

제주도내 유수하천에 대한 수질특성 및 오염부하량 산정

조은일·오윤근
제주대학교 환경공학과
(1998년 9월 9일 접수)

The Characteristics of Water Quality and the Estimation of Pollutant Loadings from the Flowing Streams in Cheju Island

Eun-Il Cho and Youn-Keun Oh

Dept. of Environmental Engineering, Cheju National University, Cheju, Chejudo 690-756, Korea
(Manuscript received 9 September 1998)

In order to manage the water quality from the flowing streams in Cheju Island, the characteristics of water quality was investigated from August, 1996 to May, 1997 and the pollutant loadings for future were estimated from the watershed at each stream.

Comparing the mean concentrations of each water quality with the criterion of water quality in river, it was under I class except for Changgo Stream, for DO, under I class at the whole station for SS and under II class for BOD.

As the pollutant loadings at each stream in 2020 is compared with those in 1996, the estimated results are as follows : 1) for BOD, 59% at Donghong Stream, 24% at Yeonoe Stream, 44% at Ohngpo Stream and 57% at Changgo Stream. 2) for T-N, 91% at Donghong Stream, 76% at Yeonoe Stream, 63% at Ohngpo Stream and 89% at Changgo Stream. 3) for T-P, 69% at Donghong Stream, 42% at Yeonoe Stream, 45% at Ohngpo Stream and 73% at Changgo Stream

The point source loadings discharged through combined sewer could be treated at sewage treatment plant. However, the expected slow decreasing rate of BOD, T-N, and T-P loadings is due to the part of untreated nonpoint source loadings. Nonpoint source loading overflow typically occurs when the flow of stormwater combined with sewage exceeds the capacity of the interceptor sewers. Since most of the sewers used in Cheju Island are the combined sewers, the combined overflow sewage is bypassed into the receiving water area after a rainstorm. Therefore, a means to control nonpoint source loadings should be considered for the river and marine water quality management.

Key words : pollutant loadings, flowing stream, watershed, Cheju Island, combined sewer

1. 서론

제주도는 사면이 바다로 둘러 쌓여 있는 개방해역으로 수려한 자연환경이 잘 보전된 청정지역이며 전국에서 최고의 환경질을 보여주고 있어 최상의 관광지역으로 알려져 있다. 제주도의 해역특성 때문에 오염물질이 해역에 유입되어도 조류에 의해 희석·확산되므로 낮은 수질농도를 보이고 있으나 도시하천이 항만이나 포구로 유입되는 폐쇄성 수역에는 오염물질이 축적되어 심각한 수질오염문제를 일으키고 있어 하천 수질관리 대책이 시급한 실정이다.

제주도의 하천의 특징은 한라산 정상에서 발원하여 해안방향으로 유하한 후 바다로 유입되며, 대부분 건천인 상태로 조면안산암 또는 현무암 등의 다공질 용암류로 구성되어 있어 투수력이 좋고 하천 구배는 1/20내의

이다(제주도, 1997). 또한 이들 하천은 평시에 건천을 이루고 있으나 강우 시에는 일시적 유출을 보이는 간헐천이며 유로 전체에 유수가 있는 것이 아니고 해안선 가까운 하류에만 거의 대부분 생활하수가 유수되기 때문에 이들 하천에 대한 유황을 제시하기는 어려운 실정이다(환경처, 1991). 이러한 문제로 인하여 제주도 하천의 수질관리는 매우 어려운 실정이며 또한 이들 하천을 대상으로 한 연구는 유수하천의 수질현황을 파악하는데 그치고 있는 실정이다(金式裕 외, 1989; 吳德鐵 외, 1991; 金式裕 외 1991; 金柄謨 외, 1992).

