

연구논문

## 남강유역 지류 · 지천별 영향도 평가

이재운 · 권현각 · 박인수 · 윤종수 · 천세억

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

(2012년 6월 27일 접수, 2012년 9월 26일 승인)

### The Estimation of Contribution Ratio for Sub Stream in Nam River Basin

Jae-Woon Lee · Heon-Gak Kwon · In-Soo Kwak · Jong-Soo Youn · Se-Uk Cheon

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

(Manuscript received 27 June 2012; accepted 26 September 2012)

#### Abstract

The relations between tributaries and mainstream were identified with the water qualities measurements in the field. Parameters of water qualities were BOD, T-N, T-P and measurements were performed by 4 events of rainfalls for 2011. The precipitation data influenced on pollutants loads. Pollutants loads were fluctuations with the seasonal variation.

Gajocheon contributed in 18.39% of BOD, 23.79% of T-N, 15.23% of T-P and Nabalcheon contributed in 13.54% of BOD, 13.05% of T-N and 13.66% of T-P in the region from Nam River\_C to Nam River\_D.

In case of the region from Nam River\_C to Nam River\_D, Yongacheon river inflowed to main stream as 23.65% of BOD, 20.74% of T-N, and 15.05% of T-P.

Keywords : pollutants loads, contribution ratio, sub stream

#### 1. 서론

4대강 살리기 사업은 본류 중심의 치수 및 하천환경 개선사업으로 2012년 완공이후 변화되는 하천환경에 대한 유역관리 정책 전환이 필요하게 되었고, 낙동강 살리기 사업효과 극대화를 위해 낙동강수계 주요 지류에 대하여 유역여건에 맞는 실현가능한 현실적인 물 관리 대책 마련이 필요하게 되었다.

우리나라의 하천 치수 · 이수 · 환경계획 등은 대부분 본류 중심의 유역관리체계로 인해 본류 하천환경에 근원이 되는 지류 · 지천들의 경우 체계적인 관리가 부족한 것이 현실이다. 또한 '수질 및 수생태계 보전에 관한 법률'에 따라 수립되는 소권역 수질 및 수생태계 보전계획의 경우 서울시, 파주시 등 수도권 일부 4-5개 시 · 군을 제외하고는 낙동강수계 시 · 군 중 소권역 계획을 수립한 지자체는 전무

한 실정이다(낙동강수계관리위원회, 2011). 윤영삼 등(2002)은 낙동강 유역 주요지천들의 본류에 대한 오염부하평가를 위해 본류 직유입 지천들의 BOD, COD, T-N, T-P 유달부하량을 월별로 조사하여 본류의 유달부하량 값과 비교하였으며, 윤영삼 등(2004)은 낙동강 유역 주요 지천들의 본류에 대한 오염부하도를 수질, 유량 조사를 통해 실측자료와 모형 예측을 통해 산정된 일별 유달부하량으로 분석하여 각각의 지천들의 본류에 대한 유입 부하량을 추정하였다. 박재로 등(2005)은 팔당호 상류 지천별 영향성을 평가하여, 팔당호를 중심으로 한 한강의 수자원은 뚜렷한 수질 개선이 나타나지 않아 보다 합리적이고 효과적인 정책 및 수질개선 방안의 적용을 위해서는 팔당호 유입 지천별 영향성에 대해 평가 및 정량화의 필요성을 제기 하였다. 또한 이상진·배병욱(2003)은 금강 제1지류 58하천을 대상으로 오염물질의 유달부하량을 산정하여, 이러한 지류하천들이 수환경 관리 측면에서 관리 대책

이 가장 먼저 고려되어야 할 하천이라는 결과를 도출하였다. 유영복 등(2007)은 대청댐 하류 금강 본류에 유입되는 갑천 및 미호천을 중심으로 수질변화 해석 및 주요 환경기초시설의 기여도 분석을 통해 금강 본류 중·하류 구간의 수질개선을 위한 관리방안을 모색하고자 하였다.

본 연구에서는 낙동강수계 중 남강 중권역에 해당하는 일부 유역에 대해 남강 본류에 영향을 미치는 지류·지천의 수질 및 유량 모니터링을 실시하여 오염물질별 부하량을 산정하고, 지천별로 산정된 유달부하량 합에 각각의 지천별 유달부하량의 비율을 남강 본류에 대한 기여율로 판단하였다. 조사된 지류·지천들의 경우 시기적으로 유량 변화가 크게 나타나며, 강우와 같은 영향인자에 의해 유출 특성이 변화하는 특징을 나타내고 있다. 본 연구를 통해 남강에 대한 조사 지류들의 기여율을 평가하여 향후 해당유역에 대한 물환경관리계획 수립 시 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



Figure 1. Location of study area

Table 1. Land uses in watershed of study area

| Basins           | Land use(km <sup>2</sup> ) |            |             |        |        |        |
|------------------|----------------------------|------------|-------------|--------|--------|--------|
|                  | Dry field                  | Rice paddy | Forest land | Ground | Others | sum.   |
| Nabulcheon       | 3.09                       | 9.44       | 37.26       | 2.61   | 7.48   | 59.87  |
| Gajocheon        | 0.70                       | 2.16       | 8.51        | 0.60   | 1.71   | 13.68  |
| Youngcheon river | 10.47                      | 32.02      | 126.47      | 8.86   | 25.37  | 203.20 |
| Yongacheon       | 0.53                       | 1.61       | 6.37        | 0.45   | 1.28   | 10.24  |
| Hachoncheon      | 0.59                       | 1.80       | 7.11        | 0.50   | 1.43   | 11.43  |
| Jinacheon        | 2.22                       | 6.80       | 26.84       | 1.88   | 5.39   | 43.13  |
| Hayngyangcheon   | 2.24                       | 6.86       | 27.10       | 1.90   | 5.44   | 43.55  |
| Hyeunjicheon     | 0.17                       | 0.51       | 2.02        | 0.14   | 0.41   | 3.24   |
| Daegokcheon      | 1.57                       | 4.81       | 18.98       | 1.33   | 3.81   | 30.49  |
| Bansungcheon     | 6.11                       | 18.68      | 73.79       | 5.17   | 14.80  | 118.56 |
| Daebangcheon     | 0.19                       | 0.59       | 2.33        | 0.16   | 0.47   | 3.75   |
| Sangjungcheon    | 1.31                       | 4.01       | 15.84       | 1.11   | 3.18   | 25.45  |
| Jisoocheon       | 0.81                       | 2.48       | 9.78        | 0.69   | 1.96   | 15.71  |
| sum.             | 30.00                      | 91.77      | 362.40      | 25.40  | 72.73  | 582.30 |

## II. 연구방법

### 1. 조사대상 유역

남강 중권역은 남강댐 중권역의 말단인 남강댐 하류부터 낙동강 합류 전까지의 남강 본류 77.6km에 해당하며, 강은 서쪽에서 동진하여 낙동밀양 중권역과 연결된다(낙동강유역환경청, 2008). 본 연구에서는 남강 중권역 중 남강\_C와 남강\_D 지점 사이 유역의 지천에 대한 영향도를 조사하였다. 조사 지점을 Figure 1에 나타내었으며, 본류인 남강\_C, 남강\_D의 조사결과는 ‘2011년 낙동강수계 유량 측정사업’의 결과를 활용하였다. 조사 대상 지천은 총 13개 지점이며, 지천별 해당 유역의 토지이용도 및 면적을 Table 1에 나타내었다.

