

# 관리 우선순위 선정을 위한 낙동강 지류·지천 지점의 수질 오염 특성 분석 Water Quality Analysis in Nakdong River Tributaries for the Determination of Priority Management Areas

임태효 · 나승민 · 신상민 · 손영규\*<sup>†</sup>

Tae Hyo Im · Seungmin Na · Sangmin Shin · Younggyu Son\*<sup>†</sup>

국립환경과학원 낙동강물환경연구소 · \*금오공과대학교 환경공학과  
Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

\*Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received September 22, 2016; Revised October 13, 2016; Accepted October 19, 2016)

**Abstract :** Water quality data including flow rates and BOD/COD/T-N/T-P/SS/TOC concentrations in Nakdong river tributaries were analyzed to determine priority management areas using 699 data sets from 195 locations in 2015. It was pointed out that the coefficients of variation, the ratio of the standard deviation to the mean, for the concentrations and loading rates of BOD, T-P, and TOC in each monitoring location were so large that average values of water quality monitoring data might be not appropriate to determine the priority management areas among all 195 monitoring stations in Nakdong river. Therefore we suggested two evaluation methods using each water quality data independently. In the first method the excess numbers of the BOD, T-P, and TOC concentrations comparing to the water quality standards in the medium-sized management areas in Nakdong river was evaluated for each monitoring station. In the second method the percentile ranks of the loading rates of the BOD, T-P, and TOC were obtained for each monitoring data. The two groups of the priority management areas determined by each method were compared and the water quality characteristics in Nakdong river were investigated.

**Key Words :** Nakdong River, Water Quality, Tributaries, Priority Management Areas, Coefficient of Variation

**요약 :** 낙동강 195개 지류·지천 지점에서 2015년 수집된 699회의 유량 및 BOD/COD/T-N/T-P/SS/TOC 농도 등의 수질 자료를 이용하여 중점관리지점 선정 연구를 수행하였다. 각 모니터링 지점에서 BOD, T-P, TOC 농도 및 오염부하량에 대한 변동계수가 매우 크게 확인되어 1년 평균 자료를 이용한 중점관리지점 선정이 경우에 따라 불합리할 수 있을 것으로 지적되었다. 이러한 이유로 본 연구에서는 각 모니터링 자료를 평균화하지 않고 독립적으로 이용할 수 있는 두 가지 방법을 제시하였다. 첫 번째 방법으로 각 모니터링 시점별로 수집된 BOD, T-P, TOC 농도를 낙동강 중권역별 목표수질과 비교하여 목표수질을 초과하는 횟수를 각 지점별로 산정하였다. 두 번째로 BOD, T-P, TOC 항목에 대한 오염부하량을 각 모니터링 시점별 및 지점별로 산정하여 % 순위를 산정하는 방법을 적용하였다. 이상의 방법을 통해 결정된 중점관리지점을 서로 비교하였으며, 이를 통해 낙동강 유역의 수질의 전반적 특성을 분석하였다.

**주제어 :** 낙동강, 수질, 지류·지천, 중점관리지점, 변동계수

## 1. 서론

국내 하천의 치수·이수·환경계획 등은 대부분 본류 중심으로 이루어지고 있는데, 이를 보다 효과적으로 관리하기 위해서는 본류와 연결된 수많은 지류·지천에 대한 고려가 필요하다. 본류의 상류로 표현되는 지류·지천에서는 농업, 축산업, 공업 등 다양한 인간활동에 의해 유·무기 오염물질이 직간접적으로 유입되는데, 이러한 오염물질들이 본류로 유입되기 전 지류·지천 수준에서 적절하게 관리·처리된다면 보다 양질의 수자원 확보가 가능할 것으로 판단된다.<sup>1-6)</sup>

최근 환경부 낙동강유역환경청에서는 낙동강 수질의 근본적인 개선을 위해 “똥물살리기 마스터플랜(2016년)”을 수립하였다. 이는 낙동강 본류의 상류로 구분되는 여러 지류·지천의 수질 및 유량을 모니터링하고 이를 바탕으로 체

계적이며 집중적인 수질 및 수생태계 관리를 목적으로 한다. 또한 2011년부터 낙동강수계 22개 중권역에 속한 190여개의 지류·지천을 대상으로 수질 및 유량에 대한 지속적인 모니터링이 수행되고 있는데, 축적된 데이터를 바탕으로 대상 지류·지천 지점 중 우선적으로 관리해야 하는 중점관리지점을 선정하여 보다 세밀한 모니터링을 수행하고 있는 중이다.

중점관리지점 선정을 위해서 기존 연구에서는 다양한 기법들이 적용되었는데, 크게 두가지 방법으로 구분될 수 있다. 우선, 유량과 수질의 상관관계를 이용하는 방법으로, 기준 수질 농도와 기준 유량을 원점으로 BOD 혹은 T-P 수질항목을 x축으로 하고, 유량을 y축으로 하여 전체 데이터를 네 그룹으로 구분한 후 제1사분면에 속하는 수질과 유량 모두 높은 지역을 중심으로 중점관리지점을 선정하는 것이다.<sup>1,7-9)</sup> 이 방법은 수질뿐만이 수질오염총량관리 측면에

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: yson@kumoh.ac.kr Tel: 054-478-7637 Fax: 054-478-7859

서의 오염부하량(수질농도 × 유량)을 동시에 고려할 수 있다는 장점이 있으나 기준 수질 농도 및 기준 유량 산정을 지류·지천의 특성을 고려하지 않고 일괄 적용한다는 측면에서 문제점이 제기될 수 있다. Lim 등은 금강수계의 자료를 이용하여 BOD 농도 3 mg/L 및 유량 10 m<sup>3</sup>/min (=0.17 m<sup>3</sup>/sec)을 기준으로 하였으며,<sup>7)</sup> Cho 등은 금강을 포함한 충청남도 전체 유역을 대상으로 BOD 3 mg/L, 유량 0.1 m<sup>3</sup>/sec을 기준으로 대상 지점들을 구분하였다.<sup>9)</sup> Jung 등 및 Na 등은 T-P 항목을 추가적으로 고려하여 BOD 농도 3 mg/L, T-P 농도 0.1 mg/L와 유량 0.1 m<sup>3</sup>/sec를 기준으로 남강 중권역 및 낙동강 유역의 지점을 각각 구분하였다.<sup>1,8)</sup>

또 다른 중점관리지점 선정 방법은 유량, 수질항목, 오염부하량 등 다양한 평가항목을 선정하고, 각 평가항목에 대한 범위를 여러 구간으로 나눠 이를 점수화한 후 평가점수 산정을 통하여 우선순위를 선정하는 방법이다. Jung 등<sup>5)</sup>은 영산강 수계 지류·지천의 자료를 이용하여 BOD, T-N, T-P 부하량, 유량, BOD, COD, TOC, T-P, T-N, SS 등의 수질농도 등의 10개 평가항목을 선정하고 각 항목을 7개 범위로 나눠 1~7점을 부여하는 방식을 적용하였다. 앞서 언급한 “잇물살리기 마스터플랜”에서는 이와 유사하나 BOD 및 T-P 항목을 중심으로 보다 다양화한 평가항목을 제시하기도 하였다.