따라서 본 연구는 제주도내 하천 수질관리를 위해 유수하천을 대상으로 수질조사 및 유황조사를 병행하여 인근 해역으로 유입되어 해양오염을 일으킬 수 있는 각 하천의 오염부하량에 대하여 현재 상태의 오염부하량과

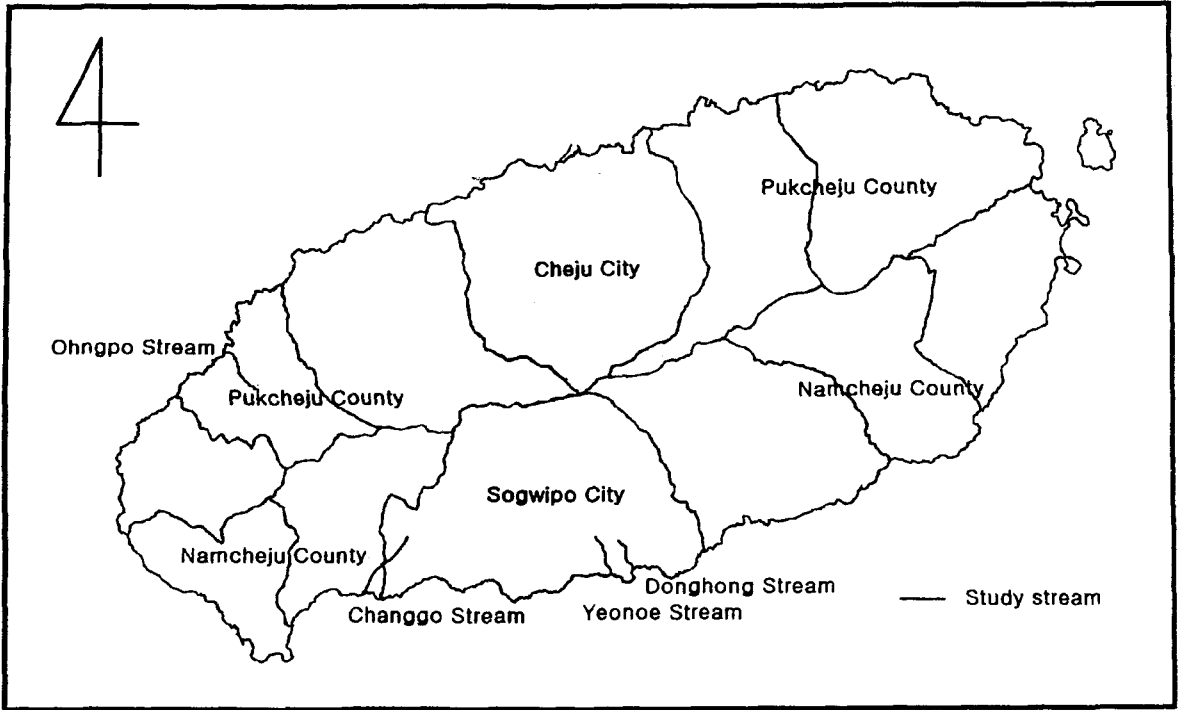


Fig. 1. Location of study streams in Cheju Island.

장래에 발생할 수 있는 부하량을 단기(2001), 중기(2010) 그리고 장기(2020)으로 나누어 산정하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 수질조사

조사 하천은 제주도 내의 각 시군 별로 총 4개 하천에 대하여 Fig. 1에 나타내었으며 각 하천별로 상·중·하 3지점으로 나누어 조사하였다. 조사시기는 계절별 총 4회 조사하였으며 수질조사항목은 pH, 용존산소(DO), 생물화학적산소요구량(BOD), 부유물질(SS), 화학적산소요구량(COD), 총질소(T-N), 그리고 총인(T-P)에 대해 조사하였다. 수질분석방법은 수질오염공정시험법과 Standard methods, APHA(1985)에 의했다.

2.2 장래의 오염부하량 산정방법

오염부하량을 예측한 하천은 수질조사를 실시한 4개 하천에 대하여 산정하였다. 부하량 산정은 각 하천을 포함하고 있는 지역을 배수유역별로 구분하고 유역내 현황조사(인구수, 가축수, 산업시설, 축산시설, 토지이용형태 등)를 통하여 기존 조사된 원단위 값을 이용하여 인근 해역으로 유입될 수 있는 총 부하량(점원, 비점원부하량)을 계산하였다. 여기서 계산한 부하량은 총 발생부하량에서 유달부하량을 부분적으로 고려한 부하량이다. 여기서 유달부하량이란 오염발생원에서 배출된 부하가 배수유역을 유하하면서 미생물에 의한 유기물분해, 흡착 및 침전과정을 통하여 제거된 후 대상하천에 도달하는 부하량을 말하며 이 양을 산정하기 위해서는 상당한

