

내린천수계 비점오염원 오염물질 유출량조사

허인량[†] · 박성빈 · 오홍석 · 김영진

강원도 보건환경연구원

(2009. 5. 8. 접수/2009. 5. 20. 수정/2009. 6. 10. 채택)

A Study on Water Quality and Amount of Flowing at Nonpoint Source of Nairin Stream

In-Ryang Huh[†] · Sung-Bin Park · Heung-Seok Oh · Yeong-Jin Kim

Gangwon-do Health and Environmental Institute

(Received May 8, 2009/Revised May 20, 2009/Accepted June 10, 2009)

ABSTRACT

This study evaluates the water quality of the river near the alpine farmland in the upper Naerin stream, which is a typical stream of the upper Bukhan River with muddy water generation, by the flow examination, it aims to estimate the characteristics of nonpoint sources flowing out from the investigated area and figure out effective methods to reduce them. According to the result of water quality examination, the average BOD of the area not affected by the cultivated land among the areas of the upper Naerin River was 0.47 mg/l, and total phosphorous was 0.007 mg/l; thus, it maintained the cleanliness level of Ia. The average BOD of the area with the alpine farmland was 0.52 mg/l, which was similar to the one of the non-cultivated land. But total phosphorous concentration was 0.023 mg/l, which was more than three times higher than the area belonging to level II due to the effect of fertilizer ingredients discharged from the cultivated land. About the loadings of the investigated area generated from each of the pollution sources, BOD was 878.5 kg/day and total phosphorous was 79.7 kg/day. Moreover, for the load density, BOD was 2.22 kg/day.km² and total phosphorous was shown as 0.20 kg/day.km². Regarding the rates generated from nonpoint sources like land among the loadings per pollution sources, BOD was 54%, total nitrogen was 91%, and total phosphorous was 73.4%. Therefore, it was shown that most of the nutrients were produced from the nonpoint sources. The level of BOD runoff loading in the Jaun River area, where nonpoint sources were mainly generated, was 37.1 kg/day and total phosphorous was 1.33 kg/day. The flow rates to the generated amount were estimated as 10.5% and 4.7% each.

Keywords: naerin stream, water quality of alpine farmland, nonpoint sources

I. 서 론

수도권의 상류에 위치한 강원도의 수자원은 우리나라 인구의 반을 차지하는 수도권의 젖줄의 역할을 하고 있으며 도내 댐의 총저수량은 전국의 각종 댐을 통해 저수된 총 저수량의 약 30%를 차지하고 있다. 강원도 내 한강수계의 댐은 안정적인 수도권 용수공급원은 물론 하류지역의 홍수 피해를 방지하는데도 큰 역할을 담당하고 있다. 그간 정부는 각종 법률안을 통하여 강원도내 토지이용규제와 오염원을 저감시키기 위한 하

수처리장 등 환경기초시설의 건설을 통해 안전한 물을 공급하기 위하여 많은 노력을 기울여 왔다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 최근 한강상류의 수자원은 개선되지 않았다. 이는 상류지역의 점오염원보다는 비점오염원의 증가에 의한 원인이 있다고 할 수 있다. 특히 1990년 이후 한강상류의 급경사지에 위치한 고랭지 경작지의 면적이 두배 이상 증가하면서 홍수시마다 유출된 막대한량의 토사는 소양호의 방류구가 위치한 중간층에 정체되어 하류수계에 일년이상 흙탕물을 배출함은 물론 경작지에 시비된 비료성분인 질소나 인등의 영양염류의 유출로 인하여 하류 정체하천에서 부영양화 등 심각한 사태를 발생시키기도 한다.¹⁻³⁾ 소양호 상류와 별개로 남한강 상류 송천에서도 비점오염원 단지로부터 유출되는 탁류로 도암호의 오염에 의한 영향으로 하

