

연구논문

## 낙동강유역 과수재배지의 단위면적당 비점오염부하량 산정에 관한 연구

이재운 · 권현각 · 이윤정 · 천세억

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

(2013년 10월 1일 접수, 2013년 10월 22일 승인)

### The Calculation of NPS Load per Unit Area in Orchard to the Nakdong River Basin

Jae-Woon Lee · Heon-Gak Kwon · Youn-Jeong Yi · Se-Uk Cheon

Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Manuscript received 1 October 2013; accepted 22 October 2013)

### Abstract

In this study, Calculated the nonpoint sources(NPS) load per unit area about various rainy events in vineyard of Nakdong River basin. NPS monitoring and calculation for NPS load per unit area were estimated from 'Investigation method of precipitation discharge(National Institute of Environmental Research, 2007)'. The evaluation of applicability for NPS load per unit by compared with prior research data and Total Maximum Daily Load(TMDL) data. Five target areas were each 2000m<sup>2</sup>, 1800m<sup>2</sup>, 1943m<sup>2</sup>, 2484m<sup>2</sup>, 864m<sup>2</sup> and located in Gyeongsangbukdo Gyeongju, Gyeongsangbukdo Sangju, Gyeongsangnamdo Hapcheon in Korea. Since fruits were the only crop on the target area, the characteristics of stormwater discharge at survey sites could be evaluated independently. A total of 115 rainfall events in the Orchard area during five years(2008-2012) was surveyed, and 38 of them became stormwater discharge. In the Nakdong River watershed, average of event mean concentrations(EMCs) in Orchard area for biochemical oxygen demand(BOD), Chemical oxygen demand(COD), total nitrogen(T-N), total phosphorus(T-P) were 2.0mg/L, 10.1mg/L, 3.195 mg/L, 0.578mg/L, respectively. NPS load per unit area in Orchard area showed BOD : 2.0kg/km<sup>2</sup>·day, COD : 10.2kg/km<sup>2</sup>·day, T-N : 3.220kg/km<sup>2</sup>·day, T-P : 0.606kg/km<sup>2</sup>·day.

Keywords : EMCs, load per unit area, Nonpoint sources(NPS), Orchard area

## I. 서론

비점오염원은 점오염원 이외의 오염원으로서 배출장소와 배출경로가 불분명할 뿐만 아니라 주로 강우에 의존하여 유출이 일어나는 것으로 강우 시 지면으로부터 오염물질이 직접 유출되거나 침출된 후 수계로 유출이 일어나는 토지계 오염원과 배출경로가 불분명하거나 강우에 의존하여 배출되는 경우의 기타 오염원으로 나타낼 수 있다(Lee S. H., 2003). 비점오염물질은 배출지역에 따라 도시지역, 농촌지역, 자연지역, 수계지역으로 구분 할 수 있다. 도시지역은 주거, 상업, 공업, 교통지역으로 다시 세분화되며, 농촌지역은 논, 밭, 과수원으로, 자연지역은 산림, 초원지역으로 세분된다(National Institute of Environmental Research, 1993).

하천수가 상수원으로 취수되고 있는 낙동강수계의 경우 하천수에 대한 근본적인 수질관리를 위해서는 어느 수계보다도 비점오염원 현황 파악, 토지이용 형태별 장기적인 비점오염물질 유출에 관한 모니터링을 통한 비점오염물질 원단위 조사가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 그러나 비점오염원으로부터 유출되는 오염물질은 점오염원과 달리 처리시설에서 처리가 곤란하고, 강우와 밀접히 관련되어 전체 비점오염물질의 약 80%가 5~9월 사이에 유출되며, 건기인 10~4월의 경우 연간 총량의 약 20%가 유출된다. 이와 같이 비점오염물질은 강우 시 유출되기 때문에 일간, 계절 간 유출량 변화가 대단히 크게 나타나며, 기후, 지형, 토지이용, 토양 등과 지역적인 특성과 유역 형상에 따라 변화되므로 비점오염원의 유출량 정량화를 위해서는 강우지속시간동안 정확한 수질과 유량에 대한 자료가 요구된다. 그러나 강우 시에 비점오염물질에 대한 실측 자료를 확보하기 위해서는 강우지속시간 동안 강우량, 유량, 수질 등에 대한 조사가 이루어 져야 하기 때문에 막대한 예산과 인력이

소요되는 어려움으로 단일 지목에 대한 강우특성별 심층적인 실측자료는 우리나라에 전무한 실정이다(Management Committee of Nakdong River Basin, 2007). 유역의 수질을 적절히 관리하기 위해서는 유역 내에 분포하는 비점오염원 Figure량의 공간적 시간적 분포를 우선적으로 파악함과 아울러 수역으로 유출되는 오염 Figure량을 규명하는 것이 대단히 중요하다. 공공수역의 수질관리를 위해서는 토지이용과 지역특성을 고려한 비점오염원 부하량의 합리적인 조사가 필요하다(Kwon H. G., 2011).

본 연구에서는 국내 토지면적별 과수재배 형태를 분석하여 포도, 배 및 사과재배지에 대한 강우 시 유출되는 비점오염원의 오염유출량을 정량화 하였다. 다양한 강우사상에 대해 모니터링을 실시하여 자료의 신뢰성을 확보하였으며, 이를 바탕으로 비점오염원별 과수재배지 단위면적당 유출되는 비점오염원 부하량을 산정하였다. 향후 낙동강수계의 중·소권역별 비점오염원 관리 방안 마련 시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## II. 연구방법

### 1. 조사 대상 과수 선정

조사지점 선정에 앞서 과수 품종 선정을 우선 하였다. 선정 기준은 우리나라에서 생산되는 주요 과수 7종에 대한 전국의 과수재배 면적을 2002년부터 2006년까지 5년간의 평균치를 조사한 결과를 바탕으로 하였다. 재배면적은 감이 27,888 ha로서 면적이 가장 넓었으며, 다음은 사과, 감귤, 포도, 배, 복숭아, 자두의 순이었다. 그러나 감귤이나 감의 경우 특정 지역에 집중되고 있는 추세를 보이고 있어 이들 두 품목은 제외하고 나머지 중에 재배면적이 가장 넓은 사과, 배 및 포도를 조사대상 품목으로 선정하였다.