이상의 두 가지 방법을 모두 적용 타당한 근거를 갖고 있으나 고려 대상 데이터가 대부분 전체 자료의 평균 자료를 이용하는 등의 자료의 대표성 문제를 내포하고 있다. 이에 본 연구에서는 2015년 195개의 낙동강 지류·지천 지점에서 수집된 699개의 수질 및 유량 데이터 세트를 최대한 독립적으로 이용하여 수질 및 오염부하량 측면에서 각 지점을 평가하고 우선적으로 관리되어야 할 지점을 선정하였다. 환경부고시 제 2014-157호에 의한 중권역별 목표수질을 수질 기준으로 하였으며, 2015년 모니터링 횟수에서 차이가 있으나 기 선정된 일반관리지점과 중점관리지점의 데이터를 동일하게 취급하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구 대상 범위

Fig. 1과 같이 낙동강 수계 지류·지천 195개 지점을 대상으로 2015년 수행된 수질 및 유량 모니터링 결과를 연구에 이용하였다. 대상 낙동강 전체 수계는 26개 중권역(안동댐, 임하댐 안동댐하류, 내성천, 영강, 병성천, 낙동상주, 위천, 낙동구미, 감천, 낙동왜관, 금호강, 회천, 낙동고령, 합천댐, 황강, 낙동창녕, 남강댐, 남강, 낙동밀양, 밀양강, 낙동강하구연, 가화천, 거제도, 낙동강남해, 왕피천)으로 구분되며, 195개의 대상 모니터링 지점을 35개의 중점관리지점 (Priority area)과 160개의 일반관리지점(Non-priority area)으로 다시 구분하여 모니터링이 수행되었다. 각 중권역별 모니터링 관측지점 현황을 지점 번호로 Table 1에 정리하였다.

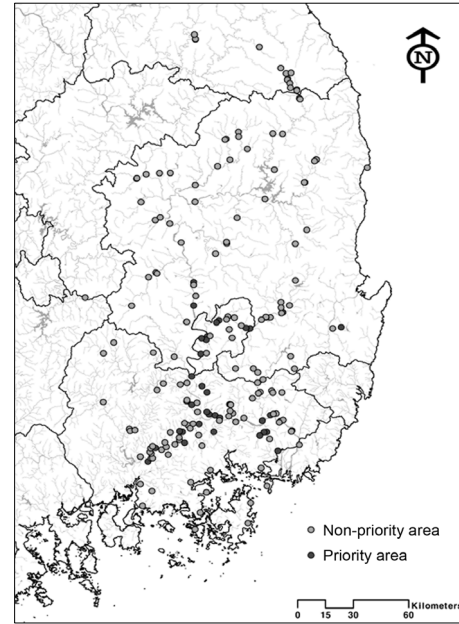


Fig. 1. Monitoring locations for non-priority areas and priority areas.

Table 1. Monitoring station numbers for non-priority and priority areas in the medium-sized management areas in Nakdong river

Medium-sized management areas	Non-priority areas	Priority areas	Water quality standards
Andong dam	(1)-(16)		la
Imha dam	(17)-(24)		lb
Downstream of Andong dam	(25)-(26)		lb
Naesung stream	(27)-(37)		la
Yeong river	(38)-(41)		la
Byeongseong stream	(42)-(44)		lb
Nakdong/Sangju	(45)		lb
Wi stream	(46)-(48)		lb
Nakdong/Gumi	(49)		la
Gam stream	(50)-(53)		la
Nakdong/Waegwan	(55), (57), (59)-(61)	(54), (56), (58)	lb
Geumho river	(62)-(65), (67)-(69), (71), (73)-(78)	(66), (70), (72), (79)-(80)	III
Hoe stream	(81)-(82)		lb
Nakdong/Goryeong	(83), (88), (90)-(91)	(84)-(87), (89)	II
Hapcheon dam	(92)-(94)		lb
Hwang river	(95)-(97)		la
Nakdong/Changyeong	(99)-(101), (103), (105)	(98), (102), (104)	II
Nam river dam	(106)-(117)		lb
Nam river	(118), (120)-(125), (127)-(133), (136), (138)-(141), (144)-(145)	(119), (126), (134)-(135), (137), (142)-(143)	lb
Nakdong/Miryang	(151)-(154), (157), (160)	(146)-(150), (155)-(156), (158)-(159), (161)	II
Miryang river	(162)-(172)		lb
Nakdong river estuary bank	(174)-(181)	(173), (182)	lb
Gahwa stream	(183)-(185)		lb
Geoje island	(186)-(188)		lb
Nakdong river/Namhae	(189)-(194)		IV
Wangpi stream	(195)		la

또한 환경부고시 제 2014-157호에 의한 중권역별 목표수질을 같이 나타내었다.

중권역 구분에 따른 관측지점명은 지점번호 순서대로 다음과 같다(( ): 지점번호 의미): 안동댐((1)-(16): 황지천유입천, 절골천, 황지천1, 소도천, 황지천2, 황지천3, 철암천1, 철암천2, 낙동강1, 낙동강2, 낙동강3, 현동천, 가천, 재산천, 운곡천, 동계천); 임하댐((17)-(24): 반변천1, 장파천, 반변천3, 반변천2, 동천1, 주산천, 놀인천, 길안천2); 안동댐하류((25)-(26): 옥곡천, 신평천); 내성천((27)-(37): 낙화암천, 내성천2, 구천, 죽계천, 서천, 내성천1, 옥계천, 한천2, 한천1, 대하리천, 금천); 영강((38)-(41): 영강, 양산천, 조령천, 이안천); 병성천((42)-(44): 병성천, 북천, 동천); 낙동상주((45): 장천); 위천((46)-(48): 위천, 쌍계천, 남대천); 낙동구미((49): 신평천); 감천((50)-(53): 감천, 직지사천, 아천, 울곡천); 낙동왜관((54)-(61): 구미천, 광암천, 경호천, 반지천, 동정천, 백천, 이천, 봉암천); 금호강((62)-(80): 고촌천, 고현천, 신평천, 금호강1, 북안천, 대창천1, 금호강2, 청통천, 오목천, 금호강3, 남천, 울하천, 동화천, 불로천, 신천1, 신천2, 신천3, 팔거천, 달서천); 회천((81)-(82): 이천천, 안립천); 낙동고령((83)-(91): 진천천, 천내천, 기세곡천, 본리천, 용하천, 현풍천, 용호천, 덕곡천, 미곡천1); 합천댐((92)-(94): 계수천, 당산천, 가천천); 황강((95)-(97): 아천, 황강2, 산내천); 낙동창녕((98)-(105): 토평천, 유곡천, 신반천1, 신반천2, 창녕천1, 정곡천, 전화천, 대곡천1); 남강댐((106)-(117): 남강1, 남강2, 람천2, 풍천, 람천3, 만수천, 생초천, 남강3, 단계천, 신등천, 양천, 시천천); 남강((118)-(145): 나불천, 가좌천, 남강5, 영천강, 용아천, 하촌천, 지내천, 향양천, 현지천, 대곡천2, 반성천, 대방천, 상정천, 지수천, 영운천, 수곡천, 석교천1, 석교천2, 의령천2, 의령천1, 월현천, 남강6, 함안천, 백야천, 대산천2, 대사천, 부목천, 봉곡천); 낙동밀양((146)-(161): 관곡천, 계성천, 칠원천, 영산천, 오호천, 온정천1, 온정천2, 이령천3, 신천천, 용덕천, 퇴래천 사촌천, 화포천, 초동천, 수산천, 상남천); 밀양강((162)-(172): 운문천, 동창천, 청도천2, 청도천3, 청도천1, 단장천1, 동천2, 단장천2, 단장천3, 밀양강, 제대천); 낙동강하구연((173)-(182): 미전천2, 안태천, 용당나루, 원동천, 여차천, 대포천, 소감천, 다방천, 대천천, 호계천); 가화천((183)-(185): 죽천천, 삼천포천, 가화천); 거제도((186)-(188): 소동천, 외포천, 산양천); 낙동강남해((189)-(194): 장좌천, 구만천, 광도천, 진동천, 가덕도, 대장천); 왕피천((195): 남대천).