[†]Corresponding author : Gangwon-do Health and Environmental Institute
Tel: 82-33-248-6454, Fax: 82-33-248-6500
E-mail : irhuh@korea.kr

류 지역주민과의 마찰로 발전방류를 중단한 상태이다. 비점오염원으로부터 발생하는 오염의 영향으로⁴⁾ 소양호 및 도암호 상류에서 유출되는 토사로 탁수가 반복 발생함에 따라 정부는 소양강댐 탁수저감대책⁵⁾ 및 도암댐 수질개선대책⁶⁾ 등 비점오염관리대책 지역을 선정하고 소양호, 도암호 유역내의 하천, 호소의 수질오염도 변화추이를 지속적으로 모니터링을 하고 수질개선을 위한 정책 자료로 활용하고 있다. 또한 탁류 발생에 있어서 소양호 및 도암호 비점오염원관리대책 추진실적 평가를 위한 수질모니터링 시스템 구축관련 관계기관 회의를 개최(08.3.26)하여 모니터링 지점 및 항목 선정, 조사주체 결정, 시료채취시기 협의 하였으며 소양호 및 도암호 비점오염관리대책 추진실적 평가를 위한 수질모니터링시스템 구축 운영계획 수립(08.3.31)과 도암호 유역 수질모니터링 추가지점을 선정(08.4.14)하여 현재 소양호상류에 12개소와 도암호상류에 13개의 지점에 대하여 탁류 관련 수질 모니터링을 하고 있다. 본 연구는 북한강 상류의 대표적인 탁류 발생 하천으로 내린천 상류수계의 고랭지 경작지 인근 하천의 수질을 평가하고 동일 수계에 설치되어 있는 원격수위계측기와 현장 유량조사를 통하여 조사유역으로부터 유출되는 비점오염물질의 유출특성을 평가하여 효과적인 저감방안을 도출하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

소양호 상류 내린천의 비점오염원 발생지역으로 조항천 3개소, 자운천 3개소와 경작지가 위치하지 않는 청정 유입하천과 내린천 본류 3개소에 대하여 비점오염원으로부터 발생하는 유기물 및 영양염류와 탁류에 의한 오염도 조사를 2008년 1월부터 12월까지 매월 1회 조사하였다.

2. 유량 및 수위조사

유량조사는 내린천 상류의 고랭지 경작지가 밀집되어 있는 조항천 3(무명교) 및 자운천 3(자운교)과 조항천 및 자운천의 본류이며 경작지의 영향이 없는 내린천 1(광원교)에 대하여 현장 유량조사를 2008년 1월부터 12월까지 매월 1회 실시하였으며 수위는 현장에 설치한 원격수위계측기로부터 실시간 연구원 서버로 전송된 수위자료를 이용하여 환산하였다.

3. 오염원 및 부하량 조사

발생오염부하량은 내린천 유역 내 행정구역의 통계자료를 유역별로 구분하여 각각의 오염원을 조사한 후 오염원단위로 환산하여 산정하였으며 매월 실시한 수질 조사와 현장에서 측정된 유량자료 및 원격수위 계측기의 수위자료를 이용하여 평균유달부하량 및 저수위 유달부하량 산정하였다.

