

농촌지역의 유량·부하량관계식 산정

Run-off Characteristics of Pollutant Loadings in Rural Area

송인홍* · 박병훈 · 권순국 (서울대)

Song, In Hong · Park, Byung Heun · Kwun, Sun Kuk

Abstract

This study was initiated to collect background pollutant data for rural watersheds. The effluent/run-off pollutant load and run-off ratio of the study areas were calculated and the two types of regression equations, $L=a \cdot Q+b$ and $L=c \cdot Q^d$ where L and Q are the pollutant load(L) and discharge(Q), were derived.

We acquired that the correlation coefficients of the two types of regression equations were over than 90% except for BOD. Therefore, L-Q equations would be a measure to predict water quality of rural watersheds.

I. 서론

최근 영농법과 토지이용 형태의 변화, 정주권 개발, 농공단지의 조성, 생활양식의 도시화, 축산업의 확대 등으로 광대한 농촌지역에 오염이 확산됨에 따라 농촌지역의 수질 보전대책의 필요성이 높아지고 있으며, 수질 보전 대책을 위해서는 수질의 예측이 필요하다.

수질 예측 방법에는 수질예측 모형을 이용하는 방법과 간단한 경험식을 이용하는 방법이 있으며, 간단한 경험식을 이용하는 방법은 유달율을 이용하는 방법과 부하량-유량 관계식(L-Q 식)을 이용한 방법으로 나눌 수 있다. 유달율은 유역내에 배출된 오염부하 중 해당지점까지 유달된 부하의 비율이다. 이는 유달과정에 있어서의 여러 가지 변화를 블랙박스로 하고 정상상태를 가정한 것으로 보편성이 약하지만, 적용 방법이 간단하기 때문에 수질보전계획에 널리 이용되고 있다. 오염부하량과 유량은 강우유출에 의해 하천에서는 맑은 날의 수심배의 유속과 유량이 되며, 유역과 하도 내의 곳곳은 평상시 물이 흐르지 않는 곳에서도 물이 흐르고, 유로나 유역의 침식이 일어나며, 소류작용에 의해 여러 종류의 물질이 다량으로 배출되므로 상당한 상관성이 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 원단위를 비롯한 대표유역내의 유역별 인구, 가축의 사육두수, 공장의 배수량 등의 기초자료를 수집하여 배출부하량을 산정하고, 수질 및 유량조사를 통해 L-Q식과 유달율을 산정하여 농촌유역의 오염부하 유달특성을 파악하는데 그 목적이 있다.

II. 연구방법

1. 유역의 선정

본 연구의 대상 유역은 그림-1과 같이 경기도 화성군에 위치한 남양천 유역의 행가고 지점과 자안천 유역의 하저고 지점을 선정하였다. 남양천 유역은 총면적 967ha 중 논은 31.1%, 밭 8.9%, 임야 43.9%, 대지 2.3%, 기타 13.7%이고, 자안천 유역은 총면적 1472.9ha 중 논은

28.4%, 밭 14.5%, 임야 39.7%, 대지 2.7%, 기타 14.8%로 전형적인 농촌 유역이다.