## 2.2. 분석 시기 및 분석 항목

낙동강수계 지류·지천 195개 지점에 대하여 2015년 총 699회(유효 모니터링 횟수만 고려)의 유량 및 수질 모니터링이 수행되었다. 일부지점을 제외하고 대부분의 중점관리지점은 연 11회(2~12월), 일반관리지점은 연 2회의 모니터링이 수행되어 중점관리지점 374회(35개 지점), 일반관리지점 325회(160개 지점)의 데이터가 축적되었다. 모니터링 시 강우에 의한 직접적인 영향을 최소화하기 위하여 대부분의

지점이 비강우시에 모니터링이 수행되었다.

대상 지류·지천의 유량은 유속을 측정하여 유속면적법(중간단면적법)으로 구하였으며, 유속 측정은 하천 수위가 낮은 경우 도섭법을, 하천 수위가 높은 경우 교량법을 이용하였다. 수질과 관련되어 현장에서의 수집 항목 및 샘플링 후 분석된 항목은 BOD, COD, T-N, T-P, SS, TOC, 등이며 시료의 채취방법, 채취시료의 보존, 현장측정, 시험방법 모두 환경부의 “수질오염공정시험기준”에 준하여 수행하였다. 이들 항목 중 본 연구에서는 우선관리지점 선정을 위하여 BOD, T-P, TOC 등을 중심으로 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유량 및 수질 데이터 분석

유량 및 수질(BOD, COD, T-N, T-P, SS, TOC) 데이터를 이용하여 중권역별로 각 지류·지천 모니터링 지점에서의 수질 항목의 농도 및 오염부하량에 대한 연평균 값과 그에 대한 표준편차를 Table 2와 3에 각각 나타내었다. 수질 수준을 주요 항목별로 살펴보면, BOD 기준으로는 감천, 낙동왜관, 낙동고령, 낙동창녕, 남강, 낙동밀양, 낙동강하구연 등을 제외하고 모두 Ia(매우 좋음) 혹은 Ib(좋음) 수준이며, TOC 기준으로는 낙동왜관, 금호강, 낙동고령, 낙동밀양, 낙동강하구연 등을 제외하고 대부분의 중권역에서 Ia 혹은 Ib 수준의 양호한 수질상태가 확인되었다. 가장 낮은 수준은 낙동고령(BOD 및 TOC 항목 모두) 및 낙동강하구연(TOC 항목만)에서 III(보통) 수준으로 측정되었다. T-P 항목의 경우 Ia 수준은 없었으며, Ib 수준만이 안동댐, 임하댐, 영강 등에서 확인되었다. BOD 및 TOC 항목에서 III(보통) 등급 수준을 나타낸 낙동고령 및 낙동강하구연은 T-P 항목에서도 가장 낮은 IV(약간 나쁨) 수준을 나타내 낙동강 수계 중권역 중 해당 중권역이 가장 수질 상태가 양호한 것으로 확인되었다. T-N 항목은 하천호소환경수질기준이 현재 마련되지 않아 호소환경수질기준을 기준으로 분석하였으며 대부분의 중권역에서 V(나쁨) 혹은 VI(매우나쁨) 수준으로 확인되어 이에 대한 수질기준 보완이 필요할 것으로 판단되었다.

수질 각 항목의 연평균값을 고려하였을 때 낙동강 수계 대부분의 중권역에서 양호한 수질을 나타내고 있으나 표준편차가 큰 지역이 다수 확인되고 있어 평균 수질보다 좋지 않은 수질이 간헐적으로 나타났을 것으로 판단되었다. 측정된 수질 농도의 연중 변화정도를 고려하기 위해 평균값이 서로 다른 데이터의 변화정도를 판단할 수 있는 표준편차의 평균값에 대한 비로 표현되는 “변동계수(Coefficient of variation)”를 BOD, T-P, TOC 항목에 대하여 산정하고 Fig. 2에 나타내었다.<sup>10)</sup> 대부분의 중권역에서 변동계수가 0~100% 수준으로 확인되었는데, 이는 평균 수질농도 대비 최대 약 2배 수준 이상의 악화된 수질 수준이 계절별 혹은 모

