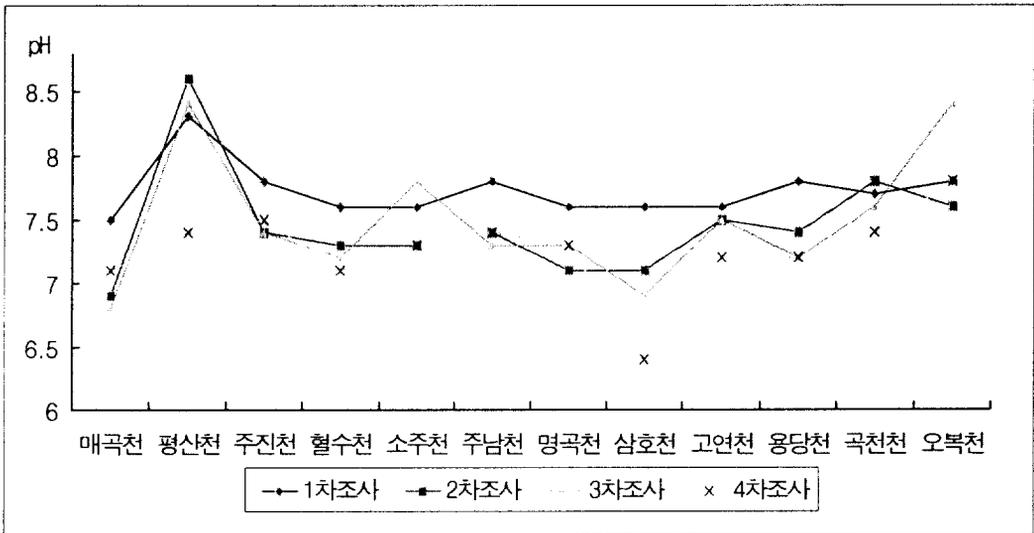


Fig. 4.1 Variation of pH in branch stream.

BOD의 연간농도를 Fig. 4.2에서 보면 0.2~6.4mg/l로 삼호천(평균 3.6mg/l, 1.0~6.4mg/l)이 가장 높았고 매곡천(평균 0.5mg/l, 0.3~0.9mg/l)이 가장 낮게 조사되었다. BOD 농도는 전 지류천(평균 1.4mg/l)에서 연중 매우 낮게 나타났는데 이는 금년에 잦은 강우로 인하여 1~2급수의 양호한 수질을 유지한 것으로 보인다.

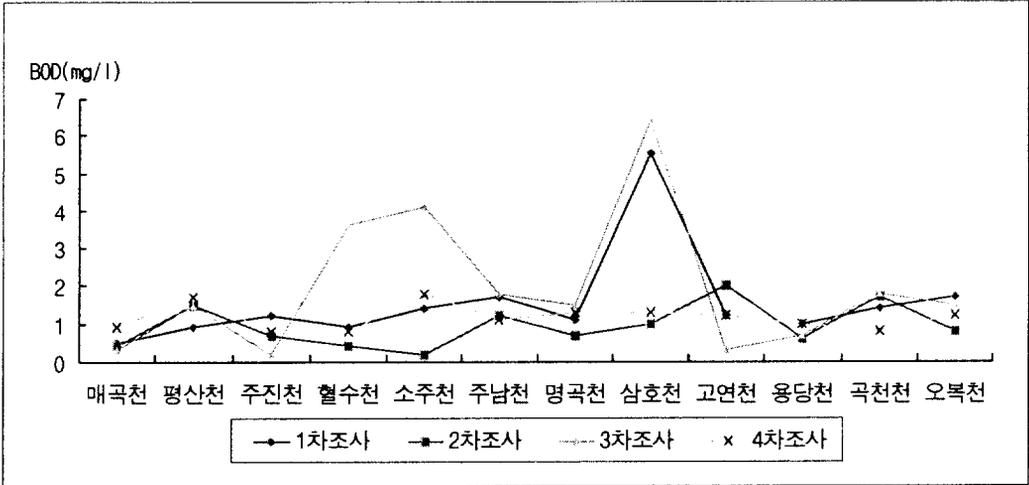


Fig. 4.2 Variation of BOD in branch stream.

Fig. 4.3에서 COD의 농도는 0.9~13.1mg/l의 변화를 보였고 지류천 중에서 삼호천 (평균 6.9mg/l, 2.5~13.1mg/l)에서 최대농도와 상류지역인 매곡천(평균 1.4mg/l, 0.9~1.8mg/l)에서 최소 농도를 보였다. COD 농도는 전 지류천에서 년중 비교적 낮게 나타났으나 삼호천에서만 다소 높은 농도를 보이는데, 이는 용상읍(서창) 주변의 주거지역에 발생하는 생활하수가 유입되는 것으로 생각되며 지속적인 관찰이 필요할 것으로 보인다.

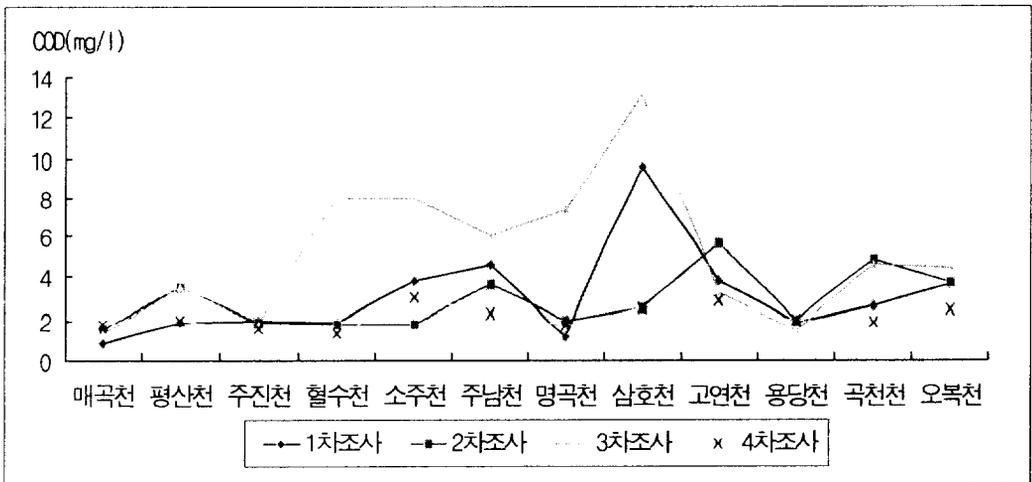


Fig. 4.3 Variation of COD in branch stream.

연중 4차례에 걸쳐 12개 지점에서 측정된 SS값을 Fig. 4.4에서 보면 최저 0.4mg/l (용당천)에서 최고 545mg/l(삼호천)을 나타내었다. SS 농도의 최고치는 1차조사시(3월) 삼호천에서 측정된 자료이며, 이는 당시 많은 강우로 대부분 지천에서 높게 나타났는데 비정상적인 경우로 해석해야 할 것이다. 나머지 2, 3, 4차조사에서는 평균 5.8 mg/l로 비교적 안정된 값을 보인다. 하천수의 SS에 대한 수질기준에 따르면 25mg/l 이하이면 상수원 1~3급수의 수질로 애매하게 평가하고 있는데 전체 조사지점에서의 평균농도는 21.6mg/l로만 수질을 평가한다면 상수원 1~3급수로 볼 수 있다.

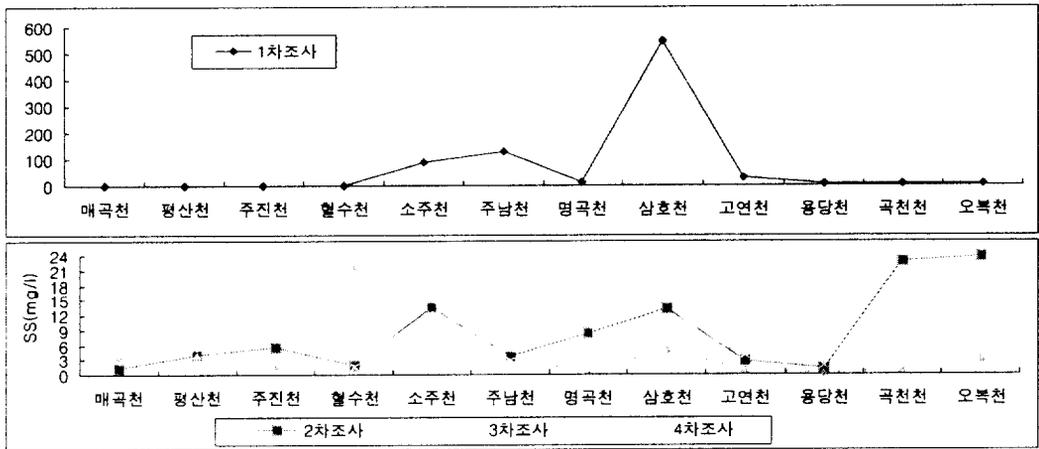


Fig. 4.4 Variation of SS in branch stream.

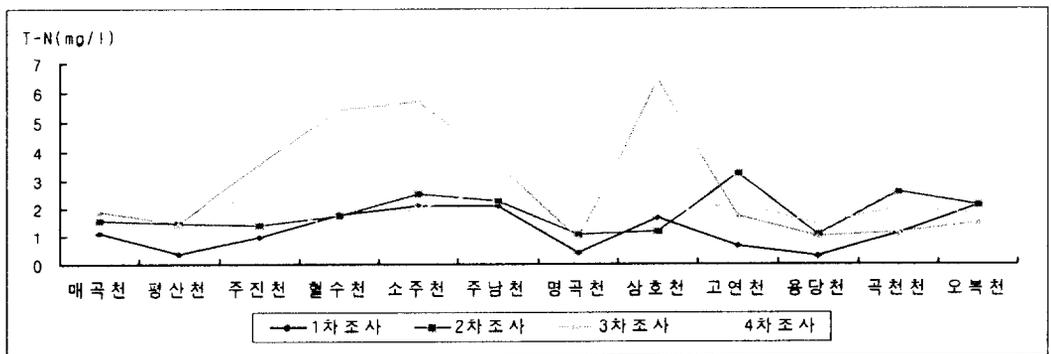


Fig. 4.5 Variation of T-N in branch stream.

Fig. 4.5에서 총질소의 농도 변화는 0.29~6.48mg/l인데 조사시기별 농도변화를 보면 상류지역인 매곡천, 평산천과 하류지역인 용당천, 곡천천, 오복천 등은 비교적 안정된 수치를 보이

나 중류지역 지천인 혈수, 소주, 명곡, 삼호, 고연천에서는 그 변화폭이 심하게 나타났다.

총인의 농도를 Fig. 4.6에서 보면 0.019~0.749mg/l의 변화를 보여 주고 있으며, 지류천 중 소주천(평균 0.259mg/l, 0.038~0.749mg/l)이 가장 높은 농도를 보였고, 용당천(평균 0.023mg/l, 0.019~0.029mg/l)에서 가장 낮은 농도로 나타났다. 3차 조사시기(9월)에 주진, 혈수, 소주, 주남천에서 비교적 높게 나타난 것은 당시 강우 후 농경지 유입수의 원인으로 생각된다.

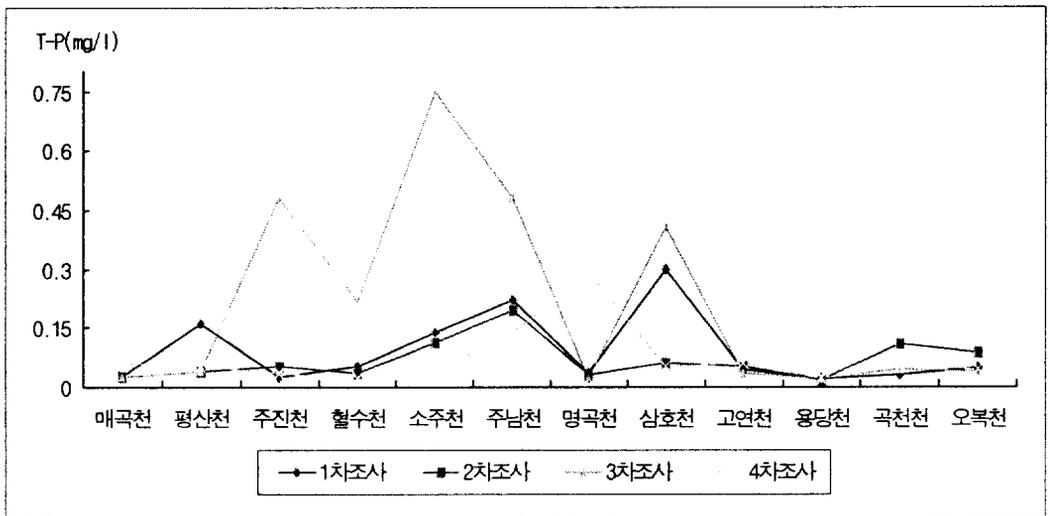


Fig. 4.6 Variation of T-P in branch stream.

기타 중금속의 경우는 Pb, Cr, Cd, Hg, As, Fe, Mn 등 총 7개 항목에 대하여 분석하였으며, 이중 Fe, Mn을 제외하고는 모두 불검출로 나타났다.

망간의 경우 특이하게 삼호천(평균 1.713mg/l, 0.568~2.848mg/l)에서만 높게 검출되고 있는데, 이는 삼호천으로 흘러드는 주변의 특정 점오염원이 그 원인이라 생각되며 향후 지속적인 관찰이 필요할 것으로 보인다.