기간의 조사와 연구가 필요하다(大邱廣域市, 1996). 따라서 여기서는 하천유역으로 유입될 수 없는 시가화 지역의 생활오수(하수종말처리장에서 처리되는 것)와 분뇨(분뇨처리장에서 처리되는 것)는 제외하고 비시가화 지역에서 발생하는 생활오수와 환경기초시설을 통하여 처리되는 산업폐수와 축산폐수 그리고 강우시 발생될 수 있는 비점원부하량을 포함하여 부하량을 산정하였다.

장래 부하량 예측은 단기(2001년), 중기(2010년), 장기(2020년)로 구분하여 각 하천유역에 발생하는 부하량을 예측하였다(제주도, 1997).

2.2.1 지도에서 각 하천이 차지하고 있는 유역면적을 결정

각 하천의 배수유역면적과 토지이용형태는 유역지도와 문헌을 비교·검토하여 설정하였는데 동홍천과 연의천의 경우는 河川整備基本計劃(西歸浦市, 1994; 西歸浦市, 1995)를 이용하였으며 창고천과 옹포천은 濟州道水資源綜合開發計劃樹立報告書(建設部 외, 1993)를 이용하여 설정하였다.

2.2.2 유역현황조사

1) 인구

장래의 오염부하량 예측에 있어 중요한 인자인 유역면적내 거주하고 있는 인구예측은 Table 1에 나타내었다. Table 1을 보면 시·군별 인구와 유역인구를 나타냈는데 유역인구의 증가는 1996년을 기준으로 각 시군별 인구와 비례하여 증가한다고 가정하였다(제주도, 1997).

Table 1. The present population and the population for future at each watershed (unit:persons)

Item	year			
	1996 ¹⁾	2001	2010	2020
Sogwip'o City	85,103	86,280	87,310	88,430
Donghong Stream	3,523	3,572	3,614	3,660
Yeonoe Stream	18,635	18,895	19,118	19,363
Pukcheju County	98,325	87,170	71,030	53,080
Ohngpo Stream	6,104	5,411	4,410	3,295
Namcheju County	79,208	74,460	65,810	56,210
Changgo Stream	2,310	2,172	1,919	1,639

¹⁾ : 제주도(1997)

Table 2. The rate of sewage treatment at each watershed (unit:%)

Item	year			
	1996	2001	2010	2020
Donghong Stream	63	97	98	100
Yeonoe Stream	63	97	98	100
Ohngpo Stream	0	96	99	100
Changgo Stream	0	85	100	100

2) 하수처리율

각 하천 유역에서 발생하는 장래 하수의 환경기초시설을 통한 처리율은 Table 2에 나타났으며 각 시군별 하수도 정비기본계획변경 보고서를 이용하였다(동홍천과 연외천의 경우 西歸浦市下水道整備基本計劃變更報告書, 창고천의 경우 南濟州郡下水道整備基本計劃變更報告書, 옹포천의 경우 北濟州郡下水道整備基本計劃變更報告書).

하수처리율은 하수종말처리시설과 하수도 보급율 등을 고려하였고 시가화 지역과 비시가화 지역으로 나누어 하수처리율을 결정하였다.

Table 2를 보면 옹포천과 창고천의 경우 하수처리율이 0%인 것은 북제주군에 위치하는 옹포천과 남제주군에 위치하고 있는 창고천의 경우 현재 하수종말처리장이 건설중이어서 가동이 되고 있지 않기 때문에 1996년 하수처리율은 0%를 적용하였다.

3) 축산시설, 산업시설 및 기타시설

유역내 위치하여 폐수를 배출하는 시설은 제주도(1997)가 조사한 결과를 이용하여 각 유역에서 발생하는 산업폐수와 축산폐수를 고려하였다.

2.2.3 부하량 산정시 적용한 원단위값

인구에 의한 오염부하량 원단위는 Table 3에 나타내었다. 원단위 값은 문헌에 따라 큰 차이를 보이고 있으나 본 연구에 적용한 값은 환경처(1991)가 제주도를 대상으로 적용한 값과 환경처(1992)에서 이용한 값을 적용하였다. 모든 항목에서 시가화 지역과 비시가화 지역으로 나누어 적용했고, BOD의 경우 매년 1g/cap·d가 증가한다고 가정하고 T-N과 T-P는 장래 증가가 없는 것으로 가정하였다.