Table 2. Water quality in the medium-sized management areas

Medium-sized management areas	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	TOC (mg/L)
Andong dam	0.71±0.68 (Ia)	3.06±0.76 (Ib)	2.01±0.61 (VI)	0.028±0.015 (Ib)	3.15±3.60	1.23±0.64 (Ia)
Imha dam	1.06±0.55 (Ib)	3.90±1.13 (Ib)	1.32±0.74 (V)	0.026±0.013 (Ib)	2.55±1.79	1.94±0.89 (Ia)
Downstream of Andong dam	1.48±0.89 (Ib)	5.93±2.18 (III)	2.09±1.32 (VI)	0.104±0.065 (III)	7.05±11.17	3.60±1.57 (Ib)
Naesung stream	0.97±0.56 (Ia)	3.29±0.51 (Ib)	1.96±0.88 (VI)	0.049±0.012 (II)	4.55±3.97	1.25±0.51 (Ia)
Yeong river	0.70±0.22 (Ia)	3.14±1.00 (Ib)	2.48±0.93 (VI)	0.038±0.015 (Ib)	3.53±2.25	1.73±0.40 (Ia)
Byeongseong stream	1.27±0.78 (Ib)	3.40±0.37 (Ib)	1.41±0.90 (V)	0.061±0.025 (II)	4.87±4.95	1.83±0.29 (Ia)
Nakdong/Sangju	1.05±0.92 (Ib)	3.30±0.99 (Ib)	1.50±1.21 (VI)	0.043±0.011 (II)	1.70±0.71	1.60±0.42 (Ia)
Wi stream	1.42±0.82 (Ib)	4.72±0.59 (II)	2.26±1.33 (VI)	0.069±0.043 (II)	2.77±1.34	2.70±0.58 (Ib)
Nakdong/Gumi	0.95±0.92 (Ia)	5.00±1.70 (II)	1.18±0.87 (V)	0.069±0.046 (II)	2.00±0.28	2.95±1.63 (Ib)
Gam stream	2.90±2.23 (II)	5.64±2.18 (III)	2.81±1.75 (VI)	0.091±0.027 (II)	14.13±20.36	3.26±1.94 (Ib)
Nakdong/Waegwan	2.06±1.34 (II)	7.14±2.18 (IV)	3.47±2.22 (VI)	0.140±0.083 (III)	10.90±12.90	4.63±1.72 (II)
Geumho river	1.97±1.42 (Ib)	6.71±1.91 (III)	4.40±3.31 (VI)	0.093±0.050 (II)	7.86±10.55	4.23±1.70 (II)
Hoe stream	0.80±0.27 (Ia)	3.68±1.01 (Ib)	2.42±1.53 (VI)	0.087±0.059 (II)	2.20±0.63	1.60±0.34 (Ia)
Nakdong/Goryeong	3.50±2.34 (III)	7.64±3.03 (IV)	4.17±2.70 (VI)	0.224±0.165 (IV)	11.34±15.44	5.51±4.09 (III)
Hapcheon dam	0.78±0.44 (Ia)	3.42±1.27 (Ib)	1.97±0.90 (VI)	0.075±0.050 (II)	2.70±1.90	1.57±0.41 (Ia)
Hwang river	0.77±0.29 (Ia)	3.95±0.85 (Ib)	1.46±0.65 (V)	0.070±0.047 (II)	8.95±5.88	2.03±0.37 (Ib)
Nakdong/Changyeong	2.25±1.88 (II)	6.55±2.24 (III)	3.35±2.40 (VI)	0.139±0.094 (III)	13.85±18.08	3.94±1.77 (Ib)
Nam river dam	0.93±0.53 (Ia)	4.00±1.56 (Ib)	1.50±0.82 (VI)	0.081±0.063 (II)	3.91±4.50	1.85±0.85 (Ia)
Nam river	2.13±1.28 (II)	6.21±2.18 (III)	2.73±2.53 (VI)	0.134±0.092 (III)	15.34±18.96	3.92±1.63 (Ib)
Nakdong/Miryang	2.55±1.50 (II)	7.06±2.50 (IV)	3.06±1.85 (VI)	0.162±0.082 (III)	17.26±16.25	4.51±2.07 (II)
Miryang river	0.77±0.56 (Ia)	3.30±1.69 (Ib)	1.53±0.82 (VI)	0.046±0.026 (II)	2.67±2.68	1.80±1.36 (Ia)
Nakdong river estuary bank	2.45±2.15 (II)	7.48±4.6 (IV)	1.65±1.09 (VI)	0.252±0.402 (IV)	15.55±21.02	5.01±3.82 (III)
Gahwa stream	0.68±0.44 (Ia)	2.50±1.20 (Ib)	2.23±1.22 (VI)	0.042±0.018 (II)	2.63±2.82	1.20±0.69 (Ia)
Geoje island	1.77±1.26 (Ib)	3.88±1.22 (Ib)	2.60±1.50 (VI)	0.165±0.094 (III)	8.99±11.68	2.14±1.13 (Ib)
Nakdong river/Namhae	0.95±0.41 (Ia)	3.49±1.94 (Ib)	2.34±1.04 (VI)	0.072±0.047 (II)	6.50±8.13	2.04±1.55 (Ib)
Wangpi stream	0.95±0.92 (Ia)	2.55±0.07 (Ib)	0.85±0.54 (IV)	0.045±0.008 (II)	2.60±1.70	0.80±0.00 (Ia)

※ ( ): Water quality grade according to the Ambient Water Quality Standards of Rivers (BOD, COD, T-P, SS, TOC) and Lakes (T-N)

Table 3. Loading rate in the medium-sized management areas

Medium-sized management areas	Flow rate (m <sup>3</sup> /sec)	BOD (g/sec)	COD (g/sec)	T-N (g/sec)	T-P (g/sec)	SS (g/sec)	TOC (g/sec)
Andong dam	1.62±1.52	1.31±1.83	5.17±5.13	3.62±3.76	0.05±0.06	5.40±6.82	2.04±2.18
Imha dam	1.46±2.22	1.2±1.57	7.26±12.28	2.34±3.61	0.06±0.11	5.38±9.04	4.20±7.38
Downstream of Andong dam	0.48±0.68	0.46±0.59	3.71±5.97	0.68±0.78	0.04±0.05	9.00±17.59	2.32±3.73
Naesung stream	0.81±0.91	0.82±1.10	2.57±2.84	1.80±2.29	0.04±0.04	3.94±5.96	1.05±1.26
Yeong river	4.47±2.54	3.12±2.04	13.83±8.82	11.04±7.15	0.15±0.06	14.45±12.44	7.40±3.66
Byeongseong stream	0.73±0.82	1.39±1.84	2.59±3.11	1.53±2.00	0.03±0.04	5.80±10.53	1.48±1.78
Nakdong/Sangju	0.32±0.36	0.50±0.67	1.22±1.51	0.70±0.93	0.01±0.01	0.67±0.84	0.58±0.72
Wi stream	1.37±1.52	2.73±4.55	6.64±7.36	3.82±4.54	0.07±0.07	5.07±8.46	4.09±4.75
Nakdong/Gumi	0.01±0.02	0.02±0.03	0.07±0.10	0.02±0.03	0.00±0.00	0.02±0.03	0.05±0.06
Gam stream	0.90±0.93	2.81±3.26	4.91±4.67	2.96±3.64	0.07±0.06	10.44±15.39	3.10±3.38
Nakdong/Waegwan	0.45±0.57	1.33±2.35	3.62±4.96	1.57±1.78	0.09±0.25	10.61±40.10	2.35±3.21
Geumho river	1.62±1.58	3.42±4.51	11.55±11.54	8.62±10.15	0.17±0.20	13.93±42.95	7.47±8.13
Hoe stream	2.01±2.13	2.01±2.76	8.86±10.99	3.36±2.86	0.21±0.25	5.32±6.78	3.70±4.42
Nakdong/Goryeong	0.22±0.71	0.50±1.02	1.81±5.65	1.63±6.70	0.04±0.12	1.36±2.71	1.29±3.78
Hapcheon dam	0.76±0.75	0.60±0.77	2.79±3.40	1.43±1.18	0.06±0.09	2.69±4.35	1.27±1.53
Hwang river	8.66±14.15	4.10±6.08	31.44±53.81	12.07±19.03	0.60±1.19	118.33±214.57	13.68±21.50
Nakdong/Changyeong	0.24±0.28	0.59±1.06	1.51±1.95	0.88±1.31	0.03±0.05	3.36±7.20	0.86±1.06
Nam river dam	2.99±3.22	3.02±5.36	12.90±15.61	4.11±5.04	0.26±0.29	11.56±16.85	5.60±6.75
Nam river	1.59±6.12	3.49±16.11	8.22±30.57	3.24±13.82	0.14±0.49	16.87±61.38	4.97±18.99
Nakdong/Miryang	0.31±0.58	0.74±1.27	2.07±3.81	0.80±1.57	0.05±0.11	7.22±18.53	1.42±2.91
Miryang river	1.22±1.05	0.98±1.11	4.16±4.17	1.61±1.42	0.06±0.07	4.00±6.10	2.33±2.63
Nakdong river estuary bank	10.10±58.15	23.06±133.73	72.11±424.32	16.81±91.63	1.00±5.99	77.68±453.32	42.59±249.95
Gahwa stream	0.00,074±	0.02±0.03	0.09±0.16	0.07±0.13	0.00±0.00	0.03±0.03	0.04±0.07
Geoje island	0.07±0.06	0.09±0.07	0.28±0.22	0.14±0.09	0.01±0.01	0.86±1.54	0.14±0.13
Nakdong river/Namhae	0.14±0.16	0.16±0.21	0.74±1.44	0.35±0.44	0.02±0.03	1.52±2.88	0.48±1.06
Wangpi stream	0.36±0.06	0.36±0.38	0.91±0.17	0.32±0.24	0.02±0.00	0.87±0.45	0.28±0.05

