

# 농촌유역에서의 유달부하량 및 유달율의 특성

## Characteristics of Runoff ratio and Pollutant Loading in Rural Watersheds

양영민\* · 권순국(서울대)

Yang, Young Min · Kwun, Soon Kuk

### Abstract

In this study, to propose the methods predicting water qualities in rural areas, the methods which were based on the runoff ratio, the relationships between the pollutant load(L) and the water runoff(Q), and the relationships between the runoff ratio and the water runoff in Bokha stream watersheds were examined.

As a result, we had acquired reliable the values of runoff ratio and the reasonable equations between the pollutant load(L) and the water runoff(Q) in Bokha stream watersheds. And it was noticed that the runoff ratio had tendency of varying directly proportional to the water runoff.

### I. 서론

최근 농촌유역의 수질오염이 심각해짐에 따라 이를 해결하기 위하여 유역의 오염부하량 조사, 오염과정의 해석 및 수질 예측, 자정작용 등의 여러 가지 분야로 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 무엇보다도 먼저 수질오염의 내용과 범위 등 진단하기 위해서는 수질에 대한 예측이 필요하다.

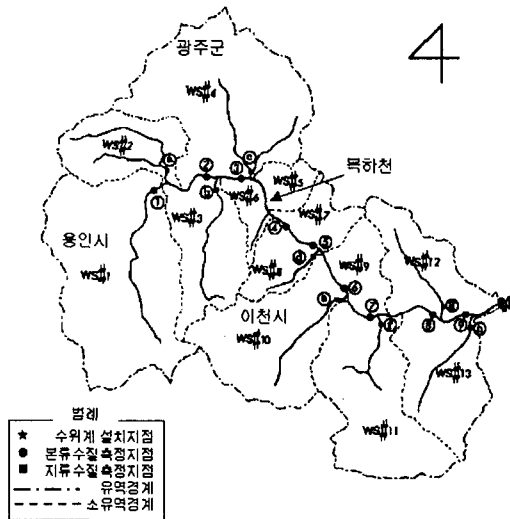
수질오염을 예측하는 방법으로 수질예측 모의발생 모델을 사용하는 방법과 간단한 오염부하량 경험식을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 오염부하량 경험식을 이용하는 방법으로는 유달부하량-유량 관계식(L-Q식)을 얻어 유량에 따른 오염물질의 부하량을 예측하는 방법과 유달율을 이용하는 방법이 널리 쓰인다. 이 경우, 수질예측모델과는 달리 범용성은 없지만, 자료를 얻은 해당지역에서는 모델보다 더 잘 맞는 특징이 있다.

본 연구에서는 대표 시험 유역 내에서의 오염원 조사자료와 실측 수질자료를 이용하여 유달부하량(L)과 유량(Q)의 상호관계를 나타내는 L-Q 식을 유도하고, 유량과 유달율의 상호관계를 고찰하여 농촌 소유역에서의 수질예측 방법을 제시하고자 한다.

### II. 연구방법

본 연구의 대상유역으로는 경기도 이천시, 용인시, 광주군에 걸쳐 있는 북하천의 상류유역이며, <그림 1>에서 보는 바와 같이 13개의 소유역으로 분할된 소유역 중에, WS#1~4, 8, 11의 6개의 유역을 선정하였다. 대상오염항목은 BOD, T-N, T-P로 한정하였다.

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)



<그림 1> 유역도

### 1. 배출부하량 및 유달부하량의 산정

시험유역내의 오염원을 그 종류에 따라 점원계(생활계, 축산계, 산업계) 및 비점원계(자연계, 농업계, 축산계)로 구분하였다. 오염부하량의 산정에 필요한 오염원단위 및 배출율 등은 문헌 조사를 통하여 얻었으며, 인구, 가축의 사육두수, 사업종류와 배수량, 토지이용 현황, 생활계 및 축산계의 폐수처리 실태는 군청이나 면사무소에 소장된 자료와 현지답사를 통해 파악하였다.