4.1.2 지류천이 H-강 본류 수질에 미치는 영향

상류 매곡천, 평산천에서 10개 지류천과 합류하면서 완전혼합흐름이라고 가정하고 회야강 본류의 유하거리, 유하시간 등은 고려하지 않은 오염부하량을 산정하였고 유량 측정은 유속계를 사용, 수심 및 하천단면 구간별 평균유속에 통수단면적을 곱해서 산정하였다. 유량 측정은 2차(6/15) 및 4차(11/16)조사시 실시하였으며, 오염부하량 산정시의 유량과 오염물질농도는 채수횟수의 평균값을 적용하여 Table 4.1에 나타내었다.

Table 4.1 Pollution loading in branch stream

순번	지류천명	유량		BOD			COD			SS			T-N		
		평균 유량 (천m ³ /day)	비율 (%)	농도 (mg/ℓ)	부하량 (kg/d)	부하량 (%)	농도 (mg/ℓ)	부하량 (kg/d)	부하량 (%)	농도 (mg/ℓ)	부하량 (kg/d)	부하량 (%)	농도 (mg/ℓ)	부하량 (kg/d)	부하량 (%)
1	매곡천	58	25.4	0.52	30.16	11.9	1.35	78.30	12.6	5.0	290.0	13.0	1.77	102.66	24.9
2	평산천	35	15.4	1.40	49.00	19.5	2.72	95.2	15.3	4.25	148.7	6.7	1.46	51.1	12.4
3	주진천	4	1.8	0.72	2.88	1.1	1.82	7.28	1.2	2.95	11.8	0.5	2.01	8.04	1.9
4	혈수천	6	2.6	1.42	8.52	3.4	3.25	19.5	3.1	6.7	40.2	1.8	2.31	13.86	3.4
5	소주천	1	0.4	1.87	1.87	0.7	4.15	4.15	0.7	28.8	28.8	1.3	3.08	3.08	0.7
6	주남천	17	7.6	1.45	24.65	9.8	4.12	70.04	11.2	34.6	588.2	26.4	3.15	53.55	13.0
7	명곡천	26	11.4	1.15	29.90	11.9	3.08	80.08	12.8	5.95	154.7	6.9	1.63	46.38	11.2
8	삼호천	3	1.3	3.55	10.65	4.3	6.92	20.76	3.3	143.2	429.6	19.3	3.03	9.09	2.2
9	고연천	13	5.7	1.17	15.21	6.0	3.85	50.05	8.0	8.95	116.4	5.2	1.71	22.23	5.4
10	용당천	17	7.4	0.82	13.94	5.5	1.85	31.45	5.0	2.0	34.0	1.5	0.96	16.32	3.9
11	곡천천	24	10.5	1.42	34.08	13.5	3.47	83.28	13.3	7.85	188.4	8.4	1.72	41.28	10.0
12	오복천	24	10.5	1.30	31.20	12.4	3.52	84.48	13.5	8.40	201.6	9.0	1.89	45.36	11.0
계		228	100	-	252.0 6	100	-	624.5 7	100	-	2,232 .4	100	-	412.95	100

Table 4.1에 의하면 H-강 상류 매곡천에서부터 11개 지천을 거쳐 하류 통천 지점에서의 최종 유량은 250,000m³/day이며 12개 지류천의 유량합계는 228,000m³/day로 회야강 유량의 91%를 차지하였다. 이들 지류천의 유량비는 매곡천 25.4%, 평산천 15.4%, 명곡천 11.4%, 곡천천과 오복천이 10.5%, 주남천 7.6%의 순으로 나타났으며, 이 중 매곡천이 가장 많은 양의 유량이 유입되는 것으로 나타났다. 그러나 이들 지류천은 계절별 또는 지역적 상황에 따라 다소 변동이 있을 것으로 보여진다.

BOD 농도를 보면 삼호천(3.55mg/l) > 소주천(1.87mg/l) > 주남천(1.45mg/l) > 곡천천, 혈수천(1.42mg/l) > 평산천(1.40mg/l) > 오복천(1.30mg/l) > 고연천(1.17mg/l) > 명곡천(1.15mg/l)의 순으로 나타났다. 삼호천의 BOD 농도가 상대적으로 높은 것은 응상읍(서창) 주변의 주거지역에서 발생하는 생활하수의 유입이 주원인으로 생각되며 12개 지천 중 최상류지역에 위치한 매곡천의 수질이 가장 양호한 것으로 나타났다.

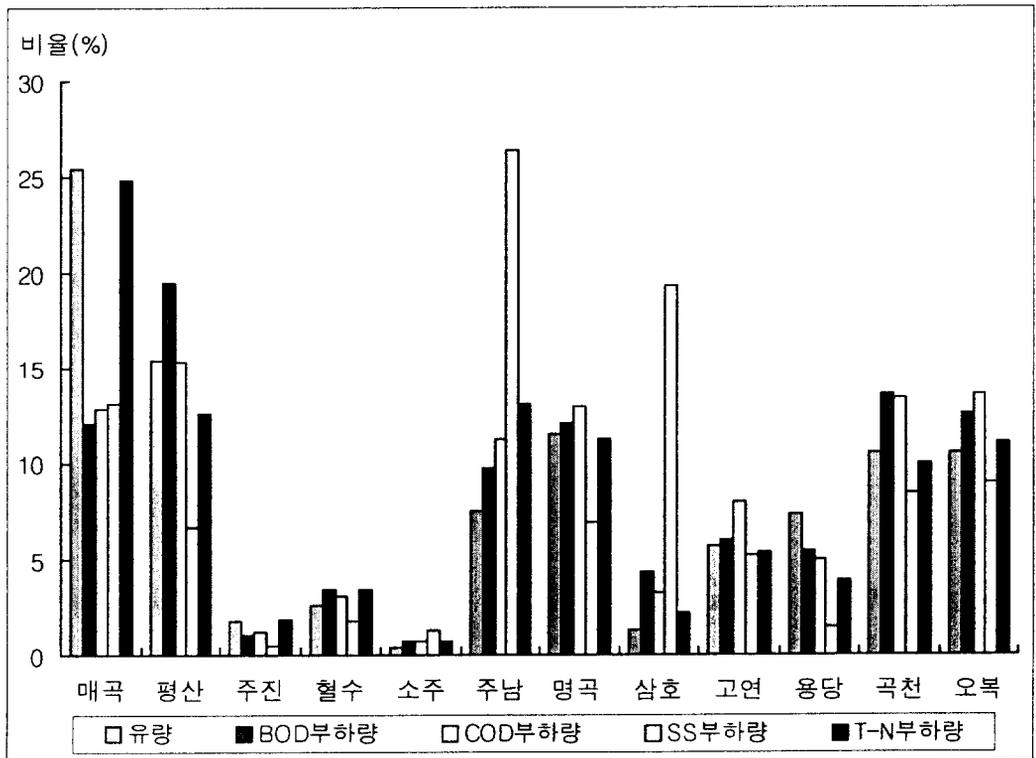


Fig. 4.7 Variation of pollution loading in branch stream.

각 지류천의 주요오염물질 부하량은 Fig 4.7에 나타내었는데, BOD 부하량의 특성을 보면 평산천이 49.00kg/day로 19.5%를 차지하고 곡천천이 13.5%, 오복천 12.4%, 매곡천과 명곡천이 11.9%, 주남천 9.8%의 순으로 나타났다. 그 외 혈수천 3.4%, 주진천 1.1%, 소주천 0.7%로 H-강 본류 수질에는 크게 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

지류천의 COD 부하량(%)의 경우도 평산천이 15.3%로 가장 크게 영향을 미치고 있으며 오복천이 13.5%, 곡천천이 13.3%, 명곡천 12.8%, 매곡천 12.6%의 순으로 BOD와 비슷한 경향을 보이고 있다.

SS 부하량의 경우는 주남천이 588.2kg/day로 26.4%를 차지하고 삼호천이 19.3%, 매곡천 13.0%, 오복천 9.0%, 곡천천 8.4%, 명곡천 6.9% 순으로 나타났다. T-N 부하량은 매곡천이 102.66kg/day로 24.9%의 비율로 가장 많이 차지하고 있으며, 주남천이 13.0%, 평산천이 12.4%, 명곡천 11.2%, 오복천 11.0%의 순으로 차지하였다. 오염물질 부하량을 종합하여 보면 비교적 유량이 많은 매곡천, 평산천, 곡천천, 오복천 등이 비교적 많은 부하량을 차지하고 있으며, 유량이 적은 주진천, 혈수천, 소주천 등은 H-강 본류 수질에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다.

4.2 H-강 주요 지점별 조사

4.2.1 주요 지점별 수질조사 결과

H-강의 지형, 지리 및 주변여건을 고려하여 하류로부터 통천교, 초천교, 대대교, 회야교, 소남보 등 5개지점을 선정하여 월 1회 조사하였다. 조사지점의 위치도는 Fig 4.8에 나타내었다.

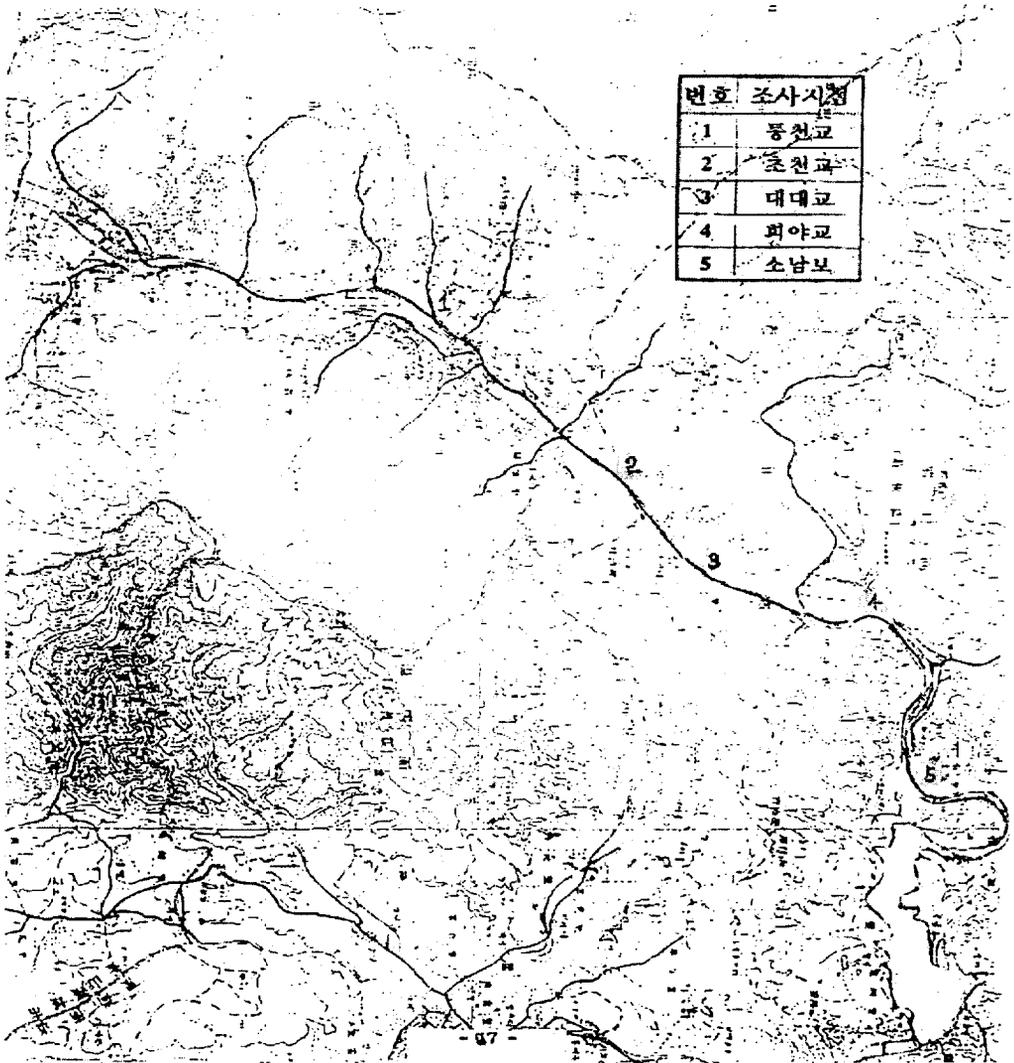


Fig. 4.8 Sampling sites of H-river.

1) pH

'97. 12~'98. 11까지 12개월에 걸쳐 H-강 상류 5개지점에서의 pH를 Fig 4.9에서 보면 최저 6.9~최고 8.5를 나타내고 있다. 9월에는 5개지점에서 pH가 7.4~8.5, 평균 8.0으로 가장 높게 나타났는데, 특히 하류지점인 통천, 초천, 대대교 지점에서 pH가 높은 것은 낮시간에 활발한 조류의 광합성 작용으로 물속의 CO₂를 소모한 것으로 보인다. 전반적으로 큰 변화는 보이지 않고 있으나 계절별로 보면 동절기가 하절기보다 pH가 약간 낮게 나타나는 경향이 있다.