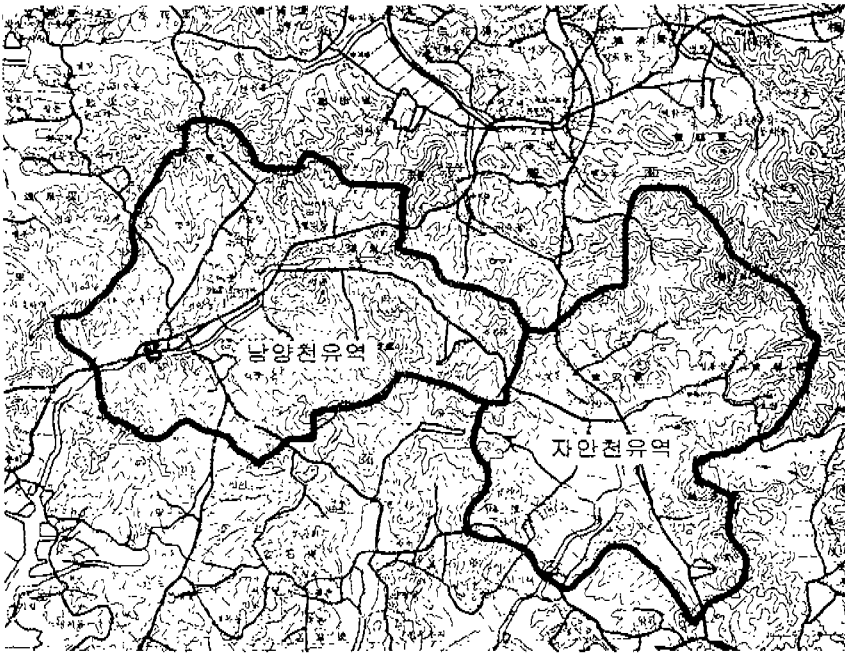


그림-1. 대상 유역도

2. 오염원 조사 및 배출/유달 부하량의 산정

대표 유역내 오염원을 생활계, 축산계, 산업계의 점원계와 자연계(산림과 농경지)의 비점원 계로 구분하여 조사를 실시하였다.

인구, 가축의 사육두수, 사업종류 및 배출량, 토지이용 현황, 생활/축산 폐수처리 실태는 군청이나 면사무소에 소장된 자료와 현지답사를 통하여 파악하였으며, 오염원단위 및 배출율은 문헌조사를 통하여 얻었다.

배출부하량은 인구수, 토지이용면적, 가축두수, 폐수발생량에 각각의 특성에 맞는 원단위를 곱하여 계산한 값에 배출율을 곱하여 산정하였으며, 유달 부하량은 실측한 자료를 이용하여 산정하였다.

3. 수질조사

대표 소유역의 수질조사는 평상시는 정기적으로 실시하여 시기별 수질변화 특성을 파악하였고, 강우시에는 2개의 강우사상에 대해 강우시작부터 종료까지 일정 시간별로 수질 측정하여 유역의 오염원 유출특성을 파악하였다. 수질 분석은 standard methods에 따라 분석하였다.

4. 유량 조사

2개의 유역 말단에 압력식 수위계를 설치하여 15분 단위의 연속적인 수위자료를 얻었고, 수위별 유량을 측정하여 수위-유량관계곡선식을 유도하여 일유량을 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 일유량의 산정

남양천 유역은 수위계 설치지점 약 30m하류에 보가 있어서 저수위시에도 하천의 지체현상

이 거의 없어 1차 함수로 수위-유량관계곡선식을 유도하였으며, 자안천 유역의 경우 하류 500m 지점의 보 조작에 수위의 영향을 받기 때문에 보문 닫힘과 보문 열림(홍수시, 홍수후)으로 구분하여 수위-유량관계곡선식을 유도하였다.

<표-1> 조사지점의 수위-유량관계곡선식

수위관측지점	수위-유량관계곡선식	결정계수	
남양천 유역	$Q = 0.0368 \times H - 14.225$	0.99	
자안천 유역	보문 닫힘	$Q = 2 \times 10^{-44} H^{15.415}$	0.98
	보문 열림(홍수시)	$Q = 2 \times 10^{-8} H^{2.8759}$	0.99
	보문 열림(홍수후)	$Q = 4 \times 10^{-7} H^{6.088}$	0.98

수위-유량관계곡선식을 이용하여 유역의 일유량을 계산한 결과는 그림-2와 그림-3과 같다. 총 유출량의 대부분은 두 개의 유역 모두 강우가 많은 7월말에서 8월초에 집중되었다.