논, 밭에서의 배출부하량의 산정에 필요한 시비량은 대상유역의 농가를 대상으로 한 설문 조사를 통하여 파악하였다. 논, 밭의 경우는 13개의 소유역별 시기별 시비량을 얻었고, 밭의 경우는 봄작물과 가을작물의 시비량을 조사하여 전 유역에 동일하게 적용하였다.

각 소유역에 유입되는 유달부하량 산출에는 1996년 3월부터 1998년 8월까지의 23개의 실측을 통해 얻은 자료를 이용하였다.

### 2. 유달율의 산정

유달율은 유역내에 배출된 오염부하 중 기준 지점까지 유달하는 부하의 비율을 나타내는 값으로 유달부하량을 배출부하량으로 나누어 계산하였다. 또한, 강우시와 평상시로 구분하여 유달율의 특성을 검토하여 보았다.

### 3. L-Q 식의 산정

오염물질의 부하량(L)과 유량(Q)사이에는 일반적으로  $L=a \cdot Q^b$  또는  $L=c \cdot Q+d$ 의 관계가 있다고 알려져 있으며, 본 연구에서는  $L=a \cdot Q^b$ 식을 사용하였다. 대상 소유역으로 배출부하량 중 산업계가 차지하는 비중이 2~3% 내외인 WS#1~4등은 우리나라의 전형적인 농촌유역이라 할 수 있어 이 4개의 소유역을 선정하여 L-Q식을 작성하였으며, 타당성을 검토하기 위하여 산업계 부하량이 높은 WS#8, 11의 소유역 유달부하량 중에 산업계가 차지하는 양만큼을 제외하

고 L-Q식을 작성하여 WS#1~4의 L-Q 식과 비교하여 보았다.