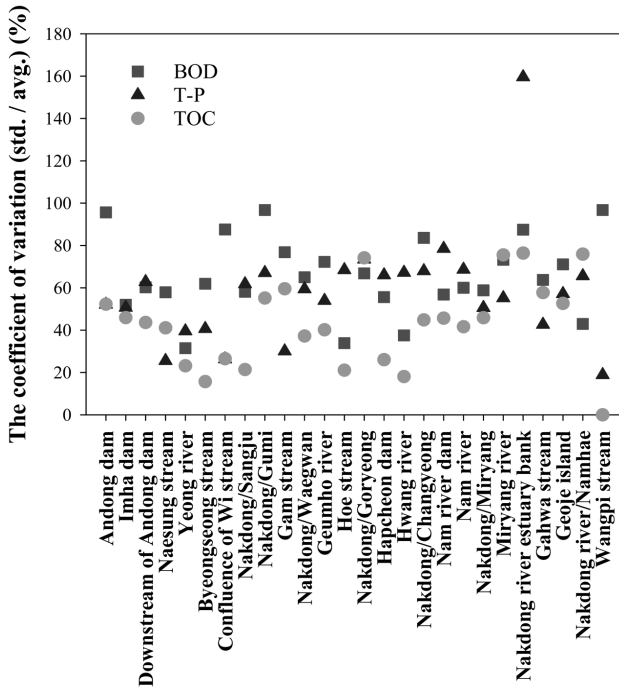


Fig. 2. The coefficient of variation for the concentration of BOD, T-P, and TOC in the medium-sized management areas.

니터링 시기에 따라 측정되었음을 의미한다. 변동계수는 BOD가 전체적으로 가장 높게 확인되었으며 다음으로 T-P, TOC 순으로 나타났다.

오염부하량의 경우 수질농도와 유량이 같이 고려되어 수질농도만의 변화폭보다 매우 큰 변화폭을 나타내었다. BOD, T-P, TOC의 중권역 수질농도 범위가 각각 0.68~3.50 mg/L, 0.03~0.25 mg/L, 0.80~5.51 mg/L 수준으로 약 5~10배 수준 차이를 보였으나, 오염부하량의 경우 BOD, T-P, TOC에 대하여 0.02~23.06 g/sec, 0.0005~1.00 g/sec, 0.04~42.59 g/sec 수준으로 천배 이상의 차이를 확인할 수 있었다. 이는 유량의 변동 폭이 크기 때문인 것으로 유량의 변화는 0.01~10.10 m<sup>3</sup>/sec 수준임을 확인할 수 있었다.

오염부하량이 가장 높은 중권역은 낙동강하구언으로 확인되었는데 다른 중권역보다 수질 농도가 높고 유량이 매우 크게 측정되었기 때문이다. 세부적으로 살펴보면 낙동강하구언 중권역 지류·지천 중 대부분의 지류·지천에서 유량이 0.0022~0.7564 m<sup>3</sup>/sec 범위이나 용당나루(No. 175)의 유량 측정값이 21.93 (1월) 및 358.48 (7월) m<sup>3</sup>/sec의 매우 높은 수준으로 확인되어 타 중권역과 비교하여 매우 높은 오염부하량이 산정되었다. 이외에 오염부하량 상위로는 BOD, T-P, TOC에 대해 영강, 금호강, 황강, 남강댐, 남강 등이 포함되었는데, 이 중 영강, 황강, 남강댐 등은 수질 등급이 Ia 혹은 Ib 수준의 낮은 수질 농도를 나타내지만 다른 중권역보다 상대적으로 유량이 커 오염부하량이 높게 산정되었다.

Fig. 3에 나타난 중권역별 오염부하량에 대한 변동계수를 살펴보면 전체적으로 유량의 변동계수 변화와 BOD, T-P, TOC의 변동계수 변화가 거의 일치함을 확인할 수 있다. 이

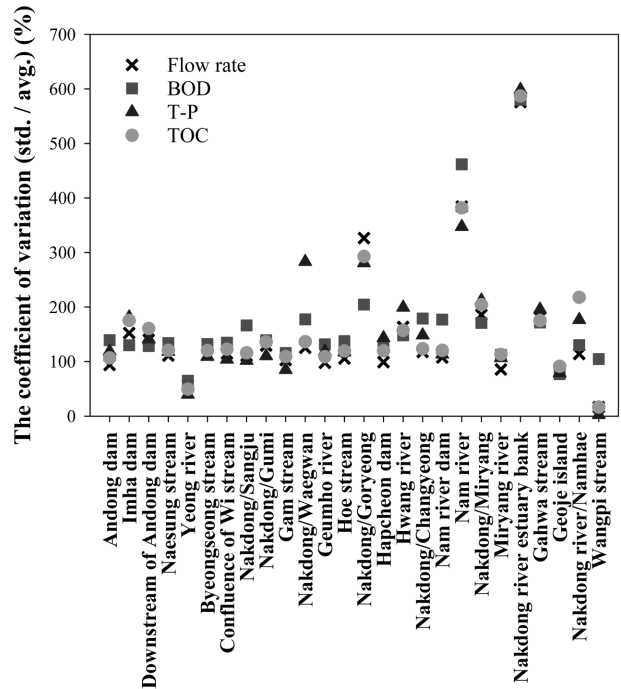


Fig. 3. The coefficient of variation for the flow rate and the loading rate of BOD, T-P, and TOC in the medium-sized management areas.

는 수질농도와 유량으로 구성된 오염부하량이 유량에 크게 영향 받음을 직·간접적으로 나타내는 것이라 할 수 있다. 변동계수는 대부분의 중권역에서 BOD, T-P, TOC 등에 대하여 100% 이상을 나타내어 평균값 대비 2배 이상의 오염부하량이 모니터링 시기에 따라 확인되었을 것으로 판단되었다. 특히 낙동고령, 남강, 낙동강하구 등의 중권역에서는 200~600% 수준의 변동계수가 확인되어 해당 중권역의 지류·지천별 오염부하량 편차가 매우 클 것으로 확인되었다. 즉 오염부하량은 수질농도의 변화와 비교하여 유량의 큰 변동으로 인해 중권역에 따라 그 편차가 매우 크고, 중권역 내 지류·지천별 오염부하량의 변화도 매우 큼을 알 수 있다.