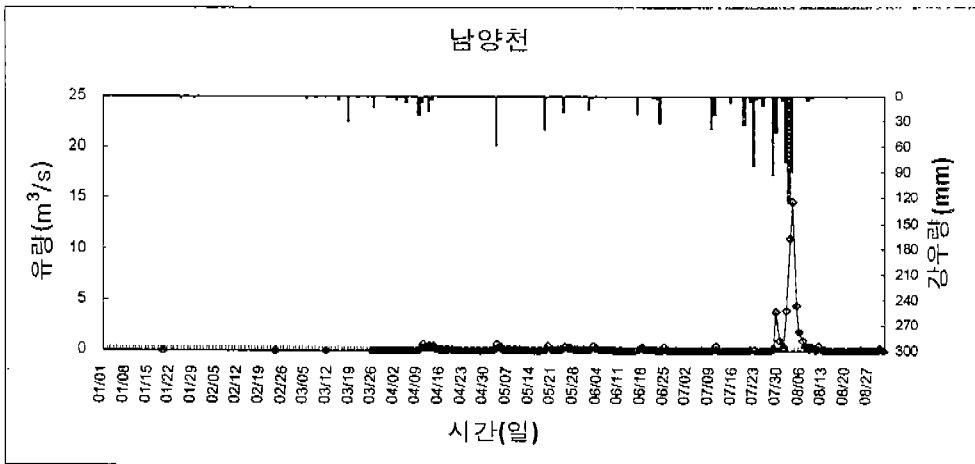


그림-2. 남양천 유역의 일유량

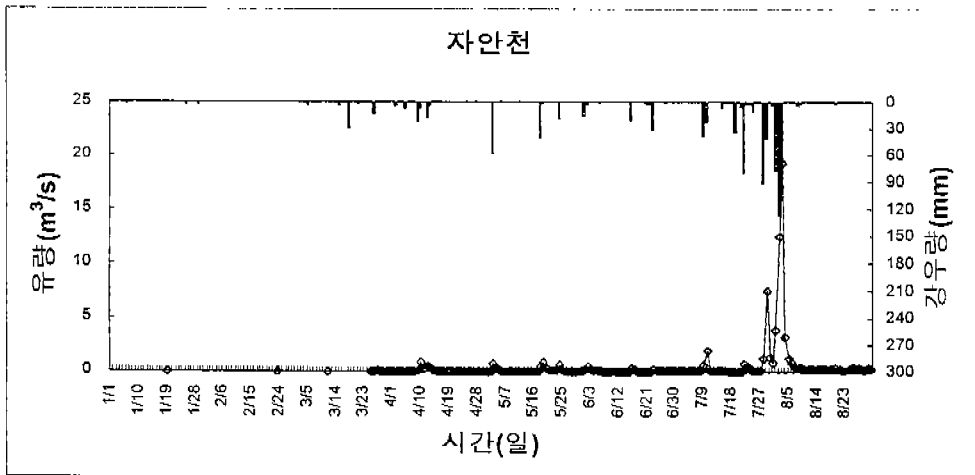


그림-3. 자안천 유역의 일유량

2. 배출부하량의 산정 결과

배출부하량은 각 원단위와 오염원 조사 결과로부터 계산하였으며 대표 유역의 수질항목별 오염원의 기여율을 그림-4 에 나타내었다.