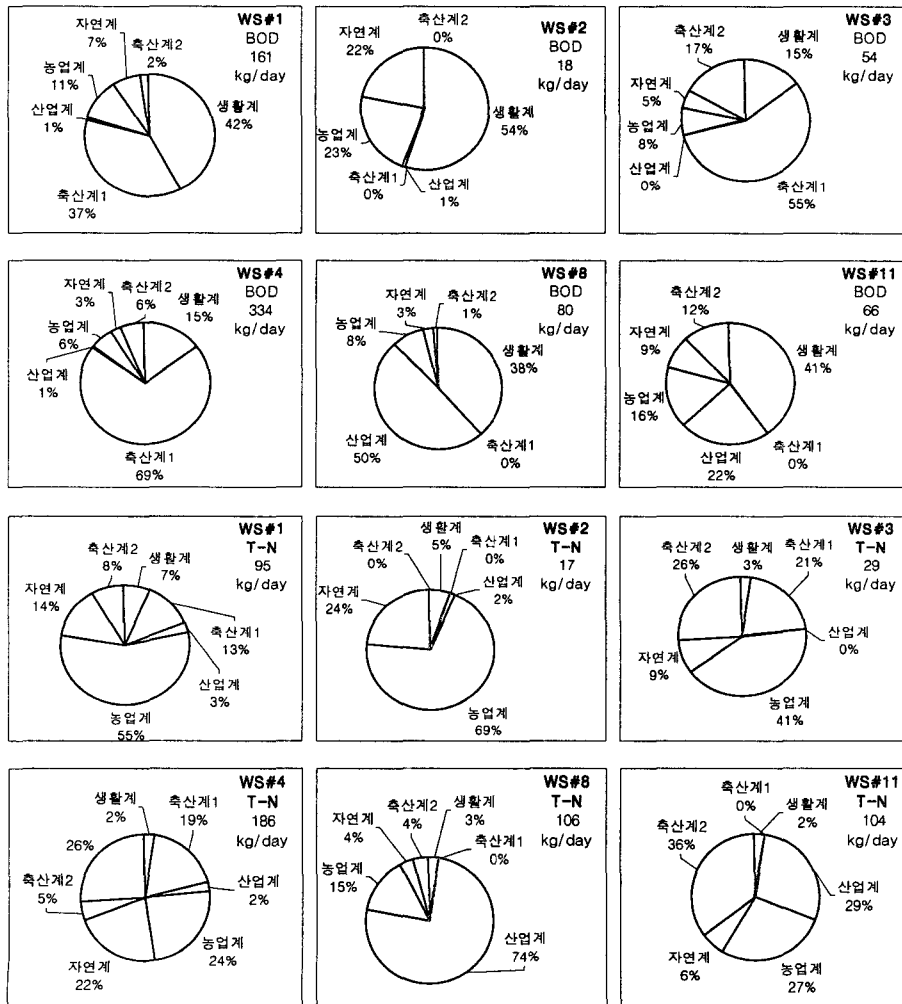
#### 4. 유달율과 유량과의 관계

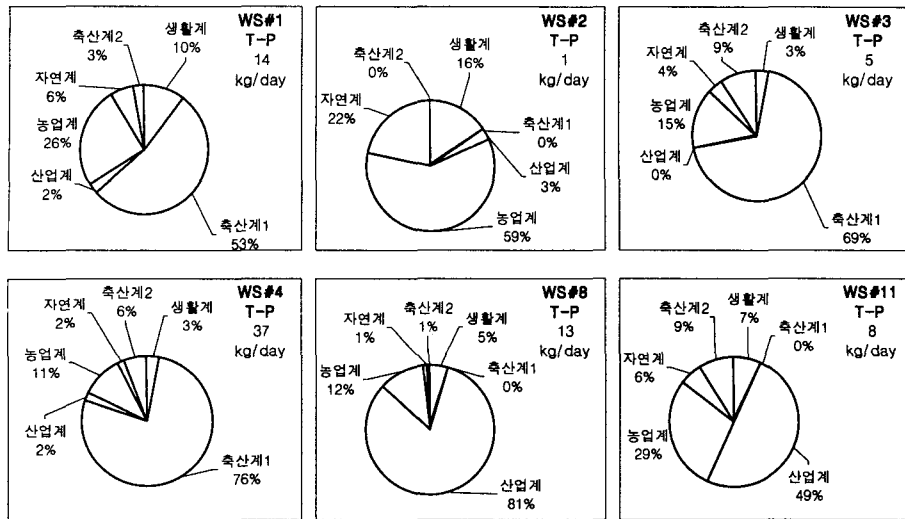
유달율(R)과 유량(Q)과의 관계의 추정은  $R=a'Q^b$ 로 가정하여 구하였으며, 대상시기는 유달율의 경향이 강우시와 평상시가 뚜렷하게 차이가 나므로 평상시의 데이터만을 고려하였다(결과 참조). 또한 배출부하량 산정의 적합성의 여부를 판단하기 위하여 여러 가지 산정방법을 가정하여 실측한 유달부하량과 비교하여 보았다.

### III. 결과

#### 1. 배출부하량 및 유달부하량

배출부하량의 산정은 원단위법과 실측한 수질자료 등을 이용하였으며, 각 소유역의 총배출부하량 및 오염항목별 기여율을 <그림 2>에 도시하였다. 유달부하량은 실측한 수질자료와 유출량 자료를 이용하였으며, 그 결과는 수록하지 않았다.