기존 연구들에서는 오염부하량을 직접적인 평가 항목으로 이용하기 보다는 수질 농도와 유량을 동시에 고려한 방법을 적용하였다. 수질농도를 x축으로, 하천 유량을 y축으로 설정하여 기준 수질농도와 기준 유량을 교차시킬 때 구분되는 4개 사면에 존재하는 지점을 각각 농도도 높고 유량도 많은 경우(1사분면), 농도는 낮고 유량은 높은 경우(2사분면), 농도도 낮고 유량도 낮은 경우(3사분면), 농도는 높고 유량은 낮은 경우(4사분면)로 구분하여 지점들의 오염특성에 대해 설명하였다.<sup>1,7-9)</sup> 이러한 방법은 대상 수질항목에 대해 농도와 유량을 동시에 고려하기 때문에 결과적으로 수질농도와 오염부하량을 같이 고려하여 지점을 평가한다는 장점이 있으나 수질 농도 및 유량의 연평균 값 등을 이용하여 앞에서 언급한 바와 같이 대표성 문제가 제기될 수 있다. 또한, 지점마다 다를 수 있는 수질 오염 특성 및 유량 특성 등에 대한 고려가 충분히 되지 않고 일괄 적용시키

는 문제점 또한 제기될 수 있다.

그러므로 낙동강 수계 지류·지천의 향후 중점관리 모니터링 지점 선정에 위해서는 이상의 내용과 같이 큰 변동 폭을 내포하고 있는 수질 및 오염부하량의 연평균값의 이용이 아닌 시기별로 모니터링 된 데이터를 최대한 독립적으로 이용할 수 있도록 하는 것이 중요할 것으로 판단되었다. 이를 위해 “중권역별 목표수질 만족 정도” 및 “오염부하량 상위 정도”를 평가하는 간략한 평가 시스템 개발 및 적용에 대한 내용을 다음 장에 서술하였다.

### 3.2. 중권역별 목표수질 고려

낙동강 수계 26개 중권역은 Table 1에 나타낸 바와 같이 Ia 등급에서 IV 등급까지의 목표수질이 설정되어 있어 이를 이용하여 195개 지점의 모니터링 결과의 목표수질 초과 여부를 분석하였다. 중점관리 모니터링 지점 선정은 2015년 중점관리 지점의 개수와 동일한 35개 지점을 선정하는 것으로 하였으며, 각 지류·지천 지점에서의 모니터링 횟수 대비 BOD, T-P, TOC 항목의 평균 초과횟수를 산정하여 순위를 조사하였다. 즉, 세 개 수질항목에 대한 699개의 모니터링 결과를 중권역별 목표수질과 비교하여 초과하는 횟수를 산정한 후 195개 측정 지점별로 합산한 후 지점별 모니터링 횟수로 나눈 값을 고려하였다. 예를 들어 임의의 지점에서 모니터링을 수행할 때마다 수질이 중권역별 목표수질 기준을 세 개 항목 모두 초과하였다면 그 지점의 평균 초과횟수는 1.0이 되며, 세 개 항목 중 1개 항목만이 매번 초과하였다면 평균 초과횟수는 0.33이 된다. 이상의 방법을 이용한 평균 초과횟수 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

모니터링을 할 때마다 BOD, T-P, TOC에 대해 중권역별 수질 기준을 항상 초과한 지점은 5개 지점으로 감천의 아천(52), 낙동고령의 용하천(87), 남강의 백야천 및 부목천(141, 144), 거제도의 산양천(188) 등으로 일반관리지점 4곳과 중점관리 지점 1곳으로 확인되었다. 이러한 지점들은 해

당 중권역 목표수질을 만족시키기 위한 수질관리가 시급히 이루어져야 할 것으로 판단되었다. 반대로 한번도 초과하지 않은 지점은 총 29개 지점으로 중권역별로 안동댐 3개 지점(8, 9, 14), 임하댐 5개 지점(20, 21, 22, 23, 24), 금호강 12개 지점(62, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76), 낙동고령 4개 지점(90, 99, 100, 101), 낙동강남해 5개 지점(189, 191, 192, 193, 194) 등으로 모두 일반관리지점으로 확인되었다.

이러한 방식으로 평균 초과횟수 상위 35개 지점을 중점관리지점으로 우선 고려하였는데, 평균 초과횟수가 1.0~0.67번의 범위를 나타내었다. 해당 지점은 초과횟수 상위 순서대로 산양천(188), 아천(52), 용하천(87), 부목천(144), 백야천(141), 호계천(182), 구미천(54), 퇴래천(156), 대사천(143), 현지천(126), 하촌천(123), 산내천(97), 황지천1(3), 대곡천2(127), 수곡천(133), 동정천(58), 관곡천(146), 가좌천(119), 대산천2(142), 화포천(158), 용호천(89), 경호천(56), 기세곡천(85), 의령천1(137), 초동천(159), 미전천2(173), 울곡천(53), 직지사천(51), 신곡천(49), 석교천1(134), 감천(50), 낙화암천(27), 죽계천(30), 함안천(140), 황지천3(6) 등이 선정되었다. 중권역별로는 남강이 10개 지점으로 가장 많은 지점이 선정되었고, 낙동밀양이 4개 지점, 안동댐, 내성천, 감천, 낙동왜관, 낙동고령 등이 각각 3개 지점, 낙동강하구언 2개 지점, 안동댐하류, 낙동구미, 황강, 거제도 등이 각각 1개 지점이 선정되었다.

추가적으로 중권역별 목표수질을 기준으로 모니터링 결과의 기준치 대비 초과 정도를 %로 나타내어 위와 유사한 방식으로 BOD, T-P, TOC 등의 3개 항목에 대한 평균 초과 정도를 산정할 수도 있다. 이에 대한 상위 35개의 초과 정도는 266.4~800.6%로 산정되었는데, 앞선 초과횟수로 산정한 35개 지점중 15개만이 이에 해당되었다. 이는 초과 횟수가 높지 않다 하더라도 초과될 때 그 정도가 매우 큰 경우가 빈번하게 발생하는 것으로 이해할 수 있다. 본 연구에

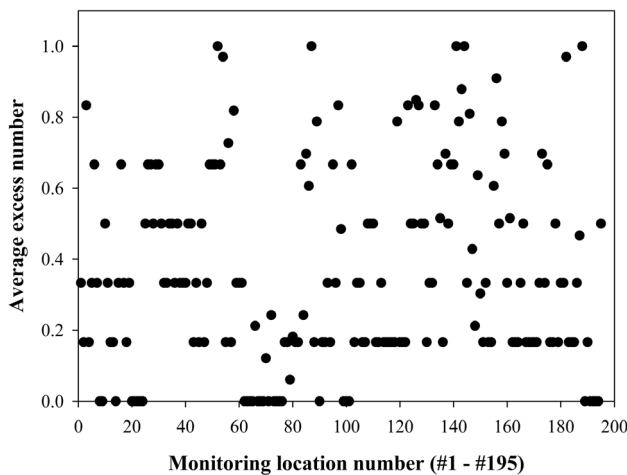


Fig. 4. Average excess number for the water quality standard of BOD, T-P, and TOC at each monitoring location using each monitoring results.