Table 1. A cultivation area of various fruit in Korea(2002-2006)(Unit: ha)

Section	Apple	Pear	Peach	Vine	Mandarin	Plum	Persimmon
Area	26,891	22,979	15,088	23,004	23,167	6,337	27,888

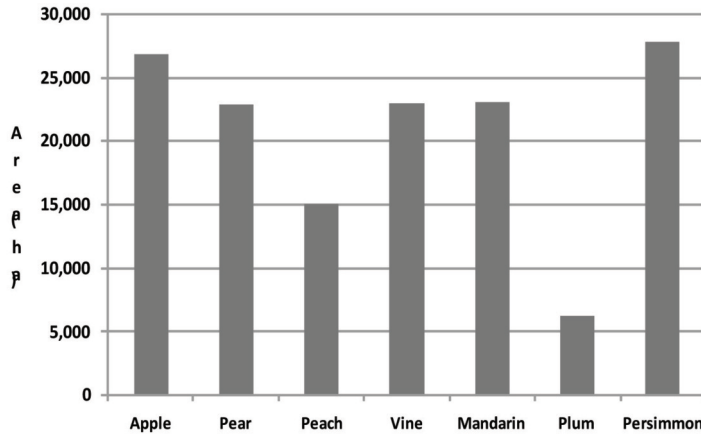


Figure. 1. A rising area of various fruit.

## 2. 조사 대상 지점

비점오염물질 유출량 및 유출특성은 지역에 따라 차이가 크기 때문에 정확한 비점오염원 부하량을 산정하기 위해서는 조사지점의 선정이 가장 중요하다. 비점오염조사는 대유역의 하단에서 오염도와 유출량을 실측하는 방법과, 소단위의 토지이용으로 나누어 각 토지이용별 유출량과 오염도를 monitoring하는 두 가지 방법이 있다. 전자는 유역 하류의 한 지점에서 하천수의 수량과 수질을 조사하여 강우와 하천 오염부하량간의 상관관계식을 도출하는데 주로 사용되며, 후자는 토지이용별 직접유출량과 오염도를 조사하여 토지이용별 발생원단위를 결정하는데 이용된다(Choi J. Y., 1998). 소규모 단일 토지이용단위별로 조사할 경우 토지이용과 수질과의 관계를 보다 명확하게 규명할 수 있으며 특정 토지이용에서의 오염발생량 및 배출량을 정확히 파악할 수 있다. 또한 각각의 토지 이용에 대해 비점오염 배출량 산정이 쉽고, 장래의 토지이용 변화에 대한 오염물질 배출변화를 파악하기도 쉽다.

조사 대상 지점은 과수 품종별 구분된다. 포도의 경우 경주시 서면 심곡리에 위치한 포도밭 2개 지점으로, 포도밭\_A의 경우 밭의 좌, 우면은 논으로 되어 있으며, 둑이 설치되어 있어 논에서 밭으로의 유입은 없었다. 밭의 앞, 뒷면의 경우 콘크리트 포장을 한 도로가 있으며, 그 도로와 밭 사이에 배수구가 있어 밭

에서의 유출은 밭의 뒤쪽 배수로의 유출구를 통해 이루어지고 있었다. 포도밭\_A 면적은 2,000m<sup>2</sup> 이며, 밭 내부에 다른 작물을 재배 하지 않아 포도밭의 특성을 살펴볼 수 있었다. 포도밭\_B 지점의 경우 좌, 우면은 논으로 되어있으며, 최종배출구가 위치한 지점의 경우 콘크리트재질의 농업용 도로가 위치해 있어 포도밭\_B 지점에서의 외부유입은 없었으며, 면적은 1800m<sup>2</sup> 이다. 배의 경우 상주시 사벌면에 위치하고 있으며, 선정한 배밭 2개 지점인 배밭\_A와 배밭\_B는 약 10km 거리에 위치하고 있다. 재배 면적은

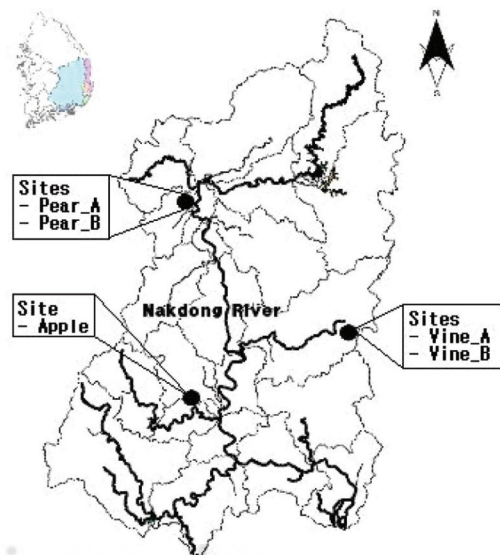


Figure. 2. Survey sites.

각각 배밭\_A 1,943m<sup>2</sup>, 배밭\_B 2,484m<sup>2</sup>이다. 2010년부터 모니터링을 시작한 배밭\_A 지점의 경우 경북 상주시 사벌면에 위치한 지점으로 조사대상 면적은 1,943m<sup>2</sup>이며, 배밭 내부에 배나무를 제외한 기타작물 재배는 없었으며, 외부와 배밭의 경계가 독을 통해 명확히 구분되어 배밭 고유의 비점오염물질 유출 특성을 조사할 수 있었다. 배밭\_B 지점의 경우 경북 상주시 사벌면에 위치한 지점으로 조사대상 면적은 2,484m<sup>2</sup>이며, 배밭 내부에 배나무를 제외한 기타작물 재배는 없었으며, 외부와 배밭의 경계가 독을 통해 명확히 구분되어 배밭 고유의 비점오염물질 유출 특성을 조사할 수 있었다.

사과의 경우 합천군 매화리에 위치하고 있으며, 재배지 조성 시 토양 30cm 아래 유공관을 삽입하고 고랑별 경사도를 주어 유출이 원활히 이루어 졌다. 고랑별 유출된 유출수는 한곳의 유출되도록 조성되었다. 재배면적은 864m<sup>2</sup>이다.