II. 연구방법

1. 수질조사

수질조사 지점은 Fig. 1과 같다. 홍천군 내면 일대인

III. 결과 및 고찰

1. 수질조사결과

수질조사결과 각각의 지점 평균 수질 중 BOD는

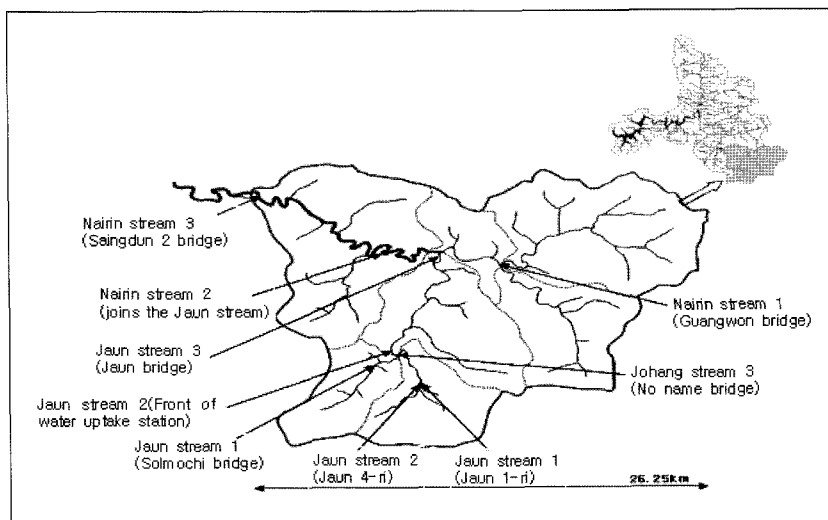


Fig. 1. Basin diagram of Nairin stream.

Table 1과 같이 0.5 mg/l로 청정수준을 유지하고 있다. 비료로부터 유출되는 부영양화 물질인 총인 농도는 지점별로 큰 차이를 보이고 있으며 탁류발생의 기본 성분인 부유물질의 경우 경작지 6개소의 농도 범위는 4.0-12.1 mg/l로 경작지 평균 7.2 mg/l이었으며 경작지의 영향이 미미한 내린천 본류의 3개소(내린천 1,2,3)에서 0.6-2.5 mg/l이며 평균 1.8 mg/l로 월평균 부유물질 농도는 경작지가 비경작지에 비해 약 4배 이상 높게 나타났다. 홍천군 내면 자운리의 고랭지 경작단지 인근 지점의 총인 농도는 0.018-0.031 mg/l로 높게 나타났으며 총인 기준 II 등급이었고 이에 비해서 내린천 본류 구간은 0.007 mg/l로 청정한 수준이었으며 총질소의 경우 비경작지에서는 2.509 mg/l이었으며 경작지에서 5.743 mg/l로 비경작지에 비해 2배 이상 높게 나타났다. 비경작지에 비하여 총인 농도가 높은 것은 고랭지 경작을 위하여 사용된 인산질 비료가 토양에 흡착되어 강우 시 토양유실과 함께 하천으로 이동되었기 때문으로 판단

Table 1. Result of water quality analysis at basin of Nairin stream

| | Alpine farmland | Main stream of Nairin stream |
|------------|--------------------|------------------------------|
| BOD (mg/l) | 0.48-0.52(0.51) | 0.42-0.52(0.47) |
| SS (mg/l) | 3.98-12.13(7.2) | 0.63-2.55(1.78) |
| TP (mg/l) | 0.018-0.031(0.023) | 0.004-0.009(0.007) |
| TN (mg/l) | 5.06-6.77(5.743) | 1.47-3.03(2.509) |

Alpine farmland : Johang stream 1,2,3, Jaun stream 1,2,3,
Main stream of Nairin stream : Nairin stream 1,2,3.

되며 이는 주 등의 연구와도 같은 결과이다.

Fig. 2는 조사지점의 지점별 매월 수질분석 결과로 BOD의 경우 경작지와 비경작지 전지점에서 25-75 percentile 수질값은 0.4-0.6 mg/l의 범위에 있어 고랭지 경작지가 BOD에 미치는 영향은 미미한 것으로 조사되었으나 부유물질과 총인, 총질소의 경우에는 그림에서와 같이 그 영향이 확연하게 나타났다.