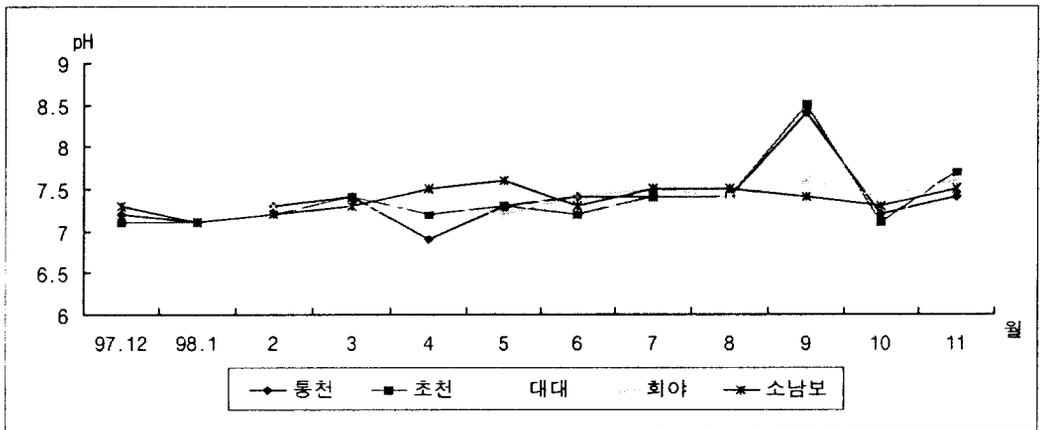


Fig. 4.9 Variation of pH along the H-river.

2) BOD

Fig 4.10에서 BOD의 경우, 최저 0.8에서 최고 3.0mg/l로 나타났으며 지점별 평균 농도를 보면 통천교 1.7mg/l, 초천교 1.9mg/l, 대대교 1.4mg/l, 회야교 1.6mg/l, 소남보 1.6mg/l로 대대교 > 회야교 > 소남보 > 통천교 > 초천교 순으로 오염도가 낮았다. 초천교에서 약간 높게 나타나는 것은 웅촌지역의 하수 또는 H-하수처리장의 영향도 짐작해 볼 수 있으며, 또한 얇은 하상과 빠른 유속으로 하상바닥의 퇴적 유기물이 일부 재용출된 것으로 추측할 수 있다. 계절별로는 하절기가 동절기에 비해 상대적으로 약간 낮게 나타났다. 연중 풍부한 강우로 인하여 BOD의 변화폭이 대체로 고르게 나타났으며 BOD의 하천수 수질기준으로 본다면 1~2급수의 양호한 수질을 유지하고 있다.

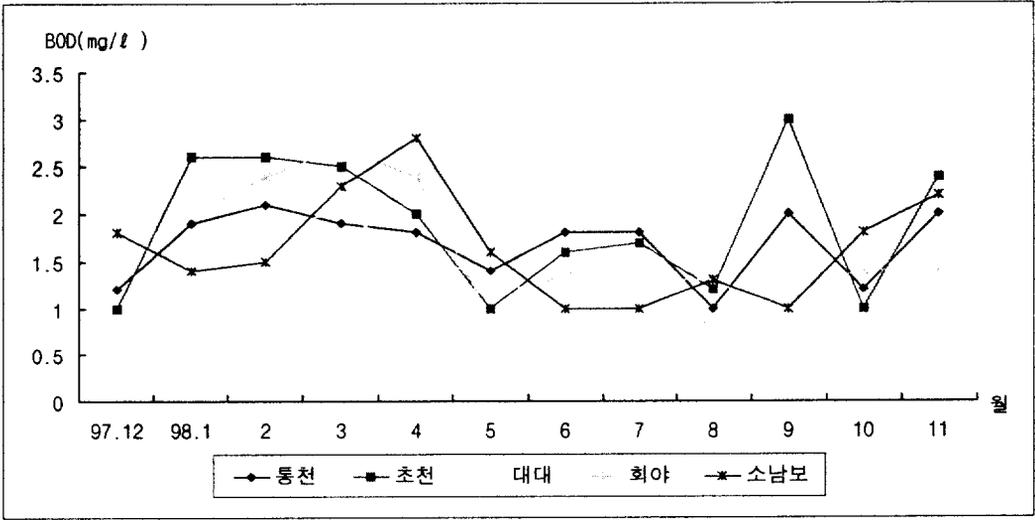


Fig. 4.10 Variation of BOD along the H-river.

3) COD

COD의 농도변화를 Fig 4.11에서 보면, 최저 2.5mg/l 에서 최고 6.0mg/l 로 연중 고른 분포를 나타내고 있으며 지점별 평균 농도는 통천교와 초천교 4.0mg/l , 대대교 3.3 mg/l , 회야교 3.5mg/l , 소남보 3.9mg/l 로 대대교 > 회야교 > 소남보 > 통천 및 초천교의 순으로 오염도가 낮았다. 이는 BOD와 비슷한 순으로 나타났다.

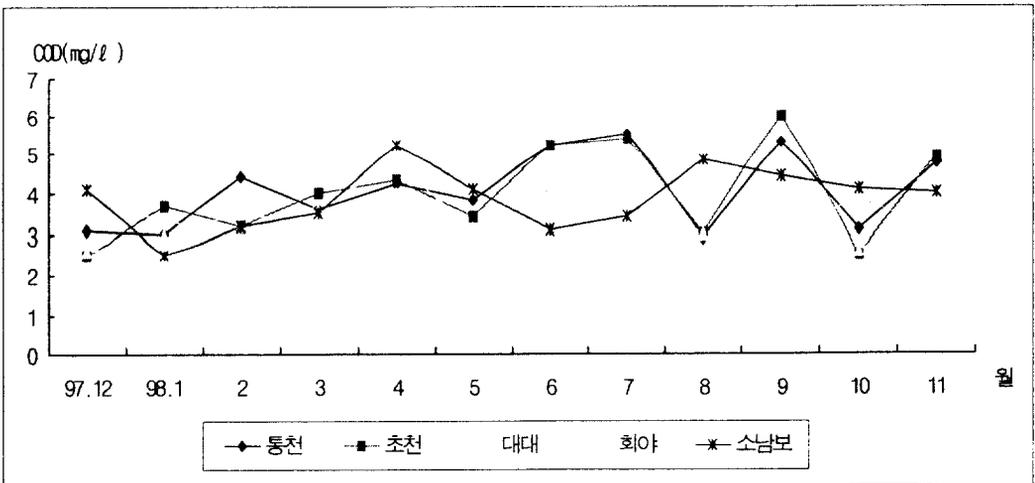


Fig. 4.11 Variation of COD along the H-river.

4) T-N

Fig 4.12에서 상류지역인 소남보에서 T-N 농도가 비교적 높게 나타난 것은 웅상지역에서 일부 유출되는 하·폐수의 직접적인 영향이 있음을 짐작할 수 있다. 하천에서 총질소의 경우 비교적 짧은 유하거리에서 쉽게 하상으로 퇴적 또는 분해되는 것을 알 수 있다. 지점별 평균농도를 보면 통천교 2.27mg/l, 초천교 2.49mg/l, 대대교 2.01mg/l, 회야교 2.34mg/l, 소남보 2.95mg/l로 대대교가 가장 낮은 농도이며 상류 소남보가 가장 높게 나타났다.

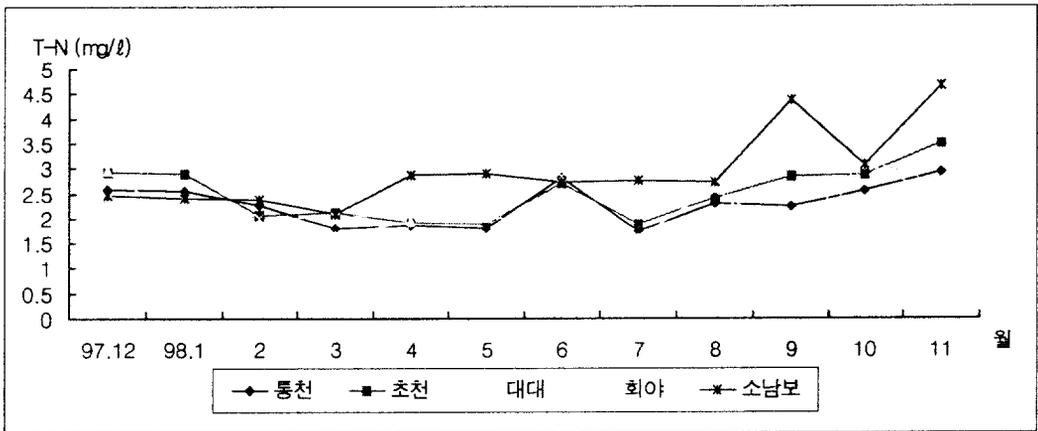


Fig. 4.12 Variation of T-N along the H-river.

5) T-P

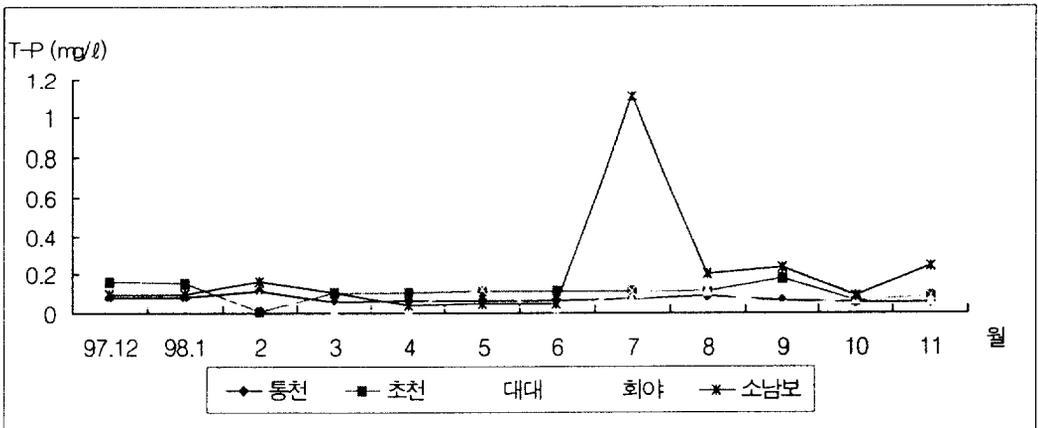


Fig. 4.13 Variation of T-P along the H-river.

Fig 4.13에서 T-P도 T-N과 비슷하게 상류지역인 소남보에서 비교적 높게 나타났으며, 나머지 지점에서는 고른 분포를 보이고 있다. 총인의 경우에도 일정한 유하거리에서 다른 물질과 반응하여 하천 바닥으로 쉽게 침전되는 것을 알 수 있다. 지점별 평균 농도를 보면 소남보가 가장 높고 대대교가 가장 낮게 나타났다.

6) SS

SS는 시각적으로 오염현상을 가장 단적으로 보여주는 요소로 강우에 의한 작용이 커서 시료 채취시기와 강우시기에 따라 큰 차이를 보일 수 있다. 첫 강우시기인 4월에 전구간에 걸쳐 부유물질 농도가 가장 높았으며, 8월에 소남보에서 SS농도가 특별히 높은 것은 부근 소주공단의 일시적인 공사로 인하여 높게 나타난 것으로 보인다.

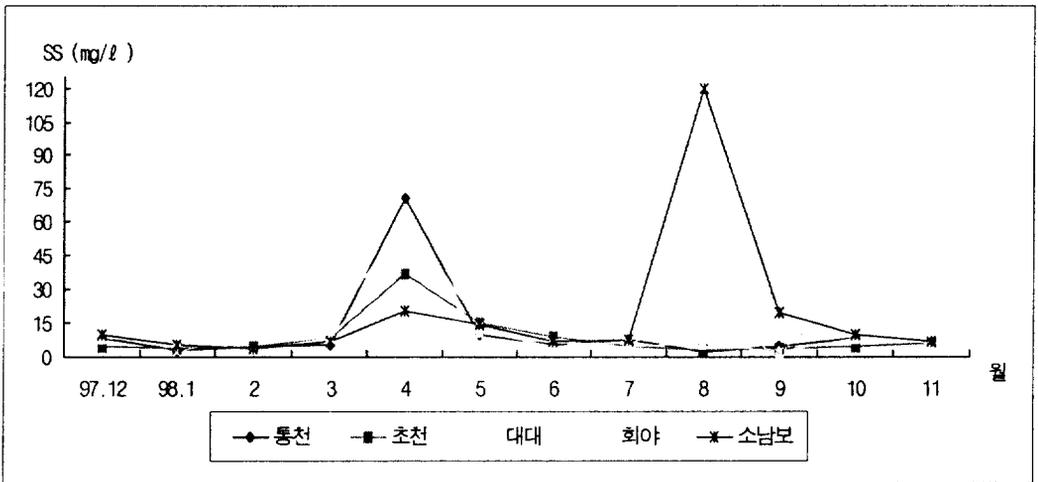


Fig. 4.14 Variation of SS along the H-river.

7) 중금속

중금속의 경우 Pb, Cr, Cd, Hg, As, Fe, Mn 등 총 7개 항목 중 Fe, Mn을 제외하고는 모두 불검출로 나타나 중금속의 오염에 대한 문제는 크게 나타나지 않았다.

4.3 H-댐내 수질조사

4.3.1 H-댐 시설 현황

울산시는 1966년 특정공업지역으로 확정됨에 따라 대단위 공업단지가 유치되면서 급격한 산업성장과 더불어 인구의 급증을 초래하였고 상수도의 수요도 급격히 증가하게 되었다. 울산시의 상수도는 1934년 1,000m³/일 규모의 정수장이 설치된 이래 1984년 급수보급을 83%, 1인 1일 급수량도 196ℓ에 불과하여 급수상태가 미흡할 뿐 아니라, 산업시설의 발전에 따른 산업인구의 증가와 생활수준의 향상으로 상수 수요량이 계속 증가하고 있어 심한 급수난을 겪고 있었다.