### 3. 강우 유출수 모니터링

강우유출수에 대한 특성을 조사하기 위하여 2007년 예비조사를 시작으로 2012년 까지 과수재배지에 대한 모니터링을 수행 하였다. 모니터링 시점은 기상청의 일기예보를 바탕으로 조사 대상 지점에 강우강도계 및 유량계를 설치하여 조사대상지점에서 일어나는 강우 형태에 따른 유출수의 변화를 모니터링 하였다. 실측에 사용된 강우강도계는 Tipping Bucket Mechanism 방식의 호주 Envirodata Environmental Monitoring & Management 사의 RG-20으로 1min 단위의 강우량 측정이 가능하고, 유량계의 경우 비만관 전자식 유량계로 미국 MARSH McBIRNEY 사의 Flo-Tote3로 1min 단위의 유량측정이 가능하다. 조사대상지점에 대한 유량계의 설치는 최종 유출구에 설치하여 외부로부터 강우유출수의 유입이 없는 상황에서 유출량을 조사 하였다. 시료의 채취 및 분석의 경우 국립환경과학원에서 개정된 '강우 유출수 조사방법'에 준하여 이루어 졌고, 강우량 및 유출량의 경우 현장조사를 원칙으로 하였고, 불가할 시 가장 근접한 기상청 자료를 활용하였다.

### 4. 원단위 산정방법 검토

#### (1) 유출계수(C) 및 유량가중평균농도(EMCs: Event Mean Concentrations)

비점오염원은 우수유출과 밀접한 관련을 가지고 있으며 강우 유출은 토지이용, 경사도, 식생, 강우강도 등에 따라 차이가 심하다. 유출계수(C)는 유역 상에 일정기간 동안 내리는 강수량으로 인해 유출되어, 그 유역의 출구를 통과하는 유출량의 총강우량에 대한 비율을 뜻하므로 유역의 지형 및 지질 등에 의해 결정된다. 유출계수는 단기로는 홍수 시 유출계수에서 장기로는 월별, 연별 유출계수가 있을 수 있으며 홍수 시 유출계수가 장기유출계수보다 크다. 유출계수 값은 오염물질의 유출량과 밀접한 관계를 가지고 있으며 다음의 식 1과 같이 나타낼 수 있다(Ministry of Environment, 1995). 유출고는 강우 시 총수량을 유역면적으로 나눈 값으로 표시된다.

$$C = \gamma_d \sum_{m=1}^M R_m \quad (1)$$

$$V_j = \sum_{i=1}^N Q_i \cdot \Delta t \quad (2)$$

여기서,  $V_j$  = j지점의 강우 시 총수량 (m<sup>3</sup>),  $Q_i$  = j지점의 i번째 유량(m<sup>3</sup>/sec),  $\sum_{m=1}^M R_m$  = 총강우량(total rainfall, mm), 유출고(depth of runoff) =  $\gamma_d$  = V/유역면적이다. 또한 비점오염 부하는 여러 가지 요인에 따라서 배출되는 부하가 다르기 때문에 이에 대한 적절한 평균농도를 도입하여 특정 강수 시기의 비점오염원의 평균 오염물질 농도로 나타낼 필요가 있다. 평균농도를 산정하는 가장 간단한 방법인 산술 평균농도는 시간간격이 일정할 경우에는 타당한 평균농도로서 제시될 수 있지만, 비점오염원 유출은 실시간으로 변화되는 유출량과 농도의 변화가 있어, 샘플채취가 일정간격으로 이루어지지 않아 산술평균에 의한 평균농도로서는 대표성을 갖지 못하는 단점이 있다.

강우계급 y의 평균 유량가중평균농도, EMC<sub>y</sub> (mg/L)는 해당 강우계급에 속하는 강우사상들에 대해 산정된 EMC<sub>x</sub>로부터 다음의 식으로 산정한다.

$$EMC_y = \frac{\sum_{m=1}^M (EMC_m)}{N} \quad (3)$$

여기서, EMC<sub>xn</sub>는 강우계급 y에 해당하는 전체 N

개의 강우사상 중 n번째 강우사상의 EMC(mg/L)이다.

## (2) 비점오염원 원단위 산정

원단위를 이용한 비점오염부하량 산정은 적용이 간편하기 때문에 많은 국가에서 사용하고 있다. 그러나 비점오염원은 기후, 지형, 일시, 수문조건에 따라 배출양상이 다양하므로 정확한 원단위의 산정을 위해서는 장기간(최소한 5년 이상)에 걸친 연속 측정된 실측자료를 바탕으로 해야 한다. 우리나라에서는 1980년대 초반부터 비점오염원단위를 산정하기 시작하였으나 아직까지는 자료의 축적이 부족하여 토지이용별 정확한 원단위 파악과 토지이용과 연계한 비점오염원 유출량 산정에는 한계가 있다. 그리고 대부분의 원단위가 단일강우 또는 2-3회의 실측자료를 이용하였으므로 각 토지이용에서의 비점오염유출 특성을 충분히 반영하지 못하였고, 토지이용구분도 각 토지이용별 세부구분을 하지 못하고 농지, 산지, 도시 등 3-5개의 토지이용구분을 통해 유역의 비점부하량을 산정하여 세부 토지이용별 상세한 원단위 산정은 이루어지지 못했다.

원단위산정기준은 발생량기준, 유출량기준, 유달량기준의 세가지로 구분할 수 있다. 발생량기준은 단위토지이용에서 단위시간에 발생량을 말하며, 유출량기준은 발생해서 비점오염원으로 수역으로 유출되는 양을 기준으로 한 경우를 말하며, 유달부하량기준은 특정지점까지 비점오염원이 배출, 즉 유달되는 양을 기준으로 본다. 본 연구에서는 강우 시 비점오염물질이 유출되는 양을 실측해서 산정하였기 때문에 비점오염원 유출부하원단위에 해당한다.

비점오염원단위를 간단히 정의하면 단위시간당 단위토지면적에서 배출되는 오염물질량을 말하며, 단위는 일반적으로 비점오염부하량(kg 또는 ton)/면적(ha 또는 km<sup>2</sup>)/시간(year 또는 day)으로 나타낸다. 비점오염원의 토지이용별 원단위에 대해서는 많은 문제점도 제기되고 있지만 사용의 간편성과 기존자료의 적용편이성으로 인해 많이 이용되고 있으며 비점오염원 모델에서도 토지이용, 토양특성 및 수리수문학적 사항들과 함께 토지이용별로 원단위 관계식들이 많이 사용되고 있다. 현재 사용되고 있는 원단

위산정법으로는 경험식 등을 이용한 계산법과 유역에서 유량과 오염부하량을 실측해서 산정하는 실측법이 있다.