조사 유역의 면적은 총 582.3 km<sup>2</sup>으로 남강 중권역(1,185 km<sup>2</sup>)의 절반에 해당한다. Table 1의 조사유역 토지피복 현황을 살펴보면, 산림지역이 362.4 km<sup>2</sup>로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 다음으로는 논이 91.8 km<sup>2</sup>, 기타지역이 72.7 km<sup>2</sup>, 밭 30.0 km<sup>2</sup>, 대지 25.4 km<sup>2</sup> 순으로 조사되었다.

### 2. 수질 조사

대상 유역에 대해 조사 지점별 연간 3회 이상 유

Table 2. Analysed items and analysis methods

| item | units | methods   |
|------|-------|---|
| BOD  | mg/l  | 20°C 5days cultivation & check DO before incubation and after incubation DO |
| T-N  | mg/l  | Ultraviolet methods(220nm)  |
| T-P  | mg/l  | Ultraviolet methods(880nm)  |

량과 수질을 측정하였으며, 수질 조사항목은 BOD, T-N 및 T-P를 대상으로 하였다.

수질항목의 분석은 Table 2에 따라 ‘수질오염공정시험 방법’을 기준으로 현장에서 채수된 샘플을 실험실로 이동하여 항목별로 분석하였다.

### 3. 유량조사

하천유량은 단위시간에 어느 횡단면을 통과하는 물의 양으로 시간에 따라 변화되며, 수위는 낙차공이나 댐의 상·하류에서 불연속적으로 되지만, 유량은 상류에서 하류에 연속된 양으로 관측된다.

신뢰성 있는 유량측정 방법을 획득하기 위해서는 적절한 수위 및 유량측정 지점의 선정과 정확한 유속 및 통수단면적의 측정이 이루어져야 한다. 유속 측정과 유량 계산에는 대상위치, 목적 등에 따라 다양한 방법이 사용되고 있다(국립환경과학원, 2002).

유황이 일정하고 고른 지점을 선정하여 물이 흐르는 방향과 직각이 되도록 하천의 양끝을 고정하

고, 등 간격으로 측정점을 정하여 하천 단면적을 구하고, 수심 및 유속계를 이용하여 하천의 평균 유속을 측정하였으며, 유량은 중간단면적법을 이용하여 유속과 단면적의 곱으로 유량을 계산하였다. 유속계는 평상시는 VALEPORT 사의 회전식 유속계(Model BFM002)를 사용하였고, 홍수기에는 알렉전자 주식회사의 전자식유속계(Model ACM210-D)를 사용하였다. 회전식 유속계는 회전자의 회전속도 N을 측정하여 유속을 구하는 방법으로 식 (1)을 사용한다.

$$v = a + b \times N \tag{1}$$

여기서, a, b는 검정계수이다.

계기 검정은 유속계를 정수 중에 위치시키고 일정한 거리를 일정 유속으로 이동시킬 때의 시간과 컵 및 프로펠러의 회전수를 동시에 측정하여 최소자승법이나 도해법에 의하여 a, b를 결정하게 되며, 최소자승법에 의한 방법은 식 (2)와 같다.

$$a = \frac{\sum N^2 \sum v - \sum N \sum v \sum N}{n \sum N^2 \sum - \sum N \sum N}, \tag{2}$$

$$b = \frac{n \sum N v - \sum N v}{n \sum N^2 \sum - \sum N \sum N}$$

유속 측정 시 수면으로부터 하천바닥까지 유속

분포는 다르며 이는 하상상태, 하폭, 풍향, 수면경사 등의 영향을 받게 된다. 수면 폭에 따른 수평선상의 유속 분포는 최심부에서 유속이 최대가 되고 이 부분에서 점차 양안으로 향해 감소하여 그 변화는 타원에 근사한 곡선으로 표시할 수 있다. 연직선상의 유속분포는 하천바닥에서 유속이 최소로 되고 수면 또는 수면에 접근한 지점에서 유속이 최대가 되며 그 변화는 포물선 또는 대수 곡선으로 표시할 수 있다. 따라서 정확한 유량 측정을 위해서는 각 단면의 평균 유속을 구하여 유량을 산정하게 된다(국립환경과학원, 2005).

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i \cdot v_{m_i} \tag{3}$$

여기서, Q: 유량(m<sup>3</sup>/sec), A<sub>i</sub>: 소단면의 면적(m<sup>2</sup>), v<sub>m<sub>i</sub></sub>: 평균유속(m/sec), n: 소단면 수이다.

### III. 연구결과

#### 1. 대상유역 강우분석

진주기상관측소에서 측정된 강수량 자료를 활용하여 조사대상유역에서 2011년 일강우량을 Figure 2에 도시하였다. Figure 2의 2011년 일 강수 발생

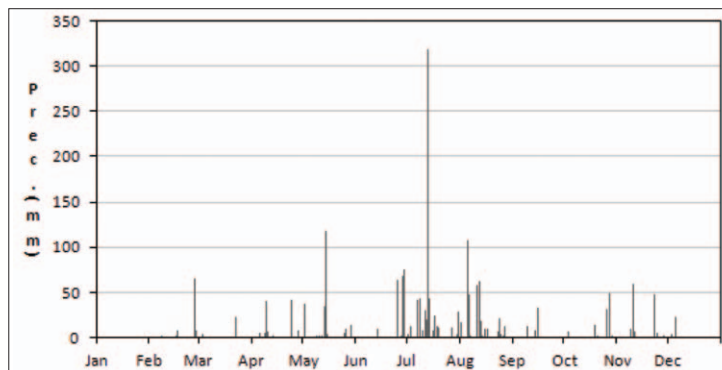


Figure 2. Daily precipitation in Nam River basin in 2011

Table 3. Precipitation pattern in Nam River basin (unit : mm)

|            | Jau  | Feb  | Mar  | Apr   | May   | Jun   | Jul   | Aug   | Sep   | Oct   | Nov   | Dec  | Total Prec. |
|------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------------|
| 2002-2011* | 21.3 | 60.1 | 66.2 | 132.7 | 173.3 | 182.9 | 403.4 | 333.6 | 166.1 | 46.9  | 41.0  | 17.5 | 1,644.9     |
| 2011**     | 0    | 87.6 | 28.3 | 149.5 | 198.6 | 239.5 | 626.3 | 368.3 | 61.3  | 101.3 | 162.2 | 3.5  | 2,026.4     |

\*: average monthly precipitation for 10 year.