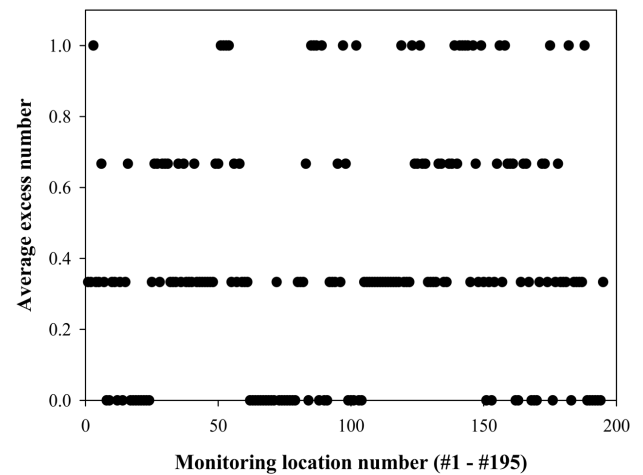


Fig. 5. Average excess number for the water quality standard of BOD, T-P, and TOC at each monitoring location using annual average monitoring results.

서는 초과횟수를 우선적으로 고려하고 같은 초과횟수인 경우 초과정도를 고려하는 방식을 선택하였다.

기존의 방식인 각 지점에서의 1년 수질 평균 자료에 대한 중권역별 목표수질 초과횟수를 Fig. 5와 같이 산정하였는데 BOD, T-P, TOC의 3개 항목 모두 초과되는 지점은 26개 지점, 3개 중 2개 항목만이 초과되어 0.67회의 초과횟수를 나타낸 지점은 36개 지점, 0.33회 초과횟수를 나타낸 지점은 80개 지점, 한번도 초과되지 않은 지점은 53개 지점으로 확인되었다. 앞서 각 모니터링 시기별로 고려한 경우에는 모든 경우에 초과되는 지점이 5개 지점이었으며, 한번도 초과되지 않은 지점은 29개 지점으로 확인된 것과는 다소 상이한 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 1년 평균 수질 자료를 이용하는 경우에 중권역별 목표수질을 한번도 만족하지 못하는 경우가 크게 증가하였으며, 항상 만족하는 경우 역시 증가하였다. 1년 수질 평균 자료를 이용하여 상위 35개 지점은 선정한 결과는 앞서 분석한 각 모니터링 시기별 자료를 모두 고려한 경우와 7개 지점을 제외하고 동일하게 선정되었다. 즉, 대곡천(127), 수곡천(133), 의령천(137), 초동천(159), 미전천(173), 함안천(140), 황지천(3(6) 등의 7개 지점 대신 남강(6(139), 창녕천(1(102), 본리천(86), 용당나루(175), 영산천(149), 지내천(124), 향양천(125) 등의 7개 지점이 선정되었다.

### 3.3. 오염부하량 평가

오염부하량에 따른 중점관리지점 선정을 위하여 195개 지류·지천 지점에 대한 699회 모니터링 결과를 이용하여 BOD, T-P, TOC 등의 3개 항목에 대하여 오염부하량을 산정하였으며, 이후 3개의 수질 항목별로 각 오염부하량의 전체 699개 중 순위(%로 표시, 오염부하량이 높을수록 % 수치가 높게 산정)를 산정한 후 195개 지점별로 모니터링 횟수를 고려한 평균값으로 나타내었다. 이렇게 구해진 각 지점별 BOD, T-P, TOC의 오염부하량 상위 % 정도를 평균하여 이에 대한 순위를 나타내어 최종적으로 중점관리지점 선정에 이용하였다. 이상의 방법은 연 평균 수질 농도 및 유량을 이용하여 오염부하량을 구하거나 각 모니터링 시기별로 구해진 오염부하량을 평균하는 방법과 비교하여 데이터의 대표성 문제를 보다 고려한 방식이다. 그러나 지점별, 시기별 수질농도와 유량의 증감에 대한 단순 계산이 수행되어 699개의 모든 데이터를 동일 선상으로 고려하여 순위를 구한 방법이기 때문에 오염부하량에 대한 절대적인 비교분석은 가능하나 지점별 및 계절별/시기별 특성에 대한 고려가 후속 연구에서 필요할 것으로 판단되었다.

앞선 중권역별 목표수질 고려와 마찬가지로 상위 순위 35개를 중점관리지점 후보 35개 지점으로 선정하였다. 해당 35개 지점은 BOD, T-P, TOC 항목에 대해 평균적으로 99.6~76.6% 수준을 나타내었으며, 높은 순서 순으로 남강(6(139), 용당나루(175), 남강(3(113), 황강(2(96), 남강(5(120), 진천천(83), 달서천(80), 금호강(2(68), 금호강(3(71), 금호강(1(65), 영강(38), 남천(72), 황지천(3(6), 남강(2(107), 이안천(41), 위천

(46), 오목천(70), 조령천(40), 구미천(54), 낙동강(3(11), 낙동강(2(10), 영천강(121), 랫천(3(110), 의령천(1(137), 신천(2(77), 청도천(1(166), 황지천(1(3), 안립천(82), 밀양강(171), 양산천(39), 감천(50), 동계천(16), 신천(3(78), 신등천(115), 만수천(111) 등으로 정리되었다. 중점관리지점 및 일반관리지점이 각각 18개 및 17개로 확인되었으며, 중권역별로는 금호강 8개 지점, 안동댐 및 남강댐 각 5개 지점, 영강 및 남강 각 4개 지점, 밀양강 2개 지점, 위천, 감천, 낙동왜관, 회천, 낙동고령, 황강, 낙동강하구언 각 1개 지점이 선정되었다.

중권역별 목표수질 평균 초과횟수 상위 35개 지점과 오염부하량 상위 35개 지점을 비교한 결과 중복되는 지점은 구미천(54), 황지천(3), 의령천(137), 황지천(3(6), 동계천(16), 감천(50) 등의 6개 지점만이 확인되었다. 이는 선정된 상위 지점 대부분에서 수질 특성과 오염부하량 특성이 매우 다르다는 것을 의미하며, 수질 관리와 오염부하량 관리가 독립적으로 동시에 진행되어야 함을 시사한다. 이를 전체 195개 지점에 대해 고려해보기 위해 Fig. 6에 중권역별 목표수질 평균 초과횟수와 그 초과횟수를 갖는 지류·지천 지점의 오염부하량 상위 정도 % 순위의 상관관계도를 나타내었는데, 의미있는 상관관계는 확인되지 않았다(오염부하량이 높을수록 높은 % 순위를 갖는다). 초과횟수가 높게(혹은 낮게) 나타나는 지점에서 오염부하량도 높게(혹은 낮게) 나타나는 등의 두 순위가 양의 선형관계에 있는 경우 그래프 가운데를 중심으로 1사분면에 있는 지점들을 중점관리지점으로 선정하고 수질관리와 오염부하량 저감 관리를 집중적으로 수행하면 된다. 하지만 Fig. 6에 나타난 바와 같이 목표수질 대비 초과횟수가 작은 경우에도 오염부하량이 매우 높게 확인되는 경우 등이 다수 확인되고 있어 수질관리 및 오염부하량 저감 관리를 몇몇 지점에 집중시키기 어려운 상황인 것으로 판단되었다. 그러므로 낙동강수계 지류·지천 지점별로 수질 및 오염부하량 특성을 동시에 고려한 관리방안 마련이 요구되었다.