토지이용별 비점오염원 원단위는 Table 4에 나타내었다. 본 연구에 적용한 값은 환경부(1995)가 전국을 4대 수역권으로 구분하여 조사한 결과이다. 비점원 오염원 원단위 값은 많은 연구자에 의해 연구가 되고 있으며 토

Table 3. The unit value of pollutant loadings from the future population (unit:g/cap·d)

Item	year				
	1996 ¹⁾	2001	2010	2020	
BOD	city	65	70	79	89
	county	54	59	68	78
T-N	city	7.75	7.75	7.75	7.75
	county	7.75	7.75	7.75	7.75
T-P	city	1.63	1.63	1.63	1.63
	county	1.63	1.63	1.63	1.63

¹⁾ : 환경처(1991)

Table 4. Pollutant loadings from nonpoint sources in different area (unit:kg/km²/d)

sources ¹⁾	BOD	T-N	T-P
urban area	85.9	13.69	2.10
crop land	11.0~92.9	2.19~43.01	0.24~8.49
	1.6	9.44	0.24
forest area	1.1~7.1	0.36~10.11	0.08~1.09
	1.0	2.20	0.14
	0.7~3.8	0.26~4.41	0.01~0.25

¹⁾ : 환경부(1995)

지이용 형태별 비점원 부하량도 세분화하여 많은 연구가 이루어지고 있다(Polls et al., 1980; Jennings, 1980) 또한 비점부하량 산정에 중요한 영향을 미치는 하수관거의 형태에 따른 연구도 행해지고 있다(Collins et al., 1980; Caulkins et al., 1988). 그러나 본 연구에 적용한 원단위 값은 토지이용형태를 3가지 형태로 단순화하여 토지이용형태가 유사한 국내의 문헌을 참고로 하였으며 하수관거 형태에 있어서 제주도의 경우 대부분 합류식하수관거를 사용하므로 하수관거 형태를 구분하지 않고 합류식 하수관거로 원단위값을 고려하였다.

Table 5. The values of water quality at each stream in Cheju Island from August, 1996 to May 1997

Variable	flowrate	pH	Temp	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P
Stream	m/s		(°C)	()		mg/ℓ			
Donghong Stream	Range	0.154~0.313	6.96~7.49	13.4~17.5	6.08~10.27	0.40~3.43	1.24~1.90	2.394~6.174	0.077~0.152
	mean	0.220	7.16	15.5	8.38	1.45	1.99	4.094	0.093
Yeonee Stream	Range	0.363~0.773	7.21~7.96	13.7~19.0	7.24~10.82	0.66~2.27	1.20~2.40	1.00~5.480	0.072~0.096
	mean	0.495	7.57	16.2	8.93	1.53	1.86	3.666	0.083
Ohngpo Stream	Range	0.172~0.462	7.50~8.89	12.0~23.5	7.32~9.30	1.02~2.18	1.03~1.60	1.60~5.232	0.084~0.142
	mean	0.303	7.99	17.0	8.43	1.63	1.98	3.78	0.114
Chang Stream	Range	0.201~0.361	6.63~8.19	10.8~24.8	2.40~10.04	0.40~8.30	1.24~1.20	3.129~11.396	0.041~0.451
	mean	0.279	7.76	16.2	7.10	1.96	4.63	6.613	0.227

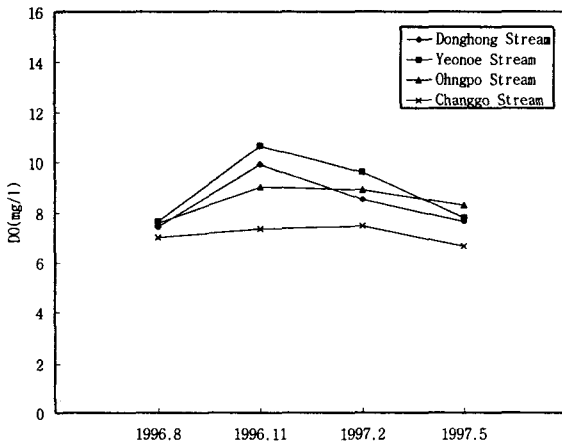


Fig. 2. Seasonal variations of DO at each stream in Cheju Island.