\*\* : monthly precipitation at 2011.

형태의 경우, 7월과 8월 사이에 집중되어 있었으며, Table 3의 남강유역 월별 강우발생량을 살펴보면, 총 발생 강수량의 경우 10년 평균치(1,644.9 mm)를 상회하는 2,026.4 mm로 조사되었다.

## 2. 남강 본류 유달부하 특성

낙동강수계 유량측정사업에서 조사된 결과를 활용하여, 2011년 남강 본류 중 남강\_C와 남강\_D의 유달부하량을 산정하였다(Table 4, Figure 3). 남강\_C 지점은 남강 수계구간 중 입석천 합류점 후부터 판문천 합류점전까지 전 구간 및 유역을 경계로 하고 있으며, 유량 및 수질조사는 경남 진주시 내동면에 위치한 오목교에서 수행되었다. 남강\_D 지점은 남강 수계구간 중 판문천 합류점 후부터 진주시와 의령군 경계점 전까지 전 구간 및 유역을 경계로 하고 있으며, 유량 및 수질조사는 경남 진주시 지수면에 위치한 장박교에서 수행되었다.

Table 4 및 Figure 3의 남강\_C와 남강\_D 오염물질별 유달부하량 변화를 살펴보면, 두 지점 모두 조사 시기별 유량의 변화에 따라 유달부하량이 변화하였다. 두 지점 모두 7월 중순에 가장 높은 유량(남강\_C 336.4 m<sup>3</sup>/sec, 남강\_D 424.3 m<sup>3</sup>/sec)을 나타내었으며, 이는 진주지역에 7월초에 발생된 다수의 강우 영향으로 인해 진양호 방류량(2011년 7월 9일 1,734.5 m<sup>3</sup>/sec ~ 7월 13일 1,478.0 m<sup>3</sup>/sec) 증가 및 본류인 남강으로의 지천 유입 유량 증대의 영향을 받은 것으로 판단되며, 두 지점의 오염물질별 유달부하량은 유량의존성이 높음을 알 수 있다. 하지만, 평균 부하량을 살펴보면, 남강\_D의 경우 남강\_C에 비해 유량은 49.7 m<sup>3</sup>/sec ~ 61.0 m<sup>3</sup>/sec로 소폭 증가하나, BOD와 T-N 부하량은 1.8배 높게 산정되었으며, T-P의 경우 3.1배 높은 부하량을 나타내었다. 이는 남강\_D의 경우 남강\_C와의 사이에 위치한 여러 지류 · 지천들의 영향으로 인해 발