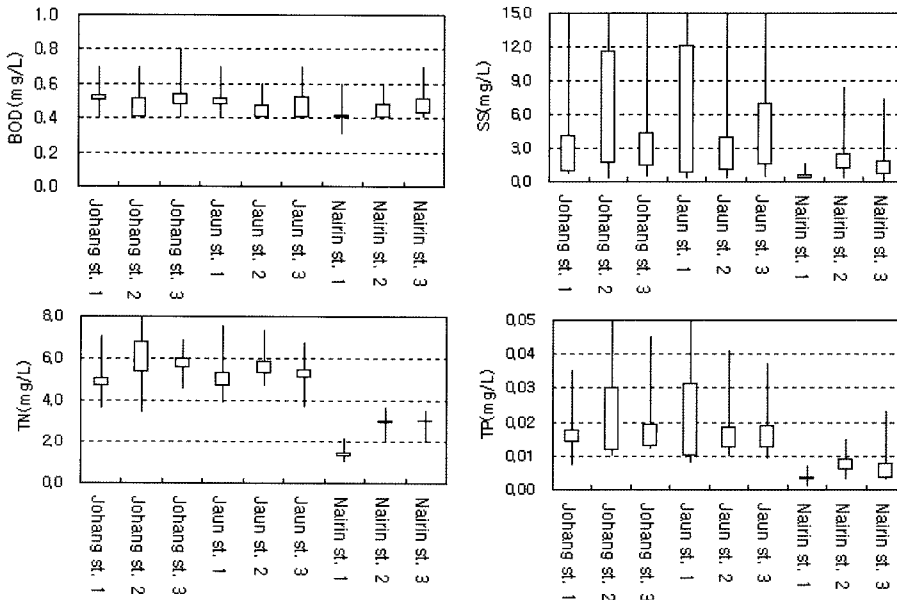


Fig. 2. Result of water quality analysis at basin of Nairin stream (Min, Max, 75%, 25%).

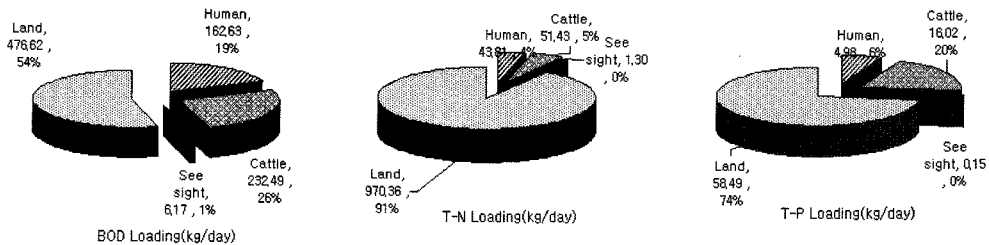


Fig. 3. Pollution load of each basin (kg/day).

2. 부하량 조사결과

내린천 상류의 각각의 유역별 오염원(과⁸⁾) 오염원단위⁹⁾에 의한 발생오염부하량은 Fig. 3과 같이 내린천 3

에서 BOD 878.5 kg/일, 총인 79.7 kg/일, 총질소 1067 kg/일이었으며 단위면적당 발생부하량인 0.20 kg/일.km²로 나타났다. 또한 내린천 상류부하밀도는 BOD

Table 2. Rating curve and flowing amount of each water level (CMS)

| | Flow-water level curve | Low level (m) | Low level flow (CMS) | Avg. level flow (CMS) | Monthly avg. flow (CMS) |
|-----------------------------|------------------------|---------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Nairin st. 1 (Guangwon br.) | $Y=20.127X^{2.3177}$ | 0.35 | 1.77 | 3.16 | 3.515 |
| Johang st. 3 (No name br.) | $Y=12.165X^{0.9794}$ | 0.022 | 0.29 | 0.93 | 0.613 |
| Jaun st. 3 (Jaun br.) | $Y=16.803X^{1.7684}$ | 0.18 | 0.81 | 2.76 | 2.525 |