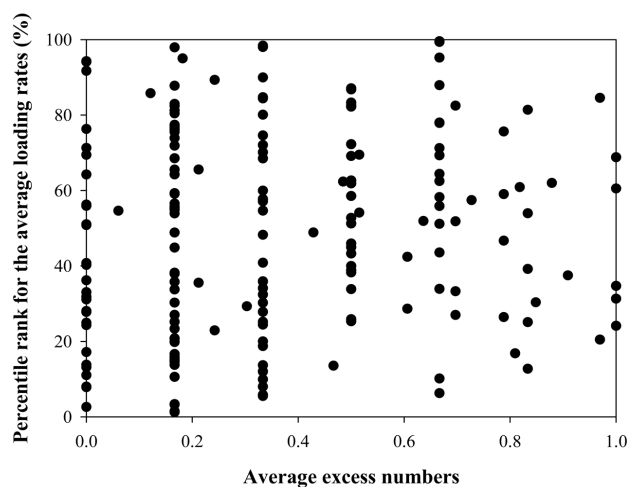


Fig. 6. Correlation between the rank for the average excess numbers for the water quality standard and the percentile rank for the average loading rates (Higher loading rate has higher percentile rank).

## 4. 결론

2015년 낙동강 195개 지류·지천 지점에서 수집된 699개의 수질 데이터를 이용하여 중점관리지점 선정 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 연간 평균 자료 등을 이용하여 각 지점의 수질 특성을 분석하는 것이 일반적인 경향이거나, 표준편차의 평균값에 대한 비를 나타내는 변동계수를 각 지점별로 BOD, T-P, TOC 등의 수질항목에 대해 산정한 결과 이 값이 매우 큰 것으로 확인되어 평균값의 대표성에 대한 의문이 제기되었다.

2) 보다 합리적인 중점관리지점 선정을 위해 각 모니터링 시점별 및 지점별로 수집된 BOD, T-P, TOC 등의 수질 데이터를 동일 선상에서 “낙동강 중권역별 목표수질”과 비교하여 초과횟수를 구하였고, 또한 오염부하량에 대한 % 순위를 산정하였다. 이렇게 얻어진 결과를 지점별 평균화하여 이를 바탕으로 상위 35개 지점을 중점관리지점으로 선정하였다.

3) “낙동강 중권역별 목표수질”에 대한 초과횟수를 분석한 결과 상위 35개 지점의 평균 초과횟수는 1.0~0.67번 수준이었으며, 대상 지점은 다음과 같았다: 산양천(188), 아천(52), 용하천(87), 부목천(144), 백야천(141), 호계천(182), 구미천(54), 퇴래천(156), 대사천(143), 현지천(126), 하촌천(123), 산내천(97), 황지천1(3), 대곡천2(127), 수곡천(133), 동정천(58), 관곡천(146), 가좌천(119), 대산천2(142), 화포천(158), 용호천(89), 경호천(56), 기세곡천(85), 의령천1(137), 초동천(159), 미전천2(173), 울곡천(53), 직지사천(51), 신곡천(49), 석교천1(134), 감천(50), 낙화암천(27), 죽계천(30), 함안천(140), 황지천3(6)

4) 오염부하량의 % 순위를 이용하여 분석한 결과 상위 35개 지점들은 다음과 같았다: 남강6(139), 용당나루(175), 남강3(113), 황강2(96), 남강5(120), 진천천(83), 달서천(80), 금호강2(68), 금호강3(71), 금호강1(65), 영강(38), 남천(72), 황지천3(6), 남강2(107), 이안천(41), 위천(46), 오목천(70), 조령천(40), 구미천(54), 낙동강3(11), 낙동강2(10), 영천강(121), 램천3(110), 의령천1(137), 신천2(77), 청도천1(166), 황지천1(3), 안림천(82), 밀양강(171), 양산천(39), 감천(50), 동계천(16), 신천3(78), 신동천(115), 만수천(111)

5) 이상의 수질 및 오염부하량에 대한 두 가지 방법에서 공통적으로 선정된 지점은 구미천(54), 황지천1(3), 의령천1(137), 황지천3(6), 동계천(16), 감천(50) 등의 6개 지점이며 이들 지점은 수질관리와 오염부하량 관리가 시급히 동시에 진행되어야 할 것이다.

6) 전반적으로 “낙동강 중권역별 목표수질”에 대한 초과횟수와 오염부하량은 선형적인 관계를 나타내지 않아 수질관리와 오염부하량 관리가 각 지점의 수질 특성에 따라 독립적으로 수행되어야 할 것으로 판단되었다. 또한 향후 지속적으로 축적된 데이터를 합리적으로 처리할 수 있는 방법 개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

## Acknowledgement

본 연구는 2016년 낙동강수계 환경기초조사사업 [낙동강수계 지류·지천 수질 및 유량 모니터링] 사업의 지원을 받아 수행된 결과입니다.

## References

- Na, S., Lim, T. H., Lee, J. Y., Kwon, L. H. and Cheon, S. U., “Flow rate·water quality characteristics of tributaries and a grouping method for tributary management in Nakdong river,” *J. Wetlands Res.*, **17**(4), 380~390(2015).
- Lee, H. J., Park, H. H., Lee, J. H., Park, A. R. and Cheon, S. U., “Coliform pollution status of Nakdong river and tributaries,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **32**(3), 271~280(2016).
- Seo, C. D., Son, H. J., Choi, J. T., Yoo, P. J. and Jang, S. H., “Occurrence of UV Filters in Nakdong River Basin : mainstreams, tributaries and STP effluents,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **37**(8), 472~479(2015).
- Park, S., Moon, E., Choi, J., Cho, B., Kim, H., Jeong, W., Yi, S. and Kim, Y., “Analysis of distribution characteristics of flowrate and water quality in tributary at Chungcheongnam-do,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **33**(10), 739~747(2011).
- Jung, S., Kim, K., Seo, D., Kim, J. and Lim, B., “Evaluation of water quality characteristics and grade classification of Yeongsan river tributaries,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **29**(4), 504~513(2013).
- Kim, Y., Jeong, W., Kim, H. and Yi, S., “Use of tributary water quality and flowrate monitoring data for effective implementation of TMDL,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **34**(2), 119~125(2012).
- Lim, B., Cho, B., Kim, Y. and Kim, D., “Application of priority order selection technique for water quality improvement in stream watershed by relationship of flow and water quality,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **32**(8), 802~808(2010).
- Jung, K. Y., Kim, G. H., Lee, J. W., Lee, I. J., Yoon, J. S., Lee, K. L. and Im, T. H., “Selection of priority management target tributary for effective watershed management in Nam-river mid-watershed,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **29**(4), 514~522(2013).
- Cho, B., Choi, J., Yi, S. and Kim, Y., “Selection priority of tributary catchments for improving water quality using stream grouping method,” **28**(1), 18~25(2012).
- Singh, K. P., Basant, A., Malik, A. and Jain, G., “Artificial neural network modeling of the river water quality-A case study,” *Ecol. Model.*, **220**(6), 888~895(2009).