이에 울산시는 상수도 확장사업 기본계획을 수립하여 1988년을 목표연도로 시설용량 120,000m³/일 규모의 H-댐 계통 상수도 확장사업을 추진하였다. 본 사업은 1982년 3월에 실시설계가 완료되었으며 12월부터 공사가 착수되어 1986년 3월에 완공되었다. H-댐의 제원과 그 특성은 Table 4.2와 같다.

Table 4.2 Characteristics of H-dam

항 목	내 용	항 목	내 용
설치 년도	'82. 12 ~ '86. 5	총 저수량	21,530천m ³
댐 형식	Earth/Rock fill Dam	유효 저수량	17,700천m ³
길 이	424m	취수탑	D=6m, H=22.5m
높 이	31.5m	도수관	D=1.8m, 연장 503m
표 고	EL 36.0m	방수로	350m
폭	8m	상수원 보호구역 지정일	'91. 6. 8
유역 면적	127km ²	보호구역 면적	4.374km ²
유로 연장	28.6km	만수위	31.8m
만수 면적	2.3km ²	저수위	21.5m

4.3.2 댐내 주요지점별 수질조사 결과

저수지의 지형이 주변 요건을 고려하여 Fig 4.15와 같이 하부로부터 취수탑, 방수로, 신리분교, 신리고개, 통천 등 5개 지점을 선정, 수심별(표층, 심층:6m지점)로 조사하였다. 편의상 취수탑은 (site1=S1), 방수로(S2), 신리분교(S3), 신리고개(S4), 통천(S5)로 표시하였다. 채수주기는 1차가 '97.12, 2차 '98.3, 3차 '98.6, 4차 '98.9월 등 분기별로 조사하였다.

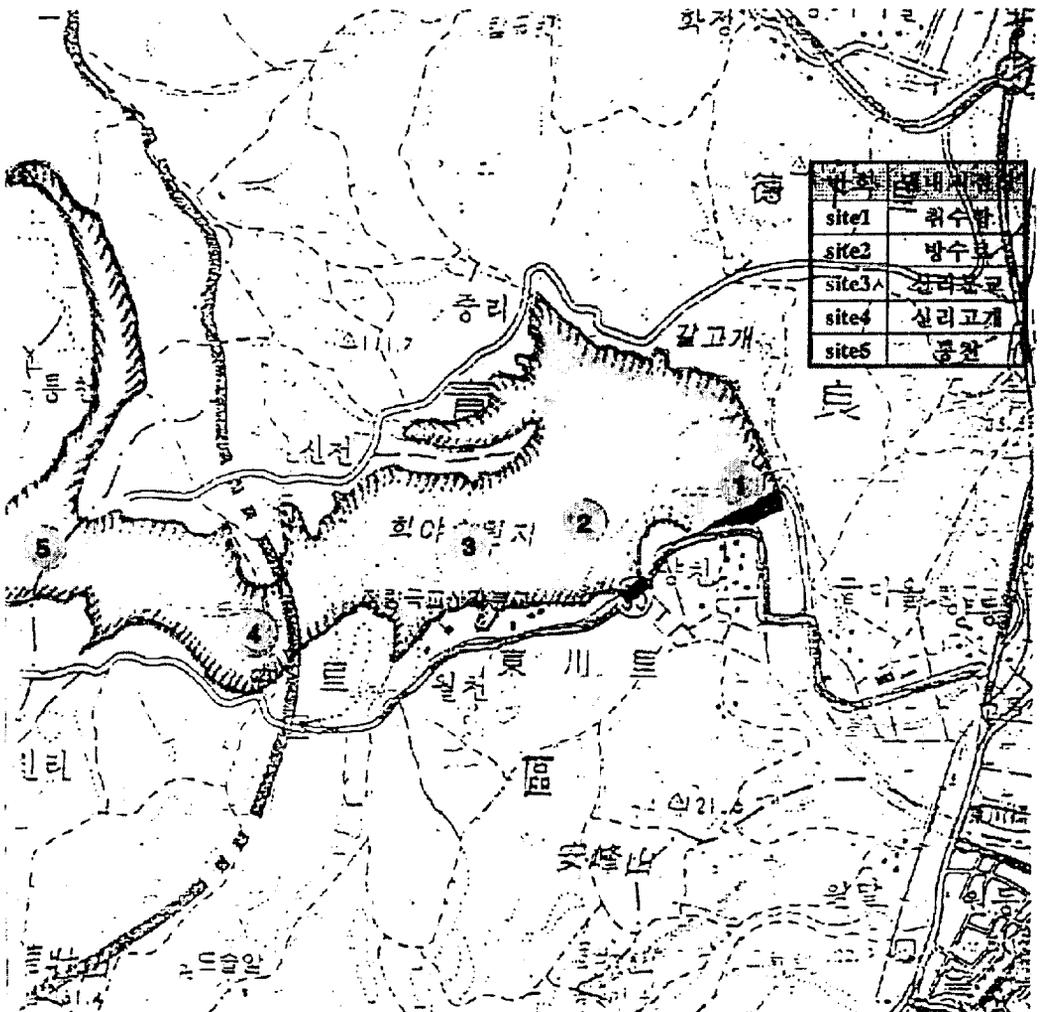


Fig. 4.15 Sampling sites of H-dam.

1) 수온

H-저수지의 표층수와 심층사이의 수온차이를 Fig 4.16에서 보면 1차에서 4차조사 전반에 걸쳐 0.2~0.4℃의 미세한 수온차이로 그 변화폭이 매우 작았다. 이는 연중 잦은 강우로 일반적으로 봄, 가을에 호수에서 나타나고 있는 성층현상은 없었던 것으로 보여진다.

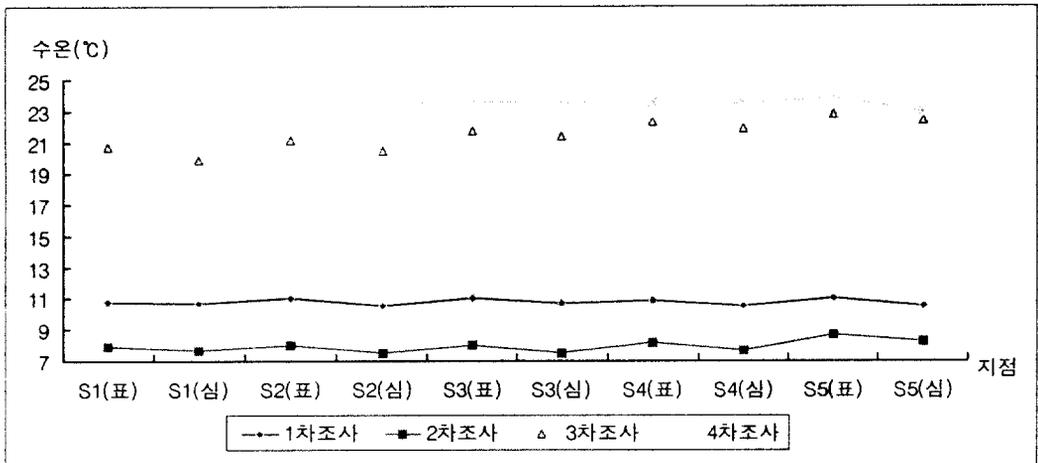


Fig. 4.16 Variation of temperature in the H-dam sites.

2) pH

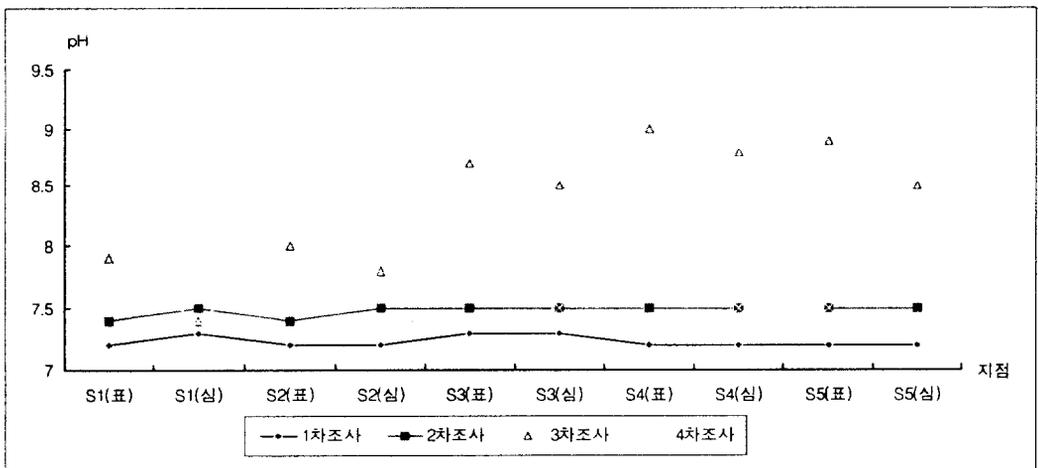


Fig. 4.17 Variation of pH in the H-dam sites.

댐내 각 지점별 측정된 pH를 Fig 4.17에서 보면 최저 7.2에서 최고 9.0으로 변화폭이 크다. 조사시기별로 보면 1, 2, 4차 조사에서는 지점별, 수심별로 별 차이가 없으나 3차 조사(평균 8.4, 7.4~9.0)에서만 매우 높게 나타났다. 이는 당시(98.6월) 조류의 활발한 광합성으로 무기탄소인 HCO_3^- 와 CO_3^{2-} 를 흡수하고 OH를 배출한 것으로 예측된다. 또한 조류의 활동이 왕성한 표층이 심층보다 다소 높게 나타났다.

3) BOD

Fig 4.18에서 BOD의 경우, 1차, 2차 및 4차조사시기에는 지점 및 수심별 전반에 걸쳐 1.3~2.4mg/l로 변화폭이 적을 뿐 아니라, 수질도 상당히 양호한 상태를 유지하고 있다. 그런데 3차 조사(6월)에서는 수온과 일조량 증가로 인하여 조류의 활발한 증식으로 수질이 상대적으로 악화되었음을 알 수 있다. 이때의 BOD농도는 지점별로 다소 차이는 있으나 전반적으로 높은 농도(1.6~4.8mg/l, 평균 3.5mg/l)를 나타내고 있다. 특히 취수탑 표층과 상류지점(통천)으로 갈수록 높게 나타났다. 1, 2, 4차 조사시기에는 표층이 심층보다 약간 낮은농도를 나타낸 반면 3차 조사시에는 표층이 오히려 높게 나타난 것으로 보아 조류증식에 의한 내부증식 BOD농도가 증가된 것으로 보인다. 따라서 댐으로 유입되는 질소, 인 등의 영양염류에 대한 제거대책이 요구된다.

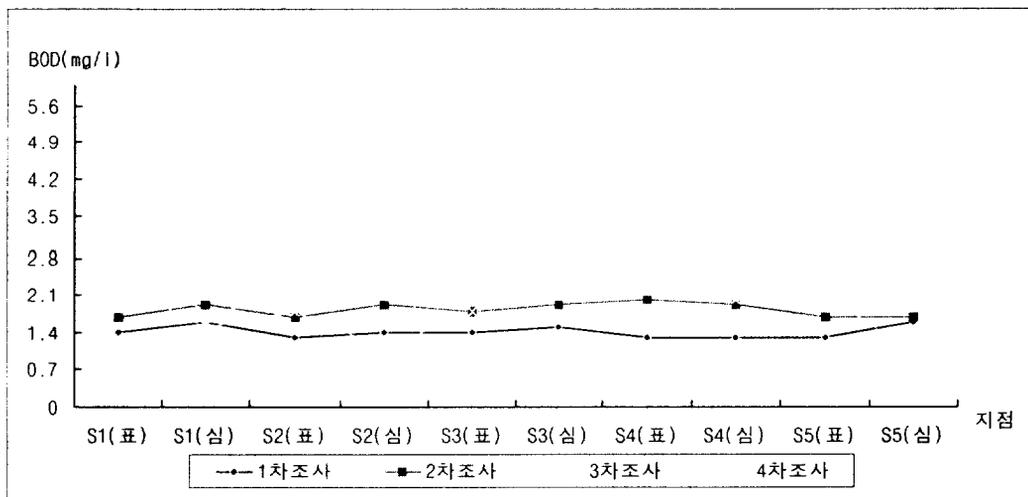


Fig. 4.18 Variation of BOD in the H-dam sites.

4) COD

COD는 강력한 산화제에 의해 생물학적으로 산화될 수 있는 유기물과 생물학적으로 분해불가능한 무기물질 등을 강제적으로 산화시키므로 BOD보다 대체적으로 높게 나타난다. Fig 4.19에서 COD의 경우도 BOD와 유사한 결과를 보이고 있는데 1, 2, 4차 조사에서는 최저 3.6mg/l 에서 최고 6.3mg/l 의 농도를 보이고 있으며 3차 조사에서는 4.7~8.3mg/l 로 비교적 높게 나타났다. 또한 동절기(12월, 2월)보다는 조류의 증식이 활발한 하절기(6월, 9월)에 더 높은 농도로 나타났다.