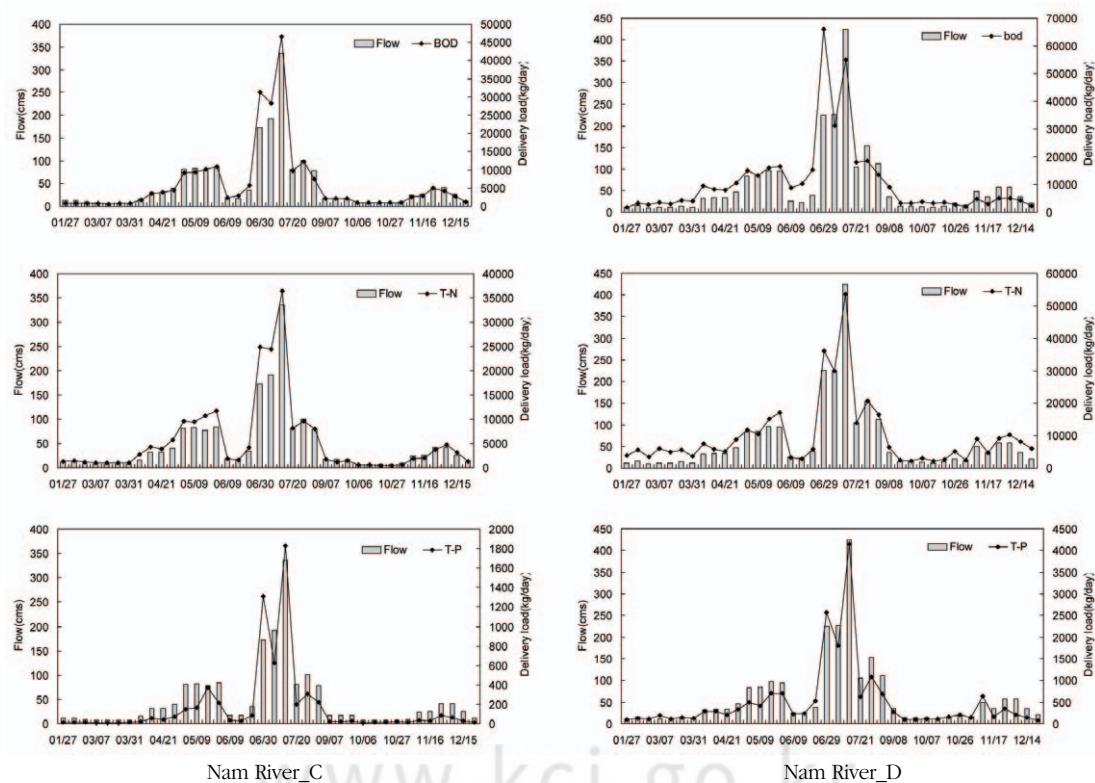


Figure 3. Variation of delivery loads over the flow in Nam River\_C, D

Table 4. Comparison of delivery loads Nam river\_C with Nam River\_D

| Date     | Nam River_C                   |                 |                 |                 | Date     | Nam River_D                   |                 |                 |                 |
|----------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|          | Flow<br>(m <sup>3</sup> /sec) | BOD<br>(kg/day) | T-N<br>(kg/day) | T-P<br>(kg/day) |          | Flow<br>(m <sup>3</sup> /sec) | BOD<br>(kg/day) | T-N<br>(kg/day) | T-P<br>(kg/day) |
| 11/01/27 | 12.0                          | 725.8           | 1,297.0         | 16.6            | 11/01/27 | 10.8                          | 1,779.8         | 3,773.2         | 95.5            |
| 11/02/09 | 11.9                          | 822.5           | 1,476.4         | 16.5            | 11/02/09 | 15.4                          | 3,195.0         | 5,468.8         | 122.5           |
| 11/02/21 | 9.2                           | 794.9           | 1,149.4         | 12.7            | 11/02/21 | 10.2                          | 2,638.9         | 3,428.0         | 105.6           |
| 11/03/07 | 6.9                           | 715.4           | 1,040.9         | 7.8             | 11/03/07 | 11.8                          | 3,469.0         | 6,012.6         | 186.7           |
| 11/03/15 | 6.8                           | 587.5           | 1,057.5         | 8.8             | 11/03/15 | 11.1                          | 2,976.5         | 4,928.5         | 119.1           |
| 11/03/21 | 6.7                           | 752.5           | 993.4           | 9.3             | 11/03/21 | 15.2                          | 4,201.7         | 5,460.9         | 148.4           |
| 11/03/31 | 6.8                           | 763.8           | 1,021.7         | 11.2            | 11/03/31 | 11.7                          | 4,046.3         | 3,654.8         | 129.5           |
| 11/04/07 | 15.8                          | 1,774.7         | 2,657.9         | 21.8            | 11/04/07 | 31.9                          | 9,387.7         | 7,490.8         | 281.6           |
| 11/04/14 | 30.9                          | 3,470.7         | 4,343.7         | 58.7            | 11/04/14 | 33.9                          | 8,214.2         | 5,832.0         | 290.4           |
| 11/04/21 | 31.1                          | 3,761.9         | 3,904.3         | 45.7            | 11/04/21 | 33.9                          | 7,911.7         | 5,139.7         | 213.9           |
| 11/04/25 | 39.4                          | 4,425.4         | 5,770.1         | 68.1            | 11/04/25 | 46.5                          | 10,456.8        | 8,799.8         | 341.9           |
| 11/05/06 | 80.8                          | 9,075.5         | 9,613.0         | 146.6           | 11/05/06 | 82.8                          | 15,024.9        | 11,783.8        | 493.7           |
| 11/05/09 | 82.6                          | 9,277.6         | 9,377.5         | 164.1           | 11/05/09 | 84.8                          | 13,188.7        | 10,441.1        | 410.3           |
| 11/05/16 | 77.8                          | 10,082.9        | 10,694.6        | 369.7           | 11/05/16 | 96.9                          | 15,900.5        | 15,205.9        | 694.6           |
| 11/05/23 | 83.9                          | 10,873.4        | 11,750.6        | 210.2           | 11/05/23 | 94.9                          | 16,397.7        | 17,078.2        | 696.9           |
| 11/06/09 | 16.9                          | 2,336.3         | 1,793.1         | 36.5            | 11/06/09 | 24.9                          | 8,842.5         | 3,125.1         | 224.3           |
| 11/06/16 | 16.7                          | 2,885.8         | 1,551.1         | 28.9            | 11/06/16 | 23.0                          | 10,346.9        | 2,857.3         | 244.7           |
| 11/06/22 | 34.9                          | 5,729.2         | 4,197.4         | 87.4            | 11/06/23 | 39.0                          | 15,179.1        | 5,842.3         | 529.6           |
| 11/06/30 | 172.6                         | 31,316.5        | 24,814.6        | 1,312.3         | 11/06/29 | 225.0                         | 66,105.7        | 36,183.1        | 2,566.5         |
| 11/07/06 | 191.7                         | 28,156.9        | 24,364.0        | 629.4           | 11/07/07 | 226.3                         | 31,288.8        | 29,841.7        | 1,799.1         |
| 11/07/15 | 336.4                         | 46,503.9        | 36,360.3        | 1,831.1         | 11/07/14 | 424.3                         | 54,982.2        | 53,699.2        | 4,142.0         |
| 11/07/20 | 81.0                          | 9,797.8         | 8,111.1         | 196.0           | 11/07/21 | 104.9                         | 18,124.3        | 13,774.5        | 625.3           |
| 11/08/18 | 100.6                         | 12,168.6        | 9,517.6         | 304.2           | 11/08/19 | 153.5                         | 18,570.5        | 20,719.4        | 1,087.7         |
| 11/08/25 | 78.6                          | 7,470.1         | 7,952.3         | 224.1           | 11/08/24 | 111.8                         | 13,517.3        | 16,423.5        | 685.5           |
| 11/09/07 | 16.8                          | 2,032.1         | 1,733.1         | 23.2            | 11/09/08 | 34.7                          | 8,987.8         | 6,486.2         | 272.6           |
| 11/09/21 | 16.8                          | 2,032.1         | 1,158.3         | 24.7            | 11/09/22 | 14.5                          | 3,253.0         | 2,442.3         | 102.6           |
| 11/09/29 | 16.8                          | 2,177.3         | 1,368.8         | 31.9            | 11/09/28 | 14.9                          | 3,208.0         | 2,222.5         | 92.4            |
| 11/10/06 | 7.8                           | 1,010.9         | 556.7           | 9.4             | 11/10/07 | 13.6                          | 3,867.4         | 2,891.2         | 111.3           |
| 11/10/13 | 7.7                           | 931.4           | 530.9           | 16.6            | 11/10/12 | 11.5                          | 3,374.1         | 2,207.1         | 105.2           |
| 11/10/21 | 7.8                           | 876.1           | 493.3           | 12.8            | 11/10/20 | 13.8                          | 3,587.3         | 2,585.3         | 160.2           |
| 11/10/27 | 7.8                           | 943.5           | 470.4           | 18.2            | 11/10/26 | 20.4                          | 2,644.2         | 5,025.8         | 208.0           |
| 11/11/04 | 9.2                           | 1,033.3         | 602.5           | 12.7            | 11/11/03 | 15.4                          | 1,990.4         | 2,302.2         | 142.0           |
| 11/11/10 | 24.1                          | 2,498.7         | 1,911.5         | 33.3            | 11/11/09 | 48.9                          | 4,643.1         | 8,990.7         | 637.4           |
| 11/11/16 | 25.9                          | 2,909.1         | 1,978.2         | 29.1            | 11/11/17 | 34.9                          | 3,016.7         | 4,685.0         | 159.9           |
| 11/11/24 | 41.0                          | 4,959.4         | 3,726.6         | 88.6            | 11/11/23 | 57.6                          | 4,975.1         | 9,238.7         | 343.3           |
| 11/12/07 | 40.8                          | 4,230.1         | 4,744.8         | 67.0            | 11/12/08 | 57.9                          | 5,007.7         | 10,230.8        | 205.3           |
| 11/12/15 | 25.5                          | 2,643.8         | 3,091.1         | 30.8            | 11/12/14 | 34.8                          | 4,207.4         | 8,060.1         | 141.2           |
| 11/12/21 | 10.8                          | 1,213.1         | 1,269.0         | 12.1            | 11/12/22 | 21.4                          | 2,219.3         | 5,903.3         | 79.5            |
| Average  | 49.7                          | 6,151.6         | 5,485.4         | 163.9           | Average  | 61.0                          | 10,808.6        | 9,743.0         | 499.9           |