실측법은 조사방법에 따라 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 지표면에서 오염물질 총량을 실측한 후 축적을 및 분해율을 적용하는 방법으로 주로 도시지역에서 비점오염원 원단위를 산정하는데 이용된다. 두 번째 방법은 강우 시 특정지역을 통과하는 하천상류와 하류의 수질을 비교하여 수질의 차이를 환산하여 당해 유역에서의 비점오염물질 배출원단위를 산정하는 방법이다. 세 번째 방법은 토지이용별 강우 시 배출물질을 직접 채취하여 농도를 측정하는 방법으로서 측정횟수가 충분하면 원단위산정에서 가장 신빙성이 있는 방법이다. 이 방법은 토지이용별 강우 시 유출수량과 오염부하량을 실측하여 단일강우사상, 월간, 계절간 또는 연간 오염물질의 원단위 계산뿐 아니라 실측한 유량, 강우량, 오염물질 유출량 등을 이용해 각종 회귀식을 이용해 상호관계를 규명하는데 이용하기도 한다.

주요국가의 원단위 산정방법은 각국의 기초자료 축적 상태에 따라 결정된다. 기본 자료가 충실한 미국의 경우, 원단위를 작성코자하는 오염물질에 대해 수년의 연속측정 수질자료와 수량자료를 이용해 원단위를 산정하고 있다. 즉 시료자동채취기와 유량자동측정기를 이용해 유량자료를 자동으로 원격송신하고 수질 중 온도와 용존산소는 현지에서 직접 실측하여 자료를 전송하고 pH, 탁도, 알카리도 등은 시료채취 후 즉시 실험을 시행한다. 그리고 SS, 각종 질소(NH<sub>3</sub>-N, 용존유기질소, 퇴적물 부착질소 등), 인(용존인, 퇴적물부착인 등)은 시료채취 후 냉동보관해서 실험실로 운반하여 분석한 농도를 유량과 결합시켜 단일 강우사상별, 연별 원단위를 산정하여 계산식은 다음과 같다.

$$\text{원단위(kg/ha/year)} = \sum ciqi/A \quad (4)$$

여기에서 c: i번째 농도, q: i번째 유출량,  
A: 유역면적

장기간의 연속자료가 없는 경우, 수회의 강우-유출-오염측정자료를 이용해 이를 연간의 강우량이나

Table 2. Calculation methods of NPS basic unit

Methods	Calculation expression
• Application method of precipitation frequency	$L=NI_a$
• Method of valid precipitation ratio	$L=I_a(P_a/p_a)$
• Method of discharge ratio	$L=I_m(Q_m/q_m)$
• Method of discharge-weighting concentration	$L=N(I_a(Q_a/q_a))$

유출량과 연결시켜 연간 비점오염원단위를 산정하고 있으며 식은 다음과 같다.

$$\text{원단위(kg/ha/year)} = k \sum c_i q_i t_i * 365 / \sum t \quad (5)$$

여기에서  $c_i$ :  $i$ 번째 농도,  $q_i$ :  $i$ 번째 유출량,  $t_i$ : 시료와 관련된 시간간격[(전회시료채취시기 - 당회시료채취시기)/2+(당회시료채취시기-다음시료채취시기/2)],  $k$ : 변환계수,  $365/\sum t$ : 연간단위 환산계수이다. 이와 같은 방식은 일년 동안 연속해서 비점오염원을 실측조사 할 수 없기 때문에 시료를 채취한 기간에 대해 계산한 값을 연간으로 환산하여 사용하는 것이다. 원단위를 연간으로 환산하는 방법은 강우회수적용법, 우량가중농도법, 유출량가중농도법 등이 있다(Management Committee of Nakdong River Basin, 2007).

여기서,  $L$ : 연간 부하량,  $N$ : 연간 유출이 일어난 횟수,  $I_a$ : 출수당 평균부하량,  $P_a$ : 연간 평균유효우량,  $p_a$ : 표본에서의 일출수당 평균유효우량,  $Q_m$ : 연간 유출량,  $q_m$ : 실측기간에서의 유출량,  $I_m$ : 실측기간에서의 평균유량가중농도,  $Q_a$ : 모집단에서 일출수당 평균유출량,  $q_a$ : 표본에서의 일출수당 평균유출량이다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 강우사상별 모니터링 결과

토지피복 분류체계(RS/GIS) 중분류(23단계) 중 과수원재배지역에 속하는 세부피복지점을 2007년 선정하여 예비 조사를 실시하고, 2008년부터 2012년까지 모니터링을 실시하였다. 그 결과를 Table 3

Table 3. A monitoring frequency in Orchard area(2008~2012)

Section		2008		2009		2010		2011		2012		Total	
		non discharge	discharge	non discharge	discharge	non discharge	discharge	non discharge	discharge	non discharge	discharge	non discharge	discharge
Vine	0-10	8	0	6	0							14	0
	10-30	16	4	6	2							22	6
	30-50	6	6	2	0							8	6
	50	1	1	6	6							7	7
	Total	31	11	20	8							51	19
Pear	0-10					2	0	14	0	0	0	16	0
	10-30					10	2	6	0	2	0	18	2
	30-50					6	5	0	0	2	0	8	5
	50					2	2	4	4	0	0	6	6
	Total					20	9	24	4	4	0	48	13
Apple	0-10									5	0	5	0
	10-30									6	1	6	1
	30-50									3	3	3	3
	50									2	2	2	2
	Total									16	6	16	6

에 나타내었다.

강우유출수 조사방법에 제시된 강우사상별 조사 횟수의 경우 0-10mm: 10회, 10-30mm: 10회, 30-50mm: 5회, 50mm 이상: 5회로 정하여 총 30회의 유효횟수를 채워 통계적 신뢰성을 확보하고자 하였다. 과수원재배지의 경우 포도재배지는 총 51회의 모니터링을 수행하였으며, 강우사상별 조사 횟수도 만족하였다. 배재배지 또한 총 48회의 모니터링을 수행하였고, 강우사상별 유효 조사 횟수도 만족하였다. 사과재배지의 경우 2012년부터 모니터링을 수행하여 총 16회의 조사 횟수를 만족하였다.