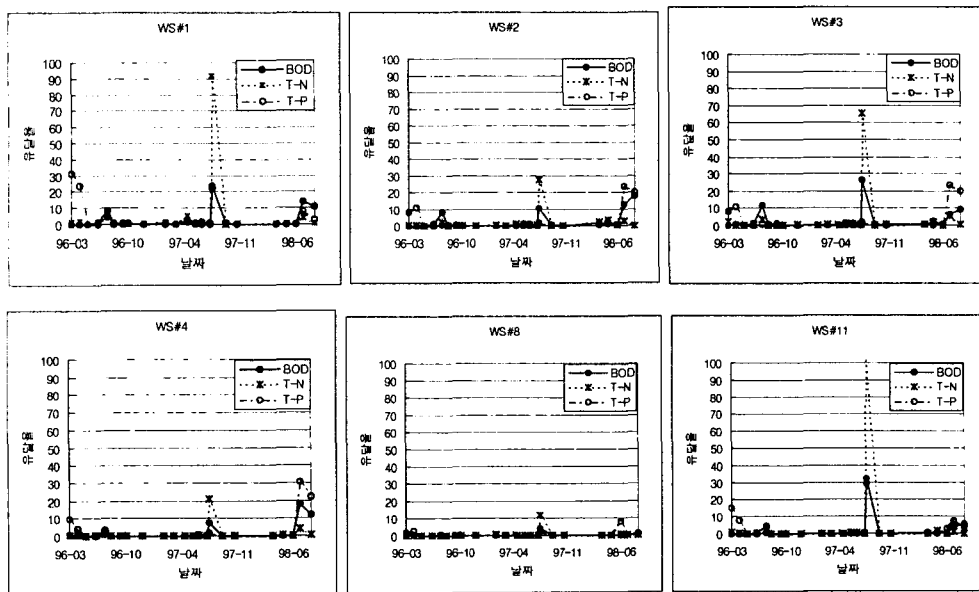


<그림 2> 각 소유역별 총오염부하량 및 오염원별 기여율

주) 축산계 중 배출형태가 농지환원의 경우는 축산계2로 구분하여 비점원으로 취급하였고, 나머지는 점원으로 취급하였다.

## 2. 유달울의 산정

위에서 구한 배출부하량과 유달부하량을 가지고 유달울을 구하여 그래프로 그려본 결과를 <그림 3>에 도시하였다. 그래프 상에서 보듯이 강우가 전날과 당일의 합이 70mm 이상인 경우 (강우시 데이터수 : N=4)와 그렇지 않은 경우(평상시 데이터 수 : N=19)가 크게 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 각 소유역별 평균 유달울의 산정은 평상시의 데이터만을 대상으로 하여 <표 1>에 정리하였다.



<그림 3> 소유역별 유달울의 변화

<표 1> 평상시의 소유역별 유달을

소유역 오염항목	WS#1	WS#2	WS#3	WS#4	WS#8	WS#11
BOD	0.49	0.64	0.47	0.20	0.14	0.23
T-N	0.69	0.67	0.41	0.17	0.25	0.22
T-P	0.26	0.24	0.67	0.04	0.10	0.27

### 3. L-Q 식의 산정

WS#1~4 지점에서의 평상시의 부하량과 유출량들의 데이터들을 이용하여 산포도(scatter diagram)를 작성하고  $L=a \cdot Q^b$  의 회귀식의 일반형으로부터 회귀분석을 실시하였다. 그리고, WS#8과 11의 경우, 산업계 부하량을 포함한 경우와 제외한 경우에 대하여 각각 위와 같은 회귀분석을 실시하여 보았다. 또한 강우시를 포함한 경우와 제외한 경우로도 구분하여 회귀분석을 실시하여 보았다.

그 결과, 강우시를 포함한 BOD의 경우에는 WS#1~4지역의 a는 1.2738~3.064로, b는 1.0299~1.1611로 나타났고, WS#8, 11 지역은 산업계 부하량을 포함한 경우 a는 2.2041~10.021, b는 0.8331~1.0475이며, 산업계 부하량을 포함하지 않은 경우 a는 1.7192~5.2966, b는 1.0475~1.0878로 나타났다.(표 2 참조)

평상시 BOD 경우에는 WS#1~4의 a는 1.3401~2.2714로, b는 1.0545~1.172로 나타났고, WS#8, 11 지역은 산업계 부하량을 포함한 경우 a는 1.1855~5.4466, b는 1.1978~1.223이며, 산업계 부하량을 포함하지 않은 경우 a는 1.8576~2.7505, b는 1.0786~1.1978로 나타났다.(표 3 참조)