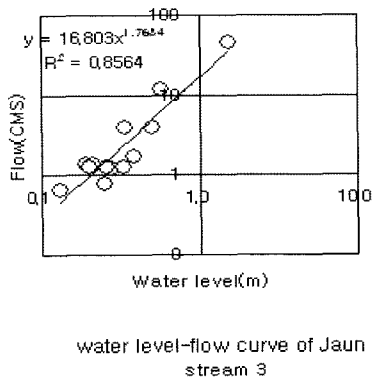
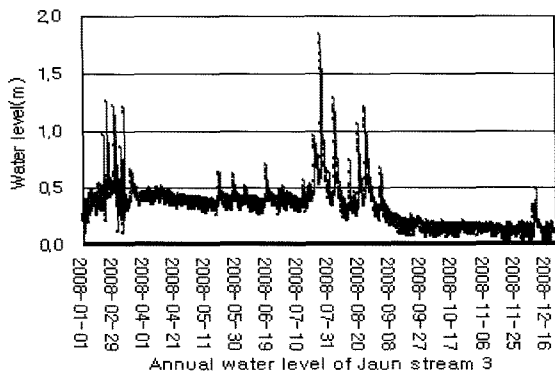
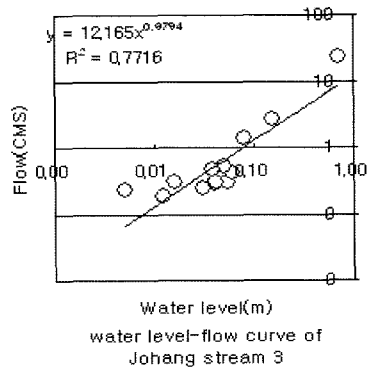
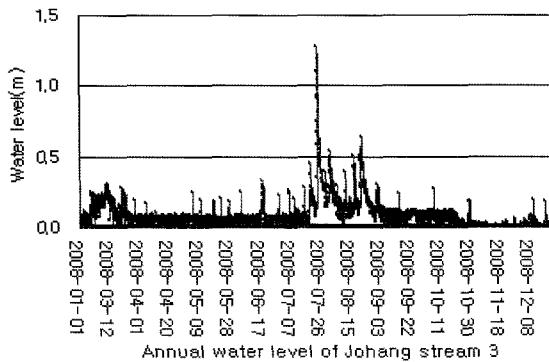
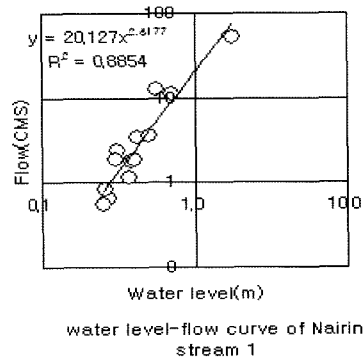
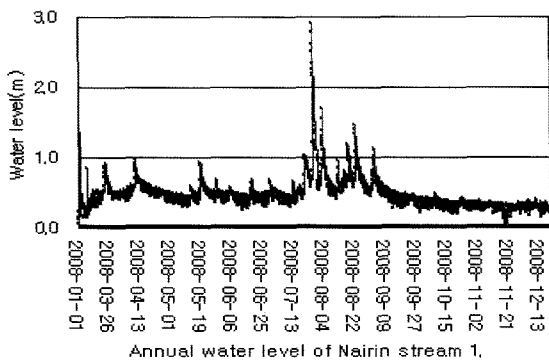


Fig. 4. Rating curve water level and amount of flowing.

2.22 kg/일.km², 총인의 발생부하량 중에서 비점오염원으로 부터 발생율은 BOD 54%, 총질소 91%, 총인 74%로 영양염류의 대부분은 비점오염원으로부터 발생 되는 것으로 조사되었으며 지점별 수질분석결과와 유사한 경향을 나타냈다.