2. 강우사상별 유출부하량

과수재배지에 대한 조사기간 동안 단위면적당 평

균 유출부하량을 살펴보면, 포도밭A 지점은 면적 2,000m<sup>2</sup>을 기준으로 BOD 46.1kg/km<sup>2</sup>, COD 118.3 kg/km<sup>2</sup>, T-N 16.142kg/km<sup>2</sup>, T-P 3.791kg/km<sup>2</sup>으로 유기오염물의 부하량이 높게 조사 되었다. 포도밭 B 지점은 면적 1,800 m<sup>2</sup>을 기준으로 BOD 34.0kg/km<sup>2</sup>, COD 106.6kg/km<sup>2</sup>, T-N 20.767kg/km<sup>2</sup>, T-P 4.345kg/km<sup>2</sup>으로 포도밭 A와 유사하게 유기물오염물의 부하량이 높게 조사 되었다. 하지만, 포도밭 B의 경우 포도밭 A와 비교 시 유기오염물의 유출부하량은 낮게 조사 되었으나, 영양염류의 경우 포도밭 A 보다 높게 조사 되었다. 포도밭 B와 A의 면적의 차이는 있으나, 영양염류의 차이가 발생하는 것은 소유주의 재배방식에 따라 시비의 양에 영향을 받은 것으로 판단된다.

배밭 A 지점은 면적 1,943m<sup>2</sup>을 기준으로 BOD

Table 4. Summary of nonpoint sources load(2008~2012)

Sites	Value	Prec. (mm)	Discharge (m <sup>3</sup> )	Load(kg/km <sup>2</sup> )									
				BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P
Vine_A (2000m <sup>2</sup> )	Ave.	24.8	10.12	46.1	118.3	54.9	1864.8	16.142	2.505	1.175	6.497	3.791	2.500
	Max.	79.7	61.06	146.1	279.3	133.7	6112.5	36.838	7.968	8.235	19.969	10.289	5.999
Vine_B (1800m <sup>2</sup> )	Ave.	23.4	6.95	34.0	106.6	55.6	1500.3	20.767	2.699	0.460	9.399	4.345	2.859
	Max.	79.7	59.80	136.7	290.7	185.9	5297.3	45.173	7.423	1.014	31.153	24.092	14.767
Pear_A (1943m <sup>2</sup> )	Ave.	27.2	12.25	20.1	159.1	120.4	343.9	78.332	1.755	0.515	14.870	10.462	6.405
	Max.	121.5	116.40	120.0	1482.9	1496.2	4670.4	1253.989	15.099	3.465	113.406	98.116	54.049
Pear_B (2484m <sup>2</sup> )	Ave.	27.2	12.78	15.6	116.4	71.0	582.0	25.033	1.397	0.531	10.251	6.552	4.020
	Max.	121.5	108.00	127.9	983.7	717.3	7364.4	202.996	21.113	3.830	63.766	58.116	39.753
Apple_A (864m <sup>2</sup> )	Ave.	36.9	10.14	14.7	101.9	71.7	216.7	86.395	0.834	0.245	74.966	9.021	8.047
	Max.	188.9	84.14	87.3	873.2	654.3	1605.6	595.173	4.400	1.627	497.586	83.873	81.235

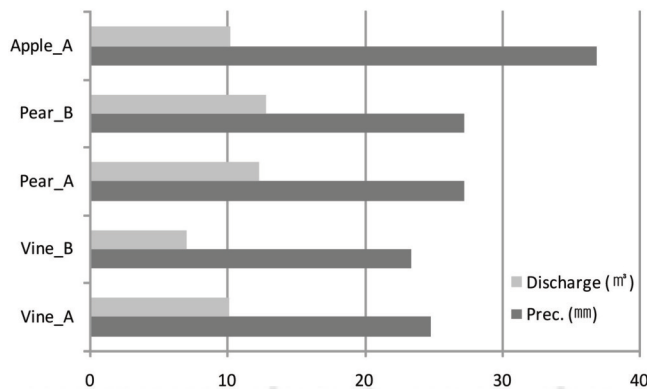


Figure 3. Comparison of discharge with Precipitation in Orchard area.

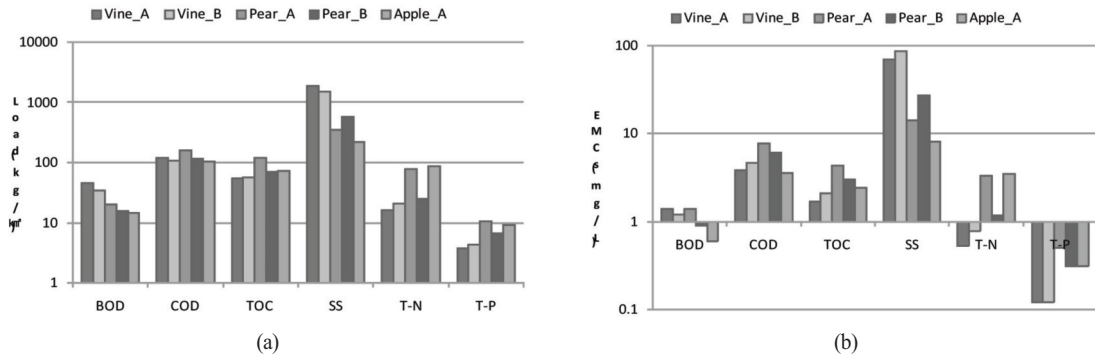


Figure 4. Comparison of NPS load with EMCs in Orchard area(a: average of load, b: average of EMCs).

20.1kg/km<sup>2</sup>, COD 159.1kg/km<sup>2</sup>, T-N 78.332kg/km<sup>2</sup>, T-P 10.462kg/km<sup>2</sup>으로 조사 되었으며, 배밭 B 지점은 면적 2,484m<sup>2</sup>을 기준으로 BOD 15.6kg/km<sup>2</sup>, COD 116.4kg/km<sup>2</sup>, T-N 25.033kg/km<sup>2</sup>, T-P 6.552kg/km<sup>2</sup>으로 조사 되었다. 배밭의 경우 A, B 두 지점의 조사결과를 기존 조사된 포도밭과 비교해 보면, BOD에 비해 COD의 부하량이 두지점 모두 높게 조사 되었다. 또한 T-N의 경우도 포도밭에 비해 높게 조사되었다. 배밭 두 지점은 면적이 약 500 m<sup>2</sup>의 차이를 나타내지만, 실제 강우에 의해 유출되는 오염물질의 부하량 차이는 크게 조사 되었다. 특히 T-N 항목의 경우 배밭 A지점이 B지점에 비해 작은 면적에도 불구하고 3.1배 높게 조사 되었다.