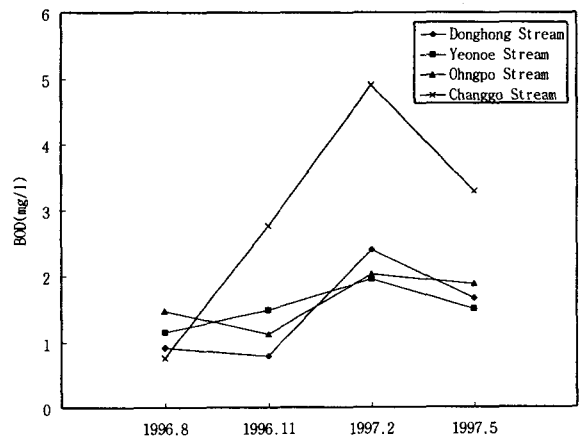


Fig. 3. Seasonal variations of BOD at each stream in Cheju Island.

3. 결과 및 고찰

3.1 하천수질현황

조사한 하천수질결과는 Table 5와 Fig. 2~Fig. 6에 나타내었다.

유량은 전 조사기간 동안 전 조사지점에서 0.154~0.773m³/s의 범위를 보였고 평균값은 0.324m³/s였다. 조사기간 동안 조사하천 중 연외천이 가장 많은 유량을 보였고 동홍천이 가장 적은 유량을 보였다.

용존산소(DO)는 Fig. 2에 월별변화를 나타냈으며 전 조사기간동안 전 조사지점에서 2.40~10.82mg/l의 범위를 보였고 평균값은 8.21mg/l였다. 계절별로는 Fig. 2에서 같이 추계인 11월이 전체적으로 높은 값을 보였고 지점별로는 창고천이 가장 높은 농도를 보였다. 창고천의 경우는 상류지점이 생활오수가 다량 유입된 후 정체됨으로 인해 유기물의 산화 분해작용으로 인한 산소소모에 의한 것으로 사료된다.

생물화학적산소요구량(BOD)은 Fig. 3에 월별변화를 나타냈으며 전 조사기간동안 전 조사지점에서 0.40~8.30mg/l의 범위를 보였고 평균값은 1.64mg/l였다. 계절별로는 창고천을 제외하고는 DO의 경우와는 반대의

경향을 보이며 지점별로는 창고천이 동계인 2월에 가장 높은 농도를 보였다.

화학적산소요구량(COD)은 Fig. 4에 월별변화를 나타냈으며 전 조사기간동안 전 조사지점에서 1.03~14.23mg/l의 범위를 보였고 평균값은 2.62mg/l였다. 지점별로는 창고천이 가장 높은 농도를 보였으며 이 원인은 창고천 상류조사지점에 인근 지역의 하수가 유입되어 정체됨으로 인한 영향으로 사료된다.

총질소(T-N)는 Fig. 5에 월별변화를 나타냈으며 전 조사기간동안 전 조사지점에서 1.989~11.396mg/l의 범위를 보였고 평균값은 4.728mg/l였고 총인(T-P)은 Fig. 6에 월별변화를 나타냈으며 전 조사기간동안 전 조사지점에서 0.041~0.451mg/l의 범위를 보였고 평균값은 0.129mg/l였다.

3.2 장래의 오염부하량 예측

원단위 산정에 의한 항목별 장래오염부하량을 예측한 결과는 Table 6와 Fig. 7~Fig. 9에 나타내었다.