<표 2> 강우시를 포함한 각 소유역별, 오염부하별 L-Q식의 계수 및 결정계수

소유역	오염부하	BOD			T-N			T-P		
		a	b	결정계수	a	b	결정계수	a	b	결정계수
	WS#1	1.2738	1.1611	0.9477	1.1429	1.1606	0.815	0.0224	1.2656	0.8181
	WS#2	2.1451	1.0433	0.9075	1.168	1.181	0.7703	0.1114	0.9459	0.683
	WS#3	2.1295	1.035	0.924	2.4785	1.0325	0.8565	0.0421	1.189	0.871
	WS#4	3.064	1.0299	0.9237	2.2003	1.053	0.8785	0.0267	1.2752	0.9299
산업계부하량 포함	WS#8	10.021	0.8331	0.8586	5.002	1.0784	0.705	0.2262	1.0882	0.7962
	WS#11	2.2041	1.0475	0.9539	1.8817	1.1031	0.8946	0.0191	1.3232	0.8827
산업계부하량 제외	WS#8	5.2966	1.0878	0.9121	1.2501	1.0784	0.705	0.0407	1.0882	0.7962
	WS#11	1.7192	1.0475	0.9539	1.336	1.031	0.8946	0.0098	1.3232	0.8827

<표 3> 평상시의 각 소유역별, 오염부하별 L-Q식의 계수 및 결정계수

소유역	오염부하	BOD			T-N			T-P		
		a	b	결정계수	a	b	결정계수	a	b	결정계수
	WS#1	2.2714	1.0545	0.8341	0.0864	1.7169	0.7129	0.0712	1.0177	0.2805
	WS#2	1.3401	1.172	0.784	0.215	1.6251	0.6728	0.7335	0.4413	0.1227
	WS#3	1.6109	1.1482	0.8857	3.2462	0.9438	0.6773	0.0832	0.9587	0.6198
	WS#4	2.0297	1.1263	0.8141	3.1287	0.9844	0.7213	0.0429	1.1561	0.7648
산업계부하량 포함	WS#8	5.4466	1.1978	0.7965	1.0771	1.9709	0.7652	0.188	1.2292	0.5385
	WS#11	1.1855	1.223	0.9503	1.4289	1.1917	0.7414	0.0301	1.2096	0.5022
산업계부하량 제외	WS#8	2.7505	1.1978	0.7965	0.2693	1.9709	0.7652	0.0338	1.1914	0.5066
	WS#11	1.8576	1.0786	0.961	1.0146	1.1917	0.7414	0.012	1.2668	0.6153

#### 4. 유달율과 유량과의 관계

대상유역으로는 WS#1~4지역을 대상으로 하였으며, 비점원계 중 논밭의 배출부하량의 산정하는 방법에는 배출원단위를 사용하는 방법(A)과 시비량에 배출율을 곱하여 얻는 방법(B)이 있다. 배출원단위를 사용하면 배출부하량이 연중 일정하게 되고, 시비량을 사용하면 시기별 변동하는 배출부하량을 표현 할 수 있으나 시비량이 없는 시기에는 배출부하량이 0으로 된다. 축산계 중에서 돼지의 분뇨처리과정에서는 농지환원의 30%가 실제로는 무처리 방류되고 있다고 가정하는 경우(I)와 액면 그대로 받아들여 농지환원으로 취급하는 경우(II)로 나누어 생각할 수 있다. 부하량 산정에 있어서 상기의  $2 \times 2 = 4$  경우에 대하여 정리하면 표 2-10와 같고, 각각의 Case에 대하여 유달율과 유량의 상관 그래프를 그려 구한 결정계수는 <표 5>와 같다.