사과밭 지점은 면적 864m<sup>2</sup>을 기준으로 BOD 14.7 kg/km<sup>2</sup>, COD 101.9kg/km<sup>2</sup>, T-N 86.395 kg/km<sup>2</sup>, T-P 9.021kg/km<sup>2</sup>으로 조사 되었다. 사과밭의 경우 앞서 조사된 타 지점들에 비해 면적이 1/2정도 되지만 오염물질별 유출부하량은 유사하게 조사 되었다. 특히 T-N 항목의 경우 가장 높은 유출부하량을 나타내었다.

### 3. 과수재배지 유량가중평균농도 산정

#### (1) 강우사상별 유량가중평균농도(EMCx)

Figure 4의 과수재배지에 대한 조사지점별 평균 유량가중평균농도를 살펴보면, 포도밭 A 지점은 BOD 1.4mg/L, COD 3.8mg/L, T-N 0.530mg/L, T-P 0.122mg/L로 조사 되었다. 다양한 강우사상에

대해 오염물질별 가장 높은 유량가중평균농도는 BOD 7.0mg/L, COD 22.1mg/L, T-N 2.283mg/L, T-P 0.665mg/L로 조사되었다. 포도밭 B 지점의 평균 유량가중평균농도는 BOD 1.2mg/L, COD 4.7 mg/L, T-N 0.780mg/L, T-P 0.122mg/L로 포도밭 A 지점과 유사하게 조사 되었다. 다양한 강우사상에 대해 오염물질별 가장 높은 유량가중평균농도는 BOD 6.4mg/L, COD 22.1mg/L, T-N 3.890mg/L, T-P 0.725mg/L로 조사되었다.

배밭 A 지점의 평균 유량가중평균농도는 BOD 1.4mg/L, COD 7.7mg/L, T-N 3.306mg/L, T-P 0.508mg/L로 포도밭에 비해 영양염류의 농도가 높게 조사 되었다. 다양한 강우사상에 대해 오염물질별 가장 높은 유량가중평균농도는 BOD 13.6mg/L, COD 45.2mg/L, T-N 21.111mg/L, T-P 2.214mg/L로 조사되었다. 배밭 B 지점의 평균 유량가중평균농도는 BOD 0.9mg/L, COD 6.1mg/L, T-N 1.174mg/L, T-P 0.308mg/L로 조사 되었다. 다양한 강우사상에 대해 오염물질별 가장 높은 유량가중평균농도는 BOD 6.8mg/L, COD 40.6mg/L, T-N 6.381mg/L, T-P 1.939mg/L로 조사되었다.

사과밭 지점의 평균 유량가중평균농도는 BOD 0.6mg/L, COD 3.6mg/L, T-N 3.483mg/L, T-P 0.308mg/L로 조사 되었다. 다양한 강우사상에 대해 오염물질별 가장 높은 유량가중평균농도는 BOD 3.7mg/L, COD 17.5mg/L, T-N 23.205mg/L, T-P 2.194mg/L로 조사되었다. 사과밭 지점의 경우 유효 조사 횟수인 30회를 만족하지 못하여 다른 지점에



Table 5. Summary of nonpoint sources EMCs(2008~2012)

Sites	Value	Prec. (mm)	Discharge (m <sup>3</sup> )	EMCs(mg/L)									
				BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P
Vine_A (2000m <sup>2</sup> )	Ave.	24.8	10.12	1.4	3.8	1.7	70.3	0.530	0.091	0.040	0.204	0.122	0.090
	Max.	79.7	61.06	7.0	22.1	8.7	696.7	2.283	0.400	0.499	0.709	0.665	0.575
Vine_B (1800m <sup>2</sup> )	Ave.	23.4	6.95	1.2	4.7	2.1	86.7	0.780	0.090	0.021	0.343	0.122	0.080
	Max.	79.7	59.8	6.4	22.1	9.2	727.7	3.890	0.614	0.202	2.042	0.725	0.464
Pear_A (1943m <sup>2</sup> )	Ave.	27.2	12.25	1.4	7.7	4.3	14.1	3.306	0.175	0.039	0.868	0.508	0.285
	Max.	121.5	116.4	13.6	45.2	25.2	82.8	21.111	2.907	0.508	5.693	2.214	1.923
Pear_B (2484m <sup>2</sup> )	Ave.	27.2	12.78	0.9	6.1	3.0	26.9	1.174	0.056	0.023	0.549	0.308	0.204
	Max.	121.5	108	6.8	40.6	17.8	236.4	6.381	0.483	0.163	4.065	1.939	1.756
Apple_A (864m <sup>2</sup> )	Ave.	36.9	10.14	0.6	3.6	2.4	8.2	3.483	0.032	0.008	3.082	0.308	0.251
	Max.	188.9	84.14	3.7	17.5	11.5	54	23.205	0.166	0.036	20.974	2.194	2.010

비해 강우사상이 다양하게 포함되지 않았다. 이로 인해 일부항목의 경우 평균적인 수치상 높게 나타난 것으로 판단된다.