Table . Summary of monitoring result in sub stream to Nam River basins

| Site No. | Site             | Date       | Flow m <sup>3</sup> /sec | BOD* mg/L | water quality level | T-N** mg/L | water quality level | T-P* mg/L | water quality level |
|----------|------------------|------------|--------------------------|-----------|---------------------|------------|---------------------|-----------|---------------------|
| S1       | Nabulcheon       | 2011/04/01 | 0.032                    | 4.9       | III                 | 0.806      | IV                  | 0.050     | II                  |
|          |                  | 2011/06/10 | 0.289                    | 1.8       | Ib                  | 1.129      | V                   | 0.074     | II                  |
|          |                  | 2011/08/08 | 29.896                   | 1.0       | Ia                  | 1.523      | VI                  | 0.124     | III                 |
|          |                  | 2011/11/07 | 0.617                    | 1.1       | Ib                  | 2.819      | VI                  | 0.073     | II                  |
| S2       | Gajocheon        | 2011/04/08 | 0.062                    | 6.3       | IV                  | 4.458      | VI                  | 0.358     | V                   |
|          |                  | 2011/06/13 | 0.077                    | 2.3       | II                  | 3.030      | VI                  | 0.286     | IV                  |
|          |                  | 2011/08/08 | 5.132                    | 1.3       | Ib                  | 3.470      | VI                  | 0.157     | III                 |
|          |                  | 2011/11/08 | 0.559                    | 4.4       | III                 | 2.717      | VI                  | 0.199     | III                 |
| S3       | Youngcheon river | 2011/06/13 | 0.099                    | 1.6       | Ib                  | 1.556      | VI                  | 0.043     | II                  |
|          |                  | 2011/08/08 | 119.854                  | 1.1       | Ib                  | 1.483      | V                   | 0.086     | II                  |
|          |                  | 2011/11/07 | 5.801                    | 1.2       | Ib                  | 2.544      | VI                  | 0.047     | II                  |
| S4       | Yongcheon        | 2011/04/08 | 0.078                    | 1.5       | Ib                  | 2.151      | VI                  | 0.031     | Ib                  |
|          |                  | 2011/06/13 | 0.033                    | 1.0       | Ia                  | 1.715      | VI                  | 0.042     | II                  |
|          |                  | 2011/08/09 | 0.607                    | 1.7       | Ib                  | 1.535      | VI                  | 0.083     | II                  |
|          |                  | 2011/11/08 | 0.229                    | 0.7       | Ia                  | 2.413      | VI                  | 0.077     | II                  |
| S5       | Hachoncheon      | 2011/04/01 | 0.020                    | 9.4       | V                   | 8.751      | VI                  | 0.606     | VI                  |
|          |                  | 2011/08/09 | 1.747                    | 1.3       | Ib                  | 1.924      | VI                  | 0.503     | VI                  |
|          |                  | 2011/11/08 | 0.280                    | 3.2       | III                 | 1.823      | VI                  | 0.462     | V                   |
| S6       | Jinaecheon       | 2011/06/13 | 0.139                    | 2.6       | II                  | 1.359      | V                   | 0.118     | III                 |
|          |                  | 2011/08/09 | 7.386                    | 0.9       | Ia                  | 1.280      | V                   | 0.154     | III                 |
|          |                  | 2011/11/08 | 0.281                    | 1.1       | Ib                  | 2.329      | VI                  | 0.082     | II                  |
| S7       | Hayngyangcheon   | 2011/06/14 | 0.141                    | 2.5       | II                  | 1.398      | V                   | 0.112     | III                 |
|          |                  | 2011/08/09 | 3.828                    | 1.2       | Ib                  | 1.266      | V                   | 0.099     | II                  |
|          |                  | 2011/11/08 | 1.179                    | 1.0       | Ia                  | 2.066      | VI                  | 0.068     | II                  |
| S8       | Hyeunjcheon      | 2011/04/01 | 0.024                    | 4.9       | III                 | 18.380     | VI                  | 0.403     | V                   |
|          |                  | 2011/06/14 | 0.192                    | 2.3       | II                  | 1.918      | VI                  | 0.134     | III                 |
|          |                  | 2011/08/03 | 0.315                    | 1.2       | Ib                  | 4.037      | VI                  | 0.210     | IV                  |
|          |                  | 2011/10/31 | 0.004                    | 1.3       | Ib                  | 7.193      | VI                  | 0.055     | II                  |
| S9       | Daegokcheon      | 2011/04/15 | 0.095                    | 1.6       | Ib                  | 1.281      | V                   | 0.043     | II                  |
|          |                  | 2011/06/14 | 0.068                    | 3.5       | III                 | 1.410      | V                   | 0.121     | III                 |
|          |                  | 2011/08/03 | 2.591                    | 0.9       | Ia                  | 1.645      | VI                  | 0.085     | II                  |
|          |                  | 2011/10/31 | 0.103                    | 0.9       | Ia                  | 0.843      | IV                  | 0.017     | Ia                  |
| S10      | Bansungcheon     | 2011/06/14 | 0.527                    | 1.6       | Ib                  | 1.388      | V                   | 0.091     | II                  |
|          |                  | 2011/08/03 | 11.475                   | 1.0       | Ia                  | 1.522      | VI                  | 0.092     | II                  |
|          |                  | 2011/10/31 | 0.471                    | 0.9       | Ia                  | 1.333      | V                   | 0.047     | II                  |
| S11      | Daebangcheon     | 2011/04/15 | 0.008                    | 0.9       | Ia                  | 3.939      | VI                  | 0.033     | Ib                  |
|          |                  | 2011/06/15 | 0.064                    | 4.9       | III                 | 1.158      | V                   | 0.109     | III                 |
|          |                  | 2011/08/03 | 0.285                    | 0.7       | Ia                  | 1.142      | V                   | 0.095     | II                  |
|          |                  | 2011/10/31 | 0.003                    | 0.7       | Ia                  | 0.969      | IV                  | 0.025     | Ib                  |
| S12      | Sangjungcheon    | 2011/06/15 | 0.127                    | 1.7       | Ib                  | 2.906      | VI                  | 0.043     | II                  |
|          |                  | 2011/08/03 | 0.651                    | 0.7       | Ia                  | 1.343      | V                   | 0.069     | II                  |
|          |                  | 2011/10/31 | 0.037                    | 0.7       | Ia                  | 2.768      | VI                  | 0.041     | II                  |
| S13      | Jisoocheon       | 2011/06/15 | 0.017                    | 1.8       | Ib                  | 2.360      | VI                  | 0.073     | II                  |
|          |                  | 2011/08/03 | 1.393                    | 0.6       | Ia                  | 1.666      | VI                  | 0.153     | III                 |
|          |                  | 2011/10/31 | 0.026                    | 0.5       | Ia                  | 1.525      | VI                  | 0.031     | Ib                  |

\* BOD, T-P : River water quality standard.