3. 수위유량조사결과

내린천 상류에 수위계가 설치되어 있는 광원교, 무명교, 자운교 3개소의 연중 수위 그림은 Fig. 4와 같으며 장마철인 7-9월에 수위가 절정에 이르는 알 수 있다. 그리고 광원교의 경우 평상시 수위는 0.5 m 정도를 보이다가 7월에 3m까지 높아짐을 알 수 있었으며 이는 조항천과 자운천에서도 유사한 경향이 나타났다.

유역별 오염부하량 할당의 기준이 되는 저수위 유량¹⁰⁾과 연중 유량을 파악하기 위하여 조사지점에 수위계를 설치하여 측정시기 이외의 유량을 수위자료로부터 추정할 수 있도록 1년간 매일 실시간으로 조사된 수위와 월별 실측유량을 통계 처리하여 수위-유량관계식을 도출하여 연간 저수위 유량을 산정하여 최고수위로부터 275번째 수위인 저수위 유달부하량을 구하고자 하였다. 건교부 기술지침에 따라 수위와 유량을 Log scale의 전대수 눈금으로 지정하고 수위유량곡선식을 작성한 결과 Fig. 4와 같이 작성되며 전체조사 횟수를 연중 저수위로 환산하면 Table 2와 같이 내린천 1(광원교) 0.35 m, 조항천 3(무명교) 0.022 m, 자운천 3(자운교) 0.18 m이었으며 이를 바탕으로 하여 수위유량곡선식에 의하여 산출한 내린천1(광원교) 지점의 저수위유량은 1.77 CMS이었으며 연간 185번째의 유량인 평수위 유량은 3.16 CMS였으며 이 때의 실측한 월평균 유량은 3.51 CMS로 조사되었으며 조항천 3(무명교) 지점의 저수위 유량은 0.29 CMS이었으며 평수위 유량은 0.93 CMS였고 자운천 3(자운교) 지점의 저수위 유량은 0.81 CMS, 평수위 유량은 2.76 CMS, 월평균 유량은 2.52 CMS로 나타났다.

4. 유출부하량 조사결과

내린천 상류의 각각의 소유역 중에서 비점오염원 주 발생지역인 조항천 3 유역의 저수위 유량은 Table 3과 같이 0.29 CMS이었으며 이때의 BOD 유출부하량은 13.5 kg/일, 총인은 0.475 kg/일로 조사되었고 발생량 대비 유출율은 BOD, 총인 각각 13.7%, 5.7%로 조사되었다. 조항천 유역을 포함한 내린천 유역 경작지를 대부분 포함하는 자운천 3 유역의 BOD 유출부하량은 37.1 kg/일, 총인은 1.33 kg/일로 조사되었으며 발생량 대비 유출율은 BOD, 총인 각각 10.5%, 4.7%로 나타났다. 내린천 상류수계 중에서 비경작지인 내린천 1지점의 BOD 유출부하량은 64.1 kg/일, 총인은 0.61 kg/일로 조사되었으며 발생량 대비 유출율은 BOD, 총인 각각 79.9%, 7.0%로 조사되었고 조사지역인 내린천 상류 전역인 내린천 3(생동2교)에서의 유출되는 부하량은 BOD 120.7 kg/일, 총인 1.86 kg/일로 발생량 대비 유출율은 각각 13.7%, 2.3%로 평가되었다.

IV. 결 론

내린천 상류인 홍천군 내면 자운천 일대의 고랭지 경작지 인근 유역의 수질 및 유량과 부하량의 조사결과 는 다음과 같다.

1. 수질조사결과 내린천 상류유역중에서 경작지로부터 영향이 없는 내린천 상류와 내린천 분류구간의 평균 BOD는 0.47 mg/l이었으며 총인의 경우도 0.007 mg/l로 Ia 등급의 청정수준을 유지하고 있었다. 그리고 고랭지 경작지가 위치하고 있는 조항천 및 자운천 6개 지점의 평균 수질 중 BOD는 0.52 mg/l로 비경작지와 유사한 수준이었으나 총인 농도는 경작지로부터 유출된 비료성분의 영향으로 3배 이상 높은 0.023 mg/l로 II 등급 수준이었다.