장래 오염부하량의 변화추세를 살펴보면 전 항목에 대하여 감소되다 유지하는 것을 알 수 있다. 이 원인은

제주도내 유수하천에 대한 수질특성 및 오염부하량 산정

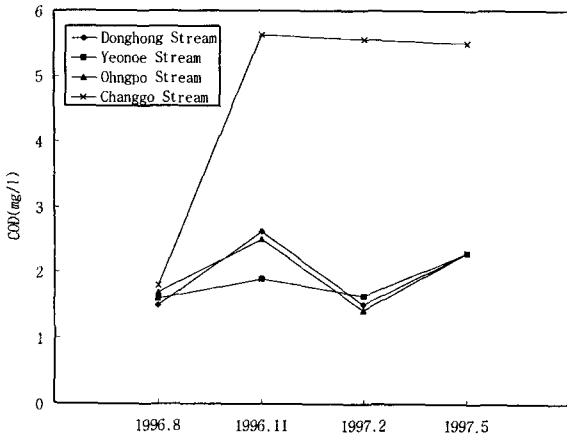


Fig. 4. Seasonal variations of COD at each stream in Cheju Island.

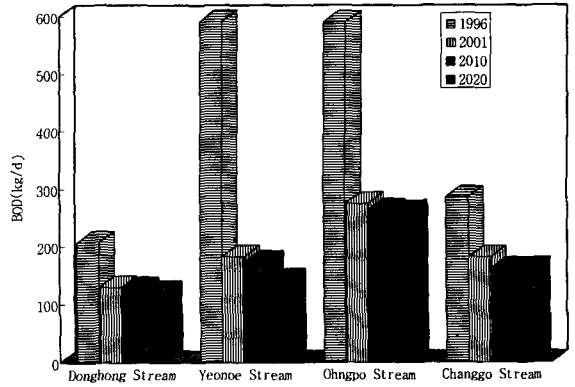


Fig. 7. Yearly variations of estimated BOD loadings at each stream in Cheju Island.

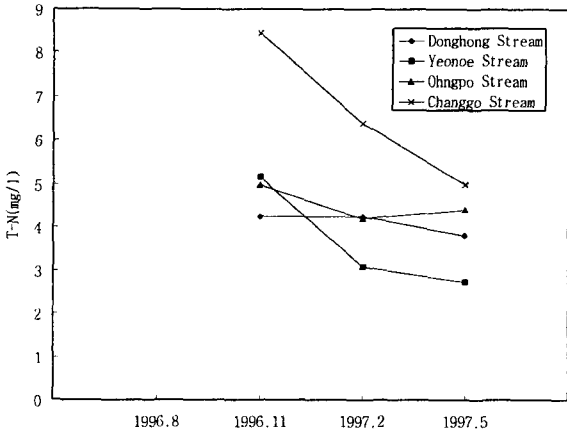


Fig. 5. Seasonal variations of T-N at each stream in Cheju Island.

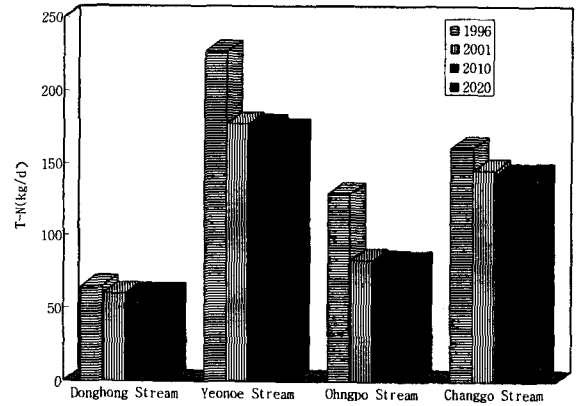


Fig. 8. Yearly variations of estimated T-N loadings at each stream in Cheju Island.

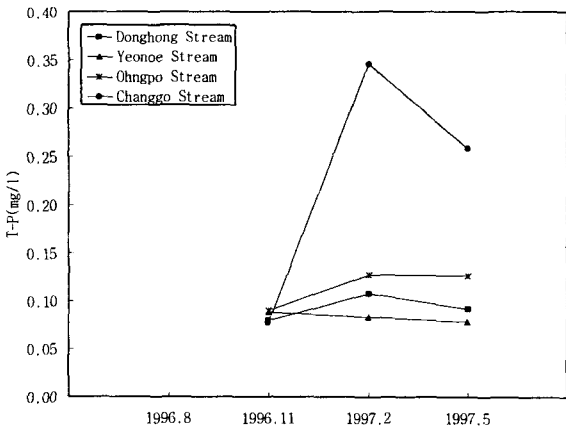


Fig. 6. Seasonal variations of T-P at each stream in Cheju Island.