(2) 강우계급별 유량가중평균농도(EMCy)

조사된 강우사상을 계급별로 살펴보면 0~10 mm 강우 계급의 경우 총 35회 강우 사상이 조사되었으며 누적강우량은의 경우 206.6mm로 조사 되었다. 10~30mm 강우 계급의 경우 총 46회의 강우사상으로 조사된 비율이 40%로 가장 높게 조사되었다. 또한 10~30mm 강우사상에서는 누적 강우량이 868.7mm로 조사되었다. 30~50mm 강우 계급의 경우 누적 강우량은 713.7 mm를 나타내었다. 50mm 이상의

강우 계급의 경우 총 15회의 강우 사상이 조사되었고 총 누적강우량은 1335.1mm 값을 나타내었다. 위와 같이 조사된 총 115회의 강우사상에 대해 강우계급별 EMCy 값을 산정하여 강우계급별 유량가중평균 농도 값을 Table 7에 수록하였다. BOD의 경우 10~30mm 강우계급에서는 1.0mg/L로 산정되었으며, 30~50mm에서는 2.3 mg/L, 50mm이상에서는 2.9mg/L로 산정되었다. T-N의 경우 강우계급별 1.030mg/L, 4.149mg/L, 4.690mg/L로 산정되었으며, T-P는 0.163mg/L, 0.461mg/L, 0.962mg/L로 산정되었다. T-P의 경우 타 항목에 비해 강우량 증가에 따라 EMC값의 증가율이 가장 크게 조사 되었다. 강우계급별로는 0~10 mm 강우계급의 경우 유

Table 6. Summary of monitoring information classified by precipitation(2008~2012)

Precipitation Level	Survey Frequency(%)	Accumulated Precipitation(mm)	Discharge Rate
0~10 mm	35(30)	206.6	0
10~30 mm	46(40)	868.7	0.047
30~50 mm	19(17)	713.7	0.222
>50 mm	15(13)	1335.1	0.326
Total	115(100)	3,124.1	-

Table 7. The EMCs classified by precipitation level(EMCy) in Orchard area

Precipitation Level	EMCy(mg/L)									
	BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P
0 - 10mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10 - 30mm	1.0	4.0	1.4	48.7	1.030	0.109	0.027	0.338	0.163	0.053
30 - 50mm	2.3	9.9	4.8	70.8	4.149	0.128	0.035	3.065	0.461	0.391
> 50mm	2.9	15.6	10.4	101.5	4.690	0.204	0.094	1.539	0.962	0.680

량가중평균 농도는 “0” 이었으며, NO<sub>3</sub>-N 항목을 제외한 모든 항목에서 50 mm 이상의 강우계급에서 가장 높은 농도값을 나타내었다.

과수원재배지의 강우계급별 유출율을 살펴보면 강우량이 증가할수록 유출율은 증가하였으며, 강우계급별로는 0~10mm 유출율 ‘0’, 10~30 mm ‘0.047’, 30~50mm ‘0.222’, 50mm이상 강우계급에서 유출

율은 ‘0.326’으로 50mm이상 강우계급에서 가장 높은 유출율을 나타내었다.

**4. 과수재배지 단위 면적당 유출되는 비점오염부하량**

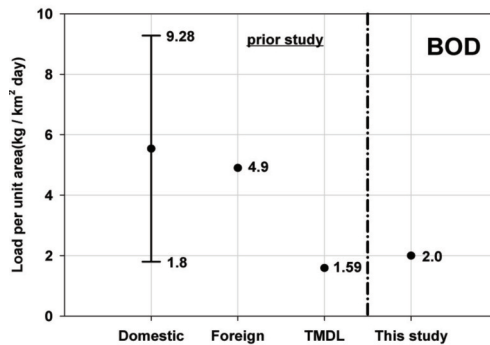
과수재배지에 대해 2007년에서 2012년 현재까지 조사된 103회의 강우사상을 대상으로 비점오염원별 단위면적당 유출되는 부하량을 산정하여 Table 8에

Table 8. NPS load per unit area in Orchard area

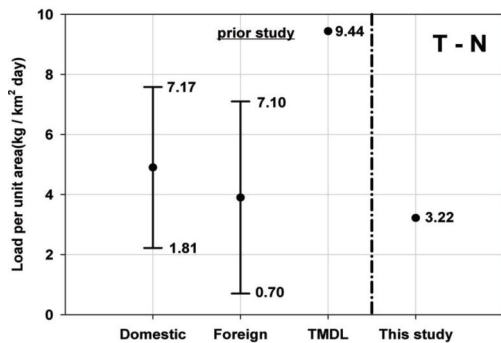
NPS load per unit area(kg/km <sup>2</sup> ·day)									
BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P
2.0	10.2	6.5	68.2	3.220	0.136	0.058	1.286	0.606	0.435

Table 9. Comparison of NPS load per unit area in Orchard area(Unit: kg/km<sup>2</sup> · day)

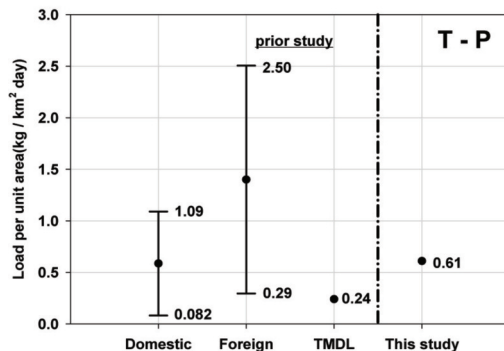
NPS	Prior research	TMDL	This study Domestic	Foreign
BOD	1.8-9.28	4.9	1.59	2.0
T-N	1.81-7.17	0.70-7.10	9.44	3.22
T-P	0.082-1.09	0.29-2.50	0.24	0.606



(a) BOD



(b) T-N



(c) T-P

Figure 5. Comparison of NPS load per unit area in Orchard area.