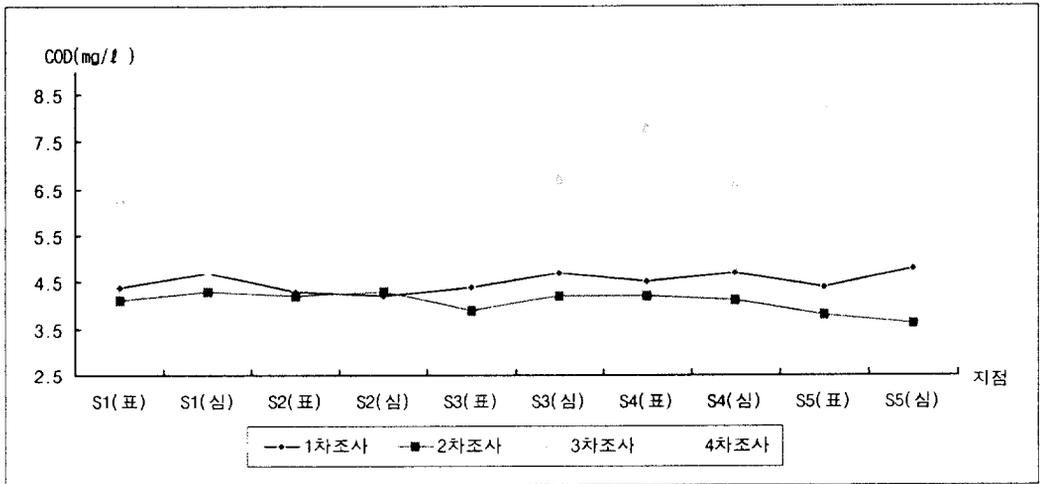


Fig. 4.19 Variation of COD in the H-dam sites.

5) T-P

인은 식물성 플랑크톤이 주요 제한요인으로 작용하는 영양염으로 알려져 있는데, 이는 식물성 플랑크톤의 세포 구성성분 중 인이 생태계에서 공급이 가장 제한적으로 이루어지기 때문이다. 특히 용존성 반응인은 저부에 침전되어 있는 경우가 많아 제한요인으로 작용하기 쉽다. 인의 변화는 생물학적 순환, 외부로부터 유입, 퇴적층으로부터의 용출 등이 인의 양을 결정하는 주요인이다. 댐내 지점별 조사결과 조사시기에 따라 차이가 있는데, Fig 4.20에서 2월과 9월에 비해 6월과 12월에 상류지역에서 총인의 농도가 높게 나타난 것으로 보아 댐 내부의 요인보다는 외적요인에 원인이 있다고 추측된다.

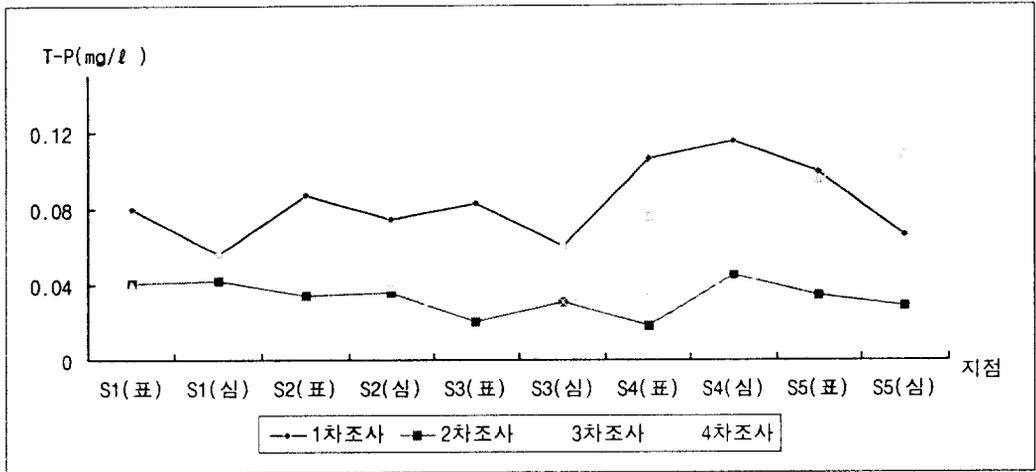


Fig. 4.20 Variation of T-P in the H-dam sites.

6) T-N

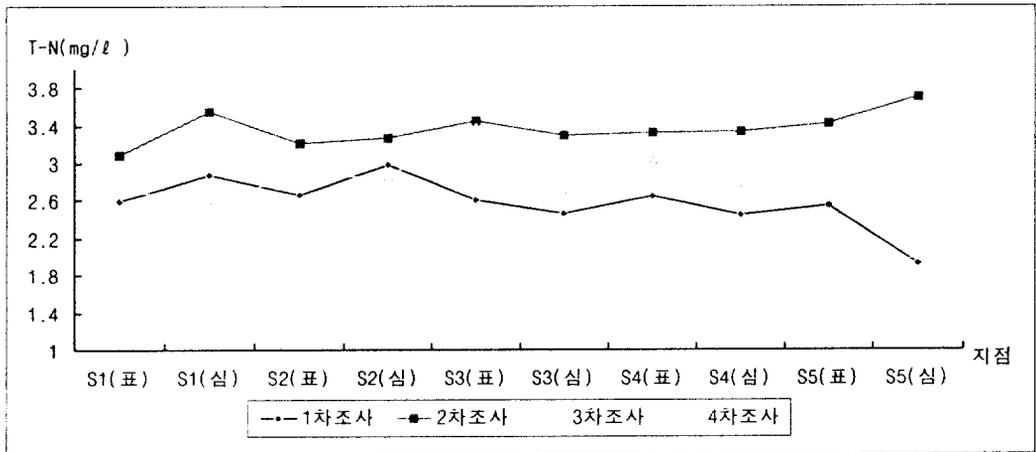


Fig. 4.21 Variation of T-N in the H-dam sites.

무기질소는 생물의 주영양원의 하나로 수중에서 암모니아성($\text{NH}_3\text{-N}$), 아질산성 ($\text{NO}_2\text{-N}$), 질산성($\text{NO}_3\text{-N}$)의 형태로 존재하고 있다. Fig 4.21에서 조사시기별 총질소의 변화를 보면 호소의 Turn-over(전도)현상이 일어나는 봄철(2차 조사)에 가장 높게 나타났으며, 4차 조사(9월)에서 지점 및 수심별로 큰 차이 없이 가장 안정된 값을 보이고

있다. 총질소의 농도를 보면 최저 1.84mg/l, 최고 3.7mg/l, 평균 2.68mg/l를 나타내고 있는데, 이 농도는 총인 농도에 비해 수십배(16배이상)가 되므로 회야댐에서 총질소가 조류의 제한인자로 작용하지는 못하는 것으로 보인다.

7) 클로로필 - a

클로로필-a는 조류 생체량의 간접적인 측정으로 이용되고 있는데 호수의 영양단계를 평가하는 지표로서 이용된다. 조사시기별 평균농도를 Fig 4.22에서 비교하면 3월에는 18.7 $\mu\text{g/l}$, 6월에는 29.6 $\mu\text{g/l}$ 로 증가하다가 9월에는 20.8 $\mu\text{g/l}$ 로 가을이 되면서 약간 감소하다가 97년 12월에는 7.7 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과로 보아 하절기에는 비교적 많은 양의 조류가 발생되고 있음을 알 수 있다.

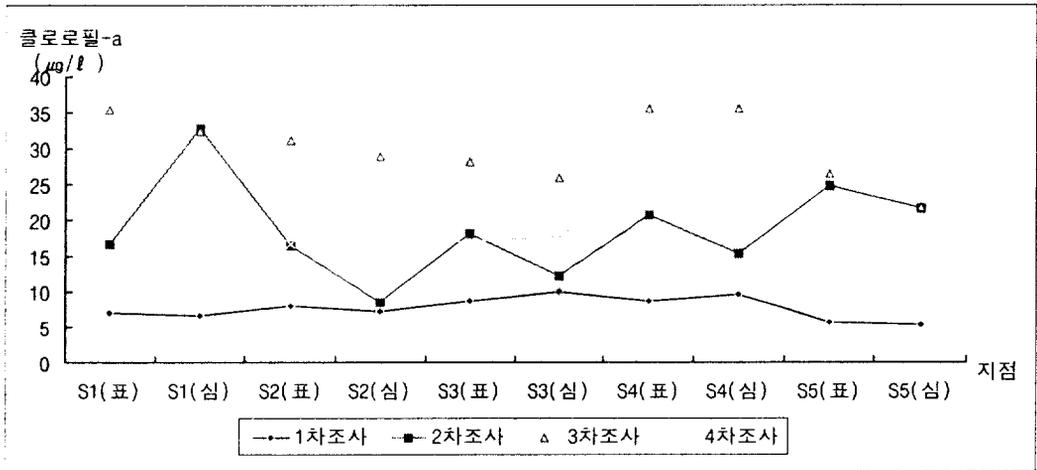


Fig. 4.22 Variation of chlorophyll-a in the H-dam sites.

4.3.3 H-저수지 부영양상태 평가

호소 및 저수지의 부영양화를 평가하는 방법에는 몇가지가 있는데, 본 연구에서는 Carlson 지표방법을 적용하였다. Carlson은 투명도와 클로로필-a 농도의 관계, 클로로필-a 농도와 총인 농도와의 관계를 서로 관련지어 다음의 관계식을 나타내었다.

$$SD = \frac{-\ln\left(\frac{I_z}{I_0}\right)}{K_w + \alpha C} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서

SD : 투명도

I_0 : 물 표면에서의 광도

I_z : Secchi disk가 보이지 않는 수질에서의 광도

K_w : 물과 용존물질에 의한 광소산 계수

α : 조류에 의한 광소산 계수

C : 식물 플랑크톤 농도

Carlson은 현재까지 관측된 최대 투명도가 41m로 두고, \log_2 에 대해 그 다음으로 가장 큰 정수는 $64m(2^6)$ 를 부영양화도 지수 0으로 하였다. 그리고 0~100까지의 수치에서 표시하고자 10배를 하여 최종적인 TSI 식을 제창하였다.

$$TSI (SD) = 10(6 - \log_2 [SD]) = 10\left(6 - \frac{\ln[SD]}{\ln 2}\right) \dots\dots\dots (2)$$

$$TSI (chl-a) = 10 \times \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln chl-a}{\ln 2}\right) \dots\dots\dots (3)$$

$$TSI (TP) = 10 \times \left(6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2}\right) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 [SD]: 투명도(m), [chl]: 클로로필-a 농도(mg/m^3), [TP]: 총인 농도(mg/m^3) 이 관계에 대한 파라미터를 Table 4.3에 나타내었다.

본 조사에서는 시료채취 지점 중 취수탑 심층에 대하여 '97. 12월 부터 '98. 11월 까지 분기별로 조사한 결과로 TSI를 구해보면 Table 4.4와 같다.

Table 4.3 Relation of TSI with parameter

TSI	투명도(m)	총인 (mg/m ³)	클로로필-a (mg/m ³)
0	64	0.75	0.04
10	32	1.5	0.12
20	16	3	0.34
30	8	6	0.94
40	4	12	2.6
50	2	24	6.4
60	1	48	20
70	0.5	96	56
80	0.25	192	154
90	0.12	384	427
100	0.062	768	1,183

Carlson은 TSI가 0~40을 빈영양, 40~60을 중영양, 60 이상을 부영양상태로 구분하였는데, Table 4.4에 의하면 98.2월 및 6월에는 중·부영양상태이며 97.12월, 98.9월 및 11월에는 중영양상태로 나타났다. 이는 예년에 비해 년중 잦은 강우로 상대적으로 수질이 양호한 상태로 유지되었다고 볼 수 있다.

Table 4.4 Carason's TSI numbers of H-dam

분기별 TSI	'97. 12	'98. 2	'98. 6	'98. 9	'98. 11
TSI(SD)	56.2	60	57.4	54.1	57.4
TSI(TP)	62.2	58.1	62.5	49.4	48.7
TSI(cha)	49.1	63.7	64.8	55.9	50.2
평균값	55.8	60.6	61.6	53.1	52.1

제5장 H-저수지 수질관리의 효율화 방안

저수지의 수질오염 원인은 크게 외적요인과 내적요인으로 생각할 수 있다. 외부요인으로는 유입되는 생활하수, 산업폐수 등과 같은 점오염원과 산림 및 농경지에서 발생하는 비점오염원을 말하며, 내적요인에는 호소유역에서 유입되는 유기성 토사 및 오염 퇴적물에 의한 용출 등을 의미한다

5.1 저수지 유역의 수질관리 효율화 방안

5.1.1 하수처리 시설의 확충

H-강 유역에서 배출되는 하·폐수는 H-하수처리장으로 차집하여 적정처리 후 회야댐 하류로 방류하고 있으나, 현재 유입량에 비해 처리량이 거의 포화상태에 있으며 장래 융상읍의 도시발전과 공단 증설 추세로 보아 하수발생량이 급증할 것으로 예측된다. 따라서 기존 하수처리장 증설 또는 유지관리나 운영의 효율성 측면에서 상류 소규모 하수처리장 건설이 시급하다. 기존 하수처리장의 증설이 늦어질 경우, 시설용량 초과분이 미처리 상태로 회야강에 유입될 수 있으므로 수질악화와 더불어 상수원 이용에도 위협을 받을 우려가 있다. 아울러 현재 사용중인 차집관로에 대해서도 적절하게 운용되고 있는지 세심한 점검이 필요하다.

5.1.2 접촉 산화수조

수로중에 자갈이나 플라스틱, 섬유상 여재 등의 접촉재를 포설하여 접촉재에 부착된 미생물의 작용에 따라 수중의 유기물질 등이 분해되는 것을 응용한 수질개선 기술이다. 유기물 제거는 물론 질소, 인의 제거도 기대할 수 있다. 적용의 요점으로는 BOD가 5~15mg/l 정도의 수질정화에 적합하고 접촉재의 종류와 빈도 및 체류시간이 중요한 요점이다. 문제점으로는 고농도의 BOD일 때는 혐기성 분해에 유의하여야 하며 SS농도가 높을 경우 또는 홍수시 침수가 계속될 경우에는 여재의 막힘을 고려하여 적절한 대책이 필요하다.