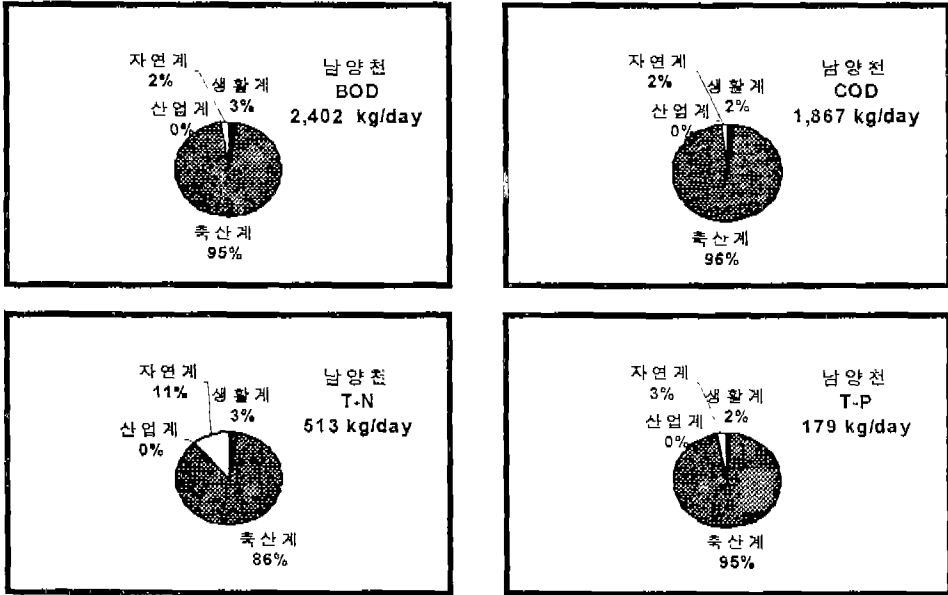


그림-4. 남양천 유역의 오염항목별 기여율

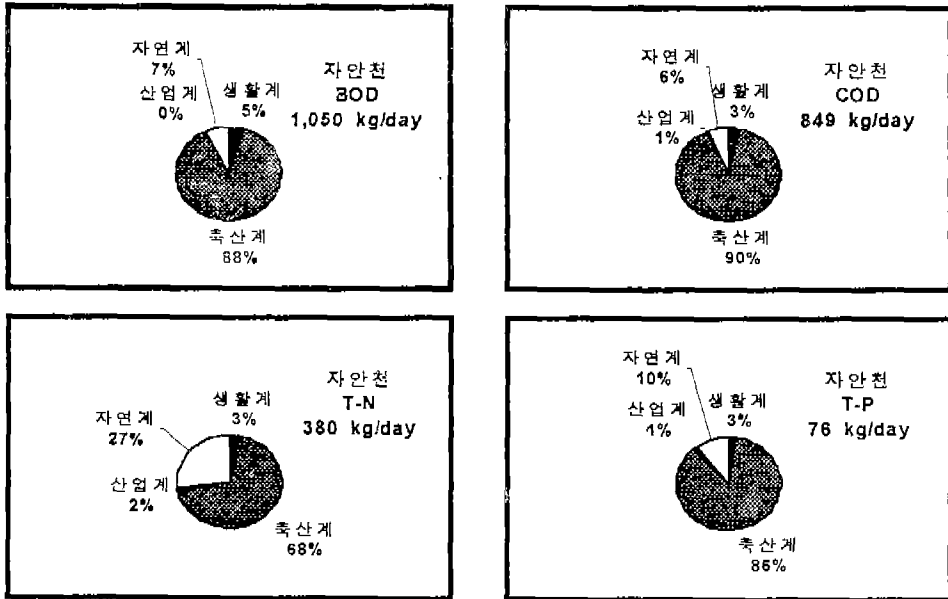


그림-5. 자안천 유역의 오염항목별 기여율

남양천 유역은 축산계의 비율이 86~96%, 자안천 유역은 68~90%로 전체적으로 축산계의 기여율이 매우 크게 나타났다. 남양천 유역의 면적은 967ha로 자안천 유역의 면적 1273ha보다 작음에도 불구하고 배출부하량이 큰 것은 무처리 방류되는 소규모 축산농가의 사유두수가 많기 때문으로 생각된다.

3. L-Q식의 유도

관개용수의 영향을 받지 않는 비관개지의 수질 및 유량 측정 데이터를 이용하여 산포도를 작성하고 회귀분석을 실시하여 직선형 L(오염부하량)-Q(유량)식과 지수형 L-Q식으로 유도하였으며, 그 결과를 <표-2>와 <표-3>와 같다.