\*\* T-N : Lake water quality standard.

생하는 것으로 판단되며, 이에 따른 검토를 위해 지류·지천들에 대한 모니터링을 수행하였다.

### 3. 지류·지천 모니터링 결과

대상유역에 위치한 13곳의 지천들에 대한 2011년 모니터링 결과를 Table 5에 나타내었다. 유량 조사 결과를 살펴보면, 조사가 수행된 모든 지천들의 유량이 8월에 매우 높은 수치를 나타내고 있다. 2011년 진주 기상대 자료에 의하면, 7월 초 일강우량이 300 mm를 초과하고, 8월까지 장마가 지속되어 지천들의 유량이 급격히 증가한 것으로 판단된다. 조사 지천들 중 영천강의 경우 6월 조사 당시 유량이 0.099 m<sup>3</sup>/sec로 조사되었으나, 8월 유량이 119.854 m<sup>3</sup>/sec로 조사되었다. 이는 평상시 건천으로 유량이 없던 소규모 지천이 강우의 영향으로 유량이 발생되고, 이러한 지천이 영천강으로 유입되어 유량이 증가된 것으로 판단된다.

수질오염도의 경우 갈수기에 해당하는 1회차 조사 당시의 수질 오염도가 하천수 수질기준 농도에 비해 높게 조사되었다. 하촌천의 경우 1차 조사가 수행된 4월의 경우 수질농도(BOD 9.4 mg/L, T-N 8.751 mg/L, T-P 0.606 mg/L)가 타 지천들에 비해 월등히 높게 조사되었다. 특히 BOD 농도의 경우 하천수질기준 V등급(10 mg/L 이하)에 속하여 수

질이 '나쁨' 수준으로 판정되었다. 현지천의 경우도 4월의 수질 오염도가 높게 판정되었는데, 오염물질 중 T-N 18.380 mg/L, T-P 0.403 mg/L로 조사되어 영양염류의 오염도가 높게 판정되었다. 현지천과 토지이용형태 및 유역면적이 유사한 대방천의 경우 1차 조사결과 T-N 3.939 mg/L, T-P 0.033 mg/L로 조사 되었는데, 이를 통해 지천이 산재된 유역의 경우 현장 조사를 수행하지 않고, 단순히 토지이용 형태 및 면적에 원단위를 적용하여 해당 유역에 대한 부하량을 평가할 시 유역 특성이 반영되지 않을 가능성이 높음을 알 수 있다. 또한 지천에 대한 현장 조사를 통해 유지유량이 적은 지천들의 경우 하천 주변의 환경에 따라 오염물질의 종류가 다르게 나타남을 알 수 있다.

본 조사결과와 경우 조사 횟수가 적은 제한성이 있어 평균이라는 개념의 신뢰성을 확보하기는 어려우나, 각 지류·지천들의 본류에 대한 영향정도를 분석하기 위해 평균 유달부하량을 산정하였다(Table 6). 또한 유역면적의 차이로 발생할 수 있는 유달부하량 차이를 보정하기 위해 유달부하밀도를 산정하여 Table 6에 나타내었고, 지천별 유달부하밀도를 비교하여 Figure 4에 도시하였다.

지천들의 오염물질별 유달부하량을 살펴보면, BOD의 경우, 영천강이 4,002.0 kg/day로 가장 높

Table 6. Delivery load and load density in sub stream to Nam River basins

| site No. | Site             | Delivery load(kg/day) |         |       | Area(km <sup>2</sup> ) | Delivery load density(kg/km <sup>2</sup> /day) |        |       |
|----------|------------------|-----------------------|---------|-------|------------------------|--|--------|-------|
|          |                  | BOD                   | T-N     | T-P   |                        | BOD  | T-N    | T-P   |
| S1       | Nabulcheon       | 675.0                 | 1,028.7 | 81.5  | 59.87                  | 11.275   | 17.181 | 1.362 |
| S2       | Gajocheon        | 209.6                 | 428.5   | 20.8  | 13.68                  | 15.321   | 31.325 | 1.518 |
| S3       | Youngcheon river | 4,002.0               | 5,548.4 | 304.8 | 203.20                 | 19.695   | 27.305 | 1.500 |
| S4       | Youngcheon       | 29.0                  | 36.9    | 1.6   | 10.24                  | 2.830  | 3.604  | 0.151 |
| S5       | Hachoncheon      | 96.6                  | 116.5   | 29.4  | 11.43                  | 8.448  | 10.191 | 2.570 |
| S6       | Jinacheon        | 210.7                 | 296.5   | 33.9  | 43.13                  | 4.886  | 6.875  | 0.786 |
| S7       | Hayngyangcheon   | 176.4                 | 215.4   | 13.7  | 43.55                  | 4.051  | 4.947  | 0.314 |
| S8       | Hyeunjcheon      | 20.3                  | 45.4    | 2.2   | 3.24                   | 6.272  | 14.009 | 0.678 |
| S9       | Daegokcheon      | 60.8                  | 98.6    | 5.1   | 30.49                  | 1.995  | 3.235  | 0.166 |
| S10      | Bansungcheon     | 367.0                 | 542.2   | 32.4  | 118.56                 | 3.095  | 4.573  | 0.273 |
| S11      | Daebangcheon     | 11.3                  | 9.4     | 0.7   | 3.75                   | 3.018  | 2.495  | 0.198 |
| S12      | Sangjungcheon    | 20.1                  | 38.8    | 1.5   | 25.45                  | 0.789  | 1.523  | 0.059 |
| S13      | Jisoocheon       | 25.3                  | 69.2    | 6.2   | 15.71                  | 1.613  | 4.402  | 0.395 |