5.1.3 비점 오염원의 관리

1) 도시지역 비점 오염원 대책

도시지역 도로, 건물지붕 등에 축적되어 있는 오염물질이 강우시 우수, 배수 및 하수도 등을 통하여 고농도로 하천으로 배출되는데, 이들 부하량 저감대책으로는 도로변 청소, 우수저류시설 및 토양침투시설의 설치 등이 있다. 우수저류시설은 초기 우수의 일부를 도로, 공원, 건물 등의 지하에 저류시켜 맑은날 하수처리시설에서 처리하는 것인데 퇴적물의 처리방법도 동시에 강구해야 한다

2) 농업지역 비점 오염원 대책

지표면수나 토양침투수와 함께 퇴비, 비료, 작물잔류물, 농약 등의 일부가 유출되는 것으로 그 대책방안으로는 첫째, 적정시비에 의하여 비료량 절감, 비료품질 개선, 시비법 개선 등이 있다. 논인 경우 과거부터 표층시비 및 전층시비가 행하여지고 있으나 토양중시비를 하면 경우에 따라서는 오염유출량을 감소시킬 수 있다. 또한 저확산성비료 및 질산화억제 비료 등도 개발되고 있어 이러한 비료를 사용하면 유출량도 감소할 것이다. 둘째, 농업생태계를 이용하는 방법이 있다. 논에서의 주 정화기능은 탈질이다. 토양중의 미생물 등에 의하여 암모니아가 질산으로 되고 혐기조건에서 탈질균에 의하여 질소가 질소가스로 탈질화된다. 이 경우 적당한 유기물의 공존이 중요하다. 과수원에서는 나무밑에 잡초를 적당량 유지시키면 표층 비료성분을 흡수시키거나 유출저감의 효과를 기대할 수 있다. 또, 경사면 및 방목지 등의 소계곡 하천 부근에 나무를 심으면 뿌리에 의하여 비료성분이 흡수되며 유출부하를 저감시킬 수 있다.

5.1.4 수생식물에 의한 수질정화

부레옥잠, 갈대, 부들 등 수생식물의 뿌리나 줄기는 수중에서 침전했거나 부착된 입자체 영양염류 중 N, P 영양분을 흡수하고 또한 수생식물의 줄기 등에 부착하여 생식하는 미생물도 유기물을 분해하는 작용이 있다. 따라서 식생정화시설은 생육시기에 비료 등 유기물을 많이 사용하므로 다량의 유기물을 함유하고 있는 농촌 지역의 하천변 및 호소변에서 적극 활용할 수 있다. 정화효과는 유입되는 수질농도, 종의 수, 체

류시간, 수온, 조도 등의 복잡한 관계에 의해 좌우되는데 경우에 따라 다르지만 총질소 제거율은 30~80%, 총인 제거율은 30~60% 정도로 일본에서 보고된 바 있다.

5.1.5 수질오염 감시원제 운영

상류 쓰레기투기, 분뇨방류, 폐기물 야적, 오염물질 무단방류, 기름유출 등 수질 이상 발생시 감시 연락하는 체계를 갖추어 오염방지과 주민의식 제고에 기여할 수 있을 것이다. 감시원은 상류 응상 및 응존 주민중에 위촉하여 오염상황 및 배출상황 보고, 지역주민에 대한 오염방지 홍보 및 계도, 유역내 수질오염 원인행위 정보제공 및 수질보전에 대한 의견제공 등으로 상수원보호에 기여할 수 있다. 기타 차집관거의 확충, 우수토실의 철저한 관리, 상류지역 순찰강화 및 오염업소 점검강화 등으로 오염물질을 저감시킬 수 있다.

5.2 저수지내에서의 수질개선 방안

5.2.1 호수의 탈성층화

하절기에 기온이 상승됨에 따라 표층수의 수온이 상승되는 반면, 저층은 낮은 온도를 유지하게 된다. 특히 부영양화 호수에서 표층수의 용존산소는 재폭기 및 조류의 활동에 의해 높고 저층에는 유기물이 풍부하여 산소 소비가 많아 용존산소의 결핍현상이 일어난다. 이는 호수의 수질을 악화시키는 주요인이 된다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 호수에서 생기는 수온층을 없애는 것을 탈성층화(destratification)라 한다. 실제로 H-댐에서는 96년에 총18개의 폭기기를 설치·운영하고 있는데, 설치전후의 수질분석 결과에 의하면 성층현상 파괴, 인의 용출억제 및 조류 발생억제에 상당히 기여한 것으로 조사됐다.

5.2.2 화학약품의 주입

화학약품을 호수에 주입하는 방법은 일반적으로 많이 알려져 있다. 약품으로는 황산구리, 황산알루미늄, 염화제2철, 알루미늄, fly ash 및 황토 등이 이용된다.

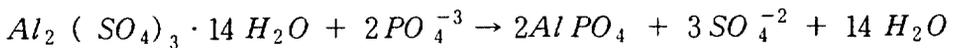
1) 황산구리

황산구리는 호수에서 조류의 과다성장을 방지하기 위한 가장 흔한 방법이다. 조류

의 발생이 일어나기 전에 살포하는 것이 가장 효과적이다. 조류는 세포내에서 독성 혹은 유기물을 방출하여 호소내 산소결핍 및 이취미를 발생하는 등 많은 수질문제를 일으키기도 한다. 황산구리는 이러한 조류의 사멸에 필요한 농도에서는 사람이나 어류에 비교적 독성이 적은 것으로 알려져 있다. 보통 0.1~0.5 mg/ℓ의 농도로 살포하는 것이 적당하며 호수 전체유량에 비하면 극히 적은 농도이다. 송어는 황산구리 0.14mg/ℓ에서 영향을 받을 수 있으나 호수의 황산구리 처리로 인하여 송어가 죽는 일은 거의 없다고 한다. 미국 공중보건당국에서는 음료수 중의 1mg/ℓ 농도의 황산구리를 허용하고 있다.

2) 황산알루미늄

인을 불활성화시키기 위하여 흔히 사용되는 것이 황산알루미늄이다. 호수에 투입되는 농도는 용존 알루미늄으로 0.05mg/ℓ를 초과하지 않는 것이 보통이다. 황산알루미늄은 알카리도를 변화시키게 되는데 최대농도 주입을 위하여는 Jar-Test가 필요하다. 황산알루미늄과 인의 반응은 다음과 같다.



황산알루미늄의 최적 투입시기는 호수에서 인의 내부순환을 고려하여 7~8월에 투입하는 것이 가장 적절하다고 한다.

3) Fly Ash 및 황토

Fly Ash는 유리 알루미늄과 규소를 함유하여 물에서 인산과 결합하게 된다. 호수 바닥에 일정 두께로 투입시키면 인이나 다른 부양식질의 방출은 막을 수 있다고 한다. 하지만 Fly Ash가 중금속을 함유하기 때문에 이 방법은 좀더 연구가 필요하다고 하겠다. 같은 방법으로 어류 등의 생물에 해가 적고 특이한 유해성분이 없는 황토를 이용하여 적정시기에 적당한 농도로 살포하면 조류생물을 흡착·침강·파괴시키는 효과가 있다는 것은 자체 조사결과 이미 밝혀졌다.

5.2.3 준설

호수 바닥의 침전물질을 기계적인 방법으로 제거하는 것인데 이는 침전물에 쌓인 영양물질이 상부로 방출됨에 따라 탁도를 야기시켜 수질문제를 일으키기도 한다. 이

러한 문제를 고려하여 사이폰으로 저층의 유기물층을 빨아올리는 새로운 방법도 있다. 사이폰 방식의 수질개선 효과는 기대할만하나 고도의 기술이 요구되고 제거된 퇴적물의 2차처리 등이 문제점으로 남는다. 비교적 작은 호수에서는 물을 완전히 빼 버린 후 준설하는 것이 가장 효과적이거나 상수원으로 사용되고 있는 H-저수지의 경우 현실적으로 불가능하다고 할 수 있다.

제5장 결 론

H-강은 울산시민의 주 식수원으로 매우 중요한 역할을 하고 있으나 상류지역의 개발로 인하여 수질이 악화될 우려가 있다. 따라서 H-강 본류 수질에 영향을 주는 12개 지천, H-강 본류 및 H-저수지의 수질조사 자료를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. H-강 유역 12개 지류 하천의 pH는 일반적으로 얇은 하천에서 볼 수 있는 pH 7.5 전후의 안정된 값을 보이고 있다. BOD의 경우 삼호천이 평균 3.6mg/ℓ로 가장 높았고 매곡천이 평균 0.5mg/ℓ로 가장 낮게 조사되었는데 삼호천에서 유기물 오염도가 비교적 높은 것은 웅상읍 주변의 주거지역에서 발생하는 생활하수의 유입이 주원인이라 여겨진다. 연간 잦은 강우로 유기물 농도(BOD 평균 1.4mg/ℓ, COD 평균 3.4mg/ℓ)가 비교적 매우 낮게 나타나 양호한 수질을 유지한 것으로 볼 수 있다.
2. 중금속의 경우 7개 분석항목 중 철, 망간을 제외하고는 모두 불검출로 나타났다. 망간의 경우 특히 삼호천(평균 1.713mg/ℓ)에서만 높게 검출되고 있는데 이는 삼호천으로 흘러드는 주변 특정 점오염원이 그 원인이라 생각되며 향후 지속적인 관찰이 요망된다.
3. 지류천 유량의 총합계는 228,000m³/일이며 이중 매곡천이 25.4%, 평산천 15.3%, 명곡천 11.4%를 차지하였으며 나머지 곡천천 및 오복천>주남천>용당천>고연천>혈수천>주진천>삼호천>소주천의 순으로 나타났다.
4. BOD 농도를 보면 삼호천(3.6mg/ℓ)>소주천(1.9mg/ℓ)>주남천(1.5mg/ℓ)>곡천천과 혈수천(1.4mg/ℓ)>평산천(1.4mg/ℓ)>오복천(1.3mg/ℓ)>고연천(1.2mg/ℓ)>명곡천(1.2mg/ℓ)>용당천(0.8mg/ℓ)>주진천(0.7mg/ℓ)>매곡천(0.5mg/ℓ)의 순으로 최상류지역에 위치한 매곡천이 가장 양호한 수질을 유지하고 있다.
5. 각 지류천의 BOD 부하량은 평산천이 19.5%를 차지하고 곡천천 13.5%, 오복천 12.4%, 매곡천과 명곡천 11.9%, 주남천 9.8%의 순으로 나타났다. 그외 혈수천 3.4%, 주진천 1.1%, 소주천 0.7%로서 H-강 본류 수질에는 크게 영향을 주지 못하는 것으로 조사되었다.

6. H-강 본류 주요지점 5개소에 대한 BOD 조사결과를 보면 통천교 1.7mg/ℓ, 초천교 1.9mg/ℓ, 대대교 1.4mg/ℓ, 회야교 1.6mg/ℓ, 소남보 1.6mg/ℓ 로써 대체로 1~2급수의 양호한 수질을 유지하고 있다. 오염도가 적은 순위로 보면 대대교>회야교>소남보>통천교>초천교의 순이며 계절별로는 하절기가 동절기에 비해 상대적으로 약간 낮게 나타났다.

7. 5개지점별 총인 및 총질소 농도를 보면 상류지역인 소남보에서 비교적 높게 나타났는데, 이는 웅상지역에서 일부 유출되는 하·폐수의 직접적인 영향이 있음을 짐작할 수 있다. 총인, 총질소의 경우 비교적 짧은 유하거리에서 쉽게 하상으로 퇴적 또는 분해되는 것을 알 수 있다. 지점별 오염도는 대대교가 가장 낮고 소남보가 가장 높게 나타났다.

8. H-댐내 주요지점 5개소에 대한 pH변화를 보면 1, 2, 4차조사에서는 지점별, 수심별로 별 차이가 없으나 3차조사에서만 7.4~9.0, 평균 8.4로 매우 높게 나타났다. 이는 당시(98년 6월) 조류의 활발한 증식이 일어났음을 짐작할 수 있다.

9. 댐내 BOD 및 COD농도의 경우도 1, 2, 4차 조사시에는 지점 및 수심별 전반에 걸쳐 변화의 폭(BOD : 1.3~2.4mg/ℓ, COD : 1.6~4.8mg/ℓ)이 적을 뿐아니라 수질도 상당히 양호한 상태를 유지하고 있다. 그런데 3차 조사(6월)에서는 수온과 일조량 증가로 인한 조류의 영향으로 내부증식 BOD농도가 다소 높아져 상대적으로 수질이 악화되었음을 알 수 있다. 따라서 댐으로 유입되는 질소, 인 등의 영양염류에 대한 제어대책이 요구되고 있다.

10. 댐내 클로로필-a 농도변화를 보면 '97년 12월에는 7.7 μ g/ℓ로 가장 낮게 나타났으며 3월에는 18.7 μ g/ℓ, 6월에는 29.6 μ g/ℓ로 증가하다가 9월에는 20.8 μ g/ℓ로 다시 감소하기 시작한다. 이러한 결과로 보아 하절기에는 비교적 많은 양의 조류가 발생되고 있음을 알 수 있다.