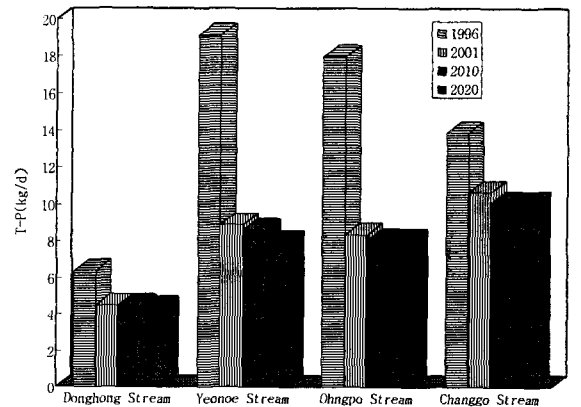


Fig. 9. Yearly variations of estimated T-P loadings at each stream in Cheju Island.

각 지역별로 하수도 보급이 증대되어 시가화 지역이 늘어나며 하수종말처리장이 건설되거나 처리용량이 증대

됨으로 인하여 유역으로 직접 배출되는 오염부하량이 감소되기 때문이다. 그러나 오염부하량의 증감없이 유

Table 6. The estimated pollutant loadings at each stream in Cheju Island (unit:kg/d)

Stream	Variable	year			
		1996	2001	2010	2020
Donghong Stream	BOD	207	130	129	123
	T-N	64.7	59.8	59.5	59.0
	T-P	6.4	4.5	4.5	4.4
Yeoneo Stream	BOD	592	183	174	143
	T-N	226.3	177.2	175.8	172.8
	T-P	19.2	8.9	8.6	8.0
Ohngpo Stream	BOD	590	274	264	261
	T-N	128.7	83.0	81.7	81.3
	T-P	18.0	8.4	8.1	8.1
Changgo Stream	BOD	286	181	162	162
	T-N	160.6	145.2	142.7	142.7
	T-P	13.9	10.7	10.1	10.1

지되는 것은 전 지역이 시가화되어 점원부하량의 경우 모두 처리되거나 비점원오염부하의 배출로 인하여 여전히 각 하천별 오염부하량이 발생하기 때문이다.

BOD부하량의 변화추세는 Fig. 7에 나타냈으며 추세를 살펴보면 전 하천에 대해 급격한 감소경향을 보임을 알 수 있다. 만약 하수도보급과 하수종말처리시설의 확충이 계획대로 진행된다면 2020년에는 1996년 현재의 부하량에 비해 각 하천별로 동홍천 59%, 연외천 24%, 옹포천 44% 그리고 창고천 57%만이 배출되는 것을 알 수 있다. 그러나 연외천을 제외하고는 상대적으로 높은 부하량이 배출되는 것은 총 부하량에서 제거되지 않고 배출되는 비점원부하량이 차지하고 있는 비율이 다른 하천에 비해 높기 때문이다.

T-N부하량의 변화 추세는 Fig. 8에 나타내었으며 변화 추세를 살펴보면 2001년 부하량이 1996년 부하량에 비해 급격히 감소되다 계속 유지되는 추세를 보이는데 이것은 BOD의 경우와 마찬가지로 경향이다. 하천별로 비교해 보면 다른 하천에 비해 연외천이 높은 T-N부하량을 보이는데 그 원인은 연외천의 경우 9.44kg/km/day라는 높은 비점원부하를 배출하는 발이 차지하는 비율이 59%를 차지하기 때문이다.

T-P부하량의 변화추세는 Fig. 9에 나타내었으며 변화 추세를 살펴보면 BOD와 거의 유사한 경향을 보임을 알 수 있다.

4. 결 론

제주도내 하천 수질관리를 위해 우수하천을 대상으로 수질조사 및 장래 하천의 오염부하량을 산정한 결과는 다음과 같다.

제주도 4개 우수하천의 평균 수질 농도를 보면 DO의 경우, 창고천을 제외하고는 I 등급 수질을 보이고 있으며, SS의 경우는 전 조사지점에서 I 등급수질을 보였다. 그러나 BOD의 경우는 II 등급의 수질을 보였다. 또한 T-N과 T-P의 경우도 높은 값이 조사되어 만약 이를 처리하지 않고 해역으로 그대로 유입될 경우 부영양화를 유발할 가능성도 있다.