2. 각각의 오염원으로부터 발생하는 조사지역의 부하량은 BOD 878.5 kg/일, 총인 79.7 kg/일이었다. 그리고 단위면적당 발생부하량인 부하밀도는 BOD 2.22 kg/일

Table 3. Reach loading o feach basin

(unit : flow : m³/day, loading : kg/day, effluent rate: %)

| | Low level flow | BOD | T-P | BOD effluent loading | T-P effluent loading | BOD production loading | T-P production loading | BOD effluent % | T-P effluent % |
|-------------------------------|----------------|------|-------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|----------------|----------------|
| Johang st. 3 (No name br.) | 0.290 | 0.54 | 0.019 | 13.508 | 0.475 | 98.74 | 8.28 | 13.7 | 5.7 |
| Jaun st. 3 (Jaun br.) | 0.810 | 0.53 | 0.019 | 37.085 | 1.329 | 351.74 | 28.26 | 10.5 | 4.7 |
| Nairin st. 1 (Guangwon br.) | 1.766 | 0.42 | 0.004 | 64.096 | 0.610 | 80.18 | 8.77 | 79.9 | 7.0 |
| Nairin st. 3 (Saingdun 2 br.) | 2.687 | 0.52 | 0.008 | 120.719 | 1.857 | 878.5 | 79.70 | 13.7 | 2.3 |

.km², 총인 0.20 kg/일.km²로 나타났다. 각각의 오염원으로부터 발생하는 부하량중에서 토지와 같은 비점오염원으로부터의 발생율은 BOD 54%, 총질소 91%, 총인 73.4%로 영양염류의 대부분은 비점오염원으로부터 발생하는 것으로 나타났다.

3. 부하량 평가의 기준이 되는 저수위 유량은 내린천 1(광원교) 1.77 CMS, 조항천 3(무명교) 0.29 CMS, 자운천 3(자운교) 0.81 CMS로 조사되었다. 내린천 상류의 각각의 소유역 중에서 비점오염원 주 발생지역인 자운천 3 유역의 저수위 BOD 유출부하량은 37.1 kg/일, 총인은 1.33 kg/일로 조사되었으며 발생량 대비 유출율은 BOD, 총인 각각 10.5%, 4.7%로 조사되었다. 그리고 조사지역인 내린천 상류의 전역인 내린천 3(생둔2교)에서의 유출되는 저수위 부하량은 BOD 120.7 kg/일, 총인 1.86 kg/일로 발생량 대비 유출율은 각각 13.7%, 2.3%로 평가되었다.

참고문헌

1. Kangwon-do : Reduction of alpine agricultural non-

- point sources pollution, 2005.
2. Jung, S. M. : Runoff characteristics of nonpoint sources pollution and the annual soil loss in the Han river watershed. *Korean Society on Water Quality*, 684-692, 2006.
 3. Jang, S. H., Park, J. S. : Runoff characteristics of nonpoint sources according to rainfall in Nam watershed. *Journal of Environmental Health Sciences*, 31(1), 1-6, 2005.
 4. Huh, I. R. : Water environment characteristics and efficiency basin management of Song stream. *Journal of Environmental Health Sciences*, 27(2), 51-59, 2001.
 5. Counter plan reduction of nonpoint sources pollution of Soyang river. Counter Plan of Government. 2007.
 6. Environmental Agency : Counter plan of improve water quality of Doam dam, 2006.
 7. Joo, J. H. : Assessment of pollutant loads from alpine agricultural practices in Nakdong river basin. *Journal of Environmental Agriculture*, 26(3), 233-238, 2007.
 8. Hongcheon-gun : Statistics annual report, 2008.
 9. Kangwon-do : Study of efficiency conservation plan Gangwon environmental, 2005.
 10. Environmental Agency : A guide of plan on TMDL, 2006.