<표-2> 직선형 L-Q식 유도

구분	BOD		COD		T-N		T-P	
	L-Q 식	R ²	L-Q 식	R ²	L-Q 식	R ²	L-Q 식	R ²
남양천	$L=3.53Q+579.1$	0.508	$L=7.32Q-109.9$	0.979	$L=8.79Q+100.8$	0.993	$L=0.39Q+18.9$	0.936
자양천	$L=3.80Q+333.2$	0.704	$L=5.99Q-94.4$	0.991	$L=5.89Q-88.1$	0.999	$L=0.11Q+5.1$	0.928

<표-3> 지수형 L-Q식 유도

구분	BOD		COD		T-N		T-P	
	L-Q 식	R ²	L-Q 식	R ²	L-Q 식	R ²	L-Q 식	R ²
남양천	$L=9.787Q^{0.920}$	0.935	$L=7.179Q^{0.981}$	0.979	$L=5.618Q^{1.091}$	0.978	$L=353.220Q^{1.051}$	0.957
자양천	$L=9.388Q^{0.913}$	0.949	$L=4.924Q^{1.004}$	0.968	$L=3.391Q^{1.063}$	0.968	$L=205.940Q^{0.914}$	0.639

직선형 L-Q식은 BOD를 제외한 수질항목에서 0.928~0.999로 나타났고, 지수형 L-Q식은 자양천 유역의 T-P를 제외하고 수질항목에 관계없이 상관계수가 0.935~0.979사이의 값으로 나타났으며, 전체적으로 유량과 부하량 사이에 큰 상관성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

또한, 다음의 (식-1)을 이용하여 직선형 및 지수형 L-Q식의 평균오차를 계산하여 <표-4>에 나타내었다.

$$\text{오차율} = \frac{\text{실측치} - \text{추정치}}{\text{실측치}} \times 100 \quad (\%) \quad \text{-----(식-1)}$$

직선형 L-Q식의 평균오차는 21.0~209.0이고, 지수형은 10.4~117.6으로 나타났으며, T-N, COD, BOD, T-P순으로 오차율이 작았다. 두 형태의 L-Q식의 상관계수는 유사하지만, 평균오차율에 있어서 직선형보다 지수형의 평균 오차율이 작아 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

<표-4> L-Q식의 종류에 따른 평균오차율 (단위 : %)

구분	직 선 형				지 수 형			
	COD	BOD	T-P	T-N	COD	BOD	T-P	T-N
남양천	21.9	115.9	143.2	27.5	21.7	53.2	47.7	10.4
자양천	36.4	68.4	209.0	18.4	33.8	29.0	117.6	14.7

4. 유달율의 산정

수질 및 유량 측정 자료와 L-Q식을 이용하여 월별 유달율을 계산하여 <표-5>에 나타내었다. 또한, 7월 27일~8월 14일까지의 강우시를 구분하여 유달율을 계산하고 <표-6>에 나타내었다.

<표-5> 유역의 월별 유달율

(단위 : %)

구분	남 양 천				자 안 천			
	BOD	COD	T-P	T-N	BOD	COD	T-P	T-N
1월	0.3	0.3	0.2	1.3	2.2	2.0	0.7	3.8
2월	0.5	0.5	0.3	2.1	3.2	3.0	1.0	5.9
3월	0.5	0.6	0.4	2.4	2.3	2.1	0.7	4.0
4월	2.8	3.7	2.7	18.8	4.3	4.5	1.3	9.7
5월	3.3	4.3	3.2	22.1	6.4	7.0	2.0	15.2
6월	2.5	3.2	2.3	16.0	4.9	5.0	1.5	10.3
7월	4.5	6.5	5.4	40.2	21.7	27.8	6.6	67.2
8월	22.3	36.0	34.1	269.7	56.8	80.6	17.3	208.2
전체	10.5	15.2	14.4	62.8	12.7	16.5	3.9	40.5