<표 4> 부하량 산정의 여러 경우

축산분뇨처리	논밭의 배출부하량	시비량 및 배출율 사용 (A)	배출원단위 사용 (B)
농지환원의 100%를 그대로 취급(I)		Case 1	Case 3
농지환원의 30%를 무처리 방류로 가정 (II)		Case 2	Case 4

<표 5> 각 Case에 따른 소유역별 유달율과 유량 그래프의 결정계수

	BOD				T-N				T-P			
	WS#1	WS#2	WS#3	WS#4	WS#1	WS#2	WS#3	WS#4	WS#1	WS#2	WS#3	WS#4
Case 1	0.6785	0.7695	0.7387	0.8284	0.7204	0.5517	0.6396	0.6513	0.2803	0.1384	0.6005	0.5609
Case 2	0.7934	0.7695	0.7774	0.8791	0.7178	0.5517	0.6398	0.66	0.2557	0.1384	0.6383	0.6464
Case3	0.7934	0.7695	0.7774	0.8791	0.7035	0.5459	0.597	0.6629	0.2798	0.1378	0.6244	0.651
Case4	0.6785	0.7695	0.7387	0.8284	0.7117	0.6181	0.6042	0.6797	0.2532	0.1481	0.6335	0.6427

#### IV. 고찰

##### 1. 유달율

가까운 일본의 경우, 1980년대에 유달율에 관한 연구가 활발히 진행되었는데, 본 연구의 대상 유역과 유역특성이 비슷한 연구들의 결과와 비교해 보았다.

본 연구에서 유달율을 평상시의 데이터만을 고려하였으므로, 일본의 예도 평상시(晴天時)만을 고려하였고, 본 연구의 소유역 중 인구밀도, 유역의 특성이 유사한 예를 몇 가지 선정하여 <표 6>에 정리하여 보았다.

<표 6> 북하천의 소유역과 일본 하천의 유달율 비교

비교항목	대상소유역	WS#1	일본 (志梁川上流)	WS#2	일본(中井川)
유역 특성		생활계비율 40%	상류주택지, 하천지구	전원주택, 농업계부하량54%	농업지대, 신흥주택
유달율	BOD	0.49	0.51	0.64	-
	T-N	0.69	0.70	67	66
	T-P	0.26	-	24	46

표에서 보듯이 일본의 경우와 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 그러나 유달율이 유역특성에 따라 상당히 차이가 나고, 일본유역에는 축산계 부하량이 우리 나라만큼 많지 않기 때문에 본

연구에서 구한 유달율이 보다 더 신뢰성을 가지기 위해서는 많은 연구가 필요할 것이다.

## 2. L-Q 식의 산정

<표 2>와 <표 3>에 보면, 첫째, L-Q식의 결정계수는 BOD, T-N, T-P 순으로 높게 나타나고, 강우시를 포함한 경우가 포함하지 않은 경우보다 경우보다 전체적으로 높게 것을 알 수 있다. 둘째, WS#1~4지역에서의 L-Q식의 범용성을 검토하기 위하여 WS#8, WS#11지역의 L-Q식과 비교하여 보았다. WS#8, WS#11지역은 산업계 부하량이 많은 지역이므로 산업계 부하량을 제외하고 L-Q식을 작성하였으며, 결과가 WS#1~4의 L-Q식과 비슷하게 나타나므로 WS#1~4의 L-Q식이 범용성을 가진다고 볼 수 있다. 또한 역으로 생각하여, 산업계 부하량이 많은 농촌지역에서 L-Q식을 산정할 때, 산업계 부하량을 제외하여 계산한다면 보다 범용성이 있는 농촌유역의 L-Q 식을 작성할 수 있을 것으로 보인다.

## 3. 유달율과 유량과의 관계

<표 5>에서 보면 첫째, 결정계수는 BOD, T-N, T-P 순으로 높게 나타나고, BOD, T-N의 경우는 어느 정도 상관관계가 있음을 알 수 있으며, T-P의 경우 유량과 상관관계가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 둘째, 유달율과 유량과의 상관관계가 가장 높게 나타나는 것은 Case2로서 - 논밭의 배출부하량산정에 시비량 및 배출율을 사용(B)하고 돼지분뇨의 처리에 있어서 농지환원의 30%를 무처리 방류되고 있다고 가정한 경우(I) - 이 경우가 4가지의 배출부하량의 산정 중에서는 타당성이 있음을 알 수 있다. 이를 보다 확실히 하기 위해서는 검증된 수질예측 모형과 비교하여 볼 필요가 있을 것이다.