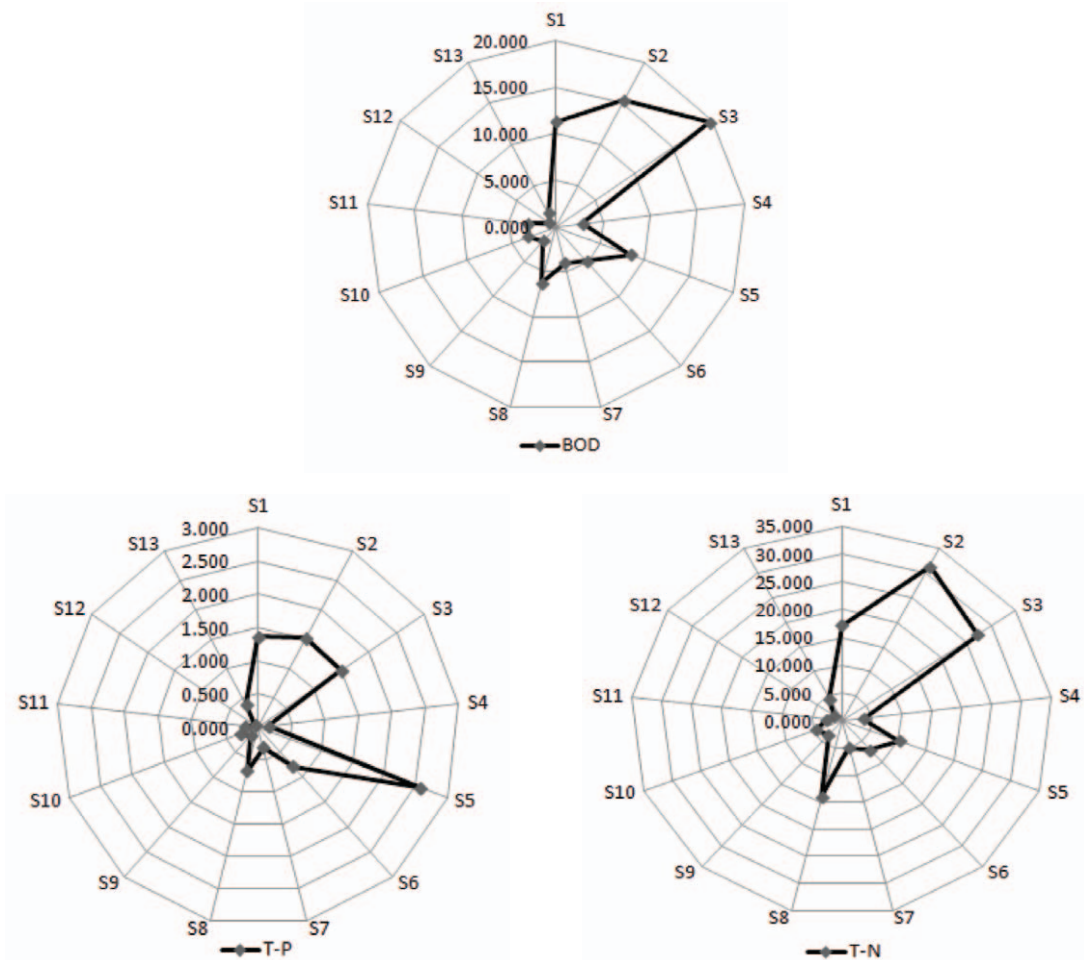


Figure 4. Delivery load density in sub stream to Nam River basins

았으며 나불천 675.0 kg/day, 반성천 367.0 kg/day 순으로 높게 조사되었다. T-N 항목은 영천강 5,548.4 kg/day, 나불천 1,028.7 kg/day, 반성천 542.2 kg/day 순으로 높게 조사되었다. T-P 항목의 경우 영천강이 304.8 kg/day로 가장 높았으며, 나불천 81.5 kg/day, 지내천 33.9 kg/day 순으로 높게 조사되었다. 지내천의 경우 반성천에 비해 유역면적이 2배 정도 작지만 T-P 유달부하량은 지내천 33.9 kg/day, 반성천 32.4 kg/day로 유사하게 조사되었다.

유달부하량의 경우 유역 면적에 따라서 차이가 발생할 수 있어, 이러한 차이를 보정하기 위해 유달부하밀도(단위 면적당 유달부하량)를 산정하였다.

유달부하밀도는 하천수질에 직접적인 영향을 주는 인자로서 수질오염의 잠재력을 나타내며, 단위면적당 유달부하량이 커지면, 수질오염도 또한 증가한다고 보고된 바 있다(윤영삼 등, 2006).

각각의 지천별 속하는 유역에 대해 산정된 유달부하밀도는 BOD의 경우, 영천강이 19.695 kg/km<sup>2</sup>/day로 가장 높았으며, 가좌천 15.321 kg/km<sup>2</sup>/day, 나불천 11.275 kg/km<sup>2</sup>/day 순으로 높았다. T-N의 경우는 가좌천 31.325 kg/km<sup>2</sup>/day로 가장 높았으며, 다음으로 영천강 27.305 kg/km<sup>2</sup>/day, 나불천 17.181 kg/km<sup>2</sup>/day 순으로 조사되었다. T-P 항목은 하촌천이 2,570 kg/km<sup>2</sup>/day로 가장 높았으며, 가좌천 1,518 kg/km<sup>2</sup>/day, 영천강 1,500

kg/km<sup>2</sup>/day 순으로 높게 조사 되었다.

각 지천들의 유달부하밀도를 비교해 본 결과 하촌천과 같이 유역면적이 작음에도 높은 유달부하밀도를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이러한 유달부하밀도 비교를 통해 지천별 오염원의 발생비율을 파악할 수 있고, 향후 지천에 대한 관리대책 수립 시 이와 같은 결과를 활용하여 효율적인 우선 관리대책 수립이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 지천 기여율 산정

조사대상 유역에 속하는 지천들의 오염물질별 유달부하밀도를 산정하였고, 이를 활용하여 남강에 대한 영향정도를 파악하기 위해 기여율을 산정하여 Table 7에 나타내었다. 기여율의 산정은 남강 본류 구간 사이에 포함되는 지천별 유달부하밀도의 합에 대하여 각각의 지류·지천별 부하밀도의 비율을 산정하여 이를 남강본류에 대한 지천들의 기여율로 판단하였다.

오염물질별 산정된 결과를 살펴보면, BOD의 경우 영천강이 23.65%의 기여율로 가장 높게 조사되었으며, 다음으로는 가좌천이 18.39%, 나불천 13.54%, 하촌천 10.14% 순으로 높은 기여율을 나타내었다. T-N의 경우는 가좌천이 23.79%로 가장 높은 기여율을 나타내었으며, 영천강 20.74%, 나불

천 13.05%, 현지천 10.64% 순으로 높게 산정되었다. T-P의 기여율을 살펴보면, 하촌천이 25.78%로 가장 높게 산정되었으며, 가좌천 15.23%, 영천강 15.05%, 나불천 13.66% 순으로 높은 기여율을 나타내었다. T-N의 경우 BOD, T-P와는 달리 현지천에서의 기여율이 4번째로 높게 산정되었다. 가좌천은 영천강에 비해 유역면적이 15배 정도 작은 유역이지만, T-P 기여율이 유사하게 산정되어 유역면적에 비해 높은 T-P 오염부하를 발생함을 알 수 있다.