오염부하량을 산정한 결과를 보면, BOD의 경우

2020년에는 1996년 부하량에 비해 동홍천 59%, 연외천 24%, 옹포천 44% 그리고 창고천 57%가 배출되고, T-N의 경우 2020년에는 1996년 부하량에 비해 동홍천 91%, 연외천 76%, 옹포천 63% 그리고 창고천 89%가 배출되고, T-P의 경우 2020년에는 1996년 부하량에 비해 동홍천 69%, 연외천 42%, 옹포천 45% 그리고 창고천 73%가 배출된다.

이와 같은 낮은 감소율은 점원부하의 경우 하수도에 의해 전 부하량이 하수처리장에서 처리되나, 비점원부하의 경우, 대부분 합류식 하수관거를 사용하는 제주도의 경우 하수관거에 유입되거나 토양으로 유입되는 부분을 제외하고는 월류되어 그대로 수역으로 배출되기 때문이다. 따라서 제주도 하천수질 및 해역수질관리를 위해서는 비점원부하를 제어할 수 있는 방법을 반드시 고려해야 할 것이다.

참 고 문 헌

建設部, 濟州道, 韓國水資源公社, 1993, 濟州道水資源綜合開發計劃樹立 報告書.
 金式裕, 金成洪, 趙仁淑, 金秀貞, 吳相實, 李東柱, 金洪鐘, 1989, 濟州道內 河川水 水質에 對한 研究, 濟州道保健環境研究院報 第1卷, 147~158.
 金式裕, 金成洪, 趙仁淑, 金秀貞, 吳相實, 李鍾原, 金洪鐘, 1991, 濟州道內 河川 및 海水浴場의 水質調查, 濟州道保健環境研究院報 第2卷, 127~134.
 金柄謨, 趙仁淑, 宋祥澤, 玄根卓, 玄益賢, 金亨哲, 1992, 濟州市內 河川의 水質汚染度 調查, 濟州道保健環境研究院報 第3卷, 83~93.
 南濟州郡, 1996, 南濟州郡 下水道整備基本計劃變更 報告書, 419pp.
 大邱廣域市, 1996, 洛東江水質保全對策, p 339.
 北濟州郡, 1997, 北濟州郡 下水道整備基本計劃變更 報告書, 240pp.
 西歸浦市, 1994, 東烘川 河川整備基本計劃, 159pp.
 西歸浦市, 1994, 西歸浦市 下水道整備基本計劃變更(案) 報告書, 389pp.
 西歸浦市, 1995, 淵外川·好近川 河川整備基本計劃,

- 124pp.
- 吳德鐵, 崔永贊, 高容九, 1991, 서귀포市內 主要 河川의 水質에 관한 調査, 濟州道保健環境研究院報 第2卷, 59~71.
- 제주도, 1997, 환경백서. p 92
- 제주도, 1997, 제주도 친환경개발을 위한 환경지표설정, 980pp.
- 제주도, 1997, '96 주민등록인구통계결과('96. 12. 31 현재), 54pp.
- 환경부, 1995, 비점오염원 조사연구사업 보고서, 571pp.
- 환경처, 1991, 제주도 환경보전 종합대책 - 수질 오염방지 장기 계획 중심으로-, p 43.
- 環境處, 1992, 水系別水質保全綜合對策樹立 綜合報告書, 721pp.
- APHA · AWWA · WPCF, 1985, Standard methods 16th Ed., Port City Press, Baltimore, Maryland., 1268pp.
- Caulkins P., C. Binkley, C. Ruf and C. Miller, 1988, The role of economic benefits analysis in funding marine combined sewer overflow projects-case study of Boston Harbor, Journal WPCF, Vol. 60, 1275~1280
- Collins, P.G. and J. W. Ridgway, 1980, Urban storm runoff Quality in Southeast Michigan, Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol. 106, 153~161.
- Jennings, M.E., 1980, Storm water analysis and predictions in Houston, Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol. 106, p 245.
- Polls, I and R. Lanyon, 1980, Pollutant concentrations from homogeneous land Uses, Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol. 106, 69~80.