나타내었다. 항목별로 BOD, COD, T-N, T-P 가 각각  $2.0\text{kg}/\text{km}^2/\text{day}$ ,  $10.2\text{kg}/\text{km}^2/\text{day}$ ,  $3.220\text{kg}/\text{km}^2/\text{day}$ ,  $0.606\text{kg}/\text{km}^2/\text{day}$ 로 산정 되었다. 본 연구에서 산정된 부하량의 신뢰성 확보를 위해 비점오염원 항목별 기존 국내·외에서 산정된 수치 및 현재 수질오염총량 지침(국립환경과학원, 2002)에서 사용되고 있는 수치와 비교 하였다. 현재 국내 수질오염총량제에서 사용되는 비점오염원 항목이 BOD, T-N 및 T-P로 구분되어 있고, 기존 대다수의 연구사례결과도 총량제와 동일한 항목에 대한 연구를 수행하여, 비교 대상 항목을 총량제와 동일한 기준으로 하였다. 기존 연구 사례와 비교할 경우 BOD의 경우, 본 연구에서 산정된 값이  $2.0\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{day}$ 로 기존 연구사례의 범위에는 포함되었으나 총량기준(1.59)보다 높게 산정되었다. T-N, T-P의 경우도 국내·외 연구사례의 범위에는 포함되었다. T-N의 경우  $3.22\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{day}$ 로 본 연구결과 산정되어 총량 기준인  $9.44\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{day}$  보다는 낮게 산정되었다. T-P의 경우는 총량기준( $0.24\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{day}$ 에 비해 높은  $0.606\text{kg}/\text{km}^2\cdot\text{day}$ 로 산정되었다. 현재 총량제에서 사용되고 있는 비점오염원 단위면적당 부하량의 경우 1995년 조사된 결과를 바탕으로 산정되어 현재의 토지피복 형태 및 관리 상태의 차이에 따라 산정된 부하량의 차이가 나는 것으로 판단된다. 산정된 부하량의 경우 연구계획 당시의 모니터링 기간 및 횟수를 만족하지 못한 세부지점이 포함되어 있어, 향후 추가적인 모니터링을 통해 통계적 신뢰성을 확보할 수 있는 적정 조사 횟수를 만족할 시 과수원 재배지에 대한 원단위로서의 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 국내 토지면적별 과수재배 형태를 분석하여 조사지점을 선정한 후 연차별 강우 시 유출되는 비점오염원의 정량화 연구를 수행하였다. 다양한 강우사상에 대해 모니터링을 실시하여 자료의 신뢰성을 확보하였으며, 그 결론은 아래와 같다.

- 1) 조사지점별 평균 유출부하량은, 포도밭A: BOD  $46.1\text{kg}/\text{km}^2$ , COD  $118.3\text{kg}/\text{km}^2$ , T-N

$16.142\text{kg}/\text{km}^2$ , T-P  $3.791\text{kg}/\text{km}^2$ , 포도밭B: BOD  $34.0\text{kg}/\text{km}^2$ , COD  $106.6\text{kg}/\text{km}^2$ , T-N  $20.767\text{kg}/\text{km}^2$ , T-P  $4.345\text{kg}/\text{km}^2$ , 배밭 A: BOD  $20.1\text{kg}/\text{km}^2$ , COD  $159.1\text{kg}/\text{km}^2$ , T-N  $78.332\text{kg}/\text{km}^2$ , T-P  $10.462\text{kg}/\text{km}^2$ , 배밭 B: BOD  $15.6\text{kg}/\text{km}^2$ , COD  $116.4\text{kg}/\text{km}^2$ , T-N  $25.033\text{kg}/\text{km}^2$ , T-P  $6.552\text{kg}/\text{km}^2$ , 사과밭: BOD  $14.7\text{kg}/\text{km}^2$ , COD  $101.9\text{kg}/\text{km}^2$ , T-N  $86.395\text{kg}/\text{km}^2$ , T-P  $9.021\text{kg}/\text{km}^2$ 으로 조사 되었다.

- 2) 조사지점별 평균 유량가중평균농도를 살펴보면, 포도밭 A: BOD  $1.4\text{mg}/\text{L}$ , COD  $3.8\text{mg}/\text{L}$ , T-N  $0.530\text{mg}/\text{L}$ , T-P  $0.122\text{mg}/\text{L}$ , 포도밭 B: BOD  $1.2\text{mg}/\text{L}$ , COD  $4.7\text{mg}/\text{L}$ , T-N  $0.780\text{mg}/\text{L}$ , T-P  $0.122\text{mg}/\text{L}$ , 배밭 A: BOD  $1.4\text{mg}/\text{L}$ , COD  $7.7\text{mg}/\text{L}$ , T-N  $3.306\text{mg}/\text{L}$ , T-P  $0.508\text{mg}/\text{L}$ , 배밭 B 지점: BOD  $0.9\text{mg}/\text{L}$ , COD  $6.1\text{mg}/\text{L}$ , T-N  $1.174\text{mg}/\text{L}$ , T-P  $0.308\text{mg}/\text{L}$ , 사과밭: BOD  $0.6\text{mg}/\text{L}$ , COD  $3.6\text{mg}/\text{L}$ , T-N  $3.483\text{mg}/\text{L}$ , T-P  $0.308\text{mg}/\text{L}$ 로 조사 되었다.
- 3) 강우사상에 대해 강우계급별 EMCy 값을 산정하였다. BOD의 경우 10-30mm 강우계급에서는  $1.0\text{mg}/\text{L}$ 로 산정되었으며, 30-50mm에서는  $2.3\text{mg}/\text{L}$ , 50mm이상에서는  $2.9\text{mg}/\text{L}$ 로 산정되었다. T-N의 경우 강우계급별  $1.030\text{mg}/\text{L}$ ,  $4.149\text{mg}/\text{L}$ ,  $4.690\text{mg}/\text{L}$ 로 산정되었으며, T-P는  $0.163\text{mg}/\text{L}$ ,  $0.461\text{mg}/\text{L}$ ,  $0.962\text{mg}/\text{L}$ 로 산정되었다. T-P의 경우 타 항목에 비해 강우량 증가에 따라 EMC값의 증가율이 가장 크게 조사 되었다.
- 4) 과수재배지 단위면적당 유출되는 부하량을 산정한 결과, BOD, COD, T-N, T-P 가 각각  $2.0\text{kg}/\text{km}^2/\text{day}$ ,  $10.2/\text{km}^2/\text{day}$ ,  $3.220\text{kg}/\text{km}^2/\text{day}$ ,  $0.606\text{kg}/\text{km}^2/\text{day}$ 로 산정 되었다.

#### 참고문헌

- 국립환경과학원, 2002, 수계오염총량관리기술지침.  
국립환경과학원, 2007, 강우유출수 조사방법.

권현각, 2011, 유역모형과 중분류토지피복을 적용한 비점오염부하의 정량적 평가. 경북대학교대학원 박사학위 청구논문.

낙동강수계관리위원회, 2007, 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구, 낙동강물환경연구소.

이수형, 2003, 오염총량관리를 위한 오염부하량 및

삭감량 산정방법. 춘천물포럼, 599-635.

국립환경연구원, 1993, 비점오염원으로 부터의 오염물질 유출특성 조사를 위한 방법론적 연구.

최지용, 1998, 비점오염원의 제도적 관리방안 연구.

환경부, 1995, 비점오염원 조사연구사업 보고서.

최종원고채택 13. 10. 24