오염물질별 기여율을 산정해 본 결과, 연구대상 지천 13곳 중 상위 4지점의 기여율 합이 65% 이상으로 조사 되었으며, 기여율의 경우 해당 지천의 유역 면적과의 상관성은 낮은 것으로 조사되었다.

## IV. 결론

기존 수질관리를 위한 하천 모니터링 및 연구는 본류 및 소하천에 국한되어 왔다. 본 연구에서 남강 유역에 산재된 지천들에 대한 모니터링을 수행하고, 이를 통해 본류 및 소하천에 비해 낮은 유량에도 불구하고 본류 오염도에 많은 영향을 미치는 것을 확인하였다. 각각의 지천의 현장조사 결과를 활용하여 남강본류에 대한 영향정도를 기여율로서 산정하여 아래에 제시하였다.

1. 남강 본류에 대한 유달부하량을 산정해 본 결과, 남강\_D의 경우 남강\_C에 비해 유량은 49.7 m<sup>3</sup>/sec ~ 61.0 m<sup>3</sup>/sec로 소폭 증가하나, BOD와 T-N 부하량은 1.8배 높게 산정되었으며, T-P의 경우 3.1배 높은 부하량을 나타내었다.

2. 지천들의 경우 강우량의 영향으로 인해 시기별 유량이 차이가 크게 발생되었으며, 회차별 수질 분석결과 해당 지천의 유역면적과 오염도의 상관성은 낮은 것으로 조사되었다.

3. 유달부하밀도는 BOD의 경우, 영천강이 19.695 kg/km<sup>2</sup>/day로 가장 높았으며, 가좌천 15.321 kg/km<sup>2</sup>/day, 나불천 11.275 kg/km<sup>2</sup>/day 순으로 높았다. T-N의 경우는 가좌천 31.325 kg/km<sup>2</sup>/day,

Table 7. Contribution ratio of sub streams at Nam River\_C~D (unit : %)

| Site             | Area(km <sup>2</sup> ) | BOD   | T-N   | T-P   |
|------------------|------------------------|-------|-------|-------|
| Nabulcheon       | 59.87                  | 13.54 | 13.05 | 13.66 |
| Gajocheon        | 13.68                  | 18.39 | 23.79 | 15.23 |
| Youngcheon river | 203.20                 | 23.65 | 20.74 | 15.05 |
| Yongacheon       | 10.24                  | 3.40  | 2.74  | 1.52  |
| Hachoncheon      | 11.43                  | 10.14 | 7.74  | 25.78 |
| Jinacheon        | 43.13                  | 5.87  | 5.22  | 7.88  |
| Hayngyangcheon   | 43.55                  | 4.86  | 3.76  | 3.15  |
| Hyeunjicheon     | 3.24                   | 7.53  | 10.64 | 6.80  |
| Daegokcheon      | 30.49                  | 2.39  | 2.46  | 1.66  |
| Bansungcheon     | 118.56                 | 3.72  | 3.47  | 2.74  |
| Daebangcheon     | 3.75                   | 3.62  | 1.90  | 1.99  |
| Sangjungcheon    | 25.45                  | 0.95  | 1.16  | 0.59  |
| Jisoocheon       | 15.71                  | 1.94  | 3.34  | 3.96  |

영천강 27.305 kg/km<sup>2</sup>/day, 나불천 17.181 kg/km<sup>2</sup>/day 순으로 조사되었다. T-P 항목은 하촌천이 2.570 kg/km<sup>2</sup>/day, 가좌천 1.518 kg/km<sup>2</sup>/day, 영천강 1.500 kg/km<sup>2</sup>/day 순으로 높게 조사 되었다.

4. 오염물질별 기여율은 BOD의 경우 영천강이 23.65%의 기여율로 가장 높게 조사되었으며, 다음으로는 가좌천이 18.39%, 나불천 13.54%, 하촌천 10.14% 순으로 높은 기여율을 나타내었다. T-N은 가좌천 23.79%, 영천강 20.74%, 나불천 13.05%, 현지천 10.64% 순으로 높게 산정되었다. T-P의 경우 하촌천 25.78%, 가좌천 15.23%, 영천강 15.05%, 나불천 13.66% 순으로 높은 기여율을 나타내었다.

5. 오염물질별 기여율을 산정해 본 결과, 연구대상 지천 13곳 중 상위 4지점의 기여율 합이 65% 이상으로 조사 되었으며, 기여율의 경우 해당 지천의 유역 면적과의 상관성은 낮은 것으로 조사되었다.

본 연구결과의 경우 적은 조사 횟수로 인해 자료의 신뢰성을 확보할 수는 없으나, 이와 같은 방법을 활용하여 국내 산재된 다양한 지천들에 대해 정밀한 현장조사를 통하여 지천별 기여율을 산정할 시 지천에 대한 수질대책 수립 시 중점 관리지점 선정에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

국립환경과학원, 2002, 낙동강 수계별 오염부하량 조사연구(II).  
 국립환경과학원, 2005, 오염총량관리를 위한 낙동강수계 유량측정사업 운영결과 보고서.

국립환경과학원, 2007, 수질오염공정시험방법.  
 국립환경과학원, 2011, 오염총량관리를 위한 낙동강수계 유량측정사업 운영결과 보고서.  
 낙동강수계관리위원회, 2011, 낙동강수계 지류 수질·유량 모니터링(1년차 보고서).  
 낙동강유역환경청, 2008, '09~'13년 남강 중권역 물환경 관리 계획.  
 박재로, 권혁, 이효범, 2005, 물질수지 분석을 통한 팔당호 상류 지천별 영향성 평가, 대한토목학회 정기학술대회 논문집.  
 이상진, 배병욱, 2003, 금강 중·하류권역의 지류하천에서 오염물질 유달량 상관관계 분석, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집.  
 유영복, 지주연, 김경현, 이재안, 이혁, 방규철, 천세익, 2007, 금강 중류 주요 지류의 수질변동에 관한 연구, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집.  
 윤영삼, 황동진, 박정민, 임태호, 양상용, 2002, 낙동강 유역 주요지천의 본류에 대한 오염부하평가, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집.  
 윤영삼, 유재정, 김문수, 이혜진, 신주남, 양상용, 2004, 낙동강 유역 주요지천에 대한 일별 유달부하량 산정모델개발-모델식의 적용-, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집.  
 윤영삼, 유재정, 김문수, 이혜진, 2006, 낙동강 소수계별 유달부하량 산정 및 평가, 한국물환경학회지, 22(2), 277-287.