11. Carlson지표에 의한 TSI값으로 H-저수지의 영양상태를 살펴보면 3월과 6월에는 중·부영양상태이며 9월과 12월에는 중영양상태로 나타나 비교적 수질이 양호하게 유지되었다고 볼 수 있다.

Appendix 1. The result of water quality analysis at branch stream on 1st('98.3.25) and 2nd('98.6.15)

지천명	항 목	pH	BOD	COD	SS	T-P	T-N	DO	수온	Fe	Mn
		매곡천	1차	7.5	0.5	0.9	2.0	0.026	1.11	9.9	12
	2차	6.9	0.4	1.6	1.2	0.026	1.56	8.5	25	ND	ND
평산천	1차	8.3	0.9	1.9	1.0	0.159	0.36	9.0	13	ND	ND
	2차	8.6	1.5	3.5	4.0	0.041	1.47	8.7	25	ND	ND
주진천	1차	7.8	1.2	2.0	1.8	0.248	0.96	9.1	12	ND	ND
	2차	7.4	0.7	1.9	5.6	0.050	1.38	8.9	24	ND	ND
혈수천	1차	7.6	0.9	1.9	1.6	0.053	1.76	9.5	12	ND	ND
	2차	7.3	0.4	1.8	2.0	0.036	1.73	8.2	24	ND	ND
소주천	1차	7.6	1.4	3.8	89.0	0.138	2.10	8.9	14	ND	ND
	2차	7.3	0.2	1.8	13.6	0.113	2.54	7.7	25	ND	ND
주남천	1차	7.8	1.7	4.6	129.5	0.219	2.11	9.5	12	0.35	0.006
	2차	7.4	1.2	3.6	3.6	0.193	2.26	8.2	25	ND	ND
명곡천	1차	7.6	1.1	1.2	12.6	0.035	0.39	10.0	13	ND	0.005
	2차	7.1	0.7	2.0	8.4	0.032	1.07	8.9	26	ND	ND
삼호천	1차	7.6	5.5	9.6	545.0	0.300	1.66	9.2	13	0.29	0.568
	2차	7.1	1.0	2.5	13.2	0.059	1.16	8.0	25	ND	2.848
고연천	1차	7.6	1.2	3.8	28.2	0.042	0.64	9.0	12	0.08	ND
	2차	7.5	2.0	5.6	2.8	0.054	2.27	8.0	24	ND	ND
용당천	1차	7.8	1.0	1.9	4.4	0.023	0.29	9.8	12	ND	ND
	2차	7.4	0.6	2.0	1.2	0.019	1.07	8.5	25	ND	ND
곡천천	1차	7.7	1.4	2.6	6.2	0.029	1.09	9.9	12	0.05	ND
	2차	7.8	1.7	4.8	22.8	0.109	2.61	8.1	25	0.15	ND
오복천	1차	7.8	1.7	3.6	5.2	0.047	2.13	10.3	13	ND	0.005
	2차	7.6	0.8	3.7	23.6	0.085	2.12	8.3	25	0.24	0.005

Appendix 2. The result of water quality analysis at branch stream on 3rd('98.9.7) and 4th('98.11.5)

지천명	항목	pH	BOD	COD	SS	T-P	T-N	DO	수온	Fe	Mn
	매곡천	3차	6.8	0.3	1.3	3.6	0.024	1.90	7.9	30	ND
4차		7.1	0.9	1.8	13.2	0.059	2.52	9.5	18	ND	ND
평산천	3차	8.4	1.5	3.5	4.0	0.041	1.47	7.0	30	ND	ND
	4차	7.4	1.7	2.0	8.0	0.052	2.52	10.5	18	ND	ND
주진천	3차	7.4	0.2	1.8	2.0	0.480	3.59	6.1	30	ND	ND
	4차	7.5	0.8	1.6	2.4	0.035	2.11	10.0	18	ND	ND
혈수천	3차	7.2	3.6	8.0	21.6	0.215	5.42	5.3	29	ND	ND
	4차	7.1	0.8	1.3	1.6	0.020	1.33	9.6	18	ND	ND
소주천	3차	7.8	4.1	8.0	8.8	0.749	5.71	5.4	30	ND	ND
	4차	7.3	1.8	3.0	4.0	0.038	1.98	9.0	18	ND	ND
주남천	3차	7.3	1.8	6.0	2.4	0.480	3.59	6.3	30	ND	ND
	4차	7.4	1.1	2.3	2.8	0.140	2.74	9.5	18	ND	ND
명곡천	3차	7.3	1.5	7.4	0.8	0.022	0.91	9.0	30	ND	ND
	4차	7.3	1.3	1.7	2.0	0.289	4.14	9.8	18	ND	0.013
삼호천	3차	6.9	6.4	13.1	4.8	0.408	6.48	7.2	30	ND	2.848
	4차	6.4	1.3	2.5	10.0	0.053	1.82	8.9	16	ND	0.590
고연천	3차	7.5	0.3	3.2	0.8	0.036	1.75	6.7	30	ND	ND
	4차	7.2	1.2	2.8	4.0	0.059	2.18	9.5	18	ND	ND
용당천	3차	7.2	0.7	1.5	0.4	0.023	1.00	8.4	29	ND	ND
	4차	7.2	1.0	2.0	2.0	0.020	1.46	9.6	18	ND	ND
곡천천	3차	7.6	1.8	4.6	0.8	0.043	1.13	8.4	29	ND	ND
	4차	7.4	0.8	1.9	1.6	0.053	2.03	9.5	17	ND	ND
오복천	3차	8.4	1.5	4.4	3.2	0.038	1.50	8.6	30	0.24	0.005
	4차	7.8	1.2	2.4	1.6	0.042	1.80	9.5	17	ND	ND

Appendix 3. The result of water quality analysis at H-river on 1st('97. 12) and 2nd('98. 1)

지 점 항 목	통천교		초천교		대대교		회야교		소남보	
	1차	2차								
수온(°C)	10.2	3.0	10.2	3.5	10.3	3.0	10.3	3.5	10.3	3.5
pH	7.2	7.1	7.1	7.1	7.0	7.0	7.4	7.1	7.3	7.1
클로로필-a ($\mu\text{g}/\ell$)	3.9	3.2	3.1	2.9	9.6	3.3	4.4	3.0	2.5	2.1
DO(mg/ℓ)	11.0	12.8	10.7	13.3	10.3	12.3	10.6	12.9	9.8	12.0
BOD(mg/ℓ)	1.2	1.9	1.0	2.6	0.9	1.8	1.4	2.0	1.8	1.4
COD(mg/ℓ)	3.1	3.0	2.5	3.7	2.6	3.0	3.8	3.3	4.1	2.5
SS(mg/ℓ)	8.0	3.0	4.5	4.0	8.5	6.5	30.0	2.0	9.5	5.0
T-P(mg/ℓ)	0.085	0.083	0.160	0.158	0.039	0.038	0.030	0.028	0.099	0.097
T-N(mg/ℓ)	2.57	2.55	2.91	2.88	1.94	1.90	2.40	2.37	2.46	2.41
Fe(mg/ℓ)	0.10	0.06	0.08	0.08	0.12	0.12	0.12	0.07	0.12	0.05
Mn(mg/ℓ)	0.007	0.012	0.017	0.030	0.043	0.038	0.064	0.021	0.071	0.035
Zn(mg/ℓ)	0.034	0.006	0.015	0.014	0.009	0.010	0.011	0.007	0.022	0.013
유해중금속 (Hg,Cd,As,Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND									

Appendix 4. The result of water quality analysis at H-river on 3rd('98. 2) and 4th('98. 3)

지 점 항 목	통천교		초천교		대대교		회야교		소남보	
	3차	4차								
수온(°C)	3.2	8.5	6.7	10.8	4.3	9.0	6.0	9.2	6.0	9.9
pH	7.3	7.4	7.2	7.4	7.2	7.3	7.3	7.2	7.2	7.3
클로로필-a ($\mu\text{g}/\ell$)	5.6	5.6	6.7	6.8	3.1	2.3	2.6	5.3	2.6	5.9
DO(mg/ℓ)	12.7	11.0	12.4	11.4	12.9	11.3	12.4	10.9	13.1	10.9
BOD(mg/ℓ)	2.1	1.9	2.6	2.5	1.9	2.0	2.4	2.7	1.5	2.3
COD(mg/ℓ)	4.4	3.6	3.2	4.0	3.5	3.2	3.0	3.7	3.2	3.5
SS(mg/ℓ)	4.5	5.5	4.5	8.5	3.3	8.0	9.5	12.0	3.5	6.5
T-P(mg/ℓ)	0.114	0.059	0.010	0.104	0.089	0.012	0.054	0.036	0.160	0.107
T-N(mg/ℓ)	2.26	1.80	2.05	2.12	1.90	1.65	1.99	2.02	2.38	2.09
Fe(mg/ℓ)	0.09	0.11	0.09	0.12	0.08	0.13	0.07	0.24	0.08	0.09
Mn(mg/ℓ)	0.020	0.016	0.023	0.029	0.058	0.050	0.061	0.046	0.171	0.075
Zn(mg/ℓ)	0.008	0.006	0.022	0.004	0.015	0.005	0.007	0.006	0.024	0.008
유해중금속 (Hg,Cd,As,Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND									

Appendix 5. The result of water quality analysis at H-river on 5th('98. 4) and 6th('98. 5)

지 점 항 목	통천교		초천교		대대교		회야교		소남보	
	5차	6차								
수온(℃)	16.0	19.5	15.6	18.7	16.0	19.5	16.1	19.7	16.0	19.4
pH	6.9	7.3	7.2	7.3	7.3	7.4	7.3	7.2	7.5	7.6
클로로필-a ($\mu\text{g}/\ell$)	9.2	13.6	6.1	9.8	2.8	5.4	6.1	8.1	1.4	3.4
DO(mg/ℓ)	9.7	9.4	9.1	9.4	9.4	9.6	9.5	9.2	9.4	9.0
BOD(mg/ℓ)	1.8	1.4	2.0	1.0	1.6	1.3	2.4	0.9	2.8	1.6
COD(mg/ℓ)	4.2	3.8	4.3	3.4	4.0	2.9	4.7	3.1	5.2	4.1
SS(mg/ℓ)	70.5	9.6	37.0	14.8	48.5	11.2	63.5	13.2	20.5	14.0
T-P(mg/ℓ)	0.062	0.065	0.108	0.111	0.024	0.033	0.039	0.118	0.042	0.049
T-N(mg/ℓ)	1.86	1.80	1.90	1.87	2.08	2.01	2.08	2.18	2.86	2.90
Fe(mg/ℓ)	0.36	0.06	0.22	0.05	0.16	0.06	0.16	0.06	0.08	0.07
Mn(mg/ℓ)	0.006	0.012	0.006	0.011	0.012	0.013	0.014	0.013	0.012	0.012
Zn(mg/ℓ)	0.006	0.014	0.005	0.014	0.004	0.035	0.005	0.035	0.009	0.010
유해중금속 (Hg,Cd,As,Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND									

Appendix 6. The result of water quality analysis at H-river on 7th('98. 6) and 8th('98. 7)

지 점 항 목	통천교		초천교		대대교		회야교		소남보	
	7차	8차								
수온(°C)	21.2	25	23.6	25	22.0	25	22.1	25	20.2	25
pH	7.4	7.4	7.2	7.4	7.3	7.5	7.4	7.5	7.3	7.5
클로로필-a ($\mu\text{g}/\ell$)	48.7	52.9	128.1	34.7	12.4	14.0	11.0	9.7	6.7	6.1
DO(mg/ℓ)	9.6	9.1	8.7	9.0	9.2	9.4	9.4	9.4	8.8	9.2
BOD(mg/ℓ)	1.8	1.8	1.6	1.7	1.1	1.3	1.4	1.1	1.0	1.0
COD(mg/ℓ)	5.2	5.5	5.2	5.4	3.8	3.9	3.9	3.8	3.1	3.4
SS(mg/ℓ)	5.6	7.6	9.2	4.8	4.8	4.8	6.0	6.0	6.8	7.6
T-P(mg/ℓ)	0.065	0.073	0.110	0.115	0.033	0.072	0.012	0.111	0.049	1.100
T-N(mg/ℓ)	2.80	1.74	2.70	1.88	1.89	1.60	2.83	2.26	2.73	2.76
Fe(mg/ℓ)	ND	ND	ND	ND	0.06	0.10	ND	0.07	ND	0.13
Mn(mg/ℓ)	0.005	0.006	0.009	0.021	0.012	0.077	0.008	0.018	0.010	0.081
Zn(mg/ℓ)	0.003	0.040	0.002	0.035	0.002	0.032	0.005	0.030	0.003	0.026
유해중금속 (Hg,Cd,As,Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND									

Appendix 7. The result of water quality analysis at H-river on 9th('98. 8) and 10th('98. 9)

지 점 항 목	통천교		초천교		대대교		회야교		소남보	
	9차	10차								
수온(°C)	26.4	27.5	26.4	30.4	25.6	29.0	24.8	27.5	24.9	29.1
pH	7.4	8.4	7.4	8.5	7.4	8.1	7.4	7.6	7.5	7.4
클로로필-a (µg/ℓ)	23.2	21.0	19.3	18.8	16.9	18.1	20.9	21.3	9.2	8.7
DO(mg/ℓ)	8.9	10.5	8.7	10.0	9.0	9.5	8.8	8.7	8.2	8.0
BOD(mg/ℓ)	1.0	2.0	1.2	3.0	1.3	0.9	0.8	1.2	1.3	1.0
COD(mg/ℓ)	2.9	5.3	3.0	6.0	3.0	3.2	2.5	3.1	4.8	4.4
SS(mg/ℓ)	2.4	4.8	3.2	4.0	6.0	2.0	15.2	1.2	120	19.6
T-P(mg/ℓ)	0.089	0.066	0.112	0.181	0.115	0.029	0.118	0.044	0.203	0.232
T-N(mg/ℓ)	2.28	2.23	2.39	2.83	2.57	1.15	2.53	1.64	2.71	4.37
Fe(mg/ℓ)	ND	0.06	0.05	0.09						
Mn(mg/ℓ)	ND	ND	ND	ND	ND	0.010	ND	0.010	ND	0.009
Zn(mg/ℓ)	0.002	ND	0.015	ND	0.004	ND	0.002	0.011	0.122	ND
유해중금속 (Hg,Cd,As,Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND									