## 4. 수질예측의 방법으로서의 타당성

기본적으로 유달율을 사용하는 경우나 L-Q식을 사용하는 경우, 유량-유달율 관계식을 사용하는 경우 모두 유량에 대한 자료가 필요하다. 만약, 유량의 자료가 확실한 경우라면, BOD와 T-N의 경우는 그 결정계수가 가장 높게 나오는 L-Q식을 사용하고, T-P의 경우는 유달부하량과 유달율이 모두 유량에 관계없이 나타나므로 평균값의 의미를 지니는 평상시의 유달율을 사용하는 것이 가장 신뢰할 만한 수질예측의 방법이 될 것이다. 그러나, 수질관리까지 확대해서 고려해본다면, BOD와 T-N의 경우는 유달율과 유량과의 관계식의 신뢰성을 보다 높여서 사용하는 것이 보다 나을 것으로 보인다.

## V. 결론

본 연구에서는 농촌하천유역에서의 오염부하량 산정에 필요한 유달율과 L-Q식의 작성 및 그 특성, 유달율과 유량과의 상호관계의 특성과 그를 통한 배출부하량 산정의 적합성 등을 북하천의 7개 소유역의 자료를 가지고 고찰하여 보았다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 대상유역의 원단위법과 실측자료 등을 이용하여 배출부하량과 유달부하량 및 유달율을 계산하여 일본의 자료와 비교한 결과 어느 정도 타당한 것으로 나타났다.
2. 유달율의 산정은 강우시와 평상시를 구분하여 산정하는 것이 보다 타당한 것으로 나타났다.
3. WS#1~4지역의 L-Q식의 결정계수는 BOD, T-N, T-P의 순으로 높게 나타났다.

4. WS#1~4지역에서의 L-Q식을 계산하여 WS#8, WS#11지역의 산업계부하량을 제외하여 만든 수정된 L-Q 식과 비교한 결과 타당한 것으로 나타났다.
5. 유달율과 유량과의 상호관계는 BOD와 T-N은 어느 정도 상관성이 있는 것으로 나타났으며, T-P는 거의 상관성이 없는 것으로 나타났다.
6. 배출부하량 산정의 적합성의 여부를 고찰하여 본 결과 <표 5>의 Case 2의 경우-논밭의 배출부하량산정에 시비량 및 배출율을 사용(B)하고 돼지분뇨의 처리에 있어서 농지환원의 30%를 무처리 방류되고 있다고 가정한 경우(I)-가 가장 타당한 것으로 나타났다.
7. 경험식을 이용한 수질예측의 방법으로 BOD, T-N의 경우는 L-Q식을, T-P의 경우는 평상시의 유달율을 이용하는 것이 가장 타당한 것으로 나타났다.

## VI. 참고문헌

1. 국립환경연구원, 1993, 비점원오염으로부터의 오염물질 유출특성조사를 위한 방법론적 연구, NIER NO.93-13-382
2. 國松孝男, 1989, 河川汚濁のモデル解析, 枝報堂
3. 和田安彦, 三浦活之 : 中小河川における 汚濁流出率の 諸特性, 土木學會論文集, No 363, pp. 2~4, pp. 215~223, 1985.
4. 浮田正夫, 中西 弘 : 河川の汚濁負荷流達率に關する研究, 土木學會論文集, No 357, pp. 2~3, pp.225~234, 1985.
5. 엄명철, 권순국, 1996, 탱크모형을 이용한 오염부하량 산정, 한국농공학회지, 38 (3), pp. 92-100.