<표-6> 대표 유역의 월별 유달율(강우시)

(단위 : %)

구분	남 양 천				자 안 천			
	BOD	COD	T-P	T-N	BOD	COD	T-P	T-N
7/27~8/14	40.8	65.6	61.9	488.0	103.1	149.2	31.3	288.3

전체적으로 강우 유출이 거의 없었던 1월~6월까지의 유달율은 0.3~22.1%로 매우 낮게 나타났으며, 7월말에서 8월 중순까지 강우시의 유달율은 31.3~488%로 높게 나타났다. 이는 유역의 평상시는 유출량 적어 오염물질의 침전·퇴적 및 토양 흡착으로 유달되는 부하량이 적고, 강우시는 비점 오염원의 강우유출과 하천내 침전·퇴적물이 유량 증가로 증가된 소류력에 의해 유출되기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다.

IV. 요약 및 결론

1. 대상 유역인 남양천 유역과 자안천 유역은 하천 연변에 농경지가 집중되어 있고, 평균 인구밀도는 1.81명/ha이며, 유역전반에 축산농가가 산재한 농촌지역이다. 남양천 유역은 총면적 967ha 중 논은 31.1%, 밭 8.9%, 임야 43.9%, 대지 2.3%, 기타 13.7%이며 자안천 유역은 총면적 1472.9ha 중 논은 28.4%, 밭 14.5%, 임야 39.7%, 대지 2.7%, 기타 14.8%로 논·밭·기타의 비율이 다른 농촌지역에 비하여 비교적 높고, 산림과 대지의 비율은 낮은 편이다.
2. 직선형 L-Q식은 BOD를 제외한 수질항목에서 결정계수가 0.928~0.999, 지수형L-Q식은 자안천 유역의 T-P를 제외하고 수질항목에 관계없이 결정계수가 0.935~0.979사이의 값으로 나타나 전체적으로 유량과 부하량 사이에 큰 상관성을 갖는 것으로 나타났다.
3. 직선형 L-Q식의 실측치와 예측치의 평균오차는 21.0~209.0%이고, 지수형은 10.4~117.6%로 분석되어, 직선형 L-Q식보다 지수형L-Q식의 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.
4. 강우 유출이 거의 없었던 1월~6월까지의 유달율은 0.3~22.1%로 낮게 나타났으며, 7월말에서 8월 중순까지 강우시의 유달율은 33.1~488.0%로 높게 나타나 수질 예측에 월별 유달율을 이용하려면 장기간에 걸쳐 유량 자료와 수집 자료를 이용하여 유도되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 권순국, 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안, 대한환경공학회지 Vol. 20,

No. 11, pp 1497~1510, 1998

2. 화용지구 수질개선대책사업 '98년도 중간보고서, 농림부 농어촌진흥공사
3. 화용지구 간척지 개발사업 사후환경영향조사보고서, 1997. 12, 농림부 농어촌진흥공사
4. 수질개선 지원기관 97 연구보고서, pp. 98. 국무총리실 수질개선기획단, 1997
5. 농어촌 환경 용수에 관한 연구, 서울대학교 농업개발연구소, 1993
6. 國松孝男, 1989, 河川汚濁のモデル解析, 技報堂
7. 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.
8. 浮田正夫, 中西 弘, 河川の汚濁負荷流達率に関する研究, 土木學會論文集, No 357, pp. 2~3, pp.225~234, 1985.
9. 水理公式集, 日本土木學會, 1985
10. 生活系排水處理ガイドブック, 1987
11. 金木亮一, 日本農業土木學會集, 57(7) : 39-44, 1984
12. 農業水利學 實習ガイド, 日本農業土木學會, 1987
13. 佐藤敦久, 水環境工學, p.130, 技報堂出版, 1987