Appendix 8. The result of water quality analysis at H-river on 11rd('98. 10) and 12th('98. 11)

지 점 항 목	통천교		초천교		대대교		회야교		소남보	
	11차	12차								
수온(°C)	10.2	15.7	10.2	15.9	10.3	15.6	10.3	14.7	10.3	16.4
pH	7.2	7.4	7.1	7.7	7.0	7.8	7.4	7.6	7.3	7.5
클로로필-a ($\mu\text{g}/\ell$)	3.9	32.8	3.1	31.6	9.6	23.6	4.4	17.1	2.5	10.6
DO(mg/ℓ)	11.0	9.7	10.7	9.2	10.3	9.8	10.6	9.5	9.8	9.0
BOD(mg/ℓ)	1.2	2.0	1.0	2.4	0.9	1.8	1.4	1.4	1.8	2.2
COD(mg/ℓ)	3.1	4.7	2.5	4.9	2.6	3.6	3.8	3.1	4.1	4.0
SS(mg/ℓ)	8.0	6.0	4.5	6.4	8.5	6.0	30.0	3.6	9.5	6.8
T-P(mg/ℓ)	0.053	0.058	0.062	0.091	0.073	0.062	0.069	0.091	0.086	0.245
T-N(mg/ℓ)	2.54	2.93	2.87	3.49	3.06	2.44	3.14	2.65	3.07	4.66
Fe(mg/ℓ)	0.10	ND	0.08	ND	0.12	ND	0.12	ND	0.12	ND
Mn(mg/ℓ)	0.007	0.009	0.017	0.021	0.043	ND	0.064	ND	0.071	ND
Zn(mg/ℓ)	0.034	ND	0.015	ND	0.009	ND	0.011	ND	0.022	0.006
유해중금속 (Hg,Cd,As,Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND									

Appendix 9. The result of water quality analysis at H-dam on 1st('97. 12)

지 점 항 목	취수 탑(표)	취수 탑(심)	방수 로(표)	방수 로(심)	신리분 교(표)	신리분 교(심)	신리교 개(표)	신리교 개(심)	통천 (표)	통천 (심)
수온	10.8	10.7	11.0	10.5	11.0	10.7	10.9	10.5	11.0	10.5
pH	7.2	7.3	7.2	7.2	7.2	7.2	7.3	7.3	7.2	7.2
DO	9.5	9.7	9.4	9.5	9.4	9.7	9.7	9.8	9.6	9.9
BOD	1.4	1.6	1.3	1.4	1.3	1.3	1.4	1.5	1.3	1.6
COD	4.4	4.7	4.3	4.2	4.5	4.7	4.4	4.7	4.4	4.8
T-P	0.080	0.056	0.087	0.074	0.106	0.115	0.083	0.060	0.099	0.066
T-N	2.59	2.88	2.66	2.99	2.65	2.45	2.61	2.47	2.55	1.93
SS	9.0	18.0	11.5	14.0	18.0	25.5	11.0	22.5	9.0	14.0
투명도(m)	1.3		1.3		1.3		1.2		1.0	
클로로필-a	7.0	6.6	7.9	7.3	8.7	10.0	8.7	9.6	5.8	5.4
Fe	ND	0.05	ND	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	0.005	0.127	0.015	0.050	0.014	0.026	0.020	0.009	0.006	0.004
유해중금속 (Hg,Cd,As, Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Appendix 10. The result of water quality analysis at H-dam on 2nd('98. 3)

지점 항목	취수탑 (표)	취수 탑(심)	방수 로(표)	방수 로(심)	신리분 교(표)	신리분 교(심)	신리교 개(표)	신리교 개(심)	통천 (표)	통천 (심)
수온	7.9	7.7	8.0	7.5	8.0	7.5	8.2	7.7	8.7	8.3
pH	7.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
DO	12.0	12.5	12.6	12.8	12.5	12.9	12.5	12.9	12.2	12.6
BOD	1.7	1.9	1.7	2.0	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.7
COD	4.1	4.3	4.0	4.3	3.9	4.2	4.2	4.1	3.8	3.6
T-P	0.041	0.042	0.040	0.045	0.020	0.031	0.018	0.045	0.034	0.029
T-N	3.08	3.55	3.11	3.29	3.45	3.29	3.33	3.34	3.42	3.70
SS	5.0	6.5	5.5	6.0	6.5	5.5	4.5	4.5	10.0	4.5
투명도(m)	1.0		1.0		1.0		0.9		0.8	
클로로필-a	16.6	32.7	16.5	8.5	18.1	12.2	20.7	15.4	24.8	21.7
Fe	0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	0.006	0.005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	0.021	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004
유해중금속 (Hg,Cd,As, Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Appendix 11. The result of water quality analysis at H-dam on 3rd('98. 6)

지 점 항 목	취수탑 (표)	취수 탑(심)	방수 로(표)	방수 로(심)	신리분 교(표)	신리분 교(심)	신리고 개(표)	신리고 개(심)	통천 (표)	통천 (심)
수온	20.7	19.9	21.1	20.5	21.7	21.4	22.3	21.9	22.8	22.4
pH	7.9	7.4	8.0	7.8	8.7	8.5	9.0	8.8	8.9	8.5
DO	10.1	8.1	8.7	8.1	10.1	10.2	10.6	10.4	10.6	10.6
BOD	4.4	1.6	2.4	2.1	3.9	3.8	4.1	3.4	4.8	4.6
COD	6.3	4.7	5.8	5.8	6.9	6.7	7.8	6.6	8.3	7.9
T-P	0.040	0.057	0.039	0.050	0.050	0.060	0.076	0.058	0.095	0.107
T-N	2.71	2.62	2.86	2.63	3.38	2.70	3.03	2.75	2.93	3.01
SS	8.4	7.2	6.0	5.8	8.4	7.2	10.4	10.0	13.6	12.8
투명도(m)	1.2		1.2		1.2		1.1		1.0	
클로로필-a	35.4	32.4	31.1	28.9	28.1	25.9	35.5	35.6	26.4	21.9
Fe	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	0.05
Mn	0.011	0.011	0.007	0.007	ND	ND	0.006	0.005	0.007	0.007
Zn	0.006	0.006	0.003	0.007	0.002	0.004	0.002	0.005	0.004	0.011
유해중금속 (Hg,Cd,As, Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Appendix 12. The result of water quality analysis at H-dam on 4th('98. 9)

지 점 항 목	취수탑 (표)	취수 탑(심)	방수 로(표)	방수 로(심)	신리분 교(표)	신리분 교(심)	신리교 개(표)	신리교 개(심)	통천 (표)	통천 (심)
수온	23.7	23.5	23.6	23.6	23.6	23.5	23.6	23.5	23.8	23.0
pH	7.3	7.4	7.3	7.4	7.4	7.5	7.4	7.5	7.5	7.6
DO	7.2	6.6	7.0	6.1	7.3	6.6	7.1	6.8	8.2	7.2
BOD	2.3	1.5	1.8	1.1	1.8	2.1	2.4	2.0	2.1	1.0
COD	6.0	5.4	6.3	5.6	5.1	5.3	5.8	5.3	5.9	5.7
T-P	0.031	0.023	0.026	0.027	0.032	0.031	0.035	0.041	0.048	0.057
T-N	1.93	1.87	1.87	1.91	1.88	1.91	1.92	1.84	1.96	1.99
SS	3.6	4.0	2.4	3.2	3.6	6.8	4.4	9.2	7.2	10.0
투명도(m)	1.5		1.5		1.5		1.2		1.1	
클로로필-a	14.9	13.2	16.7	16.8	17.0	17.8	24.5	20.9	35.6	30.8
Fe	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mn	0.010	0.007	0.006	0.010	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.009
Zn	0.002	ND	0.032	0.026	0.027	0.029	0.026	0.020	0.331	0.046
유해중금속 (Hg,Cd,As ,Cr ⁺⁶ ,Pb)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

감사의 글

상수도 수질연구소에 근무한지도 어느 듯 10년이란 세월이 흘렀습니다. 때로는 기쁜 일에 행복해 하고 때로는 슬픈 일에 힘들어 하기도 했습니다. 하지만 부모님과 가족의 따뜻한 사랑은 항상 저를 제자리에 지켜주고 인도해 주셨습니다.

한편의 논문이 완성되기까지 차가운 이성과 따뜻한 가슴으로 부족한 저를 지도해 주신 강임석 교수님과 바쁜신 중에도 저의 논문을 심사해 주신 박청길 교수님과 이병현 교수님, 이석모 교수님께 깊은 감사드립니다. 그리고 항상 관심을 가지고 지켜봐 주신 이제근 교수님, 여석준 교수님께도 감사드립니다. 아울러 논문이 끝날 때까지 많은 도움을 준 상수도공학 실험실의 정철우씨, 이철우씨, 그리고 학과사무실 조교 선생님께도 감사드립니다. 그리고 학업에 정진할 수 있도록 많은 배려를 해주신 수질연구소 이진열 소장님께 감사드리며 항상 건강하시고 행복하시기를 바랍니다.

퇴근 후 늦은 시간까지 먼 길을 오가느라 함께 고생하면서도 항상 웃음을 잃지 않았던 힘이 되어 주었던 김대영씨, 힘들고 외로울 때 언제나 곁에서 함께 해준 박인해씨, 그리고 논문을 완성하는데 세심한 도움을 준 신상민씨와 수질연구소 모든 분들께 감사드립니다.

오늘이 있기까지 언제나 깊은 관심과 사랑으로 보살펴 주신 부모님과 사랑하는 가족에게 무엇보다도 이 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

참고문헌

- Cho, K.S., Comparative studies on the limnology of the Chuncheon, Uiam and Achim reservoirs (1) The environmental conditions and seasonal variation of plankton, Kor. J. Lim, Vol, 4(1~2), 1971.
- G. Mulamoottil and E.Mcbean, detention time - A key decision factor in controlling algae blooms in man made lakes, JO270, Canada J.V. Eng., Vol, 110(3) pp.450~455, 1983.
- G.D. Cooke, et al, Changes in lake trophic states & intenal phosphorus release after Aluminum Sulfate application, J260, Water resource Bulletin, Vol, 18(4), pp.699~706, 1982.
- James M. Steichen, et al, The effect of lake destratification on water quality, J. AWWA, Vol, 71(4) pp.219~225, Apr, 1979.
- J.L. Pavoni, Handbook of water quality management planning, Van Nostrand Reinhold Co., 1977.
- J.R. Dillon, The phosphorus and chlorophyll levels in lake, J.WPCF, Vol.48(9), pp.2176~2182, 1974.
- Kerry M. Robinson, et al, localized destratification at lake Texoma, ASCE. Vol, 108(E4), Aug, 1982.
- K.H. Reckhow, uncertainty analysis applied to Vollenweider's phosphorus loading criterion, J, WPCF, Vol, 51(8), pp.2123~2128, Aug, 1979.
- Lwanski, M.L. et al, Factors affecting water quality in Cherokee reservoir, Tennessee Valley Authority, Division of water Resources, July, 1980.
- Metcalf & Eddy, Inc., Wastewater Engineering : Treatment disposal reuse, Mcgrow-Hill Book Co, 1979.
- P.E. Odum, et al, pollution and marine ecology, Wiley Interscience, 1967.

- P.J. Dillon, The phosphorus budget of Cameron lake. Ontario; The importance of flushing rate to the degree of eutropic lake, *Limn. and Ocean*, Vol, 20(1) pp.28, jan. 1975.
- R. Anne Jones and G.Fred Lee, Chlorophyll-a raw water quality parameter, *J. AWWA*, Vol, 74(9) pp.490~493, 1982.
- R.A. Volleweider, Eutrophication a Grobal problem, *Water quality Bulletin*, Vol.6(39), 1981.
- R.E. Carlson, A trophic index for lakes, *Limn. and Ocean*. Vol. 21(2), pp.361~369, 1977.
- Standard Method for the Examination of water and wastewater, APHA-AWWA-WPCF, 15th ed., 1981.
- Thomas H. Mough II, Restoring Damaged lakes, *Research News, Science*, Vol 203(2), pp.425~427, Feb, 1979.
- U.S. EPA, Restoration of Medical lake, 1980.
- W.R. Schaffner, phosphorus loading to lake and some of their response part 1, *Limn, and Ocean*. Vol, 21(1), pp.120, Jan, 1978.
- 권오현, 수자원공학, 새론, 1994.
- 김규철외 3, 수질오염공정시험법, 동화기술, 1994.
- 김창원외 2, 환경미생물학, 동화기술, 1995.
- 낙동강환경관리청, 상수도에서의 조류장애 및 저감대책, 1998.
- 울산시 상수도사업본부, 울산시 수도정비 기본계획 보고서(I), 1997.
- 울산시 수질검사실, 회야댐 호소수의 황토에 의한 수질개선에 관한 조사, 1997.
- 정우용, 호수환경조사법, 동화기술, 1995.
- 표영평, 하천공학, 보문당, 1996.
- 한국수자원공사, 댐유역 오염물질의 유입특성 및 영향에 관한 연구, 1997.